



# PhD in Sustainability Science

## Jordi Oliveres Solé

Boosting eco-innovation for

**Emergency**

**Management**

**Organizations**



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

## *The management of fire regimes complexity at the edge of criticality and global change*

**Jordi Oliveres Solé**

**ADVERTIMENT** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del repositori institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) i el repositori cooperatiu TDX (<http://www.tdx.cat/>) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual **únicament per a usos privats** emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei UPCommons o TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a UPCommons (*framing*). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del repositorio institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) y el repositorio cooperativo TDR (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=es>) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual **únicamente para usos privados enmarcados** en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio UPCommons No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a UPCommons (*framing*). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the institutional repository UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) and the cooperative repository TDX (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=en>) has been authorized by the titular of the intellectual property rights **only for private uses** placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading nor availability from a site foreign to the UPCommons service. Introducing its content in a window or frame foreign to the UPCommons service is not authorized (*framing*). These rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

# THE MANAGEMENT OF FIRE REGIMES COMPLEXITY AT THE EDGE OF CRITICALITY AND GLOBAL CHANGE

DOCTORAND  
JORDI OLIVERES SOLÉ

DIRECTOR DE TESI  
MARTÍ ROSAS-CASALS

PROGRAMA DE DOCTORAT  
SOSTENIBILITAT



Universitat Politècnica de Catalunya  
Jordi Girona, 1-3  
Campus Nord. Edifici K2M, planta S1  
08034 Barcelona



SUMM Lab  
Terrassa School of Engineering  
1, Colom st.  
08222 Terrassa  
Barcelona (Spain)

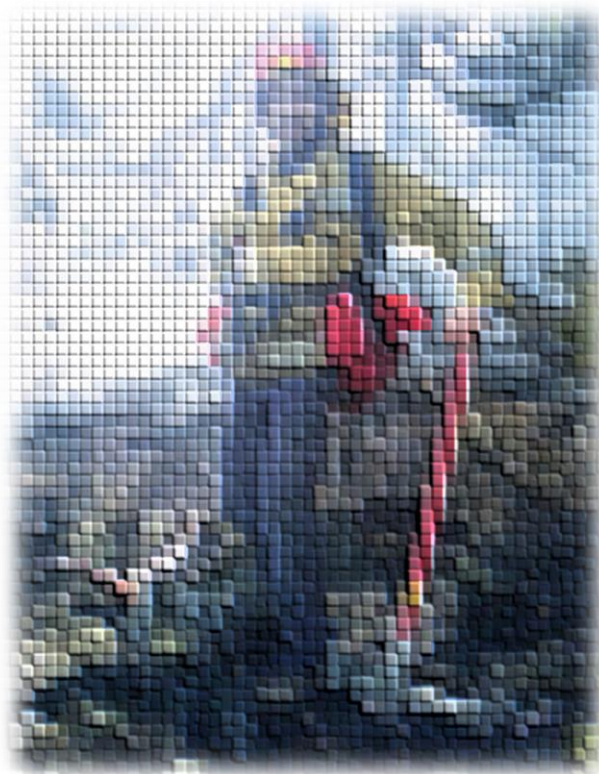


Unitat GRAF Lleida, base Pirineus  
Passeig Conca de Tremp, 3  
25620 Tremp



*"Fire is a good servant, but a bad master"*

(traditional proverb)



"Futures cannot be predicted, but futures can be  
invented"

(adagio David Gabor)

# TABLE OF CONTENTS

DEDICATION

ACKNOWLEDGMENTS

VITA

PREFACE

ABSTRACT

RESUM

1	INTRODUCTION .....	16
1.1	Sustainability Science and Fire Regimes.....	18
1.1.1	Wildland fire science .....	18
1.1.2	Complex Systems .....	19
1.1.3	Fire Regimes characterization (quantifying fire regimes). .....	23
1.2	Complexity and Fire Management .....	26
1.2.1	The case of (wild) fire generations.....	27
1.2.2	Fire Management and Prescribed Fire .....	32
1.3	Systems Innovation .....	36
1.3.1	The VUCA world and Emergency Management Organizations (EMO).....	36
1.3.2	Resilience and Eco-Innovation .....	43
1.4	Scales, Objectives and thesis Structure.....	47
1.4.1	Spatial scale.....	47
1.4.2	Temporal scale .....	49
1.4.3	Objectives.....	49
1.4.4	Thesis Structure .....	51
1.5	References.....	53
2	FIRE REGIME CHARACTERIZATION: ANALYSES OF FIRE SIZE DISTRIBUTIONS. ....	61
2.1	Dataset and Methodology.....	63
2.1.1	Study area .....	63
2.1.2	Dataset .....	64
2.1.3	Methodology .....	65
2.2	All fires by different time subseries .....	67
2.2.1	Data treatment and results.....	67
2.2.2	Discussion (subsets allCAT) .....	77

2.3	Homogeneous Fire Regime zones.....	80
2.3.1	Data treatment and results.....	80
2.3.2	Discussion (HFR zones).....	82
2.4	Pyro-climatic regions.....	84
2.4.1	Data treatment and results.....	85
2.4.2	Discussion (pyro-climatic regions).....	88
2.5	Pyrenees region.....	90
2.5.1	Data treatment and results.....	92
2.5.2	Discussion (FSD in Pyrenees).....	98
2.6	General discussion.....	104
2.7	MAIN POINTS IN REVIEW.....	108
2.8	References.....	110
3	SYNTHESIS OF PYRO-RESILIENCE IN MOUNTAIN SOCIOECOLOGICAL SYSTEMS	116
3.1	Overall framework.....	117
3.1.1	Justification.....	117
3.1.2	Proposal.....	117
3.1.3	Design.....	123
3.1.4	Collateral effects.....	124
3.1.5	Implementation and Monitoring.....	124
3.2	The Aran case.....	125
3.2.1	Local (social) context.....	125
3.2.2	What exactly (objectives).....	127
3.2.3	Why there.....	128
3.3	The transdisciplinary research project approach.....	130
3.4	The new fire deal in Pyrenees.....	131
3.5	METHODOLOGY.....	134
3.5.1	The challenge.....	134
3.5.2	Starting point (initial strengths).....	134
3.5.3	Work team and roles.....	136
3.5.4	How to make it probable.....	138
3.5.5	How to make it possible (tactical inputs).....	141
3.5.6	The alternatives.....	146
3.5.7	Wildfire regime singularities.....	149
3.5.8	Wildfire regime modelling.....	150

3.6	PRODUCTS.....	154
3.6.1	Document of reference (DR).....	154
3.6.2	Web Map (ArcGIS online platform).....	155
3.6.3	MEDFIRE Aran compilation .....	155
3.7	MAIN POINTS IN REVIEW .....	156
3.8	References.....	158
4	TOWARDS A SUSTAINABLE FIRE MANAGEMENT.....	162
4.1	Future Research .....	164
	Appendix A.....	166
	List of figures .....	215
	List of tables.....	219
	Appendix B .....	220



## DEDICACIÓ

Ho dedico primerament als grans mestres de la meva infància; els meus pares, avis i àvies. Per què elles em van donar la llibertat per aprendre des de l'experiència. Per ensenyar-me a cuidar, respectar i admirar totes les formes de vida, per deixar-me conduir el tractor quan encara no podia aixecar una bala d'herba, per deixar-me aventurar amb pocs anys tot sol pel bosc per reunir-me a casa dels amics del poble veí, per deixar-me cultivar les aficions més enllà del treball, i sobretot, per mostrar-me que ni les atrocitats d'una guerra civil poden tòrcer les ganes de viure en llibertat.

Molt especialment dedico aquesta tesi a la llum de la meva vida, la Dolors (la Loles), per la teva paciència, per fer-me costat a les verdes i a les madures, per ser-hi sempre. Em va tocar "la grossa" el dia que ens vam conèixer! I amb tu, vam trobar els nostres dos àngels de la guarda, el Biel i el Nil. Sens dubte, vosaltres sou l'experiència més engrescadora i important de la meva vida.

A la meva mare, per connectar-me sempre amb allò més bàsic i màgic de la vida, i al meu pare en pau descansi, per ser alegria, generositat, humilitat i el millor referent que he tingut mai. Gràcies a tots dos per cuidar-me sempre, i donar-me la llibertat necessària per créixer.

Als meus germans, la Pili i el Toni, de qui simplement diré que són una part indissociable de la meva ànima. Amb vosaltres, la volta al món és bufar i fer ampolles. Quan sortim? Feliç també pel gaudi que suposa tenir unes nebodes i nebots tant ben parides. El buit que deixa la pèrdua de les persones més properes es cicatritza i regenera amb l'arribada de noves generacions, ecologia humana amb el tresor i valor afegit de les emocions. No canvieu mai Jan, Toni, Janick, Ivan, Carlota i Uly, sou bàlsams de vida positiva. Aproveiteu-ho al màxim, per més pals a les rodes que us posi la vida.

Als meus "sisters i brothers in law", amb qui no només hem compartit bones estones, sinó amb qui he après amb els pas dels anys a ser millor persona. Gràcies Nuri, Judit, Etienne i Jaime, millor team impossible!

Als amics i amigues, que no són pocs, i que no cal nombrar-los perquè la llista és llarga i ja sabran prou reconeixes. Merci per fer-me partícip de les vostres vides. En endavant tindrè més temps per fer la birra! per escapar-me a fer-vos una visita, etc.

I per últim, una dedicació terapèutica dirigida aquelles persones que s'han trobat còmodes durant anys fent de tap generacional, fagocitant les oportunitats de les noves generacions, alimentant el tòxic social de la burocràcia i en darrer terme, il·lastrant l'emprenedoria dins el sector públic. A tots vosaltres us desitjo que tingueu sort en endavant i us desitjo que pugueu omplir algun dia el vostre buit d'empatia.

## AGRAÏMENTS

El treball de tesi ha estat per mi com una mena de travessa que es podria resumir en tres fases. Una primera d'exploració i dispersió, tant polifacètica com sinuosa, que vindria a ser com pujar i baixar cims quan la ruta ja és factible pels colls de muntanya. Aquesta fase et demana més temps de travessa, assumir més compromisos i més riscos, però també t'aporta més visió, aprenentatges transversals i satisfaccions. He de confessar en aquesta metàfora que Piro\_Negawatt ha resultat sense pretendre-ho com fer-li el salt a la tesi. Deixem-ho en això, en una mena d'idil·li necessari on retrobar-me. La segona pantalla de joc és la gestació, un espai-temps on la inversió d'hores es dispara exponencialment, que es mesura en calendaris de treball impossibles, fins que acabes entenent que l'espai-temps es dilata i es contrau de forma no pas continua sinó discreta. La tercera fase és l'executiva, allí on comença la síntesi de tot plegat i que li veus la cara al bitxo a mesura que va avançant la redacció, aquell moment on ja veus de nou el camp base. En aquest trajecte he interaccionat amb moltes persones que m'han ajudat amb major o menor grau, juntament amb els intercanvis internacionals i les escapades piro-turístiques que són com fulcres de palanca que et posicionen en plans culturals diferents però que van interconnectant-se. Per motius d'espai no mencionaré a totes les persones que m'han ajudat, que són moltes. Només faré referència explícita a aquelles que han resultat, curt i ras, catalitzadores.

No obstant, el primer agraïment ha de ser en plural, pel Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya i en especial al GRAF, qui a base d'obrir traça en matèria de foc forestal ha sabut generar nínxols de creativitat dins organitzacions on l'estructura és tradicionalment jeràrquica i centralitzada. És en els ecosistemes d'innovació on organitzacions públiques del segle XX poden trobar noves fórmules que ajudin a adaptar-se als canvis que reclama del segle XXI. És precisament en un d'aquests microhàbitats on ha nascut i crescut aquesta tesi doctoral, motivada en darrer terme per un context complex de canvi global que té clares connotacions tant en matèria d'organitzacions d'emergències com d'impactes socioecològics. També en relació al Cos de Bombers vull recordar l'impacte personal d'un fet que no podria pas passar per alt. Vaig entrar al GRAF l'any 2009, la campanya d'estiu que va endur-se la vida de 5 companys i deixant fora de joc durant una llarga temporada al Pepe. A en Pau, el David, el Jordi, el Jaume, el Ramon, i per suposat al gentleman del Pepe, aquest treball és la meua manera personal d'homenatjar-vos. Cada vegada que us recordo és com re-calibrar la brúixola bomberil, donant-me lucidesa per tirar endavant en moments dubitatius. La tesi m'ha servit per cicatritzar una part d'aquesta ferida, i malgrat la obvietat que cap tesi pot revertir el passat, espero que aquesta feina feta aportí un granet de sorra en l'evolució de la comunitat d'emergències cap a la resiliència (=> evitar el col·lapse).

En aquest ecosistema de treball lligat a les emergències tothom hi suma una miqueta, però pel cas que ens ocupa vull destacar el paper del Marc Castellnou com a "pastor del ramat" i mentor. La seva lucidesa, tossuderia, visió i capacitat d'anàlisi a l'hora d'interpretar i posar llum a les diferents "realitats" amb què es pot mirar al món dels incendis és simplement aclaparadora. Marc és d'aquelles persones que ha viscut varies vides professionals en una sola vida, i aquesta densitat d'experiències compartida a neòfits com jo resulta com obrir una finestra enmig d'una paret: la llum que entra serveix per entendre el present, la ventilació natural ajuda a renovar l'aire de les estàncies i alhora, mirant des d'aquesta finestra es pot veure tot el camp que hi ha fora per explorar. És així com un pren consciència que allò que marca la diferència no són tant les circumstàncies que t'envolten sinó la resposta que activis tu davant la situació present. Sense tu Marc de ben segur que no m'hauria plantejat una tesi doctoral de sostenibilitat dins el context de les emergències. A tu Marc, a tot l'equip de la UT, als companys i companyes de la unitat GRAF Lleida que m'han "patit", i a totes les persones que han anat empenyent l'especialitat, moltíssimes gràcies.

La segona persona que ha estat fulcre de palanca ha estat en Martí (Rosas), un altre pastor, en aquest cas del SUMMLAB. El Martí va cometre la “temeritat” de confiar amb la proposta d’un “piròleg”. Xafardejant entre facultats al marge de les meves classes d’enginyeria energètica, vaig acabar fent l’assignatura de “Sistèmica i Complexitat” com a crèdit de lliure elecció. Recordo les teves classes com l’experiència on vaig anar visualitzant la possible interconnexió entre la sostenibilitat i el món de les emergències. Tu Martí ets qui m’has ensenyat que madurar les preguntes és tant o més important que buscar les respostes, i allò tant universal que la paciència és la mare de la ciència. Merci per la teva generositat, per la teva confiança, per la teva vocació pública com a docent i t’hauré d’agrair també, per inversemblant que sembli, haver-me tirat al fang per encarar-me als superherois de R i Python. Dit això, sàpigues però que tens pendent pujar al Pirineu i venir de pas a alguna crema prescrita. Allí ens canviarem els rols de mestre i aprenent (😊).

La tercera persona a qui li vull donar unes gràcies majúscules és a l’Andrea (Duane). Tu vas escoltar la proposta d’un bomber sense prejudicis, i no només això sinó que de forma molt generosa i talentosa has donat l’empenta necessària per poder pujar l’esglaó de la modelització en un projecte com el de la Val d’Aran. Queda confirmat per enèsima vegada a la història que darrere qualsevol cosa “que val la pena” hi ha un equip humà ben cohesionat, capaç de cooperar i de generar sinèrgies. Treballar amb tu ha estat com pujar en un tren d’alta velocitat. Llarga vida a la recerca transdisciplinar!

Vull agrair també l’actitud generosa de la Nuria (Prat) i el Iago (Otero) com a revisors. Gràcies per fer-ho tot tant senzill! Núria, han passat uns quants anys des de Vilnius, juliol 2013!, on vas haver d’empassar-te una hora de “key lecture” d’un servidor que et confesso no sabia massa on aterrava. No és pas cap casualitat que avui estiguis assumint la direcció científica de la Fundació Pau Costa, per mi ets un exemple clar que confiar i donar responsabilitat a les generacions joves és cabdal per avançar socialment. Amb tu Iago ens vam conèixer caçant incendis pel “serengueti” català, recordo que anaves a cavall del G00, mig marejat de córrer per Catalunya amunt i avall amb la missió insòlita de conèixer el rol de la comunitat GRAF en el metabolisme social dels incendis. Te’n vas sortir prou bé, amb escreix de fet; la teva lucidesa a l’hora d’interpretar la realitat de casa nostra en matèria d’incendis ha estat des de llavors inspiradora. T’he de dir que malgrat la via telemàtica és molt pragmàtica, em reservo una visita a Lausanne!

Hi ha una persona que no és d’eixe món del foc i que sense ell saber-ho m’ha ajudat a traçar el camí de la tesi, tant com la resta mencionada. Aquest company és el Josep, o el Doctor Arquitecte Josep Bunyesc, amb qui compartim amistat, una curiositat desbocada, i una complicitat especial a l’hora d’entendre i practicar la sostenibilitat. El teu mestratge empíric i haver compartit unes quantes aventures plegats aquests darrers anys han tingut el seu impacte! Amb tu de company de viatge he anat construint poc a poc el meu modus operandi de la tesi, re-interpretant, fins al punt de fer-ne la missió, que l’acció és el valor afegit en la ciència de la sostenibilitat. És en part gràcies a tu que l’energia concentrada en la tesi haurà esdevingut abans projecte que defensa acadèmica.

Per últim, agraïments al Ignasi (Alberich), amb tu vam fer el primer win-win de la tesi!; a la Pepa (Moran) i l’Anna (Zahonero) del MBLandArch, gràcies per invitar-me a descobrir l’arquitectura del paisatge i a participar en el vostre món creatiu.

A TOTES I TOTS, MOLTES GRÀCIES PER LA VOSTRA AJUDA.

## VITA

### ❖ Activitats destacables durant el doctorat:

#### 1. ACTIVITAT LABORAL

- Bomber a jornada complerta dins la unitat GRAF Lleida del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya (2009-2020). Especialista tàctic.

#### 2. INTERCANVIS

- Intercanvi en el marc dels programes Life Taiga i Life Pinassa, com expert en cremes prescrites i ecologia del foc. Suècia, octubre 2017.
- Estància al Forest Service (Missoula, USA) vinculada a la participació del GRAF en The Fire Continuum Conference, co-organitzada per la Association for Fire Ecology i la International Association of Wildland Fire. Maig 2018.
- Intercanvi d'experts en cremes prescrites al GAUF. Portugal, febrer 2019.
- Intercanvi Europeu d'Experts en Protecció Civil, Cremes Prescrites i Piro-ecologia. Noruega, Maig 2019.

#### 3. PONÈNCIES

- "Resiliència d'una unitat operativa després de l'accident i col·lapse en l'incendi Forestal d'Horta de Sant Joan". Congrés Dimensió humana en la gestió de las grandes emergencias. Barcelona, octubre 2015.
- "Prescribed burning and eco-innovation projects for multifunctional management in the Pyrenees of Lleida". Congrés International on Prescribed Fires. Barcelona, febrer 2017.
- "Modeling the complexity of fire regimes from a transdisciplinary approach; statistical patterns, the vision of fire experts and the concept of wildfire generations". World Conference on Natural Resource Modeling. Barcelona, Juny 2017.
- "Co-working with landscapes, the complex systems approach". MBLandArch lectures (UPC). Barcelona, abril 2018.
- "Characterizing and tackling the singularity of Pyrenees fire regimes". I Forum on Catalan Wildfire Research. Barcelona, novembre 2018.
- "Ecologia del foc i cremes als Pirineus". Jornada Cremes Prescrites en alta muntanya (Parc Natural Alt Pirineu). La Guingueta d'Àneu, novembre 2018.
- "Canvi climàtic i incendis de sisena generació als Pirineus". Jornada Efectes Canvi Climàtic en els boscos i pastures de muntanya dels Pirineus, marc Life \_Clinomics. La Seu d'Urgell, febrer 2019.
- "Incendis i Canvi Climàtic als Pirineus". Jornades de divulgació científica del Centre de Recerca Cerdanya. Puigcerdà, agost 2019.
- "The new normal escalation in fire regimes". Jornada Boreal Forests and Climate Change in Norway (University of South-Eastern Norway). Bo, maig 2019.
- "Canvi Climàtic i canvi de règims de foc als Pirineus. Què hem après?". Cicle de jornades 10 anys incendi d'Horta de Sant Joan. La Guingueta d'Àneu, octubre 2019.
- "The hammer of extinction and the dance with wildland fire use; the new fire deal in Pyrenees to foster socioecological resilience to climate change challenges". Symposium on Mountains as contexts for Global Change (18th Swiss Geoscience Meeting). Zürich, novembre 2020.

4. PARTICIPACIÓ EN PROJECTES RECERCA
  - Projecte de recerca Pharos (Project on a multi-hazard open platform for satellite based downstream services). <http://www.pharos-fp7.eu>. Rol: implementació de cremes prescrites realitzades des del Cos de Bombers, com a organització integrant del Consorci del projecte Pharos. Catalunya, 2016-2018.
  - Projecte de recerca Life Pinassa (Sustainable management for conservation of Black Pine forests in Catalunya). <http://lifepinassa.eu/?lang=ca>. Rol: implementació de cremes prescrites realitzades des del Cos de Bombers, com a organització integrant del Consorci del projecte Life Pinassa. Catalunya, 2016-2018.
  - Projecte transdisciplinar lligat al Pla Estratègic Gestió Règim de Foc 2020-2030, Val d'Aran. Rol: direcció tècnica. Val d'Aran, octubre 2019 – maig 2020.
5. REALITZACIÓ CURSOS
  - Aprofitament ArcGIS / Collector, aplicat a la Gestió d'Emergències. Institut de Seguretat Pública de Catalunya. Mollet del Vallès, gener 2018.
6. DOCÈNCIA
  - Institut de Seguretat Pública de Catalunya (ISPC). Matèries teòriques i pràctiques relacionades al disseny i pràctica de cremes prescrites, ecologia del foc, maniobres i tècniques de foc tècnic aplicades en extinció d'incendis, entre altres. Formació dirigida a col·lectius d'emergències nacionals i internacionals, així com gestors del medi natural interessats en la implementació de l'ús del foc prescrit. Catalunya, 2015-2020.
7. ALTRES ACTIVITATS PARAL·LELES
  - Col·laborador eventual a la Fundació Pau Costa com a soci cofundador (2010-2020). <http://www.paucostafoundation.org>
  - Col·laborador i soci cofundador de Piro\_Negawatt, SCCL (2014-2020). <https://www.negawatt.cat/>
- ❖ Publicacions en revistes indexades (prèvies al doctorat)
  - Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenisation determine fire regimes in three Mediterranean areas. Lasse Loepfe, Jordi Martinez-Vilalta, Jordi Oliveres, Josep Piñol, Francisco Lloret (2010). IF 2015, 2.826; 5-year IF, 3.230.
  - Cardil, A., Molina, D., Oliveres, J., Castellnou, M. (2016): Fire effects in Pinus uncinata Ram. Plantations. Forest Systems, Volume 25, Issue 1, eSC06. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016251-08919>.
- ❖ Altres publicacions
  - Handbook 1.0. Guia de camp en incendis forestals. Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya. ISBN 978-84-694-6879-1.
  - El Model Medfire Val d'Aran. Disseny, inicialització, simulació i resultats. Andrea Duane, Jordi Oliveres, Núria Aquilué i Lluís Brotons. Abril 2020. CTFC, CREA, Departament d'Interior de la Generalitat de Catalunya (Cos de Bombers) i ISST (UPC). ISBN L-.486-2020.

❖ Perfil acadèmic

- Bachelor of Science degree in Environmental Science. Fairleigh Dickinson University. New Jersey, 1999.
- Master in Advanced Studies on Natural Systems Analysis. Universitat Autònoma de Barcelona – Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental. Bellaterra, 2008.
- Master in Advanced Studies on Energy Engineering. Universitat de Barcelona – Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2013.
- PhD candidate in Sustainability Science. Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona, Spain (2015-2020).

❖ Experiència professional

- Consultoria de projectes d'enginyeria i gestió ambiental. Col·laborador extern per a petites i mitjanes empreses, incloent assessorament a entitats públiques (2000-2007).
- Bomber generalista al Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya (2002-2009).
- Bomber especialista GRAF al Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya (2009-2020)

## PREFACE

This thesis is born of determination to connect the learnings of the emergency community with those of sustainability science and technology. The 21<sup>st</sup> century is largely characterized by having to deal with a complex socio-ecological context where the typology of environmental impacts also has and will have direct connotations in terms of emergency management. It is within this complexity that emergency organizations will have to molt the skin of the old paradigms to explore adaptive formulas for cooperation and resilience beyond defense. It is in the creative vision where the opportunity to cultivate socio-ecological resilience is born, and a derivative of this new paradigm is fire management understood as the positive selection of fire extensively.

Strategic eco-innovation within organization nets thus becomes an adaptive formula aimed at domesticating fire regimes to protect and manage the common good. The doctoral thesis is addressed by default to the scientific community, but the determination acquires special significance at the time it counts and is re-approved by the emergency community as well as public and private land managers who deal with landscape, mitigation and adaption to climate change, or biodiversity conservation. The thesis is the result of an effort of analysis to better understand fire regimes (chapter 2), and a synthesis of a strategic framework to action a pyro-sustainability paradigm shift in mountain areas (chapter 3). Thus, and compared to other science research disciplines, I recognize action as the added value of the sustainability science.

### Coproducts of the thesis

- Strategic Plan of the Aran for a Sustainable Fire Regime Management (Project design).
- Web mapping, GIS platform (Project Management).
- MEDFIRE Aran (Landscape dynamics modelling)

### Pending publications

- Self-organization in wildfire regimes of Catalonia; the hammer of fire services and the arched back in fire size probability distributions.
- How Pyrenees burn? The recent past and the emergent challenges and opportunities.
- Resilient bifurcations in Pyrenees wildfire regimes; how to dance the VUCA song in emergency management at the edge of criticality and global change.

## ABSTRACT

Fire regimes are changing under the influence of global change. On the European continent, landscape memory in the 21<sup>st</sup> century is dominated by an accumulation of forest fuel and interrupted by a progressive climatic forcing that generates a latitudinal and altitudinal escalation of wildfire generations. Catalonia, and especially the mountain areas, is located within these pyro-climatic niches where the gradients of productivity-aridity are in a situation of remarkable vulnerability. In these areas of impact fires are expected to play an ecological role of renewal (adaptation) with no precedents in recent history, at the expense of a high socio-ecological severity in the short-medium term, though.

In the first block, the thesis analyses the probability distributions of burned areas at different space-time scales in order to better understand the statistical nature of fires in Catalonia in recent history. In line with other existing publications, the analysis demonstrates the positive impact of the fire prevention and extinction system, with a significant reduction of the potential of large fires since the beginning of the 21<sup>st</sup> century. At the same time, the analysis also shows an arched back effect in the middle range of the probability distributions, as well as a more sustained correlation in the lower range of fires, since there is a better field data collection. The analysis focuses on different space-time aggregates in Catalonia, considering the homogeneous fire regime zones, proposing new landscape aggregates such as the pyro-climatic regions, and paying special attention to the Pyrenees region.

In the second block, the research effort focuses on the synthesis of a case study. Knowledge of basic research is used, previously available tools for modelling the dynamics of the landscape are adapted, and new parameters are proposed – such as the ecological fire flow – in order to finally take the whole thing to the field of the science of sustainability, that is to say, to look for, from transdisciplinarity and real action, some cases of study in which to put in practice the new paradigm of the positive selection of fire beyond the virtual experimentation. Although the case study responds to a demand from the government of Aran to promote a program of prescribed burns, it is above all an explicit proposal of the Catalan Fire and Rescue Services to prototype fire management in the Pyrenees including the lessons of the community of experts as well as the concerns of public and private managers in a context of global change. The synthesis consists in integrating tactical expertise and scientific knowledge to provide a technically viable alternative (project design and project management) which in turn offers an Aran-sized modelling tool capable of integrating succession dynamics, fire regime, climatic scenarios and different alternatives of response / management, as well as of quantifying the impacts on key environmental vectors such as habitat diversity and effects on protective forests, among others.

In short, the thesis demonstrates the potential benefit of positive fire selection from the statistical analysis of the historical fire regime (the hammer effect) and the virtual experimentation (MEDFIRE Aran). On this basis, it proposes a framework of action (the pyro-sustainability) specifically adapted to the size of Aran territory which allows to deploy strategies for both the extinction and reduction of the high severity, and the prescribed use of fire in burns and fire management in pre-agreed and pre-planned spaces. The general aim here is to break with the paradox of extinction and to align the resilience of the landscape with the changing climatic conditions in the medium-long term. Many scientific contributions conclude the need to change from the era of extinction to the era of regime management. The thesis provides precisely an effective methodology for sustainable coexistence with fire, especially in mountain regions –applicable to the Pyrenees and other mountain massifs–, which would prevent these large spaces of biodiversity from being left to the chance of extreme weather.



## RESUM

Els règims de foc estant canviant sota la influència del canvi global. En el continent europeu, la memòria de paisatge en ple segle XXI està dominada per una acumulació del combustible forestal, i irrompuda per un forçament climàtic progressiu que genera un escalada latitudinal i altitudinal de les generacions d'incendi. Catalunya, i especialment les zones de muntanya, està dins d'aquests nínxols piro-climàtics on els gradients de productivitat-aridesa estan en una situació notablement vulnerable. En aquestes zones d'impacte es preveu que els incendis juguin un paper ecològic de renovació (adaptació) sense precedents en la història recent, a costa però d'una alta severitat socioecològica a curt-mig termini.

En un primer bloc, la tesi analitza les distribucions de probabilitat d'àrees cremades a diferents escales espai-temps per tal de conèixer millor la naturalesa estadística dels incendis de Catalunya en la història recent. En la línia d'altres publicacions ja existents, l'anàlisi demostra la incidència positiva del sistema de prevenció i extinció d'incendis, havent reduït significativament el potencial dels grans incendis des de l'inici del segle XXI. Alhora, demostra també com es produeix un arqueig en les distribucions de probabilitat en la franja mitja, així com també una correlació més sostinguda en la franja baixa d'incendis. L'anàlisi es centra en diferents agregats espai-temps de Catalunya, des de les zones homogènies de règim, proposa fins i tot nous agregats paisatgístics com les regions piro-climàtiques de Catalunya, i posa una atenció especial als Pirineus per ser la zona on es preveu una alteració major dels nínxols piro-climàtics i d'escalada de generacions d'incendi.

En un segon bloc, l'esforç de recerca se centra en la síntesi d'un cas d'estudi. S'aprofiten coneixements de la recerca bàsica, s'adapten eines ja disponibles de modelització de la dinàmica del paisatge, i es proposen nous paràmetres com el cabal ecològic de foc per finalment portar-ho tot al camp de la ciència de la sostenibilitat, és a dir, per buscar, des de la transdisciplinarietat i l'acció real, casos d'estudi on posar en pràctica el nou paradigma de la selecció positiva del foc més enllà de l'experimentació virtual. El cas d'estudi respon a una demanda del govern de l'Aran per impulsar un programa de cremes prescrites però sobretot, és una proposta explícita del Cos de Bombers de la Generalitat per prototipar la gestió d'incendis al Pirineu incloent els aprenentatges de la comunitat d'experts, així com les inquietuds dels gestors públics i privats en un context de canvi global. La síntesi consisteix en integrar expertesa tàctica i coneixement científic per proveir una alternativa tècnicament viable (project design i project management), i oferint també una eina de modelització a mida de l'Aran capaç d'integrar dinàmiques de successió, règim d'incendis, escenaris climàtics i diferents alternatives de resposta/gestió així com capaç de quantificar impactes sobre vectors ambientals clau com la diversitat d'hàbitats, l'afectació de boscos protectors, entre altres.

En definitiva, la tesi demostra el benefici potencial de la selecció positiva del foc a partir de l'anàlisi estadístic del règim d'incendis històric (the hammer effect) i de l'experimentació virtual (MEDFIRE Aran). A partir d'això proposa un marc d'acció (la piro-sostenibilitat) dissenyat a mida de l'Aran, capaç de desplegar estratègies tant per l'extinció i reducció de l'alta severitat, com també per a l'ús prescrit del foc en format cremes i gestió d'incendis en espais pre-consensuats i pre-planificats, tot plegat amb l'objectiu de trencar amb la paradoxa de l'extinció i alinear a mig-llarg termini la resiliència del paisatge davant les condicions climàtiques canviant. Són nombroses les aportacions científiques que conclouen la necessitat de canviar de l'era de l'extinció a l'era de la gestió del règim. La tesi proporciona precisament una metodologia efectiva per la coexistència sostenible amb el foc, especialment en regions de muntanya, fent-la adaptable a escala Pirineus i en altres massissos de muntanya, evitant d'aquesta manera deixar aquests grans espais de biodiversitat abocats a l'atzar de la meteorologia extrema.



**THE SUSTAINABILITY SCIENCE APPROACH TO  
FIRE REGIME COMPLEXITY**

## 1 INTRODUCTION

Sustainability science is a holistic field focused on examining the interactions between human, environmental, and engineered systems to understand and contribute to solutions for complex challenges that threaten the future of humanity and the integrity of the life support systems of the planet, such as climate change, biodiversity loss, pollution and land and water degradation (Bettencourt et al, 2011). Although definitions vary, three characteristics appear to be fundamental: sustainability science is transdisciplinary, provides integrated analysis, and is aimed at action (Kauffman 2009). Like sustainability itself, sustainability science derives some impetus from the concepts of sustainable development and environmental science. Sustainability science provides a critical framework for sustainability while environmental and systems measurement provides the evidence-based quantitative data needed to guide sustainability governance (Komiya et al, 2006).

Sustainability science emerged in the 21<sup>st</sup> century as a new academic discipline, and it was officially introduced as a new field of science with a "Birth Statement" at the World Congress "Challenges of a Changing Earth 2001" in Amsterdam organized by the International Council for Science (ICSU), the International Geosphere-Biosphere Program (IGBP), the International Human Dimensions Program on Global Environmental Change and the World Climate Research Program (Kates et al, 2001). Ecologist William C. Clark proposes that it can be usefully thought of as "neither basic nor applied research but as a field defined by the problems it addresses rather than by the disciplines it employs", and that it "serves the need for advancing both knowledge and action by creating a dynamic bridge between the two" (Clark 2007).

Considering Pasteur's quadrant (Stokes, 1997; figure 1) sustainability science is well represented inside the research class known as «use-inspired basic research», or in other terms, scientific research projects that seek fundamental understanding of scientific problems, while also having immediate action and use for society (Stokes 1997; Morgan 2005). From this perspective, the impact of scientific findings in publications is not everything, and analogously, actions without scientific support are usually too weak and uncertain.

As a PhD researcher in Sustainability Science, to tackle fire regimes complexity I have chosen and embraced a research strategy based on transdisciplinarity. In practice, that means that to gain a significant impact, the research must be inclusive with social agents involved, provide tailored findings to support decision-making in strategic plans and inspire design for deep systems innovation.

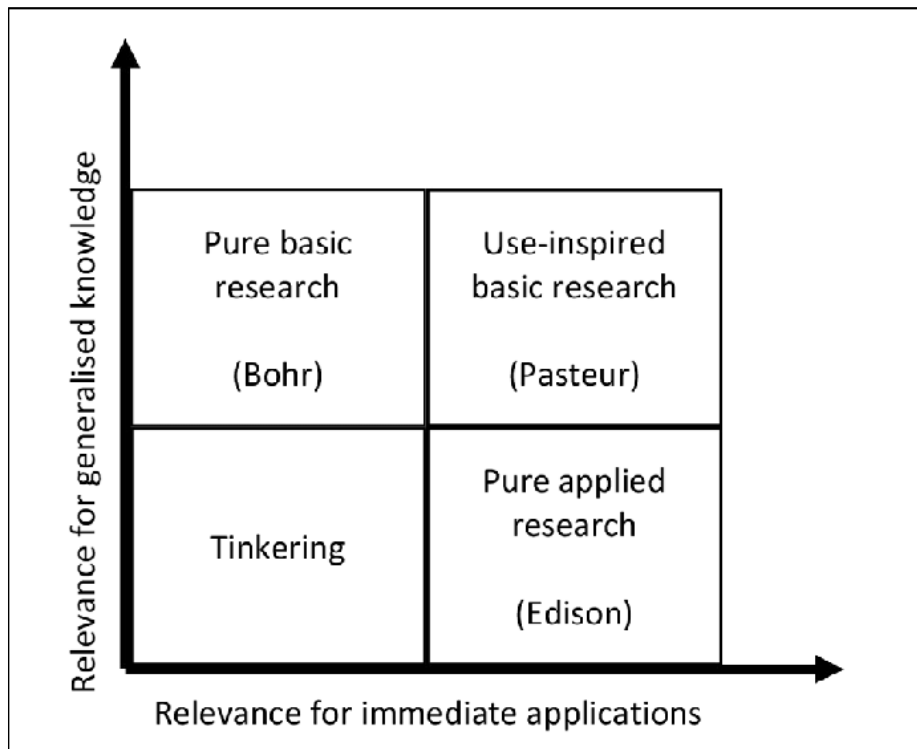


Figure 1. Pasteur's quadrant (Stokes, 1997)

## 1.1 SUSTAINABILITY SCIENCE AND FIRE REGIMES

### 1.1.1 Wildland fire science

Perhaps the image most often associated with wildland fire is one of destruction. While it is true that fire has a great potential for the destruction of homes, wildlife, and even human life, fire is just one of many natural forces within ecosystems. Traditionally, fire was understood as a good servant but a bad master, meaning it was a tool for many daily tasks such as heating, cooking, or managing landscape at significant levels in the case of shepherds. In parallel, a bad master refers to the fact fire can be detrimental and harmful when it is uncontrolled. Nowadays, fire is easily misunderstood to non-expert eyes, especially for urban societies where fire has lost its meaning as a tool and only erupts in an uncontrolled manner. In a similar manner that it makes no sense trying to eliminate water from the environment for the fact floods and avalanches occur from time to time, fire eradication mentality makes no sense. Fire effects in ecosystems are highly diverse in time and space when considering its chemical, biological, and physical aspects. In statistical terms, extreme wildfire behavior is possible, but it is a less common phenomenon. On the other hand, fire regimes where human intervention has been successful, implementing suppression policies systematically along the years, have become more vulnerable in terms of socio-ecological resilience and adaptability (Pausas, 2012; Pausas, 2018).

Wildland fire science covers a wide variety of disciplines to study the causes of wildfires, spread patterns, weather interactions, fire behavior, non-linear growth dynamics, negative and positive effects in ecosystems, or help prevent and manage larger, catastrophic events, among others. The main themes related to this multi-disciplinary area of research may include<sup>1</sup>:

- Dynamics and risks.
- Plant, animal, and ecosystem effects.
- Geological and hydrological process effects.
- Human dimension.
- Management tools.
- Restoration and recovery.
- Geospatial and Remote Sensing applications.

Wildland fire scientists also work on providing tools that are used by stakeholders to make decisions before, during, and after wildfires, including the use of prescribed fire. Additionally, even fire ecology could be considered a scientific discipline under the umbrella of wildland fire science. The notoriety of fire ecology in this thesis deserves to point out the field of knowledge concerned with natural processes involving fire in ecosystems, its ecological effects, the interactions between fire and the abiotic and biotic components, and in general terms, the role of fire as an ecosystem process (Scott A.,

---

<sup>1</sup> <https://www.usgs.gov/special-topic/fire/science>

2018). Fire ecologists study the origins of fire, what influences spread and intensity, fire's relationship with ecosystems, and how controlled fire can be used to maintain ecosystem health. Ecological modelling and big geodata analysis are examples of skills often required for fire ecologists, among other multidisciplinary methods. Nonetheless, since fire in nature has been scientifically proven to exist since the Silurian period, and proposed as an ecological process and evolutionary force beyond human existence, earth sciences and fire ecology are increasingly part of the same game (Pausas et al., 2009). Thus, tools and methods usually exploited in fire ecology research come from geology, chronology, physics, chemistry, geography, biology, and mathematics to build a quantitative understanding of how fire interacts and evolves in ecological systems.

Wildland fire science and fire ecology are closely interconnected in many senses. However, when dealing with land policies, collateral aspects interrelated with social systems constrain the actions to implement and cause outcomes far from being coherent with initial statements. Meanwhile, although episodes of extreme fire behavior are increasing worldwide<sup>2</sup>, in the case of the emerging sustainability science, wildland fire phenomenon is poorly noticed or directly out of the agenda.

In some regions, mainly in North America and Northern Australia, the community of experts and aborigines respectively, have been working actively towards fire resilience instead of feeding a total fire eradication paradigm<sup>3</sup>. Nonetheless, this cultural change in absolute numbers is still far away to happen extensively.

This thesis starts from the scientific evidence that "fire is a ubiquitous process in ecosystems" dynamics, neither good nor bad in natural systems just depending basically on the partial perspective we get in space and time. But above all, this thesis focuses on the premise that sustainability science must serve the need for advancing significantly both knowledge and actions related to wildland fire and resilience in socio-ecological systems.

### 1.1.2 Complex Systems

There is no agreed-upon definition for a complex system (CS) but there are many of them. The *Advances in Complex Systems Journal*<sup>4</sup> gives us this definition: "A system comprised of a (usually large) number of (usually strongly) interacting entities, processes, or agents, the understanding of which requires the development, or the use of, new scientific tools, nonlinear models, out-of-equilibrium descriptions and computer simulations" (Petty, 2020). Probably the only property that will be in all definitions of a complex system is that they consist of many elements interacting on many different levels and scales.

---

<sup>2</sup> **What are the main causes of wildfires and what can we do to prevent them? | World Economic Forum (weforum.org)**

<sup>3</sup> <https://jgpausas.blogs.uv.es/2012/07/24/australian-aboriginal-fires-preserve-biodiversity/>

<sup>4</sup> <https://www.complex-systems.com/about/>

A complex system is a special class of system that has the characteristic of complexity, meaning it is composed of many diverse and autonomous components that interact in a nonlinear, networked fashion with the whole system evolving over time. On the other hand, complexity theory is a set of theoretical frameworks used for modeling and analyzing complex systems within a variety of thematic domains (Turner and Baker, 2019). It can be understood as a composite of several major modeling frameworks including systems theory, nonlinear systems, network theory, complex adaptive systems, and self-organization theory.

Considering the main topics of this thesis as fire regimes, emergency management organizations or sustainability in socio-ecological systems, the fact is that nonlinear dynamics seem more accurate than linear systems theory, basically because in the topics mentioned there are many elements interconnected simultaneously performing at different scales of time and space. Among others, complex systems may have cascading failures, memory, feedback loops, non-linear relationships behave as open systems, exhibit critical transitions, and produce emergent phenomena (Prokopenko, 2018; Litzow et al, 2016).

Critical transitions are abrupt shifts in the state of ecosystems, and may occur when changing conditions pass a critical or bifurcation point (Guttal et al, 2008). The direction of critical slowing down in a system's state space may be indicative of a system's future state after such transitions when delayed negative feedback leading to oscillatory or other complex dynamics are weak. Recovery from a critical transition may require more than a simple return to the conditions at which a transition occurred, a phenomenon called hysteresis. The history of a complex system may thus be important. Because complex systems are dynamical systems they change over time, and prior states may have an influence on present states. Interacting systems may have complex hysteresis of many transitions.

Non-linear relationships in practical terms mean that a small perturbation may cause a large effect, or even no effect at all but never a proportional effect. In linear systems, the effect is always directly proportional to cause. At the same time, relationships contain feedback loops that can be both negative (damping) and positive (amplifying) feedback.

All these complex systems features are ubiquitous in landscape dynamics and socio-ecological systems, and in that sense, there are many concepts linked to complex systems that are directly and indirectly exploited and explored in this thesis. Below I introduce a few concepts with the aim to capture somehow the intellectual scope of this thesis in relation with CS. These key concepts selected are the following:

- a) Dissipative system
- b) Nonlinearity
- c) Power laws and universality
- d) Emergence
- e) Self-organization
- f) Adaptation

**a) Dissipative systems.** A dissipative system is a thermodynamically open system which is operating out of, and often far from, thermodynamic equilibrium in an environment with which it exchanges energy and matter. Living systems are a paradigmatic dissipative system, but there is also dissipative behavior in abiotic systems. For instance, tornados, fires, floods, volcanos, earthquakes, and other natural disturbances may be thought of as dissipative systems. A dissipative structure is a dissipative system that has a dynamical regime that is in some sense in a reproducible steady state. This reproducible steady state may be reached by natural evolution of the system, by artifice, or by a combination of these two (Chan et al, 1995).

**b) Nonlinearity.** CS systems have nonlinear behavior, meaning they may respond in different ways to the same input depending on their state or context. In mathematics and physics, nonlinearity describes systems in which a change in the size of the input does not produce a proportional change in the size of the output. For a given change in input, such systems may yield significantly greater than or less than proportional changes in output, or even no output at all, depending on the current state of the system or its parameter values. Due to what are called feedback loops, nonlinear systems may grow or decay at an exponential rate. These periods of rapid change are defined as phase transitions. Thus, complex systems are known to be able to shift or flip into whole new regimes within very brief periods of time. Nonlinearity is in many ways an expression of the deep interdependent nature of complex systems (Prokopenko, 2018).

If we focus on fire behavior, nonlinear patterns are ubiquitous. That is precisely because fire behavior is the product of many interconnected aspects performing at different scales of time and space. For example, if we consider an ignition in a forest, its potential to spread and to grow depends on many environmental factors. One day an ignition may grow in a few hours creating a convective column up to the limits of the troposphere and being able to modify meteorological conditions at a regional scale, while another day the same ignition in the same place may not be able even to propagate in low intensity. Fortunately, fire is diverse in many senses and there is a huge range of nuances in fire behavior between the two mentioned extremes.

**c) Power laws and universality.** In statistics, a power law is a functional relationship between two quantities, where a relative change in one quantity results in a proportional relative change in the other quantity, independent of the initial size of those quantities: one quantity varies as a power of another (Newman, 2005). The equivalence of power laws with a particular scaling exponent can have a deeper origin in the dynamical processes that generate the power-law relation. In physics, for example, phase transitions in thermodynamic systems are associated with the emergence of power-law distributions of certain quantities, whose exponents are referred to as the critical exponents of the system. Diverse systems with the same critical exponents – that is, which display identical scaling behavior as they approach criticality – can be shown to share the same fundamental dynamics. For instance, self-organized critical systems, where the critical point of the system is an attractor. Formally, this sharing of dynamics is referred



to as universality, and systems with precisely the same critical exponents are said to belong to the same universality class.

**d) Emergence.** Another common feature of complex systems is the presence of emergent behaviors and properties: these are traits of a system that are not apparent from its components in isolation but which result from the interactions, dependencies, or relationships they form when placed together in a system. Emergence broadly describes the appearance of such behaviors and properties, and, has applications to systems studied in both the social and physical sciences. While emergence is often used to refer only to the appearance of unplanned organized behavior in a complex system, it can also refer to the breakdown of an organization; it describes any phenomena which are difficult or even impossible to predict from the smaller entities that make up the system. One example of a complex system whose emergent properties have been studied extensively is fire percolation in forests (Turcotte, 1999). By means of cellular automata, fire percolation models are implemented in a grid of cells, each having one of the finitely many states, a simple set of rules. These rules guide the "interactions" of each cell with its neighbors. Although the rules are only defined locally, they have been shown capable of producing globally interesting behaviors, as the presence of criticality and tipping points in forest fires.

**e) Self-organization.** Process where some form of overall order arises from local interactions between parts of an initially disordered system. More formally, self-organization is understood as a reduction of statistical entropy. Chaos theory discusses it in terms of islands of predictability in a sea of chaotic unpredictability. Self-organization relies on four basic ingredients: (a) strong dynamical non-linearity, (b) balance of exploitation and exploration, (c) multiple interactions, and (d) availability of energy. The process itself can be spontaneous when sufficient energy is available, not needing control by any external agent. It is often triggered by random fluctuations and amplified by positive feedback. The resulting organization is decentralized, distributed over all the components of the system. As such, the organization is typically robust and able to survive or self-repair substantial perturbation. Self-organization is realized in the physics of non-equilibrium processes, where the concept has proven useful in many fields. For instance, in biology, from molecular to ecosystem level (Solé et al, 2012; Scott et al, 2003). In physics, self-organized criticality (SOC) is a property of dynamical systems that have a critical point as an attractor (Newman, 2005; Turcotte, 1999). Their macroscopic behavior thus displays the spatial or temporal scale-invariance characteristic of the critical point of a phase transition, but without the need to tune control parameters to a precise value, because the system, effectively, tunes itself as it evolves towards criticality.

**f) Adaptive systems and Evolvability.** Complex adaptive systems (CAS) are special cases of complex systems that are adaptive in that they have the capacity to change and learn from experience (Levin, 2012). Evolvability is defined as the capacity of a system for adaptive evolution. In this thesis, as far it puts part of the attention in emergency organizations and landscape dynamics, both CAS and evolvability are well represented in the concept of fire generations introduced in section 1.2.

Finally, it makes sense to emphasize that complex systems theory not only deals with better understanding and analyzing, but also has direct implications in systems design and management. This is the case of this thesis, where both aspects have been explored (chapter 2, analysis) and exploited creatively (chapter 3, synthesis). Thus, considering the definition proposed by Kauffman (2009) about sustainability science, the thesis is transdisciplinary, provides integrated analysis, and is aimed at action.

Complex systems design is crucial to understand the experimentation linked to chapter 3 of this thesis. Whereas the traditional approach is very much focused on components and designing things, complex systems design is about connecting these things together, and networks are the platforms through which we connect things into systems that deliver functionality. Instead of focusing on the properties of things, the primary focus here is on how to design the protocols and (social) interactions so that diverse components can work together. Thus, complex systems design is focused on the development of open systems that integrate diverse components through dynamic (socio-ecological) networks, with global functionality emerging from the bottom-up as elements interact, adapt, and evolve over time.

The aim of this thesis is, after all, to design a socioecological framework where certain processes (dynamics) may occur differently than usual, creating an alternative functioning where eco-innovation may arise and that we propose as the pyro-sustainability framework.

### 1.1.3 Fire Regimes characterization (quantifying fire regimes).

A fire regime is a generalized description of the role fire plays in an ecosystem over a long period (decades/centuries). A fire regime is typically a statistical concept that can be characterized best through parameters as (Agee 1993, Agee 1998):

- Intensity
- Extent (size classes)
- Severity
- Frequency
- Seasonality
- Fire interval return

However, descriptive, and parallel findings at any scale of ecosystem dynamics, wildfire behavior, fire spread patterns, etc. always enrich the characterization of fire regimes, and are always needed by fire managers.

Forest types develop a distinct structure under the influence of a specific fire regime because of the interaction between the different parameters just mentioned and their environment. However, referring to a natural fire regime makes little sense in regions with strong anthropogenic influence, such as the Mediterranean basin. One must go far back in time when climatic and vegetation conditions were different from today to find

a hypothetical situation with only little impact by humans (Lloret, 2003; Delgado et al, 2004). Therefore, if we consider that forest systems are open systems and consequently, they are partially interconnected to human systems, it seems more than appropriate to interpret fire regimes from a socioecological perspective. This amounts to gaining a more systemic understanding of fire regimes and may lead to more appropriate fire management policies. The variety of ecosystems and fire regimes dictates that there should be a variety of techniques and practices in any strategic management plan, applying the key principle that one solution does not fit all.

Techniques used to study fire regimes include sampling fire scars on trees for evidence of a sequence of fires in the growth rings, sampling lake and reservoir sediments for extreme or unusual runoff events, using written and oral histories, extrapolating from current patterns of weather, fuel build-up and lightning fires, and modelling, which is a useful tool for virtual experimentation when other empirical methods are not viable (agent based modelling, cellular automata, etc.).

For Catalonia, the study region of this thesis, there are hardly any data on fire severity and intensity, whereas a lot more information on number of fires and burnt area is available<sup>5</sup>. In this context, it appears that the most viable way to characterize a fire regime is through the calculation of fire frequency over a determined period. The return interval, also known as natural fire rotation (NFR), is calculated to obtain area frequencies and it represents the time period necessary to affect the whole of a homogeneous fire regime zone, under a given synoptic situation. As an example, for Catalonia the Homogeneous Fire Regime Zones were calculated for a period of 40 years, where existing data were extrapolated and processed (Castellnou et al, 2009). For the period 1980-2000, NFRs range from 60 to >400 years for homogeneous fire regions of around 45.000 hectares (Pique et al., 2011). However, the NFRs currently available for Catalonia do not reflect the fire sizes that occurred. For example, the total area burned in a region could result from many small fires or a few large fires but indicate the same fire frequency-return interval, total area burned, and severity. Information about fire sizes illustrates an important aspect of a fire regime and is a useful indicator. From that perspective, forest fire size distribution (FSD) is the probability of distribution of individual fire sizes that describes the quantitative relationship between fire size and its corresponding number of occurrences in a forest landscape or region over a certain period. The official database provided by the Catalan Administration (chapter 2) shows yearly statistics about groups of fire classes, but from that is not possible identifying statistical patterns in empirical probability distributions.

The analyses presented in chapter 2 of the thesis are an attempt to better understand the relations between FSD and the nature of scale-invariance and self-organization in the fire regimes of Catalonia. In that sense, the analyses of chapter 2 are conceived to complement the current available knowledge of fire regimes in Catalonia, especially for the northern region of the country (Pyrenees). Within climatic and edaphic constraints, consumers (fire and herbivores) can produce vastly different ecosystems than the climate

---

<sup>5</sup> [http://interior.gencat.cat/ca/arees\\_dactuacio/bombers/foc-forestal/incendis\\_forestals/grafic\\_historic\\_incendis\\_forestals/](http://interior.gencat.cat/ca/arees_dactuacio/bombers/foc-forestal/incendis_forestals/grafic_historic_incendis_forestals/)

potential and have done so for millions of years (Pausas, 2020). There is growing interest in the application to explain major vegetation patterns in different ecosystems (Dantas et al., 2016; Briske et al., 2017, Pausas et al, 2020). Below, we present a scheme to show potential links between fire regime shifts from a complex systems perspective (Figure 2).

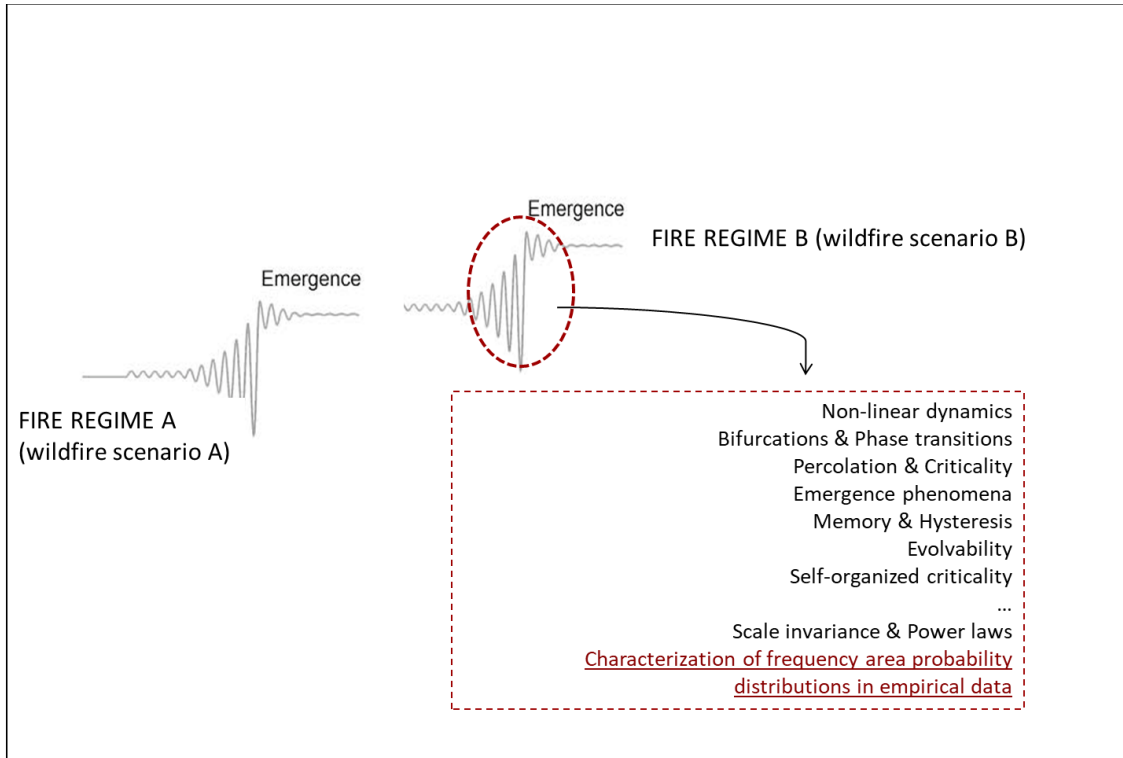


Figure 2 . Scheme of landscape dynamics, fire regimes and their key features from a complex systems perspective.

## 1.2 COMPLEXITY AND FIRE MANAGEMENT

Even when fire regimes characterization aggregates large periods of time and geodata, the result of the characterization is not capturing dynamics between different fire regimes. In other words, fire regimes are not stationary or steady states but transient states within a dynamic macro-space. As it has been proposed for other regime shifts in ecosystems, transitions between alternative landscapes states can come out of complex interactions that drive the system to a critical transition by means of fire regimes (Pausas et al, 2020).

Critical transitions are a particular type of regime shift that may occur when changing conditions pass a bifurcation point, which means a small smooth change made to the parameter values of the ecosystem under study causes a sudden 'qualitative' or topological change in its behavior (Afraimovich, 1994). In that complex situation, slow and fast processes are interconnected at different scales of time and space, showing hysteresis, and where history plays a key aspect to understand the aggregate behavior. Global change, which embraces processes of acceleration like climate change, land use change, etc., represents a paradigmatic example of this non-linear dynamics and abrupt changes in socio-ecological systems.

To try to characterize fire regimes, within the current changing climate, represents a scientific challenge, but nowadays modelling offers a powerful tool for reproducing virtual experimentation, integrating history, and inferring different climate scenarios. In that sense, interdisciplinary research is upgrading modelling capacities fast and researchers are contributing to gain certainty to assess decision making on fire management under different climate scenarios (Duane et al, 2019) or for promoting biodiversity by using fire (Kelly & Brotons, 2017). Considering the spatial scope of this thesis, centered around the NE of the Iberian Peninsula, I would like to highlight Duane's research (thesis) titled "Assessing global fire impacts on fire regimes in Mediterranean ecosystems"<sup>6</sup>, whose contribution has been key to tackle this thesis.

The following section introduces the perspective of emergency managers to interpret the complexity of fire regimes, emphasizing the relevance of history (i.e., memory) in landscape dynamics as well as the implications in terms of fire behavior, suppression capacity, fire management and prescribed fire uses.

---

<sup>6</sup> <http://hdl.handle.net/10803/664057>

## 1.2.1 The case of (wild) fire generations

Among the community of experts, we normally discuss landscape scenarios of risks in terms of fire generations. Fire generations can be defined by a scenario where a specific factor limits suppression capacity and thus leads to the development of a large wildfire (Castellnou et al, 2007). Here we cannot go deep into details about each generation of fires for reasons of space. I strongly suggest watching the documentary «Incendis de sisena generació»<sup>7</sup>, which explains this conceptualization proposed by the wildfire analyst M. Castellnou (Castellnou et al, 2007, 2009), co-founder of the GRAF team in the Catalan Fire Services.

The socioeconomic changes of the 20<sup>th</sup> century in Europe and, especially in the Mediterranean Basin, have evolved following patterns of urban sprawl together with re-colonization of the agricultural land by wildland vegetation and responding to land use changes with their vegetation structure. Along this way of changes, wildfire behavior has adapted to every evolutionary phase of the landscape, resulting in what is known among experts as fire generations. Since 2007, when the concept coming from the Grup de Recolzament en Actuacions Forestals (GRAF)<sup>8</sup> was proposed internationally, the global scenario of wildfires in a changing climate has been consolidated among the community of experts and has clearly evolved to worse (Gill et al, 2013). There are many examples, but the following ones are remarkable because these extreme fire events are not associated with heavy-fuel forests, but fine fuel landscapes<sup>9</sup>:

- Australia, 2009.
- Horta de Sant Joan, Spain 2009.
- Chile, 2017.
- Portugal, 2017.
- Greece, 2018.
- California, 2018.
- South-Africa, 2018.
- Bolivia (Amazon) 2019.
- Australia, 2019-2020.
- Western US episode 2020.

---

<sup>7</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=IfnV1sRhpBY>

<sup>8</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=oWRwCAoQx1w>

<sup>9</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Black\\_Saturday\\_bushfires](https://en.wikipedia.org/wiki/Black_Saturday_bushfires);

<https://www.ccma.cat/tv3/alacarta/programa/el-gran-silenci-horta-de-sant-joan-versio-especial/video/5543634/>; <https://disasters.nasa.gov/chile-wildfires-2017>

[https://en.wikipedia.org/wiki/2017\\_Portugal\\_wildfires](https://en.wikipedia.org/wiki/2017_Portugal_wildfires)

[https://en.wikipedia.org/wiki/2018\\_Attica\\_wildfires](https://en.wikipedia.org/wiki/2018_Attica_wildfires)

[https://en.wikipedia.org/wiki/2018\\_California\\_wildfires](https://en.wikipedia.org/wiki/2018_California_wildfires)

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/event/90147/fires-in-africa-2018>

[https://youtu.be/ymR\\_uDxaq5o](https://youtu.be/ymR_uDxaq5o)

[https://en.wikipedia.org/wiki/2019%E2%80%9320\\_Australian\\_bushfire\\_season](https://en.wikipedia.org/wiki/2019%E2%80%9320_Australian_bushfire_season)

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/event/146855/2020-fire-season-in-the-western-us>

Beyond the fact there has been a huge improvement to detect and monitor atmospheric events from remote sensing and satellite technologies compared with some decades ago, the reality nowadays is all these mentioned examples where fire behavior is evolving to worse represent a new scenario. Phenomenon as «Pyrocumulonimbus and fire storms»<sup>10,11</sup> activity were scientifically thought only possible in landscapes typically related with boreal forests/ heavy-fuel forests (Peterson et al., 2018). From the perspective of emergency managers, it is a big change because while boreal forests are not directly affecting large and dense social systems, in all Mediterranean climate geographies mentioned, impacts on social systems under extreme fire behavior conditions seem challenging if not unavoidable. Although there are many local nuances in such affirmation, it may be justified mainly for two reasons. Firstly, because urban sprawl is still the social mainstream, and this represents a significant vulnerability when considering fire spread in wildland urban interfaces as well as rural land use abandonment and forest homogenization, which afterwards plays as a positive feedback for large wildfires (Loepfe et al, 2010). Secondly, as a consequence of the gradual irruption of climate change, which implies an increase in fuel availability and escalation in fire behavior.

In the case of Catalonia, as well as in many regions of the Iberian Peninsula, the episodes of simultaneity in 1994 and 1998 represented a significant jump in fire behavior (Solsonès, 1998; Bagès-Berguedà, 1994). Looking back, we can affirm that in those cases it was not a consequence of climate change interactions but above all the result of agricultural abandonment together with a systematic extinction policy. On the other hand, during the last decade the effects of climate change on forest ecosystems have been intensifying and becoming globally plausible, also in the Iberian Peninsula where the episodes of 2017 in Portugal changed the preconceived idea among experts that those types of fire extreme events were not possible.

I want to highlight some scientific contributions that converge progressively to what wildfire analysts have been noticing and alerting since last decade. In 2009, where an episode in Australia, the Black Saturday, was formally registered for the first time in a Mediterranean climate where heavy fuels are not common (Dowdy et al, 2017; Cruz et al., 2012)<sup>12</sup>. Recent contributions related with fire storms and extinction capacity propose a definition of Extreme Wildfire Events (EWE) as a process and an outcome, presenting a wildfire classification with seven categories based on measurable fire spread and behavior parameters and suppression difficulty (Tedim et al., 2018; Table 1). The categories 5 to 7 are labeled as EWE, which somehow correspond to what experts have been observing and registering as the fire behavior typically found from 3<sup>rd</sup> to 6<sup>th</sup> fire generations (Castellnou, 2018).

---

<sup>10</sup> <https://jgpausas.blogs.uv.es/2020/09/30/pyrocumulonimbus-and-firestorms/>

<sup>11</sup> <https://www.nationalgeographic.com/environment/natural-disasters/pyrocumulonimbus-clouds-fire-tornadoes-how-wildfires-spawn-extreme-weather/>

<sup>12</sup> [https://www.nma.gov.au/audio/programs/?filters\\_aod\\_subject=defining%20moments](https://www.nma.gov.au/audio/programs/?filters_aod_subject=defining%20moments)

Fire Category	Real Time Measurable Behavior Parameters			Real Time Observable Manifestations of EFB			Type of Fire and Capacity of Control *	
	FLI* (kWm <sup>-1</sup> )	ROS (m/min)	FL (m)	PyroCb	Downdrafts	Spotting Activity		Spotting Distance (m)
1	<500	<5 <sup>a</sup> <15 <sup>b</sup>	<1.5	Absent	Absent	Absent	0	Surface fire Fairly easy
2	500–2000	<15 <sup>a</sup> <30 <sup>b</sup>	<2.5	Absent	Absent	Low	<100	Surface fire Moderately difficult
3	2000–4000	<20 <sup>c</sup> <50 <sup>d</sup>	2.5–3.5	Absent	Absent	High	≥100	Surface fire, torching possible Very difficult
4	4000–10,000	<50 <sup>c</sup> <100 <sup>d</sup>	3.5–10	Unlikely	In some localized cases	Prolific	500–1000	Surface fire, crowning likely depending on vegetation type and stand structure Extremely difficult
5	10,000–30,000	<150 <sup>c</sup> <250 <sup>d</sup>	10–50	Possible	Present	Prolific	>1000	Crown fire, either wind- or plume-driven Spotting plays a relevant role in fire growth Possible fire breaching across an extended obstacle to local spread Chaotic and unpredictable fire spread Virtually impossible
6	30,000–100,000	<300	50–100	Probable	Present	Massive Spotting	>2000	Plume-driven, highly turbulent fire Chaotic and unpredictable fire spread Spotting, including long distance, plays a relevant role in fire growth Possible fire breaching across an extended obstacle to local spread Impossible
7	>100,000 (possible)	>300 (possible)	>100 (possible)	Present	Present	Massive Spotting	>5000	Plume-driven, highly turbulent fire Area-wide ignition and firestorm development non-organized flame fronts because of extreme turbulence/vorticity and massive spotting Impossible

Note: <sup>a</sup> Forest and shrubland; <sup>b</sup> grassland; <sup>c</sup> forest; <sup>d</sup> shrubland and grassland; \*FLI classes 1–4 follow the classification by Alexander and Lanoville [125].

Table 1. Wildfire events classification based on fire behavior and capacity of control. Source: Tedim et al., 2018.



Fire generation is also a concept intimately close to the one of fire paradox. A high suppression effort can eliminate natural fire breaks, which hold back large wildfires under extreme weather conditions (Minnich, 1983; Moritz et al, 2014). The fire paradox is conventionally explained in terms of extinction capacity; extinction efficacy produces a reduction of fire extension in the short-term but promotes fuel buildup and vegetation stress on forest ecosystems in the long term. When fire behavior is out of the extinction capacity, which has a physical limit<sup>13</sup>, the result of this collateral effect of efficacy in extinction capacity is an escalation of wildfire behavior and severity.

Figure 3 is an attempt to interpret the fire extinction paradox from a systemic and energetic perspective. From PE to KE, by means of fire, there is a fast-exothermic process. On the contrary, from KE to PE, by means of photosynthesis, there is a slow-endothermic process. From this perspective, fire behaves in the ecosystem as a biomass recycler and re-organizing the topology of forest ecological networks, while photosynthesis and succession create biomass and order, mainly from solar energy, water, and bio-elements available from the environment. The scheme is obviously a simplification, but it represents the open system nature of forest ecosystems, operating out of, and often far from thermodynamic equilibrium, in an environment with which it exchanges energy and matter. In that sense, forests respond to dissipative systems where fire (and ecological disturbances in general) plays a key role in their dynamics and evolvability.

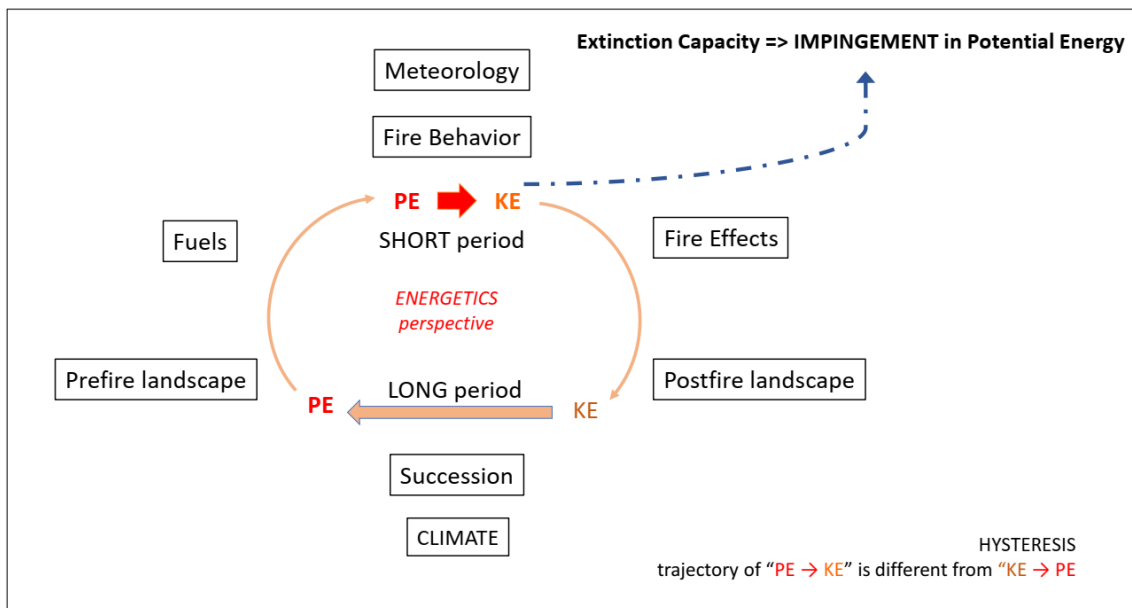


Figure 3. An energetics perspective of fire ecological disturbances and landscape dynamics. Adapted by the author from McKenzie et al., 2011. In this figure, PE is potential energy and KE is kinetic energy. “Short period” refers to fire disturbances while “Long period” refers to photosynthesis. Hysteresis here refers to the different speed ratios and distances of the trajectories implicit between PE and KE.

<sup>13</sup> Marc Castellnou - Grans incendis forestals: lliçons apreses Solsonès 98. - YouTube

Considering the nonlinear behavior of natural systems, fire regimes with this impingement evolve empowering large wildfires and extreme fire behavior, while those fire regimes where fire is not constrained systematically, produce less polarized intensities and severities.

Only as a mental map to better understand part of the scope of this thesis, I want to suggest the idea of interpreting fire regimes as disturbance basins, where their respective fire generations are the attractors of each basin, and landscape dynamics evolve as complex adaptive systems (Figure 4). All the attributes of complex systems mentioned below, such as percolation, emergence, or memory, are coherent to landscape dynamics.

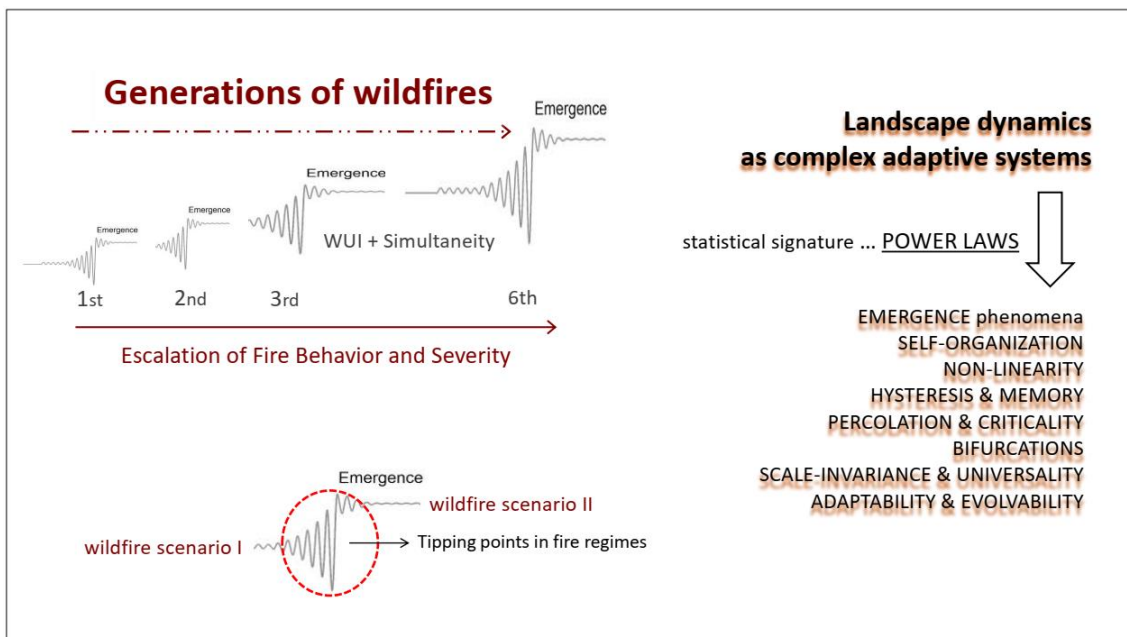


Figure 4. Generations of wildfires and landscape dynamics as complex adaptive systems (CAS). Power laws correspond to the statistical signature where criticality and large percolation phenomena may occur in a system (WUI acronym refers to wildland urban interface).

## 1.2.2 Fire Management and Prescribed Fire

There is not a closed definition for fire management but we could generalize that it includes all the activities concerned with the protection of people, property, and forest areas from wildfire and the use of prescribed burning for the attainment of forest management and other land use objectives, all conducted in a manner that considers environmental, social, and economic criteria<sup>14/15</sup>. It represents both a land management vision and a land management mission.

Fire management involves the strategic integration of such factors as knowledge of fire regimes, probable fire effects, values-at-risk, level of forest protection required, cost of fire-related activities, and prescribed fire technology into multiple-use planning, decision making, and day-to-day activities to accomplish stated resource management objectives (Sande et al, 2010). We could interpret that a successful fire management depends on effective fire prevention, detection, having an adequate fire suppression capability, and consideration of fire ecology relationships. In any case, beyond the direct implications coming from fire management, the complexity of landscape dynamics reminds us that fire regimes interplay indirectly with many other recipes linked to socio-economical systems, such as urban planning, agriculture activities, conservation policies, among others (Loepfe et al., 2012).

Unfortunately, the distance between this theoretical conception of fire management and the real implementation is still big. In the Mediterranean context, fire management policies have been mostly based on reactive actions after a disaster, focusing on prevention campaigns and investing in fire suppression forces (Moritz et al., 2014). Observing the case of Catalonia, the early stages of forest rangers and fire services in the 1980's were focused on the conventional «modern» paradigm of prevention of all ignitions near forests and systematic suppression, with some nuances in the Pyrenees and other rural areas, where controlled burns to maintain pasture lands and avoid conflicts with uncontrolled ignitions were integrated in these public services.

One big truth of the environmental age is that it is far better to complement natural systems than to manipulate them for single-purpose gain. It is through recognition of ecological interrelationships that we can best manage natural resources for the public good. To meet future environmental demands, land managers must build uncommon strength in all three fire activities: prevention, protection, and fire prescribed for ecological benefits. Fire management, in full partnership with other environmental factors, is necessary for quality land management.

Throughout the history of land use in Europe, fire has been an important element of grazing, agriculture and forestry and an import process in forming landscape patterns in terms of ecological and cultural diversity (Birot, 2009). The crisis of the rural world at the beginning of the 20<sup>th</sup> century led to rural exodus and the associated abandonment of

---

<sup>14</sup> <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests-forestry/wildland-fires-insects-disturban/forest-fires/fire-management/13157>

<sup>15</sup> [https://www.salmonarmmuseum.org/docs/2003\\_fire\\_glossary.pdf](https://www.salmonarmmuseum.org/docs/2003_fire_glossary.pdf)

traditional land management practices, including fire use. Industrialization began to affect both urban and rural environments. In central and northern Europe, the socioeconomic changes after World War II brought a change in land use systems resulting in the elimination of traditional burning practices. Meanwhile, the prevailing general urban opinion that fire is detrimental for ecosystem stability and biodiversity led to a complete ban on fire use in most European countries (Castellnou et al, 2007).

Prescribed burning is the careful application of fire under specified fuel and weather conditions to meet specific resource management objectives and long-term management goals (FAO, 2005). Burning operations are based mostly on the use of low-intensity fires that aim at reducing fuel loads and therefore reducing the risks of high-intensity fires. These treatments use fire to achieve a predefined management objective through the interaction of fire with a specific ecosystem, according to a technical plan. At European level, prescribed burning practices can be classified according to the management objectives pursued, which can be summarized into 3 main trends:

- replacement tool for traditional fire use,
- wildfire prevention and
- formal development of prescribed burning (multifunctional management).

The current situation of fire use in Europe as a tool for different practices goes from traditional fire use to prescribed burning as a tool to fight wildfires or to manage forests (Lázaro et al, 2010). The introduction of prescribed burning in southern Europe was primarily aimed at risk reduction. The experience gained in these practices has allowed us to expand the aims towards other management objectives such as nature conservation, forest management or habitat management. This is already well represented in many places of Europe through programs such as Life Pinassa in Catalonia<sup>16</sup>, or Life Taiga in Sweden<sup>17</sup>. These types of programs have mainly conservation motivations but also pursue gaining social awareness about the benefits of prescribed burning by means of dissemination products, with participation of key actors like researchers, managers, and fire practitioners. Unfortunately, these types of 4-year programs are still far from being representative of the business as usual in Europe when it refers to land policies and management practices, so that although they have a positive impact to socialize a new culture of risk management as well as landscape conservation in the involved communities, their significance in extensive management terms is purely anecdotic.

In this context, prescribed fire appears to be a potential management technique to attain different objectives such as forestry improvement, control of insects and diseases, habitat management and biodiversity conservation. Further, it has been demonstrated in the field of fire management that the use of fire is an efficient tool for the reduction of hazardous fuels and as an indirect attack during wildfire suppression (suppression fire).

---

<sup>16</sup> [http://lifepinassa.eu/?page\\_id=555](http://lifepinassa.eu/?page_id=555)

<sup>17</sup> <http://lifetaiga.se/controlled-burning-in-woodlands/>

In most European countries, however, there are still important constraints and negative attitudes towards the use of fire that need to be overcome (Montiel et al, 2010).

Based on my experience linked to Catalan Fire Services and from a public perspective, prescribed burning makes the difference when it goes beyond isolated practices for training purposes, field courses, or local and private disconnected demands. Thus, when prescribed burning considers fire regime singularities of each geography and focuses the attention on the common good value recognized by the affected community, then, there is a significant twist.

In conflicts where complexity is ubiquitous such as fire in socio-ecological systems, one solution does not fit all, so that the consideration of common good values is a good ally for decision making and set priorities. By adopting a plan and program perspective, which provides a framework for this leverage point, socio-ecological synergies become viable. Plans and programs of prescribed burnings support one another; the plan is the objective and the vision, whereas the program is the content and steps taken to reach the goal. Programs of prescribed burning have appeared shyly in Europe during the last two decades, especially in the Iberian Peninsula and France (Montiel et al, 2010). These territories, clearly pioneers, are implementing prescribed burnings by packages, but these actions are neither integrating nor integrated in land policies or formal management programs, just the contrary to what happens for other environmental vectors regulated by the European Union from a sustainability approach, such as water basins management, energy policies, agricultural policies, etc. However, out of Europe these kind of programs, no exempt of controversy when applied near urban interfaces, are fully normalized and are being widely used among experts, land managers and scientists (National Interagency Prescribed Fire Training Center, US<sup>18</sup>; Forest Service Prescribed Burns, US<sup>19</sup>; Savanna fire management methods for large carbon sequestration and emissions avoidance, Northern Australia<sup>20</sup>, etc.).

In Catalonia, experts and scientists have been collaborating during the last two decades and converging to a more holistic approach<sup>21</sup>, where tactical fire use (technical fire operations used for suppression purposes) and prescribed burnings have been implemented since 2000 (Montiel et al, 2010). But even considering the big efforts of some organizations to normalize the two faces of fire as well as to approach key agents involved in landscape mosaics and circular economy<sup>22</sup>, the reality in terms of extensive field actions in 2020 is still far away from solving the conflict inherent to the fire paradox.

---

<sup>18</sup> <https://www.fws.gov/fire/pftc/index.shtml>

<sup>19</sup> <https://tfsweb.tamu.edu/PrescribedBurns/>

<sup>20</sup> <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/ERF/Choosing-a-project-type/Opportunities-for-the-land-sector/Savanna-burning-methods>

<sup>21</sup> <http://www.fireparadox.org/>

<sup>22</sup> <https://www.paucostafoundation.org/>

The leadership of the GRAF team in Europe has been internationally recognized in many aspects related to fire management, such as the reintroduction of technical use of fire as a tool for firefighting and forest management (Montiel et al, 2010), the synthesis of fire types concept to anticipate spread patterns and proactively track opportunities during wildfires (Castellnou et al, 2011), the lessons learned culture in benefit of safety for fire responders <sup>23</sup> (IAWF award 2015), among others. Nevertheless, innovation catalyzers alone cannot change the inertia of the sociopolitical agenda because such a radical shift in fire management also requires a profound socioecological transformation (Otero et al, 2017). Despite this, innovation catalyzers like the GRAF team, the Pau Costa Foundation, etc., are sharing experiences beyond their respective organizations, exploring complexity creatively and positively, trying to influence the sociopolitical agendas by means of disseminating the knowledge and becoming aware of the situation in terms of risks, resilience, as well as reflecting upon the tools necessary to overcome and adapt to climate change challenges (Castellnou et al, 2019, Otero et al, 2018, Otero et al, 2019).

Modern societies of the 20<sup>th</sup> and 21<sup>th</sup> centuries seem to believe somehow that the emergency management organizations can compensate for the long-term environmental consequences of socio-ecological actions such as forest abandonment, static policies of landscape conservation, urban sprawl, etc., but this is a chimera. Taking into account the nonlinear behavior typically linked to environmental disturbances, together with the current challenge of fire regimes in a changing climate, or in other terms, under the impossibility to control all fires at all times, the trend of monospecific strategies of fire suppression clearly represents an unsustainable management practice. Citing literally the fire ecologist Andrea Duane, «current fire suppression strategies in the Mediterranean context need a shift to a new age in fire management in which the object of decision is not each isolated fire but rather is aimed at promoting sustainable fire regime»<sup>24</sup> (abstract, page iii).

---

<sup>23</sup> <https://www.iawfonline.org/awards/>

<sup>24</sup>Assessing global change impacts on fire regimes in Mediterranean ecosystems (handle.net)

## 1.3 SYSTEMS INNOVATION

Although holistic ways of thinking and organizing have been with humanity for millennia the rise of systems thinking as a coherent set of concepts began in the mid-twentieth century with the advent of general systems theory (Bertalanffy, 1972). Although systems innovation is still a term whose understanding is in formation, the consensus is the fact that systems innovation aims to change the underlying structure of a system (topology) rather than just any of its individual parts. Systems innovation requires new ways of thinking, where large organizations such as those involved in emergency management shift to creative teams based on collaborative networks and cooperation with the environment, to finally synthesize cohesive outcomes. What counts as a “systems innovation” can be summarized in the following features<sup>25</sup>:

- **Intentionality**  
A systems innovation is a product of an intentional process, consisting of shaping changes within a complex adaptive system (requiring some awareness of the whole system).
- **Complexity**  
Systems innovation initiatives are intentional responses to wicked problems aimed at finding new ways of organizing to dissolve the problem.
- **Structural**  
Systems innovation requires changes to not only the parts but the system structure resulting in the emergence of new macro patterns, processes, and functionality.
- **Co-created**  
Systems change is a commitment to an inclusive process of change that cannot be the product of any one centralized organization but must be a co-creation by many.

### 1.3.1 The VUCA world and Emergency Management Organizations (EMO)

Before going ahead with the systems innovation idea in relation to wildland fire strategies, it is necessary to introduce basic aspects linked to Emergency Management Organizations and understand the interrelations with what is known as the VUCA world.

Emergency Management can be understood as the organization and management of the resources and responsibilities for dealing with all humanitarian aspects of emergencies: preparedness, response, mitigation, and recovery (FEMA 2007). The World Health Organization defines an emergency as the state in which normal procedures are interrupted, and immediate measures (management) need to be taken to prevent it from

---

<sup>25</sup> [www.systemsinnovation.io](http://www.systemsinnovation.io)

becoming a disaster, which is even harder to recover from. According to the Federal Emergency Management Agency, the principles guiding professional emergency management are the followings (FEMA, 2007):

1. Comprehensive (consider all hazards, all phases, all stakeholders, and all impacts relevant to disasters).
2. Progressive (anticipate future disasters and take preventive and preparatory measures to build disaster-resistant and disaster-resilient communities).
3. Risk-driven (use sound risk management principles in assigning priorities and resources).
4. Integrated (ensure unity of effort among all levels of government and all elements of a community).
5. Collaborative (create and sustain broad and sincere relationships among individuals and organizations to encourage trust, advocate a team atmosphere, build consensus, and facilitate communication).
6. Coordinated (synchronize the activities of all relevant stakeholders to achieve a common purpose).
7. Flexible (use creative and innovative approaches in solving disaster challenges).
8. Professional (value a science and knowledge-based approach; based on education, training, experience, ethical practice, public stewardships, and continuous improvement).

I here want to introduce the concept of VUCA because I think it may have deep implications to empower emergency management organizations in a similar way it has done previously in other fields of management. The term **VUCA** is an acronym that stands for **volatility, uncertainty, complexity, and ambiguity**. The VUCA concept was first introduced by the U.S. military after the end of the Cold War to describe the conditions of a world ever more difficult to predict and rely on (Shambach 2004). The common usage of the term VUCA began in the 1990s and derives from military vocabulary, where it refers to the experience of officers in operations. It tries to capture the uncertain and dynamically changing situation of a military activity where there is a lack of information. In some scenarios of war, events sometimes may just happen in a chaotic and unpredictable fashion in what is also called the "fog of war". Military commanders sometimes describe this as being in a world of unknown unknowns, what is the extreme version of a VUCA world <sup>26</sup>.

---

<sup>26</sup> VUCA World - LEADERSHIP SKILLS & STRATEGIES ([vuca-world.org](http://vuca-world.org))



Since its first appearance in the 1990s, the concept was quickly embraced by other fields such as strategic decision-making, risk management, and situational problem-solving (Tsoukas et al, 2004; Costanzo et al, 2009; Tovstiga 2010, Chermack 2011). Business and management science adopted the VUCA concept after the financial crisis in 2008-2009, when societies, companies, and organizations all over the world suddenly found themselves faced with similar conditions in their social and economic environments (Doheny et al, 2012; Bennett et al, 2014). Current research related to the VUCA concept focuses on its consequences for leadership and strategic development and the challenges to adapt the mindsets of managers and decision-makers to these new conditions. Even though the principles have been addressed individually, the VUCA has not yet found its way into environmental science or conservation practice (Shick et al, 2017).

In traditional static scenarios of decision making, the progress towards goal can be broken down into stages. There are clear metrics for each stage, and the movement through these stages is typically seen to be a linear incremental process. The traditional approach to strategy within organizations works fine until we turn up the volatility, uncertainty, and complexity within the environment. Turning a rapidly changing external environment to our advantage requires a recalibration of many dimensions across how we develop, deploy and deliver our strategies, and this is where complexity management finds its application in offering us an alternative paradigm with which to lead organizations.

In systematically volatile environments, change is a constant and strategy needs to evolve from resisting it to working with it. This means creating organizations that are resilient through their agility and capacity for adaptation. The emphasis shifts from creating fixed well-defined goals and plans, to trying to create agile organizations led by clarity of vision and effective communications, clear about its values and objective but very flexible in how it implements capabilities and achieves its vision.

Uncertainty is the inability to know everything fully, and it derives from the large number of elements within the system, their nonlinear interactions, and their capacity to adapt to local events as they evolve over time. Trying to compute the actual details and define a single future scenario is a lost endeavor. In environments where uncertainty is pervasive, the traditional risk-based analysis of the future breaks down.

In complex systems, we cannot always know what the outcome to our interventions will be due to nonlinear interactions and interdependencies. Thus, our capacity to directly align the elements of the organization towards some desired future goal is limited. The main response to this is for a leader to focus on creating the context that enables the organization to succeed.

Ambiguity is the quality of being open to more than one interpretation. Resolving ambiguity in strategy management means understanding the context within which the event takes place. It requires systems thinking to see the interconnections, to gain

different perspectives to build up the full context within which an event can be properly understood.

When considering this VUCA world in the specific case of EMOs, there are two aspects that I consider must be introduced:

- The hierarchy of values in EMOs and the implications of it in the VUCA context.
- The shift of the rules of engagement within the EMOs when considering the new context of VUCA.

To illustrate the hierarchy of values in EMOs I propose an adaptation of the last version of the pyramid of Maslow (Koltko-Ribera, 2006) to the case of EMOs. Thus, I propose a “human nature” approach to explain and understand the order of priorities rooted in the organizations that respond to emergencies. Prioritization implies that there is a pyramid of values where the lower level supports the values above it, and so on until you reach the top level.

For non-complex scenarios where conventional metrics, predictability and emergency plans work correctly, the pyramid of Maslow in EMO could be presented fundamentally by the defense of values at risk according to the order: people, goods and infrastructures, and the environment (Figure 5).

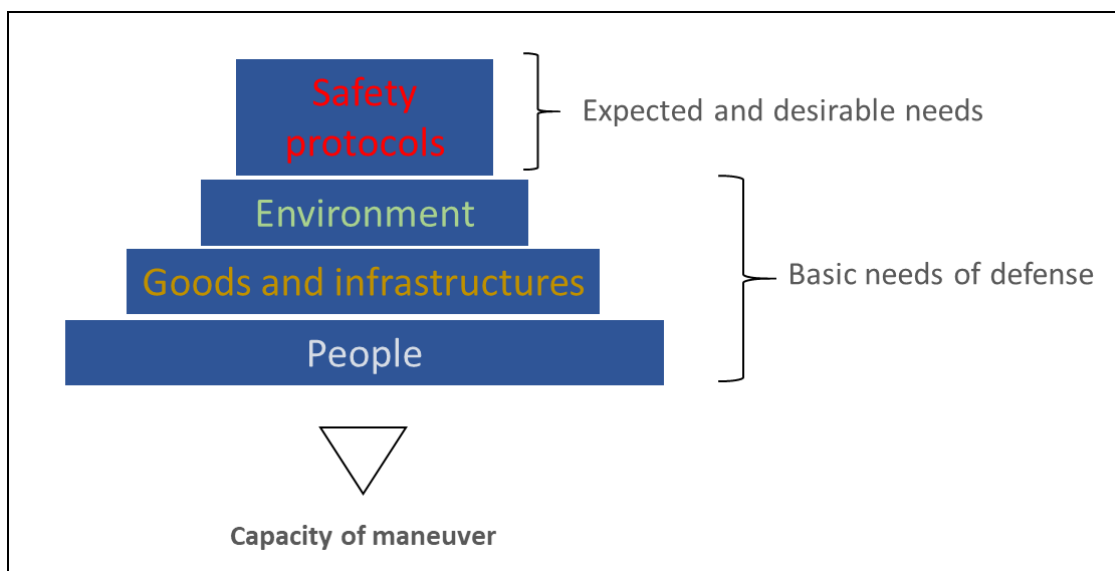


Figure 5. The pyramid of Maslow adapted to traditional Emergency Management Organizations responding to non-complex scenarios. Safety, metrics, predictability, and success depend on the capacity of maneuver.

Some examples following that scheme could be a traffic accident or a confined fire in an isolated house, which imply probably complicated and risky tasks but not complex in the sense the scenario of intervention is not changing continuously or even moving through land as large wildfires do. In these non-complex scenarios the pyramid of Maslow adapted to EMOs is supported by the capacity of maneuverability; if any emergency does not overpass the capacity of maneuverability, that situation will probably evolve as it was predicted. However, if the capacity of maneuverability is overpassed, the uncertainty will increase chaotically. Most emergencies linked to wildland fire services respond effectively within the limits of the capacity of maneuverability, stabilizing the flames and extinguishing the fire with relative celerity. Nonetheless, this vision of priorities collapses when there is simultaneity or simply because the fire behavior exceeds the extinction capacity, what is unavoidable above the 3<sup>rd</sup> generation of wildfires<sup>27</sup>.

Considering the new reality of extreme fire behavior, where capacity of extinction is widely overpassed, the emergency response based on the capacity of maneuverability is somehow trapped in a web where neither the civil protection nor the safety of the fire responders themselves can be guaranteed. In that kind of trap is where a new paradigm becomes necessary and the hierarchy of organizational values must be revised. In that complexity, triage and tactical analyses provide certainty of scenario and avoid collapse. Thus, strategic goals are set based on the common good that are tactically viable, gaining resilience where and when the response is temporarily out of the capacity of extinction. This reasoning, original and widely described in Castellnou et al, 2019, can be illustrated from the approach of the pyramid of Maslow adapted to EMOs, responding to complex scenarios (Figure 6).

---

<sup>27</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=IfnV1sRhpBY>



Figure 6. The pyramid of Maslow adapted to Emergency Management Organizations responding to complex scenarios. Safety, metrics of control and predictability mainly depend on tactical and organizational capacities. Basic needs are linked to resilience, with systemic positive synergies as added values.

In these scenarios where complexity is ubiquitous, it seems unavoidable that to achieve the strategic objectives EMOs must counterbalance the weakness of traditional risk analyses. Whether for the incapacity to understand clearly what is going on, or for the lack of effective experience to solve an understandable/known scenario, or simply accepting there are unknown unknowns (unexpected or unforeseeable conditions which pose a potentially greater risk simply because they cannot be anticipated based on past experience or investigation), the conclusion, after all, is that the VUCA context assumption suggests new rules of engagement for EMOs.

Table 2 (next page) presents these new rules of engagement, which is a proposal of this thesis to illustrate the EMOs evolution during the shift from non-complex to complex scenarios.

<i>Type of system (EMO)</i>	<i>Simple (1986-1998)</i>	<i>Complicated (1999-2009)</i>	<i>Complexity /VUCA (1) (2009-2019)</i>
<i>Primary Response to perturbations</i>	Force Coerce	Contingency Planning	Adaptability Resilience
<i>Prevailing Science</i>	Empiricism (Aristotelian)	Newtonian/ genetic determinism	Quantum/epigenetics Physical Statistics (probability theory) Modelling
<i>Basis of competition</i>	Access to material and human resources	Specialization Division of labor Efficiency	Innovation based on adaptive learning
<i>Operational limits</i>	Tactical capacity	Strategic/Organizational capacity	Strategic Pre-planning
<i>Type of leadership interaction</i>	1 to 1 Paternalistic patronage	1 to Many Central Command & Control	Many to Many Mission & Command Decentralize & coordinate
<i>Functional traits</i>	Forcefulness and Velocity Toolbox based on water means	Analyses Opportunistic (tactical) Defensive decision making Toolbox widened, including technical use of fire	Analyses with Synthesis Safety provider Triage Self-management Connectivity and Cohesion Creative decision making Toolbox widened to strategic vision

Table 2. Evolving changes in the rules of engagement within Emergency Management Organizations (EMOs). The chronology is unique for each region or EMO considered. In this case, it is focused on the Catalan Fire Services and the social and economic contexts involved since its constitution.

This table should be interpreted as an initial step to introduce the scope of this thesis. I was inspired by other fields of study, and concretely, I want to remark the contributions of the Quantum Leadership Group, which has yielded significant findings concerning systems innovation at organizational level (Giles 2016, Giles 2018), but especially, the critical thinking and cultural learning capacities of the GRAF team led by M. Castellnou.

In relation with the prevailing science for each type of system, the assumption of the VUCA context derives in using the potential of new scientific approaches to find out what we do not understand or at least, to gain certainty even in those cases when the range of probabilities is highly random. In this reality, there is an inflection point in scientific knowledge when the capacity to explore the unknown by using conventional analytical methods is complemented with synthetic methods like systems modelling, remote sensing, artificial intelligence, etc.

At the same time, a typical Aristotelian approach based on empiricism was specific until the Medieval-Feudal societies (simple type), meanwhile Newtonian and mechanical determinism were specific during the industrial revolution (complicated type). Nowadays, pushed by acceleration of technology improvements and the digital revolution, the result is that we are collectively gaining awareness about the ubiquity of complexity in today's civilization. A clear and current example of it is the COVID-19 pandemics, which has arisen global awareness of the high connectivity between and across socio-economic and ecological systems. From this perspective, it may be understood the relevance of considering complexity science and systems innovation to tackle the socioecological challenges and opportunities linked to our present and the rest of the 21<sup>st</sup> century, especially when dealing with EMOs and fire management innovations.

### 1.3.2 Resilience and Eco-Innovation

Many of the recurring problems in natural resource use and management stem from the lack of recognition that ecosystems and the social systems that use and depend on them are inextricably linked. It is the feedback loops among them, as interdependent social–ecological systems, that determine their overall dynamics (Folke et al, 2010; Walker et al, 2004).

Resilience was originally introduced by Holling (1973) as a concept to help understand the capacity of ecosystems with alternative attractors to persist in the original state subject to perturbations, as reviewed by e.g. Gunderson (2000), Folke (2006) and Scheffer (2009). In some fields the term resilience has been technically used in a narrow sense to refer to the return rate to equilibrium after a perturbation (called engineering resilience by Holling in 1996). However, many complex systems have multiple attractors. This implies that a perturbation can bring the system over a threshold that marks the limit of the basin of attraction or stability domain of the original state, causing the system to be attracted to a contrasting state. Although the concept of alternative stable states with clear-cut basins of attraction is a highly simplified vision of reality in ecosystems (attractors may be stable points or more complicated cycles of various kinds), the conclusion to remark is that social change is essential for socioecological resilience.

Resilience thinking focuses on three aspects of social–ecological systems: resilience as persistence, adaptability, and transformability (Walker et al, 2004; Folke et al, 2010). Next, I introduce these three concepts by synthesizing the contributions of these authors, with the aim to better understand the vision, motivation, and scope of this thesis:

- Resilience is the tendency of a socioecological system (SES) subject to change to remain within a stability domain, continually changing and adapting yet remaining within critical thresholds.
- Adaptability is a part of resilience. It can be defined as the capacity of a SES to adjust its responses to changing external drivers and internal processes and thereby allow for development within the current stability domain, along the current trajectory.
- Transformability is the capacity to create new stability domains for development, a new stability landscape, and cross thresholds into a new development trajectory. Deliberate transformation requires resilience thinking, first in assessing the relative merits of the current versus alternative, potentially more stability domains, and second in fostering resilience of the new development trajectory, the new basin of attraction. Transformations do not take place in a vacuum, but draw on resilience from multiple scales, making use of crises as windows of opportunity, and recombining sources of experience and knowledge to navigate social–ecological transitions from a regime in one stability landscape to another. Transformation involves novelty and innovation. Transformational change at smaller scales enables resilience at larger scales, while the capacity to transform at smaller scales draws on resilience at other scales. Thus, deliberate transformation involves breaking down the resilience of the old and building the resilience of the new.

Intricately linked to resilience is adaptive capacity. Adaptive capacity relates to the capacity of systems, humans, and other organisms to adjust to potential damage, to take advantage of opportunities, or to respond to consequences (IPCC, 2014). For ecological systems, adaptive capacity is determined by genetic diversity of species, biodiversity of ecosystems, and heterogeneous ecosystem mosaics (applied to specific landscapes or biome regions). In the context of socio-ecological systems, adaptive capacity is commonly associated with following characteristics:

- Ability of institutions and networks to learn, and store knowledge and experience.
- Creative flexibility in decision making, transitioning and problem solving.
- The existence of power structures that are responsive and consider the needs of all stakeholders.

Adaptive capacity confers resilience to perturbation, giving ecological and social systems the ability to reconfigure themselves with minimum loss of function: net primary productivity, maintenance of biomass and biodiversity, stability of hydrological cycles, stability of social relations, economic prosperity, etc. (Gunderson, 2000). Increasingly, climate change is threatening human communities around the world in a variety of ways<sup>28</sup>. In that sense, resilience can be defined as the capacity for a socio-ecological

system to (1) absorb stresses and maintain function in the face of external stresses imposed upon it by climate change and (2) adapt, reorganize, and evolve into more desirable configurations that improve the sustainability of the system, leaving it better prepared for future climate change impacts.

A travel companion of resilience in the case of organizations is innovation. Innovation has a large variety of definitions. I select two of them that capture key insights to understand the motivation and scope of this thesis. Based on Baregheh et al. 2009, innovation is the multi-stage process whereby organizations transform ideas into new/improved products, services, or processes, to advance, compete and differentiate themselves successfully in their marketplace. This definition matches well in the business management world but in the case of emergency management and considering the public service nature of the organizations involved, it may generate an obvious confusion because of the reference to the marketplace.

Workplace creativity concerns the cognitive and behavioral processes applied when attempting to generate novel ideas. Workplace innovation concerns the processes applied when attempting to implement new ideas. Specifically, innovation involves some combination of problem/opportunity identification, the introduction, adoption, or modification of new ideas pertinent to organizational needs, the promotion of these ideas, and their practical implementation (Hughes et al, 2018). Innovation can be understood also as a specific function of entrepreneurship, whether in an existing business or a public service institution. It is how the entrepreneurs create effective intelligence and wealth. In the case of public services, wealth has a social common good connotation.

One framework proposed by Clayton Christensen draws a distinction between sustaining and disruptive innovations (Harvard Business Review, 2020). Sustaining innovation is the improvement of a product or service based on the known needs of current customers or users. For example, in the case of emergency management organizations, it may be translated to better capacity of monitoring by means of remote sensing, better coverage for communication on the field, faster microprocessors for wildfire spread simulations, etc. In contrast, disruptive innovation refers to a process by which a new product or service creates a new market. In the case of emergency management, it is not about the

---

<https://www.ccma.cat/tv3/alcanta/programa/el-gran-silenci-horta-de-sant-joan-versio-especial/video/5543634/>  
<https://disasters.nasa.gov/chile-wildfires-2017>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/2017\\_Portugal\\_wildfires](https://en.wikipedia.org/wiki/2017_Portugal_wildfires)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/October\\_2017\\_Northern\\_California\\_wildfires](https://en.wikipedia.org/wiki/October_2017_Northern_California_wildfires)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/2018\\_Attica\\_wildfires](https://en.wikipedia.org/wiki/2018_Attica_wildfires)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/2018\\_California\\_wildfires](https://en.wikipedia.org/wiki/2018_California_wildfires)  
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/event/90147/fires-in-africa-2018>  
[https://youtu.be/ymR\\_uDxaq5o](https://youtu.be/ymR_uDxaq5o)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/2019%E2%80%9320\\_Australian\\_bushfire\\_season](https://en.wikipedia.org/wiki/2019%E2%80%9320_Australian_bushfire_season)  
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/event/146855/2020-fire-season-in-the-western-us>  
<https://www.nature.com/articles/d41586-020-02568-y>



market, but once again one could suggest it can be reinterpreted as social wealth or differential management of the common good.

Another framework that is common in innovation management is the one provided by Henderson and Clark (1990). They divide innovation into four types:

- 1) Incremental innovation: it refines and extends an established design or process. Improvement occurs in individual components but the underlying core design concepts, and the links between them, remain the same.
- 2) Architectural innovation: innovation that changes the relationships between the core design concepts.
- 3) Modular innovation: innovation that changes the core design concepts of a technology.
- 4) Radical innovation. It establishes a new dominant design and, hence, a new set of core design concepts embodied in components that are linked together in a new architecture.

The radical innovation is representative of a substantial part of this thesis. Concretely, chapter 3, "synthesis of pyro-resilience in mountain socio-ecological systems", is a framework that can be understood in this sense. The framework presented in that chapter includes a set of core design concepts that offers a new deal in fire management and for emergency management organizations. The term radical in our case implies a minimum 10 times improvement, which is clearly more than a simple incremental innovation. For example, if we refer to landscape management by prescribed burning, a 10 times improvement means that the innovation can manage 10 times more land than with the conventional system architecture.

Innovation can be understood also as a specific function of entrepreneurship, whether in an existing business or a public service institution (Harvard Business Review, 2013). It is how the entrepreneur either creates new wealth-producing resources or endows existing resources with enhanced potential for creating (social) wealth. When creative thinking organizes to solve problems related to sustainability, to create social and environmental wealth as a strategic objective and purpose, the innovation turns to what could be defined as eco-innovation. In other words, eco-innovation arises when socio-ecological conflicts are turned into opportunities by development of sustainability innovations. From this perspective, entrepreneurship can be understood as a necessary catalyst to accomplish eco-innovation. In the case of this thesis oriented to fire management and sustainability, entrepreneurship and eco-innovation should be understood as the context where this research inspired by action makes sense and can develop its potential.

## 1.4 SCALES, OBJECTIVES AND THESIS STRUCTURE

This thesis makes an analytical effort to find out statistical patterns in empirical data on wildfires in Catalonia, trying to complement and enrich the existing knowledge on homogeneous fire regime zones by characterizing fire size distributions. However, as a professional assuming direct tasks during emergencies like field tactical analysis, execution of technical fire maneuvers, as well as assuming implementation of prescribed burnings for different landscape management and training purposes since 2009, this thesis goes beyond the interests of conventional research. In this sense, the research is mainly oriented and inspired by action, which I consider the essence and an added value of a doctoral program in sustainability science. This perspective does not only influence the vision of the thesis but also has implications with regards to its mission of being significant within the community of fire experts and landscape managers who deal with decision making in the field. This is the reason why the thesis has done a notable synthetic effort to provide different products useful at the level of implementation (chapter 2 and appendices). It is from this vision and mission perspective that the thesis proposes a creative role to emergency management organizations where a new architecture of emergency system allows to overcome the ballast of extinction anywhere, anytime and thus, the collateral effect derived from the extinction paradox (risk increase). This new architecture (systems design) offers new capacities to EMOs and it fosters synergies with multifunctional landscape management, converging both, emergency managers and forest managers, to socio-ecological resilience, safety, and the prioritization of common good (paradigm shift). This socio-ecological health culture is translated into practice by eco-innovation at a strategic level of EMOs, which is a focal target of this thesis (systems innovation).

### 1.4.1 Spatial scale

The direct geographical scale of this thesis is the NE of the Iberian Peninsula, concretely the region of Catalonia. However, a notable part of the findings and conclusions have implications beyond Catalonia, thus embracing a wider community of interest especially in the context of the Mediterranean Basin as well as for mountain regions all over Europe. Catalonia is divided into three main geomorphological units; (a) the Pyrenees at the north of the country, an east-west mountainous formation that connects the Iberian Peninsula with the European continental territory, (b) the Mediterranean system, alternating elevations and planes parallel to the Mediterranean coast, and (c) the Central Depression, the structural unit that forms the eastern sector of the Ebro Valley.

The climate of the study area is especially rich. It embraces several littoral Mediterranean subtypes, several Continental Mediterranean subtypes, several Pyrenees Mediterranean sub-types, and Oceanic climate (Martín-Vide, J. 1992). Its rich orography modifies the large-scale circulation patterns inherent to its latitude, resulting in wind fields with a very noticeable horizontal variability, significant daily cycle, and specific local features related to orographic elements. The barrier of the Pyrenees strongly affects climate variability (Soriano et al., 2006), as well as the fact of belonging to the geographical space where

there is the shortest distance, at European continental scale, between the Mediterranean Sea and the Atlantic Ocean. All these singularities at a mesoscale level configure the diversity and richness of meteorological patterns of Catalonia.

Near sixty percent of Catalonia are forestlands, a classification that includes dense tree forest, open tree forest, scrublands, and grasslands (IEFC, 2004). Dominant tree species are pines (*Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata* and *Pinus pinea*), holm oak (*Quercus ilex*), and cork oak (*Quercus suber*), but there are also some other tree species relatively abundant in specific areas of the Pyrenees like the European Silver fir (*Abies alba*), European beech (*Fagus sylvatica*), pubescent oak (*Quercus humilis*), among others. Like most Mediterranean biomes, scrublands are an important part of the forest landscape composition and dynamics, and therefore play an important role in terms of ecosystem diversity and self-organization capacity. Landscapes of the Mediterranean Basin have co-evolved with fire disturbance and in that sense most of the Mediterranean vegetation show mechanisms of fire-adaptability, always considering specific limits in the range of variability of wildfire regimes (Pausas & Bond, 2018; Keeley et al, 2012). This biophysical aggregate together with a dynamic and intense history of land uses, hosts a huge variety of environmental gradients and has created a network of highly complex landscapes where a diversity of fire types has coevolved, well-illustrated by the map of homogeneous fire regimes zones of Catalonia (Castellnou et al., 2009).

There is a special attention on the Pyrenees region, the boundary massif between the European continent and the Iberian Peninsula. The need to zoom in the Pyrenees and specially to the study case of the Aran community (chapter 3) can be summed up in its nature of *rara avis* within the Mediterranean context. The climatic differentiation (Oceanic in the Aran) has often distorted its fire footprint, reducing it to the category of insignificant phenomena in the Mediterranean context, with some paleoecological exceptions (Bal et al, 2011; Ballbè et al, 2014; Gassiot et al, 2014). The Pyrenees, as boreo-alpine habitats, maintain a regime significantly different from that of their neighbors and at the same time too distant historically from other geographies with which they share similarities either by the altitude gradient (the Alps, for example) or by the latitude-linked biophysical effect (boreal forests, for example). To the reality of singular climate conditions, we can add many other factors that have aroused our interest in Pyrenees; the statistically encrypted role that controlled burns have played in the dynamics of their fire regime as well as in the evolution of their landscapes, the richness and uniqueness in biodiversity that it holds, the cultural and socioeconomic uniqueness with deep interactions with its natural environment at least since the Neolithic, the cultural fact of the fire festivals recognized as a cultural heritage of humanity by UNESCO, etc.

However, it is the contemporary factor of climate change that has justified above all other reasons our interest in better understanding the fire ecology in the recent history of the Pyrenees. This interest not only responds to the aim of understanding critical changes (analyses), but also focusing on resilient bifurcations to address socio-ecological challenges related to the expected migration of wildfire generations during the first half of this 21<sup>st</sup> century.

Additionally, there is a personal interest for coupling research into action within the Pyrenees, first for my family roots and second, for my professional engagement with the GRAF Lleida unit since 2009.

#### 1.4.2 Temporal scale

The research done is based on empirical data of Catalonia from 1986 to 2015. This period of 30 years is simply an isolated time lapse at the scale of fire regimes, but it is enough time to capture the dynamics of the fire regimes throughout the development of the Catalan Fire and Rescue Services, which were born as a professional organization precisely in 1986. All that fire empirical data has been sectioned into different subsets of time and space with the aim of identifying statistical patterns in fire probability distributions. The empirical data used for the analyses of fire regimes of Catalonia is described in detail in chapter 3. Thus, from the perspective of the analysis of fire regimes, the thesis encompasses the recent past of fire regimes in Catalonia.

On the other hand, the thesis somehow plays with time in the sense that it includes a synthesis approach (within the Aran community case study, chapter 3). In that case, time is projected also to the future by means of landscape modelling. Modeling allows a virtual experimentation for testing different alternatives of management, considering several climate change scenarios provided by the IPCC. Thus, the tool of modelling is equivalent to amplifying the time scope of the thesis, firstly to reproduce the historical fire regime virtually from the empirical data, and secondly, as a tool to assess the design and dimensioning of a strategic management plan in the Aran. This strategic management plan has been conceived for a period of 10 years from the moment it would be formally approved, and the outcomes of the modelling cover the first ten 10 years but also the evolving trends under different management alternatives until the first half XXI century.

#### 1.4.3 Objectives

Inspired by living systems adaptability, the project steps on the idea that when social agents involved in a socioecological conflict interact under patterns of diversity and reciprocity, the socio-ecological system evolves, empowering the path to the common good. In this sense, the main objective of the thesis is to provide a management framework inspired by cooperation with fire to foster socio-ecological resilience at regional scale under climate change. To do so I expect to benefit from the integration of fire sciences, sustainability sciences, landscape modeling, geographic information technologies, emergency management decision-making and prescribed burning expertise.

The general goal of this thesis related to analyses of empirical data (fire size probability distributions) in Catalonia deals with potential understanding of self-organization in fire regimes (chapter 2).

The specific objectives related with ANALYSES (chapter 2) are the following:

1. To test plausibility of the hypothesis of power laws behavior, according to different spatial-temporal approaches.
2. To compare power law hypotheses with alternative heavy-tailed distributions.
3. To quantify scaling values in probability distributions, according to different spatial-temporal approaches.
4. Mapping scaling values, minimum at a scale of homogeneous fire regime zones.
5. To assess the hypothesis of other statistical patterns linked to fire probability distributions beyond the extinction paradox.
6. To tackle Pyrenees fire regime singularity by means of testing the statistical steps previously mentioned, and additionally, analyzing fire seasonality according to different spatial-temporal approaches.

The general goal of the synthesis part (chapter 3) deals with eco-innovation in fire management. Within this field of action, emergency management organizations must operate in a VUCA context and tackle with global change impacts. The first analysis (chapter 2) helps to better understand the singularity of the Pyrenees, and from that point, it is possible to adapt a pre-existent model of fire regimes to the Aran community for assessing different management alternatives, including climate change scenarios. Once the model is ready, there is a transdisciplinary design process for synthesizing a novel management framework (sustainability design) tailored to the Aran needs. The specific objectives related with SYNTHESIS are the following:

7. To transform the challenge in the Aran community of rethinking fire use and redesigning fire services, into a transdisciplinary research project and entrepreneurship in public services.
8. To analyze the main features of the Aran fire regime (database singularity, size-classes, probability distributions, fire seasonality, spread patterns, and key environmental factors).
9. To adapt the model MEDFIRE to the context of the Aran (MEDFIRE Aran).
10. To integrate MEDFIRE Aran into the project design of the strategic management plan, to understand how the different strategic alternatives can modulate fire regime under the climate change context.
11. To use the model MEDFIRE Aran to quantify and assess how the different strategic alternatives can impact key environmental factors under climate change.
12. To provide tactically feasible pathways where some emergency situations can turn into a creative action aligned with landscape management (Wildland Fire Use) by means of formally pre-approving a strategic management plan.

#### 1.4.4 Thesis Structure

The core of this thesis is the result of a balance between two different research approaches: analysis and synthesis. To organize the work done, the document of the thesis has been structured in four chapters, and two appendices. Finally, there is also a list with all tables and figures.

At this point it is important to remark that the main outcomes of chapter 3 (section 3.6) are not literally incorporated in this document. This fact responds only to a reason of space (the "Document of Reference" and the "MEDFIRE Aran compendium") and format (a GIS platform). However, these documents are delivered within Appendix B (links) and must be considered the results of this research process. The reading of the thesis goes linked to these documents since these are key components to capture the depth of the research done in chapter 3. Thus, its reading should be compulsory for a full comprehension of the contributions made with this thesis.

The questions to be answered by this thesis are also presented below, by chapters:

**Chapter 1** provides a general introduction to fire regimes, complex systems, sustainability sciences, emergency management, defines the geographic scope of the thesis and finally presents the objectives and the structure of the thesis.

- What is the relationship between fire regimes, complex systems, and sustainability sciences?
- What is the relationship between complex adaptive systems and emergency management organizations?
- Can eco-innovation in emergency management play a key role to tackle climate change challenges in mountain areas?
- What is the motivation and the main goal of this thesis?
- What kind of questions is this thesis expected to answer?
- How is this thesis structured?

**Chapter 2** includes the statistical analysis of heavy-tailed distributions in fire empirical data of Catalonia, according to different spatial-temporal approaches, including general discussion and conclusions.

- Is there power law behavior in these heavy-tailed distributions?
- Are there alternative statistical signatures to better describe these heavy-tailed distributions?
- Is it possible to quantify the scaling values of these heavy-tailed distributions?
- Can different spatial-temporal scales give us relevant outcomes to understand fire regimes of Catalonia?
- Can different spatial-temporal scales give us relevant outcomes to understand the role of EMO?
- Is there any statistical singularity in relation with the Pyrenees fire regime in the context of Catalonia?
- Can different spatial-temporal scales give us relevant outcomes to understand the Pyrenees fire regime?

- Can different spatial-temporal scales give us relevant outcomes to understand the role of EMO in Pyrenees fire regime?
- Is there any other remarkable fire regime attribute to understand Pyrenees singularity?
- Can the statistical method used in this thesis (Clauset et al, 2009) minimize the conflict in relation to infer power law behavior to characterize and model fire regimes?

**Chapter 3** covers the transdisciplinary synthesis research process developed to provide support for the elaboration of a pioneer strategic management plan in a specific valley of the Pyrenees, under the climate change context. The novel methodology and the products are presented in this chapter.

- Can be differential applying a landscape dynamic modeling approach to assess a project design?
- Is it possible to adapt the model MEDFIRE to a specific case of study in Pyrenees (Aran Valley community)? How?
- How can the expertise of fire users be integrated into the MEDFIRE model?
- Are there significant differences when comparing different scenarios of climate change?
- Are there significant differences when comparing different strategic alternatives?
- Can key impacts of the different strategic alternatives and climate scenarios be quantified?
- How GIS tools could be applied to the management of the project?
- Can decision-making be democratized in terms of common good and landscape management?

**Chapter 4** describes insights and future research lines where I see more potentialities to keep advancing after this thesis.

- What potential sustainability science has in relation to fire regimes and global change challenges?
- What are the research proposals after this thesis?

Last but not least, I would like to emphasize that conclusions have not been formally presented in a specific chapter. These have been included and organized as a "main points in review" section in chapters 2 and 3. These "points" explicitly answer the questions about the (expected) contribution of this thesis within the scientific community. Nonetheless, as a researcher in sustainability science (that is, "inspired-oriented to" action), this decision is a way to remark my caution that only facts happening in the real "environment" studied can give us a rigorous feedback to set robust conclusions. The importance of this thesis is intimately attached to the "ecology of action", in the sense that it is the socioecological system where the pyro-sustainability framework has born who will define the real niche it may play in a near future: the formal legalization, the monitoring plan and/or the pertinent learning process.

## 1.5 REFERENCES

Afrajmovich, V. S.; Arnold, V. I.; et al. (1994). *Bifurcation Theory and Catastrophe Theory*. ISBN 978-3-540-65379-0.

Agee, James K. 1993. *Fire ecology of Pacific Northwest forests*. Washington, DC: Island Press. 493 p.

Agee, James K. 1998. "The Landscape Ecology of Western Forest Fire Regimes." *Northwest Science*.

Bal, M. C., Pelachs, A., Perez-Obiol, R., Julia, R., & Cunill, R. (2011). Fire history and human activities during the last 3300cal yr BP in Spain's Central Pyrenees: The case of the Estany de Burg. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.12.023>

Ballbè, E. G., Antón, D. R., Mañosa, A. P., Obiol, R. P., Brugués, R. J., Bal-Serin, M. C., & Mazzucco, N. (2014). La alta montaña durante la Prehistoria: 10 años de investigación en el Pirineo catalán occidental. *Trabajos de Prehistoria*. <https://doi.org/10.3989/tp.2014.12134>

Baregheh, Anahita; Rowley, Jennifer; Sambrook, Sally (4 September 2009). "Towards a multidisciplinary definition of innovation". *Management Decision*. **47** (8): 1323–1339. doi:10.1108/00251740910984578. ISSN 0025-1747.

Bennett, Nathan, and G. James Lemoine. 2014. "What a Difference a Word Makes: Understanding Threats to Performance in a VUCA World." *Business Horizons*. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2014.01.001>.

Bertalanffy, Ludwig Von. 1972. "The History and Status of General Systems Theory." *Academy of Management Journal*. <https://doi.org/10.5465/255139>.

Bettencourt, Luís M.A., and Jasleen Kaur. 2011. "Evolution and Structure of Sustainability Science." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102712108>.

Briske, David D., Andrew W. Illius, and J. Marty Anderies. 2017. "Nonequilibrium Ecology and Resilience Theory." In . [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46709-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46709-2_6).

Castellnou, M, Jordi Pagés, M Miralles, and M Pique. 2009. "Tipificación de Los Incendios Forestales de Cataluña. Elaboración Del Mapa de Incendios de Diseño Como Herramienta Para La Gestión Forestal." 5º Congreso Forestal Español.

Castellnou, M; Nebot, E; Miralles, M. (2007). "El Papel Del Fuego En La Gestión Del Paisaje." *International Wildfire Fire Conference de Sevilla -Thematic Session Nº1*.



Castellnou, M., Prat-Guitart, N., Arilla, E., Larrañaga, A., Nebot, E., Castellarnau, X., Vendrell, J., Pallàs, J., Herrera, J., Monturiol, M., Cespedes, J., Pagès, J., Gallardo, C., & Miralles, M. (2019). Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape. In *Fire Ecology* (Vol. 15, Issue 1). SpringerOpen. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0048-6>

Castellnou, 2018. Grandes incendios y lecciones aprendidas. Solsonès98. <https://www.youtube.com/watch?v=Vj-y9R7b0mQ>

Chan, T. C., H. F. Chau, and K. S. Cheng. 1995. "Cellular Automaton Model for Diffusive and Dissipative Systems." *Physical Review E*. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.3045>.

Chermack, Thomas J. 2011. Scenario Planning in Organizations: How to Create, Use, and Assess Scenarios; an Excerpt. Building.

Clark, William C. 2007. "Sustainability Science: A Room of Its Own." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611291104>.

Compare: Camazine, Scott (2003). *Self-organization in Biological Systems*. Princeton studies in complexity (reprint ed.). Princeton University Press. ISBN 9780691116242. Retrieved 2016-04-05

Costanzo, Laura Anna, and Robert Bradley MacKay. 2009. *Handbook of Research on Strategy and Foresight*. Handbook of Research on Strategy and Foresight. <https://doi.org/10.4337/9781848447271>.

Cruz, M. G., A. L. Sullivan, J. S. Gould, N. C. Sims, A. J. Bannister, J. J. Hollis, and R. J. Hurley. 2012. "Anatomy of a Catastrophic Wildfire: The Black Saturday Kilmore East Fire in Victoria, Australia." *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.02.035>.

Dantas, Vinícius de L., Marina Hirota, Rafael S. Oliveira, and Juli G. Pausas. 2016. "Disturbance Maintains Alternative Biome States." *Ecology Letters*. <https://doi.org/10.1111/ele.12537>.

Díaz-Delgado, Ricardo, Francisco Lloret, and Xavier Pons. 2004. "Spatial Patterns of Fire Occurrence in Catalonia, NE, Spain." *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-0183-1>.

Doheny, Mike, Venu Nagali, and Florian Weig. 2012. "Agile Operations for Volatile Times." *McKinsey Quarterly*.

Dowdy, Andrew J., Michael D. Fromm, and Nicholas McCarthy. 2017. "Pyrocumulonimbus Lightning and Fire Ignition on Black Saturday in Southeast Australia." *Journal of Geophysical Research*. <https://doi.org/10.1002/2017JD026577>.

Duane, Andrea, Núria Aquilué, Quim Canelles, Alejandra Morán-Ordoñez, Miquel De Cáceres, and Lluís Brotons. 2019. "Adapting Prescribed Burns to Future Climate Change in Mediterranean Landscapes." *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.348>.

TRG (A10.6)/GICM, FAO, 2005. *Wildland Fire Management Terminology*, FAO (Updated Jan 2005).

Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*. <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>

Gassiot Ballbè, E., Rodríguez Antón, D., Pélachs Mañosa, A., Pérez Obiol, R., Julià Brugués, R., Bal-Serín, M.-C., & Mazzucco, N. (2014). The mountains in prehistory: 10 years of research in Western Catalan Pyrenees. *Trabajos de Prehistoria*. <https://doi.org/10.3989/tp.2014.12134>

Giles, S. (2018). How VUCA Is Reshaping the Business Environment, And What It Means for Innovation. *Forbes Magazine Online*.

Gill, A. Malcolm, Scott L. Stephens, and Geoffrey J. Cary. 2013. "The Worldwide 'Wildfire' Problem." *Ecological Applications*. <https://doi.org/10.1890/10-2213.1>.

Gunderson, Lance (2000-11-01). "Ecological Resilience—In Theory and Application". *Annual Review of Ecology and Systematics*. **31**: 425–439. doi:10.1146/annurev.ecolsys.31.1.425.

Guttal, Vishwesh, and Ciriya Jayaprakash. 2008. "Changing Skewness: An Early Warning Signal of Regime Shifts in Ecosystems." *Ecology Letters*. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01160.x>.

Harvard Business Review, 2013. "The Discipline of Innovation". *Harvard Business Review*. August 2002. Retrieved 13 October 2013.

Harvard Business Review, 2020. Bower, Joseph L.; Christensen, Clayton M. (1 January 1995). "Disruptive Technologies: Catching the Wave". *Harvard Business Review* (January–February 1995). ISSN 0017-8012. Retrieved 16 August 2020.

Henderson, Rebecca M.; Clark, Kim B. (March 1990). "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms". *Administrative Science Quarterly*. **35** (1): 9. doi:10.2307/2393549. ISSN 0001-8392. JSTOR 2393549.

Hughes, D. J.; Lee, A.; Tian, A. W.; Newman, A.; Legood, A. (2018). "Leadership, creativity, and innovation: A critical review and practical recommendations" (PDF). *The Leadership Quarterly*. 29 (5): 549–569. doi:10.1016/j.leaqua.2018.03.001. hdl:10871/32289.

IPCC (2014). "Glossary" (PDF). Intergovernmental Panel on Climate Change

Kelly, L. T., and L. Brotons. 2017. "Using Fire to Promote Biodiversity." *Science* 355 (6331). <https://doi.org/10.1126/science.aam7672>.

Kates, R., Clark, W., Corell, R., Hall, J., Jaeger, C., Lowe, I., McCarthy, J., Schellnhuber, H., Bolin, B., Dickson, N.M., Faucheux, S., Gallopín, G., Gruebler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N., Kasperson, R.E., Mabogunje, A., Matson, P., Mooney, H., Moore, B., O'riordan, T., & Svedin, U. (2001). Sustainability Science. *Science*, 292, 641 - 642.).

Kauffman, Joanne. 2009. "Advancing Sustainability Science: Report on the International Conference on Sustainability Science (ICSS) 2009." *Sustainability Science*. <https://doi.org/10.1007/s11625-009-0088-y>.

Keeley J.E., Bond W.J., Bradstock R.A., Pausas J.G. & Rundel P.W. 2012. *Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management*. Cambridge University Press.

Komiyama, Hiroshi, and Kazuhiko Takeuchi. 2006. "Sustainability Science: Building a New Discipline." *Sustainability Science*. <https://doi.org/10.1007/s11625-006-0007-4>.

Koltko-Rivera, M. E. (2006). Rediscovering the later version of Maslow's hierarchy of needs: Self-transcendence and opportunities for theory, research, and unification. In *Review of General Psychology*. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.10.4.302>

Levin, Simon A. 2012. "Biosphere Complex Adaptive Systems." *Ecosystems*.

Litzow, Michael A., and Mary E. Hunsicker. 2016. "Early Warning Signals, Nonlinearity, and Signs of Hysteresis in Real Ecosystems." *Ecosphere*. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1614>.

Loepfe, L., J. Martinez-Vilalta, J. Oliveres, J. Piñol, and F. Lloret. 2010. "Feedbacks between Fuel Reduction and Landscape Homogenisation Determine Fire Regimes in Three Mediterranean Areas." *Forest Ecology and Management* 259 (12). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.03.009>.

LLORET F (2003). Gestión del fuego y conservación en ecosistemas mediterráneos. *Revista Ecosistemas* 12 (2).

Minnich, R. A. (1983). Fire mosaics in southern California and northern Baja California. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.219.4590.1287>

Montiel, C, and D Kraus. 2010. *Best Practices of Fire Use - Prescribed Burning and Suppression Fire Programmes in Selected Case-Study Regions of Europe*. Best Practices of Fire Use - Prescribed Burning and Suppression Fire Programmes in Selected Case-Study Regions in Europe.

Morgan, M.G. 2005. "Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation [Book Review]." IEEE Spectrum. <https://doi.org/10.1109/mspec.1999.738233>.

Moritz, M. A., Batllori, E., Bradstock, R. A., Gill, A. M., Handmer, J., Hessburg, P. F., Leonard, J., McCaffrey, S., Odion, D. C., Schoennagel, T., & Syphard, A. D. (2014). Learning to coexist with wildfire. In *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature13946>

Newman, M. E.J. 2005. "Power Laws, Pareto Distributions and Zipf's Law." *Contemporary Physics*. <https://doi.org/10.1080/00107510500052444>.

Otero, I., & Nielsen, J. (2017). Coexisting with wildfire? Achievements and challenges for a radical social-ecological transformation in Catalonia (Spain). *Geoforum*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.07.020>

Otero, I., Castellnou, M., González, I., Arilla, E., Castell, L., Castellví, J., Sánchez, F., & Nielsen, J. O. (2018). Democratizing wildfire strategies. Do you realize what it means? Insights from a participatory process in the Montseny region (Catalonia, Spain). *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204806>

Otero I, Gamboa G, Bueno C, Canaleta G, Camprubí L, O Vilalta, E Arilla, M Castellnou. Democratitzar la presa de decisions sobre els incendis forestals i adaptar-se al canvi climàtic. Un mètode aplicat a la reserva de la biosfera del Montseny. *Quaderns Agraris*, 7-42

Pausas J.G. & Keeley J.E. 2009. A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience* 59: 593-601

Pausas J.G. & Fernández-Muñoz S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime. *Clim. Change*, 110, 215-226.

Pausas JG 2018. Incendios forestales, encrucijada natural y social. En: *Ecología de la regeneración de zonas incendiadas* (García Novo F, Casal M, Pausas JG). Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía. pp. 9-14

Pausas, Juli G., and William J. Bond. 2019. "Humboldt and the Reinvention of Nature." *Journal of Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13109>.

Pausas, Juli G., and William J. Bond. 2020. "Alternative Biome States in Terrestrial Ecosystems." *Trends in Plant Science*. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.11.003>.

Peterson, David A., James R. Campbell, Edward J. Hyer, Michael D. Fromm, George P. Kablick, Joshua H. Cossuth, and Matthew T. DeLand. 2018. "Wildfire-Driven Thunderstorms Cause a Volcano-like Stratospheric Injection of Smoke." *Npj Climate and Atmospheric Science*. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0039-3>.

Petty, M. (n.d.). Modeling and Validation Challenges for Complex Systems. [online] Available at: [https://www.sisostds.org/DesktopModules/Bring2mind/DMX/API/Entries/Download?Command=Core\\_Download&EntryId=35445&PortalId=0&TabId=105](https://www.sisostds.org/DesktopModules/Bring2mind/DMX/API/Entries/Download?Command=Core_Download&EntryId=35445&PortalId=0&TabId=105) [Accessed 1 Sep. 2020].

Piqué, M., Castellnou, M., Valor, T., Pagés, J., Larrañaga, A., Miralles, M., Cervera, T. 2011. Integració del risc de grans incendis forestals (GIF) en la gestió forestal: Incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures forestals al foc de capçades. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Barcelona. 122 p.

"Principles of Emergency Management Supplement" (PDF). 2007-09-11. Retrieved 2015-03-06.

Sande Silva, J., Rego, F., Fernandes, P., & Rigolot, E. (2010). Towards Integrated Fire Management - Outcomes of the European Project Fire Paradox. In European Forest Institute Research Report.

Prokopenko, Mikhail. 2018. "Complex Systems." In Encyclopedia of Ecology. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10620-7>.

Scott A. 2018. Burning Planet: The story of fire through time. Oxford University Press. [versión española]: Planeta en llamas: la historia del fuego a través del tiempo. Galaxia Gutenberg, 2020]

Schick, Axel, Peter R. Hobson, and Pierre L. Ibisch. 2017. "Conservation and Sustainable Development in a VUCA World: The Need for a Systemic and Ecosystem-based Approach." Ecosystem Health and Sustainability. <https://doi.org/10.1002/ehs2.1267>.

Shambach, Stephen A. 2004. "Strategic Leadership Primer." Journal of Chemical Information and Modeling.

Solé, Ricard V., and Jordi Bascompte. 2012. Self-Organization in Complex Ecosystems. Self-Organization in Complex Ecosystems.

Soriano, C., Fernández, A. & Martin-Vide, J. Meteorol. Atmos. Phys. (2006) 91: 165. <https://doi.org/10.1007/s00703-005-0133-z>

Stokes, Donald E. 1997. "Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation Ch 2 & 3." In Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation. Sunnie Giles. (2016). The Most Important Leadership Competencies, According to Leaders Around the World. Harvard Business Review.

"Sustainability Science". Task Force on Conceptual Foundations. Earth System Governance Project. [earthsystemgovernance.net](http://earthsystemgovernance.net). Retrieved 2017-07-16

Tedim, Fantina, Vittorio Leone, Malik Amraoui, Christophe Bouillon, Michael R. Coughlan, Giuseppe M. Delogu, Paulo M. Fernandes, et al. 2018. "Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts." *Fire*. <https://doi.org/10.3390/fire1010009>.

Tovstiga, George. 2015. "Strategy in Practice: A Practitioner's Guide to Strategic Thinking." In *Strategy in Practice: A Practitioner's Guide to Strategic Thinking*.

Tsoukas, H., and J. Shepherd. 2004. *Managing the future: foresight in the knowledge*. Blackwell, Malden, Massachusetts, USA.

Turcotte, Donald L. 1999. "Self-Organized Criticality." *Reports on Progress in Physics*. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/62/10/201>.

Turner, John R., and Rose M. Baker. 2019. "Complexity Theory: An Overview with Potential Applications for the Social Sciences." *Systems*. <https://doi.org/10.3390/systems7010004>.

Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability, and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>

Yves, Birot. 2009. "Living with Wildfires: What Science Can Tell Us." *Journal of Chemical Information and Modeling*.

1964 [Copyright 1963], *Inventing the future* by Dennis Gabor, Page 207, Alfred A, Knopf, New York. (Verified on paper) [The spelling "computors" was used in the book.



QUANTIFYING STATISTICAL SIGNATURES IN FIRE REGIMES

## 2 FIRE REGIME CHARACTERIZATION: ANALYSES OF FIRE SIZE DISTRIBUTIONS.

Scale extrapolation is universally seen to be obligatory to understand the distinction between average behavior of fine-scale processes and the emergent behavior of a system (Levin 2005). Probability distribution functions with a heavy tailed dependence in terms of event or object sizes seem to be ubiquitous statistical features of self-organization in complex systems (Sornette, 2012). Concepts such as criticality and self-organization have been applied to characterize wildfire data, suggesting that the frequency of burnt areas is governed by non-trivial distribution functions such as power laws and consequently, that wildfire regime systems are designed and operated near a critical point (Bak, P., 1996; Malamud et al. 98, Markovic et al., 2014; Hantson et al, 2015; Pueyo, 2007).

On the other hand, forest fire regimes are typically well characterized by intensity, severity, seasonality, frequency of collective fire events as well as the return intervals (Arno 1994, Agee 1998). However, none of these indicators reflect the fire sizes that occurred: for example, the total area burned in a region could result from many small fires or a few large fires but indicate the same fire frequency-return interval, total area burned, and severity. Information about fire sizes illustrates an important aspect of a fire regime and is a useful indicator. From that point of view, forest fire size distribution (FSD) is the probability distribution of individual fire sizes that describes the quantitative relationship between fire size and its corresponding number of occurrences in a forest landscape or region over a certain period (Cui et al., 2008). Despite the varying arguments, the consensus appears to be that most empirically observed wildfire size distributions are heavy tailed (Malamud et al, 1998, 2005; Moreno et al, 2011).

There are many natural and human spatial-temporal factors that interactively modify (promote and constrain) fire occurrence and fire behavior, and thereby influence FSDs. In the short term, weather patterns, composition and spatial configuration of forest fuel types and fire barriers appear to be important modifiers of FSDs, whereas the long-term modifiers of FSDs may include shifts in synoptic climate and forest succession. As suggested by Brotons et al, 2013, in the Mediterranean region the level of fire regime is probably better interpreted as a highly dynamic process in which the main determinants of fire are rapidly modified by changes in landscape, climate, and socioeconomic factors such as fire suppression strategies. Although fire suppression significance has been point of debate, in the case of Catalonia there is empirical evidence that fire suppression during initial stages of fire influence the potential of large fire events but at the same time, intense fire suppression may result in fires larger than normal because of fuel build-up at mid-long term (Piñol et al., 2005, Brotons et al., 2013). This is coherent with other regions where fire suppression has been historically at the center of the debate since many years ago, together with the debate of climate pressure (Minnich 1983, Piñol et al., 1998). Minnich (1983) compared the frequency-area distribution for regions in Southern California that had been subject to wildfire suppression, with that of regions in northern Baja California that had not. He found that in regions subject to intense suppression, large intense wildfires occurred, and that total burned area was the same as in regions where wildfires were unsuppressed. Malamud et al. (1998) reported that the specific slope values of the probability distribution of fire sizes, which is usually heavy tailed (i.e.,



power law, lognormal, etc., see the text below) varied with the intensity of the degree of fire suppression: the slope value was lower in the fire management zone, where all fires were aggressively suppressed, than the slope value in the zone where fire suppression was less aggressive.

I have applied a statistical framework for discerning and quantifying power-law behavior in empirical data as well as some other heavy-tailed probability distributions. The analysis covers thirty years of wildfire data for the whole Catalonia area, exploring different spatiotemporal data sets. A temporal pattern in FSD of a given area is a good indicator of changes in fire regime over time. Therefore, the knowledge of changes in FSD over a given period can be used to evaluate the effect of forest fire suppression policies, strategies or the effect of the prescribed burnings on fire occurrence and area burned, specially the effect of large fires (Piñol et al., 2005; Brotons et al., 2013, Duane et al., 2019). In the area of study, according to my research criteria as well as some review about FSD publications (Cui et al, 2008), I consider that observing a 30-year period is long enough time to perceive the effect of fire suppression in fire regimes.

Current opinion is still divided among authors who would globally assign power laws to wildfire-size distributions (Minnich 1983; Bak et al., 1990; Malamud et al., 1998, 2005; Turcotte et al., 2002; Ricotta 2003) and those who would attribute them only to portions of distributions or rule them out altogether in favor of alternatives (Cumming 2001; Reed and McKelvey 2002). The aim here is to characterize the fire size probability distributions (FSD) according to the procedure proposed by Clauset et al., (2009) and computationally implemented according to Alstott et al. (2014). By adopting this statistical method, I expect to achieve robust results as well as to mitigate part of the existent controversy for quantifying the statistical signature of fire regimes.

The analyses I present in this chapter can be interpreted essentially as an attempt to better understand the nature of (maybe self)-organization in fire regimes and the relations between the FSDs and the emergency management system of Catalonia. Which statistical signature better fits the empirical data is not the objective of this section but a result. In other words, characterization of fire regimes is not the final goal but the need to discuss the complex interactions in socioecological systems before proposing deep and, we suggest even counter-intuitive innovations in the business as usual of emergency management. This is a non-trivial aspect for this research, since because in chapter 3 I apply a transdisciplinary research approach for eco-innovation in socioecological systems and emergency management organizations which is partially based on the results of this chapter.

## 2.1 DATASET AND METHODOLOGY

### 2.1.1 Study area

The scope of this analysis involves all the region of Catalonia, located in the NE Iberian Peninsula. The area of Catalonia has 32.108 km<sup>2</sup> and sustains a population of 7.441 million (Eurostat 2017). Considering the relatively small size of its territory, Catalonia has a marked geographical diversity, deeply conditioned by the populated Mediterranean coast, with 580 kilometers of coastline, and large relief units of the Pyrenees to the north. This aggregate, together with a dynamic and intense history of land uses, hosts a huge variety of environmental gradients and has created a network of high complex landscapes where a diversity of fire types has coevolved, resulting on the map of homogeneous fire regimes zones of Catalonia (Castellnou et al, 2009).

Fire return intervals in Catalonia for the period 1980-2000 range from 60 to more than 400 years for homogeneous fire regions of around 45.000 hectares (Piqué et al., 2011). Nonetheless, these results should be taken with caution in the northern region due to the gap in the database considered. This fact, discussed further ahead in detail, has justified my specific interest to better understand the singularity of the Pyrenees fire regime. In that sense, the analysis of this region has been my main priority, together with the commitment to synthesize a fire regime sustainable management proposal tailored to this socioecological context (see chapter 4), where the impacts of pyro-climatic regime changes during the coming decades are expected to be more intense and challenging in terms of vulnerability (Moirondo et al, 2006; Casals et al, 2009).

Annual burnt area in Catalonia from 1986 to current days is highly variable, with the largest area burnt in 1986 (67.000 ha) and 1994 (93.000 ha). Most of the burnt area is caused by a few large wildfires and most wildfires occur in summer (SPIF annual reports<sup>29</sup>). Nonetheless, based on last decade data, it seems there is a significant change in fire seasonality, an emerging pattern where large wildfires are increasingly occurring out of the typically summer season. Years like 2012<sup>30</sup> (Cabdella, February; Gerri de la Sal - Viu de Llevata – La Seu d’Urgell, all in March; Rasquera, May), 2016 (Cerbi, October), 2017 (Garós, January) and 2019 (Arties, January) are representative of this emerging shift<sup>31</sup>. Stand replacing fires are the most widespread type of fire in Catalonia, with more than 85% of the burnt area being affected by crown fires (Rodrigo et al., 2004). Some large fires have overcome tipping points of the forest systems, especially in the sub-humid continental region, where landscape transition has moved from coniferous forests to oak and scrubland dominated landscapes.

---

**29** [http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/medinatural/dar\\_prevencio\\_incendis\\_nou/dar\\_dades\\_incendis/](http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/medinatural/dar_prevencio_incendis_nou/dar_dades_incendis/)

**30** [http://interior.gencat.cat/ca/el\\_departament/publicacions/bombers/lo-forestalillo/](http://interior.gencat.cat/ca/el_departament/publicacions/bombers/lo-forestalillo/)

**31** [http://interior.gencat.cat/ca/arees\\_dactuacio/bombers/foc-forestal/incendis\\_forestals/informes-dincendis-forestals/](http://interior.gencat.cat/ca/arees_dactuacio/bombers/foc-forestal/incendis_forestals/informes-dincendis-forestals/)

## 2.1.2 Dataset

I use the official database provided by «Serveis de Prevenció d'Incendis Forestals», public administration in Catalonia <sup>32</sup>. This database collects every wildfire from 1968 until present, for each municipality of Catalonia. It includes data about burned area, type of burned land, fire perimeter, names of affected municipalities, starting and ending dates of fires, among other information.

With the goal of being more confident with our analysis, I discard data before 1986. Before that year there is a gap linked to the smaller fires (<10 ha), but even more important than that, there is a big gap of data in relation to the northern region of the country. In the Pyrenees context there are two critical aspects that must be taken in consideration. Firstly, the loss of some database information by the local administration during the digital transition. Secondly, the fact that there were many controlled burnings made by local people that do not appear in the database. This is the case for both the burnings that were properly implemented inside the authorized limits, as well for the burnings that escaped off limits and were systematically extinguished by firefighters since the beginning of 1980's. These two aspects mentioned imply a significant asymmetry between the fire footprint in the Pyrenees landscapes and the official fire database. This justifies my reticence to consider the official database before 1986, above all for the fact we are interested mainly to better understand the Pyrenees fire regime. Therefore, I finally select a thirty-year period from 1986 to 2015, both years included, and we exclude the data related to size class smaller than 1ha. This makes a total of 4164 fires.

Combining a GIS tool<sup>33</sup> with a spreadsheet database<sup>34</sup>, I have generated different data sets according to every specific approach. The details of the data aggregates as well as the used methods for each approach are presented in detail in the following sections 2.2, 2.3, 2.4 and 2.5. All the approaches focus on the period from 1986 to 2015 and include analyses of:

- (a) All fires of Catalonia by different time subseries,
- (b) Homogenous Fire Regime zones,
- (c) Pyro-climatic regions and
- (d) Pyrenees aggregates by time subseries.

---

<sup>32</sup> [http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/medi-natural/dar\\_prevencio\\_incendis\\_nou/dar\\_dades\\_incendis/](http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/medi-natural/dar_prevencio_incendis_nou/dar_dades_incendis/)

<sup>33</sup> ArcGIS (<https://desktop.arcgis.com>)

<sup>34</sup> MS Excel (<https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel>)

### 2.1.3 Methodology

I have applied a statistical framework for discerning and quantifying power-law behavior in empirical data as well as some other heavy-tailed statistical distributions. The analysis covers thirty years of wildfire data for whole Catalonia area, and the aim is to characterize the fire size probability distributions (FSD) according to the procedure proposed by Clauset et al. (2009) and computationally implemented according to Alstott et al. (2014). By adopting this statistical methodology, I expect to achieve robust results as well as to mitigate part of the existent controversy for quantifying the statistical signature of wildfire regimes. I have analyzed different fire frequency-area distributions, specifically every data set mentioned in sections 2.2, 2.3, 2.4 and 2.5.

This approach includes the analysis of different time scale data sets to gain a finer understanding of the observed probability (usually heavy-tailed) distributions and eventually, the interpretation of potential typing points in the regime dynamics. I assume a quantity of  $x$  follows a (continuous) power law distribution if it is drawn from a probability density  $p(x)$  such that  $p(x) \approx x^{-\alpha}$ , where  $\alpha$  is the scaling parameter of the distribution. Since the probability density of a power law distribution diverges as  $x \rightarrow 0$ , there must exist a lower bound to the power law behavior (Newman, M.E.J., 2005). I denote this lower bound as  $x_{min}$  and the number of events contained in the upper range as  $n_{tail}$ . In order to estimate both parameters and  $x_{min}$ , I first use the maximum likelihood estimator for the scaling parameter for the continuous approximation, which is defined as

$$\hat{\alpha} = 1 + n \left[ \sum_{i=1}^n \ln \ln \frac{x_i}{x_{min}} \right]^{-1} \quad (1)$$

where  $x_i, i = 1, \dots, n$  are the observed values of  $x$  such that  $x_i \geq x_{min}$ . The former estimator depends on  $x_{min}$  and its value is not known a priori. Before calculating  $\hat{\alpha}$ , we need to first discard all samples below this point so that we are left with only those for which the power-law model is valid. The Kolmogorov-Smirnov (KS) statistic is used in this sense, which is defined as the maximum distance  $D$  between the cumulative distribution functions of the data  $S(x)$  and the fitted model  $P(x)$ :

$$|S(x) - P(x)| \quad (2)$$

Our estimate  $\hat{x}_{min}$  is the value of  $x_{min}$  that minimizes  $D$ .

Given an observed data set and a hypothesized power-law distribution from which the data are drawn, one-second step is knowing whether the power-law hypothesis is a plausible one. The KS statistic is used again as a goodness-of-fit test between real data and synthetically generated power-law distributed data. Each synthetic data set is fitted individually to its own power-law model and the KS statistic for each one relative to its own model is calculated. The fraction of the time that the resulting statistic is larger than the value for the empirical data is the p-value that we are looking for. It denotes the significance test result and quantifies the plausibility of the hypothesis. The power-law is ruled out if  $p \leq 0.1$ .

As a third and final step, and in order to check if other distributions may be a better fit, a likelihood ratio (LR) test has been performed. The essential idea behind the LR test is to compute the likelihood of the data under two competing distributions. The one with the higher likelihood is then the better fit. Since the sign of the LR alone do not definitively indicate which model is the better fit, I estimate the size of the expected fluctuations using Vuong's method (Vuong 1989). This method gives a new p-value that tells us whether the observed sign of the LR is statistically significant. In our case, we consider explore the following heavy tailed distributions alternatives; *log-normal*, *exponential*, *stretched exponential* and *power law with cut off*. Positive likelihood values favor the power law hypothesis and p-values higher than 0.1 imply no significance on the results.

Appropriate use of these techniques requires significant programming and statistical insight. To greatly decrease the barriers of using good statistical methods for fitting power law distributions, I use the *Power Law Python package* developed by Alstott et al., 2014<sup>35</sup>. By using this code, the idea of executing the aforementioned procedure for every data set becomes a more viable challenge, giving a total of 42 tests that are presented in a table format along the following sections within chapter 2. Finally, for some spatial approaches I have included other analyses as the Gini index in section 2.2 and the fire seasonality in section 2.5. These results simply complement the FSD analysis by estimating inequality in fire size distribution (Delgado and Pons, 2004). The index varies between 0 (maximum equality) and 1 (maximum inequality).

---

<sup>35</sup> <https://github.com/jeffalstott/powerlaw>

## 2.2 ALL FIRES BY DIFFERENT TIME SUBSERIES

### 2.2.1 Data treatment and results

Beyond the fact of uncertainty about the robustness of collected data before 1986, the fact of choosing 1986 as the starting year of our analysis can be explained principally because it coincides with the professionalization of the emergency services of Catalonia («Llei 5/1986 de 10 de novembre de Cossos de Funcionaris de l'Administració autonòmica»).

Although in Catalonia already existed a kind of fire services net before 80's, the reality is that this local volunteer teams mainly were historically responding to structural fires. It was one year after the catastrophe of the Lloret de Mar wildfire in 1979, when forest fires entered more seriously in the sociopolitical agenda. In 1980 the government of Catalonia created the Cos de Bombers, the organization that progressively would assume the responsibility of forest prevention and extinction all over Catalonia. In conclusion, we can assert that before that moment there had not been a relevant landscape interaction between extinction efficacy and fire regimes.

In 1999, because of the severe 1994 and 1998 fire seasons, a team of experts started to operate inside the emergency services of the Government of Catalonia under the acronym GRAF (Otero and Nielsen, 2017; González et al, 2014). This fact opened the chance to improve safety and suppression efficacy in large fire events by introducing inside a classical emergency organization key knowledge related to fire behavior, fire ecology and wildfire prevention. This step implied the creation of specialized teams trained on field analysis at different levels of intervention as well as a set of tools including the use of technical fire and prescribed burning.

With the goal of exploring and capturing the statistical signature of wildfire regimes along the evolution of fire services, I have made a treatment of the official database by generating different time subsets (table 3).

Set code	Sub-period of time (years)	Number of subsets
<b>allCAT30</b>	30	1
<b>allCAT15</b> <sup>a</sup>	15	2
<b>allCAT10</b> <sup>b</sup>	10	3
<b>allCAT5</b> <sup>c</sup>	5	6
<b>allCAT1</b> <sup>d</sup>	1	30
<sup>a</sup> 1986-2000; 2001-2015		
<sup>b</sup> 1986-1995; 1996-2005; 2006-2015		
<sup>c</sup> 1986-1990; 1991-1995; 1996-2000; 2001-2005; 2006-2010; 2011-2015		
<sup>d</sup> 30 periods; each year of the series is considered specifically		

Table 3. Fire sets for different time sub-periods, for all Catalonia.

From those fire sets the results are organized according to the logic of first contrasting the hypothesis of statistical plausibility of the empirical data in relation to power laws together with other possible heavy-tailed distributions alternatives. Specifically, the alternative distributions compared to power law have been the following:

- truncated power law,
- log-normal,
- exponential and
- stretched exponential.

The results are presented in tables and figures formats to facilitate and enhance the discussion. For the whole number of subsets, it makes a total amount of 84 tests. Most of tables and figures can be found in the appendix A, and only a few of them are directly included in this section. Results also include an analysis of fire size classes for the subset allCAT15. As I will discuss later, that allows to interpret some cryptical but relevant aspects happening during the 30-year period.

Before that, I show the basic fire activity trends during the whole analyzed period (figure 7 and table 4). There are some appreciable peaks in burned area during the years 1986, 1994, 1998, 2003 and 2012 and, it is also noticeable a decreasing trend both in total area burned and total number of fires.

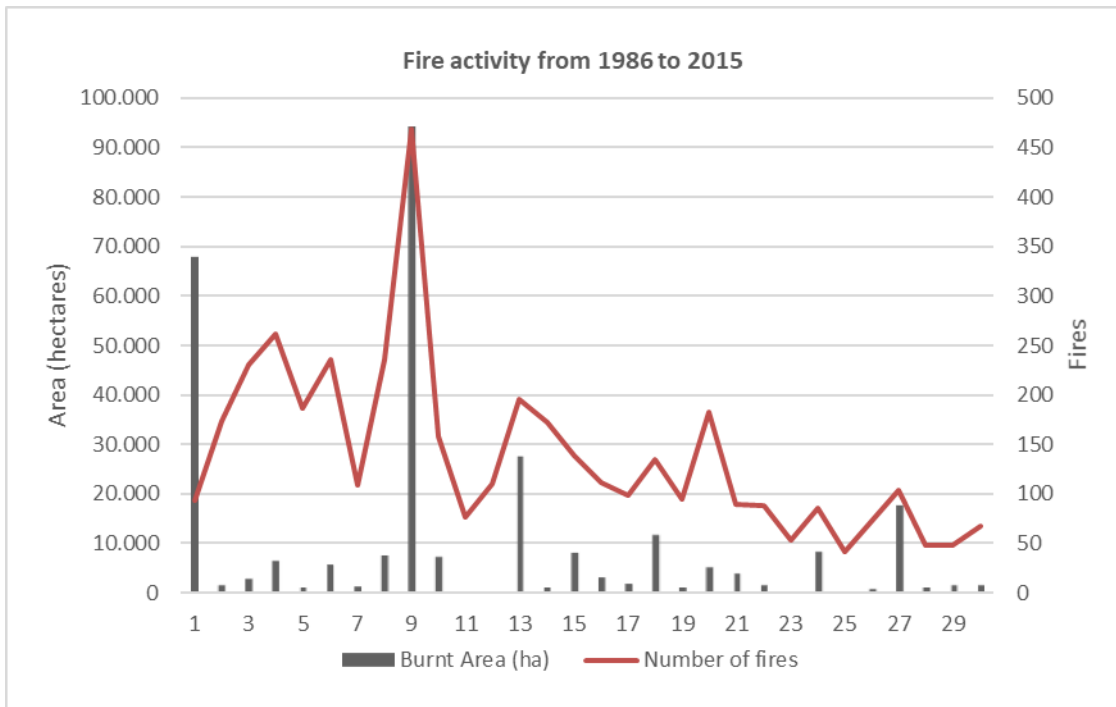


Figure 7. Annual number of fires and annual burned area from 1986 to 2015 in Catalonia.

Fire Data Set	Burnt area (ha)	Fires	Average (ha)	Median (ha)	SD (ha)	Xmax (ha)
allCAT30_19862015	301.247	4.164	72	3	747	25.776
allCAT15_19862000	237.331	2.844	83	3	869	25.776
allCAT15_20012015	63.916	1.320	48	3	1.793	10.477

Study area (ha): 3.209.490

Table 4. Descriptive measures for 30 years of fire data in Catalonia.

From that point, the alternative method I have applied is the one mentioned in section 2.1.3. Tables 5 and 7 show  $Xmin$  and  $Ntails$  measures as well as alpha values ( $\alpha$ ) of theoretical power law models derived from the empirical data of different time subsets. The measures  $Xmin$  and  $Ntails$  are fundamental to estimate the span of the power law behavior and to develop further quantitative models.

Additionally, tables 6 and 8 show results to assess other alternatives distributions as well as their plausibility, including here plausibility for pure power laws and truncated power laws distributions (power law + cut off). The likelihood ratio ( $LR$ ) test compute the likelihood of the data under two competing distributions. The one with the higher likelihood is then the better fit. Since the sign of the  $LR$  alone do not definitively indicate which model is the better fit (because it is subject to statistical fluctuation), I estimate the size of the expected fluctuations using Vuong's method (Vuong, 1989). This method gives a  $p$  value that tells us whether the observed sign of the  $LR$  is statistically significant. Positive likelihood values favor the power law hypothesis and  $p$ -values higher than 0.1 imply no significance on the results.



Period 1986-2015	x_min	alpha	n-tail
allCAT30_19862015	6.75	1.61	1548
allCAT15_19862000	6.4	1.59	782
allCAT15_20012015	1.38	1.62	1118
allCAT10_19861995	6.75	1.57	602
allCAT10_19962005	16.6	1.74	202
allCAT10_20062015	1.3	1.60	604
allCAT5_19861990	10.1	1.59	217
allCAT5_19911995	4.1	1.56	429
allCAT5_19962000	2.3	1.72	349
allCAT5_20012005	2.07	1.64	402
allCAT5_20062010	1.0	1.60	358
allCAT5_20112015	1.29	1.60	298

Table 5 FSD analysis for different time subsets in Catalonia Fire Data Base, power law model values.

Period 1986-2015	PL + cut off		Log-normal		Exponential		Stretched exp.		Support for
	LR	p	LR	p	LR	p	LR	p	
allCAT30_19862015	(-) 3.37	0.001	(-) 1.29	0.195	11.33	8.938e-30	0.32	0.743	PL + cut off
allCAT15_19862000	(-) 2.93	0.002	(-) 1.25	0.210	9.50	2.014e-21	(-) 0.24	0.808	PL + cut off
allCAT15_20012015	(-) 2.56	0.003	(-) 0.97	0.330	8.56	1.099e-17	0.67	0.502	PL + cut off
allCAT10_19861995	(-) 2.77	0.002	(-) 1.24	0.211	8.28	1.164e-16	(-) 0.47	0.631	PL + cut off
allCAT10_19962005	(-) 1.19	0.260	(-) 0.42	0.673	4.37	1.230e-05	0.21	0.826	PL
allCAT10_20062015	(-) 1.86	0.023	(-) 0.89	0.370	6.01	1.750e-09	0.22	0.822	PL
allCAT5_19861990	(-) 1.74	0.045	(-) 0.90	0.367	4.87	1.078e-06	(-) 0.64	0.521	PL
allCAT5_19911995	(-) 2.19	0.020	(-) 0.81	0.415	7.06	1.613e-12	0.12	0.901	PL
allCAT5_19962000	(-) 0.83	0.662	(-) 0.09	0.920	4.91	8.719e-07	0.84	0.398	PL
allCAT5_20012005	(-) 2.36	0.025	(-) 0.86	0.385	8.02	9.780e-16	(-) 0.18	0.854	PL
allCAT5_20062010	(-) 1.64	0.046	(-) 0.70	0.481	5.09	3.474e-07	0.06	0.944	PL
allCAT5_20112015	(-) 1.29	0.172	(-) 0.57	0.563	4.55	5.172e-06	0.21	0.826	PL

Table 6. Comparing alternative heavy tailed distributions for different time subseries, in Catalonia Fire Data Base.

allCAT1	$\hat{X}_{min}$	$\hat{\alpha}$	Ntail
allCAT1_1986	360	1.84	25
allCAT1_1987	3	1.95	92
allCAT1_1988	4.5	1.89	72
allCAT1_1989	2.3	1.75	145
allCAT1_1990	2.4	1.93	88
allCAT1_1991	2.3	1.69	136
allCAT1_1992	2.3	1.84	51
allCAT1_1993	6.1	1.62	54
allCAT1_1994	3.6	1.49	214
allCAT1_1995	1.3	1.69	118
allCAT1_1996	2.3	1.89	34
allCAT1_1997	1.3	1.86	79
allCAT1_1998	1.5	1.62	153
allCAT1_1999	1.5	1.98	123
allCAT1_2000	1.5	1.67	102
allCAT1_2001	18.5	1.88	19
allCAT1_2002	1.65	1.73	79
allCAT1_2003	1.5	1.52	114
allCAT1_2004	6.3	2.00	32
allCAT1_2005	4.1	1.73	79
allCAT1_2006	4.2	1.65	46
allCAT1_2007	1.1	1.67	80
allCAT1_2008	1.2	1.96	48
allCAT1_2009	1.0	1.47	86
allCAT1_2010	1.1	1.66	41
allCAT1_2011	5.5	1.99	30
allCAT1_2012	1.0	1.49	104
allCAT1_2013	1.04	1.63	45
allCAT1_2014	1.0	1.62	48
allCAT1_2015	1.5	1.72	60

Table 7. FSD analysis for annual subseries of time in Catalonia Fire Data Base. Power Law model values.

allCAT1	PL + cut off		Log-normal		Exponential		Stretched exp.		Support for
	LR	p	LR	p	LR	p	LR	p	
allCAT1_1986	(-) 0.76	0.414	(-) 0.34	0.728	2.13	0.032	(-) 0.32	0.746	PL
allCAT1_1987	(-) 0.79	0.414	(-) 0.25	0.798	2.83	0.004	0.12	0.896	PL
allCAT1_1988	(-) 0.71	0.611	(-) 1.05	0.289	4.25	2.12e-05	0.78	0.429	PL
allCAT1_1989	(-) 0.87	0.486	(-) 1.16	0.245	4.34	1.42e-05	1.31	0.187	PL
allCAT1_1990	(-) 0.81	0.391	(-) 0.32	0.744	2.75	0.005	(-) 0.01	0.990	PL
allCAT1_1991	(-) 1.30	0.191	(-) 1.14	0.883	4.97	6.64e-07	0.65	0.513	PL
allCAT1_1992	(-) 0.47	0.745	0.12	0.897	2.57	0.010	0.55	0.581	PL
allCAT1_1993	(-) 1.14	0.229	(-) 0.18	0.850	6.00	1.87e-09	0.25	0.802	PL
allCAT1_1994	(-) 2.05	0.039	(-) 0.698	0.485	6.91	4.76e-12	(-) 0.16	0.870	PL
allCAT1_1995	(-) 0.63	0.710	(-) 1.03	0.299	3.58	3.4e-04	1.02	0.303	PL
allCAT1_1996	(-) 0.42	0.766	(-) 1.11	0.265	2.66	7.7e-03	0.70	0.482	PL
allCAT1_1997	(-) 0.91	0.391	(-) 0.15	0.875	3.62	2.9e-04	0.28	0.776	PL
allCAT1_1998	(-) 0.86	0.685	0.01	0.987	5.01	5.2e-07	0.78	0.432	PL
allCAT1_1999	(-) 0.67	0.572	0.14	0.885	3.46	5.2e-04	0.74	0.457	PL
allCAT1_2000	(-) 0.65	0.690	5.3e-03	0.995	3.33	8.4e-04	0.61	0.538	PL
allCAT1_2001	(-) 0.41	0.743	2.7e-03	0.997	2.26	0.023	0.31	0.754	PL
allCAT1_2002	(-) 0.95	0.394	(-) 1.75	0.078	5.12	2.95e-07	0.96	0.334	PL
allCAT1_2003	(-) 1.66	0.111	(-) 0.49	0.617	6.34	2.25e-10	(-) 0.006	0.994	PL
allCAT1_2004	(-) 0.37	0.777	(-) 0.003	0.996	1.96	0.049	0.33	0.734	PL
allCAT1_2005	(-) 0.96	0.432	0.20	0.841	5.51	3.44e-08	0.80	0.422	PL
allCAT1_2006	(-) 1.01	0.318	(-) 0.29	0.771	3.95	7.64e-05	(-) 0.007	0.994	PL
allCAT1_2007	(-) 1.18	0.294	(-) 0.30	0.758	4.75	2.03e-06	0.15	0.875	PL
allCAT1_2008	(-) 0.36	0.863	(-) 1.50	0.131	3.89	1.0e-04	1.15	0.249	PL
allCAT1_2009	(-) 1.34	0.104	(-) 0.74	0.453	3.49	4.7e-04	(-) 0.67	0.50	PL
allCAT1_2010	(-) 1.15	0.208	(-) 0.53	0.592	3.98	6.87e-05	(-) 0.46	0.641	PL
allCAT1_2011	(-) 0.39	0.758	(-) 1.54	0.123	2.98	0.002	0.81	0.413	PL
allCAT1_2012	(-) 1.21	0.267	(-) 0.22	0.822	4.60	4.02e-06	0.45	0.650	PL
allCAT1_2013	(-) 0.84	0.414	(-) 0.19	0.847	3.03	0.002	0.14	0.887	PL
allCAT1_2014	(-) 0.89	0.464	(-) 0.227	0.819	3.71	2.0e-04	0.16	0.870	PL
allCAT1_2015	(-) 0.64	0.573	(-) 0.43	0.662	2.19	0.028	(-) 0.34	0.732	PL

Table 8. Comparing alternative heavy tailed distributions for annual subseries of time in Catalonia Fire Data Base.

In order to better interpret these results, I have selected the figures extracted for every single test performed. For reasons of space and to facilitate the reading, this selection is in the appendix A, and only a few of them are presented in this section.

The figures allow to visualize the level of truncation in fire probability distributions, especially how the tail of the empirical data truncates in relation with the theoretical power law. It is remarkable how the second half of the period studied shows a larger correlation both in the lower side of the distribution and in the tail. Empirical fire events above 1000 hectares correlate with the power law distribution during the first half of the period meanwhile it does not correlate in the second half, showing a truncation even before the size of 1000 hectares (figures 8, 9 and 10).

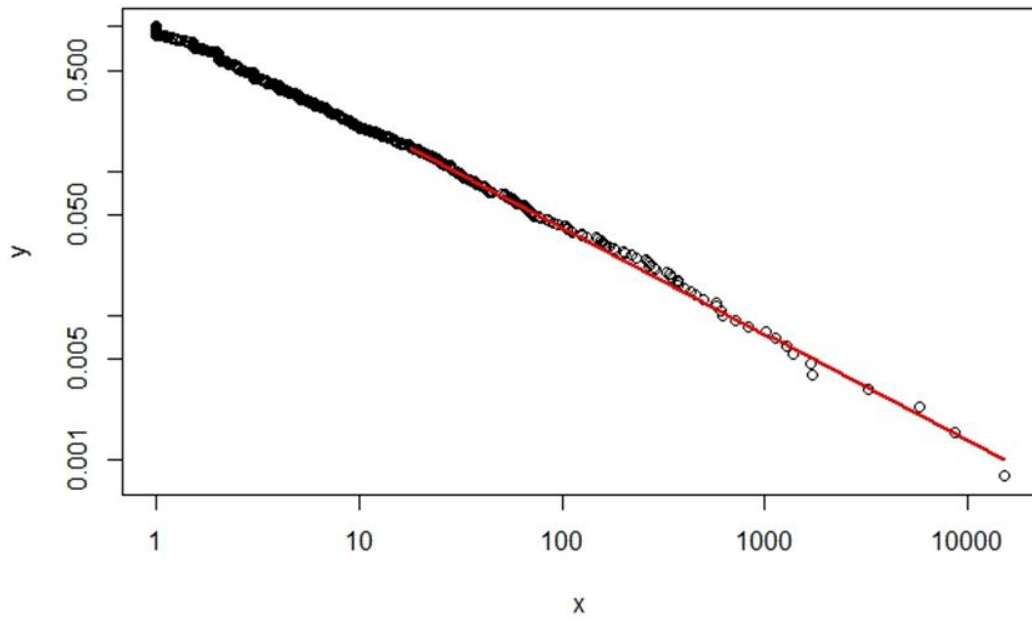


Figure 8. FSD plot related to the empirical data contained in the set "allCAT15\_19862000". Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

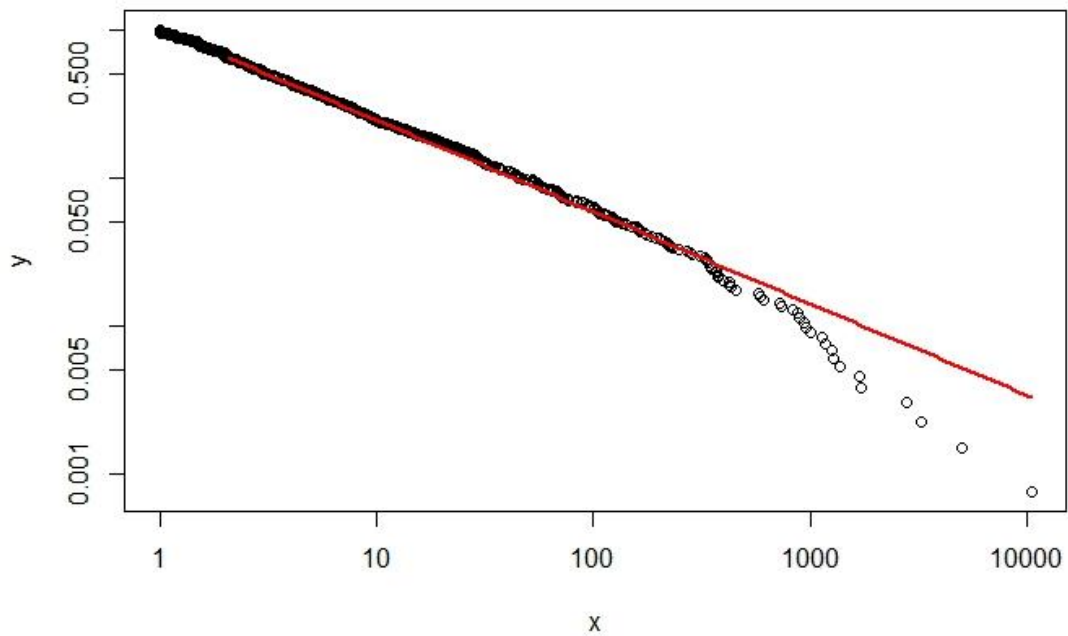


Figure 9. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT15\_20012015. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

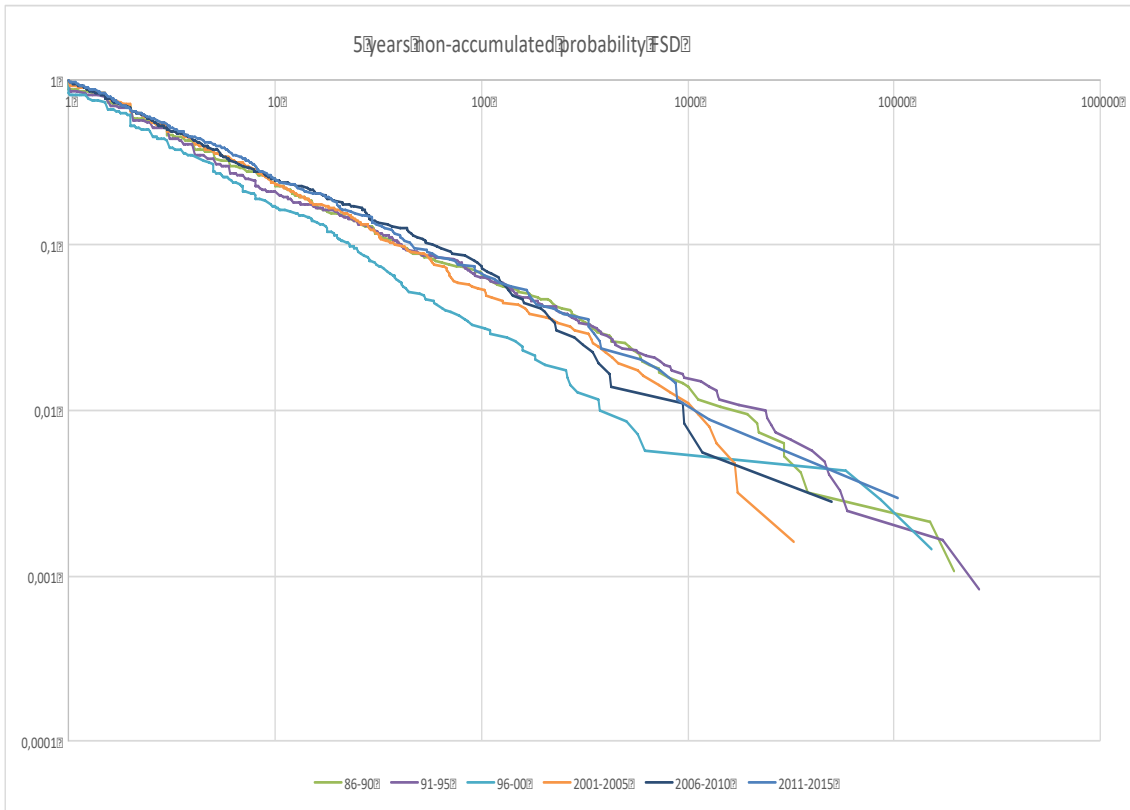


Figure 10. Probability FSD related to the empirical data contained in the set “allCAT5”, according to the 6 specific subsets shown in table 3.

Figure 10 shows differences in probability distributions for intervals of 5 years. The first subsets show larger sizes and higher probabilities for almost all sizes. The second half of subsets show less probability for almost all sizes unless for the size ranging from 1000 to less than 10.000 hectares. In that range probability increase counterbalancing the truncation of the largest events.

Another way to visualize these changes in time is by columns of size classes. Although during the second half of the period the probability decreases for almost all sizes, the figure 11 shows the increase in medium sizes classes (in relative terms).

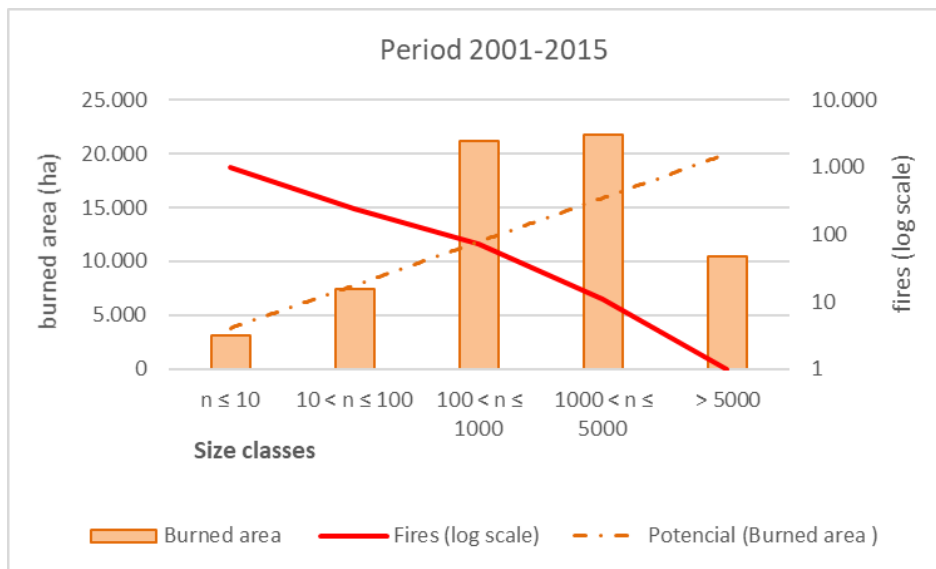
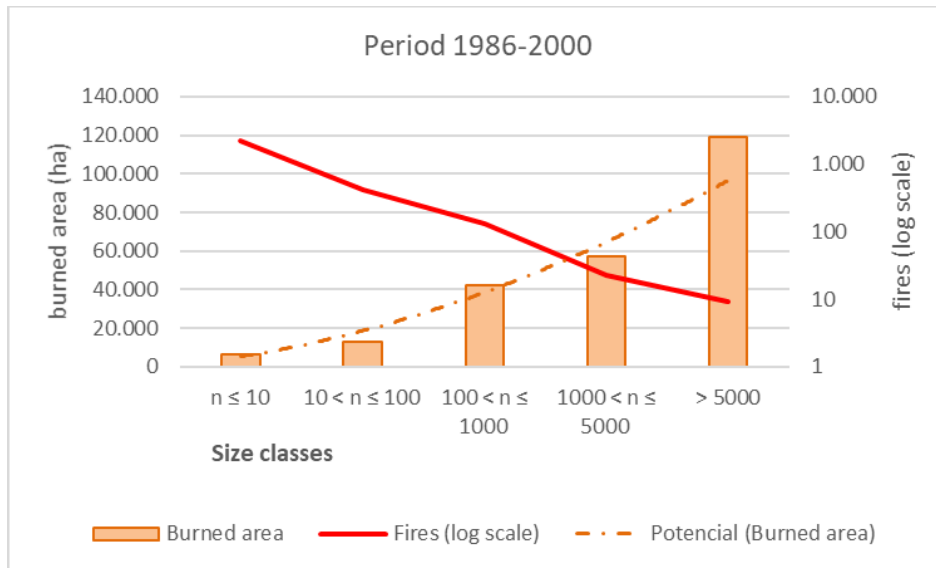


Figure 11. Size class analysis including burned area and number of fires for the set “allCAT15”, according to table 3.

Additionally, I present a selection of the Gini index results obtained for the subsets referring to all annual fires of Catalonia during the 30-year period (figure 12). The most remarkable aspect is the fact the highest values of inequity correspond to the five years with more area burned. These years are 1986, 1994, 1998, 2003 and 2012. Nonetheless, there is neither a significant difference nor a remarkable trend, and these results simply complement the FSD analysis. That is because I do not include the Gini index results in the following approaches.

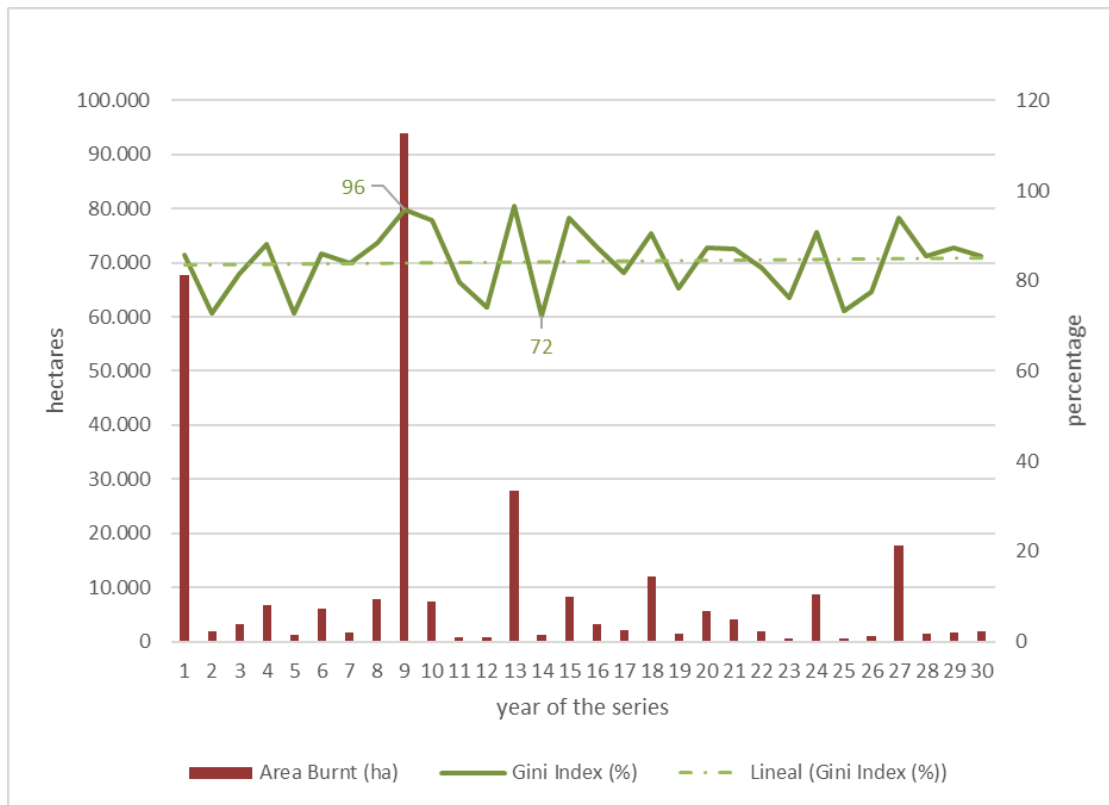


Figure 12. Gini index (%) and Area burned (ha) for each year of the period 1986-2015 (allCAT1's). The green dashed line is the lineal trend of the Gini index values along the period.

## 2.2.2 Discussion (subsets allCAT)

The obtained alpha values are quantitatively coherent with results proposed in the literature for other ecoregions (Reed & McKelvey 2002; Malamud et al. 2005). It must be taking in consideration that small changes in the power exponent alpha make a big difference in real (dimensions) world.

Observing the figures, together with the  $n_{tail}$  values reported in table 5, we can make an idea of how much representative is the power law correlation over the empirical data. In the case of allCAT30,  $n_{tail}$  includes 37% of total fires, but when we compare time subsets, the change is quantitatively significant. In that case, the fitting of allCAT2001-2015 with the truncated power law reaches a remarkable 85% of total fires.

The relative increase in the  $n_{tail}$  suggests that the finer is the process of data collection, the higher is the range represented. That makes a lot of sense since in recent years, GPS technology has been widely used and it is now normalized. This fine grain resolution can be appreciated mainly in the lowest part of the distribution ( $x_{min}$  values) where there are more fire events fitting the power law (from year 2000 onwards). This effect is not appreciated in other past analyses like Díaz-Delgado et al. (2004) where they also studied a long period of time (i.e., from 1975 to 1998). These results suggest that small size events of the distribution in fire empirical data can fit the power law when the process of data collection is improved. The analyses of past aerial images, as well as satellite monitoring technologies, have changed positively the capacity of detecting the footprint of historical fires (Delgado et al., 2004), but there are different situations where these dispatching methods have gaps. Some examples are surface fires on tree closed forests, or fires occurring in cultivated open lands where the annual regeneration somehow erase or hide the footprint on vegetation. Therefore, the fact the GRAF units have been active collecting field data can be considered a key factor to explain the fitting of small size classes with the theoretical power law.

The longest time subsets correlate better with the truncated power law distribution. These are the cases for allCAT30 and allCAT15s. Nonetheless, the shortest periods fit better with the power law distribution (interannual allCATs and allCAT5s). For 10-year periods, only allCAT10\_19861995 supports a truncated power law, but this is not the case for allCAT10\_19962005 and allCAT10\_20062015. According to these results, such differentiation suggests that along the 30-year period there has not been the same level of interaction between fire suppression and fire regime dynamics. If we take into account the evolution of the fire services in Catalonia explained in chapter 1 (section 1.3), the results confirm that the prevention and extinction improvements in Catalonia during this long period have contained the impacts of the upscaling trend linked to wildfire generations. That does not mean that the fire services of Catalonia can counterbalance the effects of such global and regional trends on fire regimes, but it has significantly mitigated the impacts of total burned area as well as the magnitude of large wildfires. I metaphorically refer to it as the hammer effect of fire services.



In the case of 1986-2000 period, the span of the empirical data fitting the theoretical probability distribution is lower in absolute terms than in the second half of the period. This is mostly appreciable in the lower part of the size distribution. On the contrary, during the period 2001-2015, the tail of the empirical data decays sooner (figure 9) observing a decrease in the size class > 5000 hectares 12 times lower in the second half of the period (2001-2015) than in the first half (1986-2000), accompanied by a remarkable reduction in the  $x_{max}$  values (table 4, figure 11). From an extinction capacity point of view, there are noticeable differences between 1994 / 1998 and 2003/2012 episodes, specifically on how the Catalan fire services manage this kind of extreme episodes (more information about this change in section 1.3). Basically, this improvement can be summarized by the transition from a reactive response, where fire services were focused on (trying) to put out the flames anytime, everywhere, to a strategic emergency management for an objective of resilience based on tactical analysis and costs of opportunity. This suggests again the irruption and level of performance for the aforementioned hammer effect. However, reduction in  $X_{max}$  is not the only fact to point out. The results suggest also there are collateral effects when extinction truncates the tail of a probability distribution. The results show there is a relative significant increase of fire events clustered in the medium size classes (figures 10 and 11). To explain this evidence, I suggest the sooner is the truncation in the power law (due to the efficacy in extinction capacity), the higher is the level of impact over the medium size classes, a pattern that I call the arched back effect (figures 39, 40, 41, 43 and 44, appendix A). For the fire empirical data of Catalonia, the arched back effect is not happening in absolute terms but in relative terms. This nuance is relevant because the total burned area in the medium size classes during the second half of the period has notably decreased as well as all over the range of the distribution (table 4).

There is also a consideration about the intensity and energy released by fires that can be discussed. Using the area as a proxy for energy, an integration calculus under the frequency-area curve would give the total energy dissipated by a fire regime. Any changes in wildfire frequency will produce changes in the scaling of wildfires, as we assume that energy is dissipated maximally (Odum. H.T., 1988, Giannetti et al, 2019): that is, the area under the curve will remain constant. From that perspective, the arched back effect could suggest an increase of the specific energy released in the medium part of the distribution. If this were the case, it would mean there are direct consequences in terms of ecological severity as well as for emergency responders' safety. The measurement of active fire radiative energy by remote sensing technologies could provide useful data to contrast what I here propose as a mere hypothesis, just as long as they are able to detect slight intensity differences in fire behavior intimately related to fuel moisture, seasonality, etc.

The findings presented add notable nuances to the conclusions of the 20-year period FSD analyses in Delgado et al, 2004. Certainly, we use different statistical methods to characterize FSD in empirical data, but beyond this fact I propose that the conclusions of both analyses can be overlaid to interpret the recent past as well as to make assessments about upcoming challenges related with changing fire regimes.

Firstly, I demonstrate *Ntail* significantly expands since the moment when systematic field data collection has been applied, in the case of Catalonia from year 2000 ahead. In Delgado 2004 this wider fitting of *Xmin* and *Ntail* with power laws is not evident, basically because I interpret his database was weak in the sense it goes back in time where data collection for small events was not so accurate. I benefit from considering a posterior and modern long period as such from 2000-2015.

Secondly, the results are coherent with the conclusion of Delgado 2014 when considering the same period. However, the results also draw conclusions about the rebound effect in the medium size classes of fire distributions, what I suggest as the arched back effect. If we also consider the fact the sizes of largest wildfires and the total burned area have decreased significantly when analyzing the 30-year period, it suggests the extinction paradox should be rethought to better appreciate how fire regimes have evolved along the gradual advances of fire services in the recent history of Catalonia.

Finally, the assumption of the arched back effect does not mean at all I reject the extinction paradox. I simply add the nuance that the capacity of extinction not only generates collateral patterns in the long-term, but also has the potential to alter patterns in the medium size classes, arching the distributions when truncation in the tail is (temporally) achieved by the capacity of suppression. This consideration does not change the adverse situation of Catalonia to deal with climate change impacts in relation to fire regimes. From a suppression perspective, fire experts converge to the idea we are carrying on an unsustainable success, and the fact of sharing with Delgado (2014) the same geographical scope and consider the same emergency organization net, give more reliability and credibility to our contributions.

## 2.3 HOMOGENEOUS FIRE REGIME ZONES

To allow spatial analyses regarding the Homogeneous Fire Regime zones (here in after HFR zones), I draw from the classification made by Castellnou et al. 2009 and Piqué et al. 2011. This classification includes geographic and descriptive information concerning the map of homogeneous areas of forest fires in Catalonia, which integrates the analysis of over 2.000 perimeters of historic wildfires and the information associated with the common use, the fire type, the exact location, the hydrographic catchment area and the direction of the fire among other descriptive elements.

The methodology used to draw up the homogeneous areas map has been published in the 2011 guide Integration of the risk of major forest fires in forest management: Fire type and vulnerability of forest structures in focal point fires. Forest Property Center. Generalitat de Catalunya, 2011 (figure 45, appendix A)

### 2.3.1 Data treatment and results

There is no information related to the HFR zones in the official wildfire database I use. To solve this lack of connection, I have crossed the shapefile of HFR zones with the wildfire database in spreadsheet format<sup>36</sup> using GIS tools<sup>37</sup>. I take advantage of the information column of the starting point of each wildfire and, from that, I create a new column in the database indicating the HFR zone to which every single wildfire from the 1986 to 2015 period corresponds. After this data treatment, I apply de FSD analysis for aggregates of HFR zones.

The results of the FSD analysis are presented in tables 20 and 21 (appendix A). These tables collect the results for the 77 HFR zones, making a total of 154 tests (statistical method described in section 2.1.3). I also generate a map format to better illustrate the results both quantitatively and in terms of geographical distribution (Figure 13). The map is based on the alpha values obtained because this measure serves to characterize FSD (Malamud et al, 2005; Jiang et al, 2009) providing significant statistical nuances to interpret the already available information in Catalonia related with fire rotation periods.

---

<sup>36</sup> Microsoft Corporation. (2018). Microsoft Excel. Retrieved from <https://office.microsoft.com/excel>

<sup>37</sup> <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>

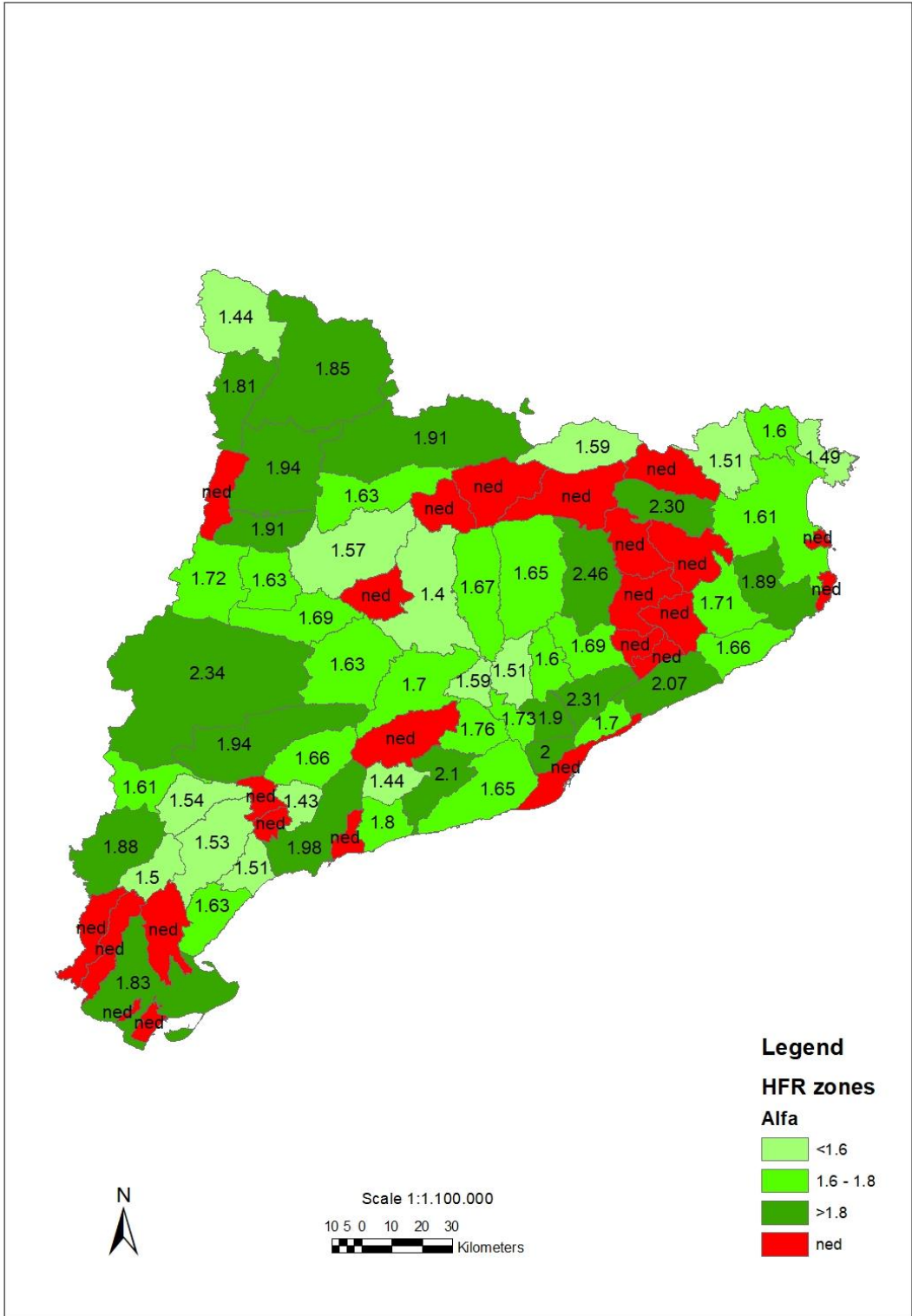


Figure 13. HFR zones of Catalonia with the alpha values.

### 2.3.2 Discussion (HFR zones)

The results at that spatial scale show plausibility with the power law alternative. The values of alpha for HFR zones are also coherent with other studies that made similar approaches to the characterization of fire regimes from empirical data, like those of Moreno et al. (2011) in Spain, Jiang et al. (2009) in Canada, Cui et al. (2008) or Malamud et al. (2005) in USA. I highlight the huge variability in alpha values ( $1.43 < \alpha < 2.31$ ) for such small relatively area that is Catalonia. This is coherent with the high landscape diversity that characterizes this piece of land located in the NE of the Iberian Peninsula (more detail in section 1.4).

The results detect also intraspecific differences in the northern, central, and southern parts of the country. For example, the HFR01 zone (Aran Valley) has a value of alpha significantly lower than its neighbors 2, 3, 5, and 6. At the Pyrenees scale, such details are not evident at all since the main drivers of fire behavior (topography, meteorology and forest fuel) do not change significantly. I interpret that some part of this intraspecific diversity in alpha values is a consequence of the topographic and bioclimatic aspects. In that case, Aran Valley has an Oceanic climate while the neighboring zones have a high mountainous Mediterranean climate. However, such a notable difference in alpha values are difficult to understand only in these terms. I suggest there is a social vector that varies depending on the contemporaneous fire use dynamics and culture that run in each valley. Since control burns have been historically a normal activity linked to pastoralism all over the Pyrenees, during the last decades extinction and prevention services have had the leadership of using fire as a tool. The traditional goal was the management of pastures while extinction and prevention services objectives nowadays are more allocated to wildfire prevention and multifunctional management (i.e., prescribed burnings). The role of public services doing control burnings in this rural communities satisfies the needs of pastoral activity and at the same time reduces the incidents of many burns' escaping out of control. This policy has not been applied in the HFR01 zone (Aran Valley) because they operate with a slightly different emergency team (Pompiers Aran). In this case there is not a prescribed burning program implemented, and one consequence is an impingement between the needs of pastoralism with the imperative of fire extinction anytime, anywhere. This local conflict explains the higher uncontrolled fire activity in the Aran Valley compared to the rest of zones just mentioned.

During the process of digitalization of historical data many wildfires were lost, and the worst impact of that was on the Pyrenees region, where there is a gap in the database before 1986 compared to the rest of Catalonia. Also, the so common traditional use of fire in the Pyrenees did not appear in the official database because only control burns that went finally out of control were considered wildfires. These details create a mismatch between the real fire footprint in the landscapes and the fire data collected in the database. That is why I select a time frame (1986-2015) that must be understood as a proactive decision to find enough reliability in the empirical data used.

The results confirm that the plausibility of the power law distributions in empirical data as well as the alpha values obtained are representative of the HFR zones of Catalonia during the recent past (30-year period from 1986 to 2015). Therefore, these results represent a characterization upgrading at the level of HFR zones and (I suggest) they can be used from this point onwards to complement the current available knowledge about HFR zones in Catalonia.

The acronym NED corresponds to “not enough data” and coincides with those results in which alpha values are above 2, or with values of *Ntails* below 20. For all these cases I reject the aim to characterize the FSD. I also discard the idea to explore intraspecific time subperiods. I consider that 30 years is already a too short period to somehow capture the dynamics at a level of HRZ zones. In fact, the NFR proposed in Castellnou et al, 2009 and Piqué et al, 2011 consider a larger time span. I also find the problem of having some wildfires in the database that spread in different HFR zones and only must be accounted for one of them. Depending on what we choose it can magnify or simplify the fire statistical signature of these zones. For all these reasons, I decided to upscale the area with the aim to increase the number of fires and solve the problem of NED results in some parts of the territory. This spatial scale proposed corresponds to what I called pyro-climatic regions, which results are presented in the following section 2.4.

## 2.4 PYRO-CLIMATIC REGIONS

To allow spatial analyses regarding the climatic factor that drive wildfire regimes, I classify the fire database into what I called pyro-climatic regions. These pyro-climatic regions neither are the same of ecoregions divisions developed by Bailey (1995) that have been used to characterize wildfire regimes in US and Canada (Malamud et al. 2005, Jiang et al. 2009), nor the pyro-climates classification developed in south eastern France (Thibaut et al. 2015).

Ecoregions distinguish geographic regions that share common biophysical characteristics. In Bailey's classification, a three-level hierarchy is used:

- Domains (based primarily on climate),
- Divisions (climate, vegetation, and soils), and
- Provinces (climate, vegetation, soils, land-surface form, and fauna).

The pyro-climates defined in Thibaut's classification for analyzing regional changes in fire regimes are developed from specific spatiotemporal patterns of fires and climate, on the basis of four components:

- fire regime,
- climate (bioclimatic and fire danger indices),
- recent temporal trends in fire regimes.
- recent temporal trends in climate

I have simplified these approximations by adapting them to my specific needs (see details about data treatment in section 2.4.1). The goal is not to define the Catalonia pyro-climates but to create sets of fire data in connection with the climate division map of Catalonia provided by the Meteorological Service of Catalonia<sup>38</sup>. In any case, defining these pyro-climatic regions allows to clearly transcend anthropogenic boundaries, better reflecting the complex functional diversity of Catalonia landscapes.

Using this approach allows spatial disaggregation of the data at a resolution suitable to evaluate climate drivers as an exogenous control of landscape, while ensuring that a robust sample size of wildfires is available for the statistical analysis. In this way it is possible to overcome some limitations that I have been found previously and it justifies, in some way, part of the interest to explore beyond the approach of Homogeneous Fire Regime zones (Piqué et al., 2011) shown in the previous section.

---

<sup>38</sup> <https://www.meteo.cat>

### 2.4.1 Data treatment and results

The climate classification of Catalonia is provided by the Meteorological Service of Catalonia (SMC) and can be summarized according to table 22 and figure 46 (appendix A). For more detail about Catalonia landscapes and climate, see section 1.4.

Since the climate division map of Catalonia is not available in a suitable format for cartographic viewers, I have digitized the division map using GIS tools. This has resulted in moving from an image format (.png) to a layer format (.shp). The boundary lines between the different climatic zones have been manually drawn by overlaying them on a base map of Catalonia. The original climatic divisions have been simplified to obtain a greater number of data per zone, thus dismissing the subtype variability except for the continental type. This step halves the number of climatic zones from 14 to 7 (table 23, appendix A):

1. Pyrenean,
2. Pre-Pyrenean,
3. Continental humid,
4. Continental sub-humid,
5. Continental Dry,
6. Pre-littoral and
7. Littoral

The visual mapping of table 22 is similar to the original climate division, but in practice the transformation of this file has been key to getting on with the delimitation of the pyro-climatic regions. These seven climatic zones (in .shp file format) have been overlaid with the FHR zones map using ArcMap (figure 47, appendix A). For a significant part of the territory, both delimitations are in conflict because they do not match in their respective limits. To solve this problem, the exact delimitation has been adjusted following expert's advice (GRAF team). Once we have the delimitation it is possible to obtain wildfire data aggregates for each climatic zone. These aggregates constitute what I call pyro-climatic regions of Catalonia (table 23, figure 48, appendix A).

In section 2.6 I discuss about the limitations and strengths of the different spatial approaches, being especially relevant when comparing general descriptive measures like those shown in table 9. According to pyro-climatic regions, the pre-littoral contains some of the largest fire events and this fact differs notably if we consider other spatial approaches where the nuances of boundaries make account some of these largest fires to northern regions, like it happens with La Jonquera fire. Firstly, I present descriptive measures for each pyro-climatic region (table 9).



Pyroclimatic Region	Area (ha)	Fires	Average (ha)	Median (ha)	SD (ha)	Xmax (ha)
PCr1 (Pyrenean)	286.787	270	21	4	47	336
PCr2 (Pre-pyrenean)	474.064	366	10	3	31	337
PCr3 (H. continental)	123.369	72	3	2	4	19
PCr4 (Sh. continental)	410.745	409	244	3	1.800	25.776
PCr5 (D. continental)	749.489	753	70	3	635	14.960
PCr6 (Pre-littoral)	450.362	755	102	3	883	19.162
PCr7 (Littoral)	714.674	1.528	40	3	248	4.819

Table 9. Descriptive measures for pyro-climatic regions of Catalonia (PCr).

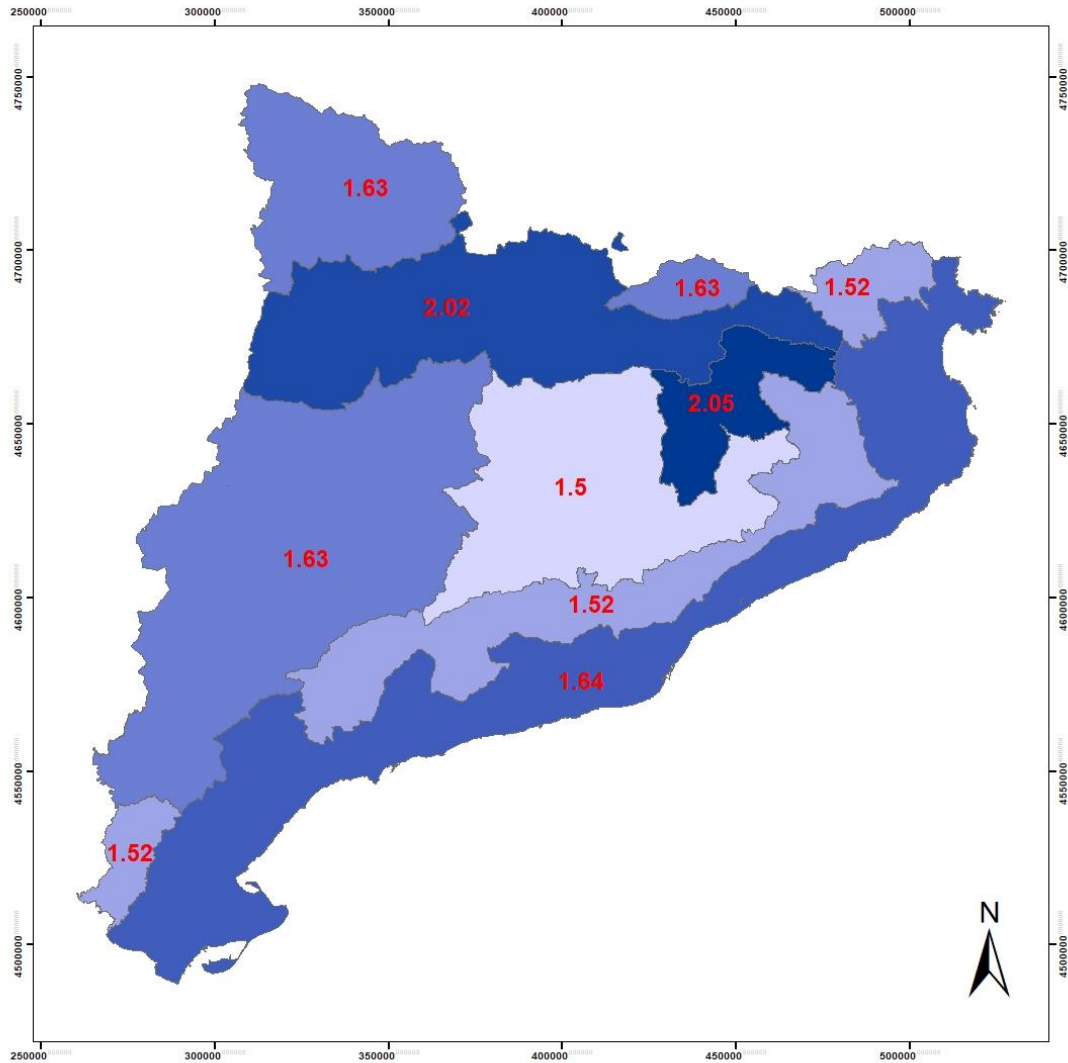
Secondly, following the methodology mentioned in section 2.1, I present the results for every set code defined in table 24 (appendix A). The results are collected in tables 10 and 11, together with the figure 14 (shape format). Alpha values range from 1.52 to 2.05, which are coherent results according to the ones observed in the HFR zones approach. *Ntails* are significant in all cases but show more favorable results for the Pyrenean, Pre-pyrenean, and Humid continental sets.

Set code	$\hat{X}_{min}$	$\hat{\alpha}$	Ntail
PCr1 (Pyrenean)	2.5	1.63	172
PCr2 (Prepyrenean)	3.78	2.02	150
PCr3 (Humid continental)	1.1	2.05	57
PCr4 (Subhumid continental)	4.0	1.50	176
PCr5 (Dry continental)	2.6	1.63	426
PCr6 (Prelittoral)	3.0	1.52	330
PCr7 (Littoral)	3.3	1.64	657

Table 10. Power law values for each pyro-climatic region of Catalonia, period 1986-2015.

Set code	PL + cut off		Log-normal		Exponential		Stretched exp.		Support for
	LR	p	LR	p	LR	p	LR	p	
PCr1	(-)2.76	0.001	(-)1.53	0.125	4.91	8.75e-07	(-)1.60	0.107	PL + cut off
PCr2	(-)0.92	0.424	(-)0.11	0.911	4.30	1-67e-05	0.52	0.59	PL
PCr3	(-)1.51	0.033	(-)1.05	0.291	0.84	0.400	(-)1.09	0.271	PL
PCr4	(-)1.74	0.148	(-)0.200	0.841	7.95	1.84e-15	0.69	0.488	PL
PCr5	(-)1.60	0.121	(-)0.49	0.624	5.94	2.75e-09	0.58	0.55	PL
PCr6	(-)2.22	0.011	(-)1.06	0.287	6.40	1.45e-10	(-)0.59	0.54	PL + cut off
PCr7	(-)2.91	0.004	(-)0.80	0.420	10.18	2.31e-24	0.37	0.704	PL + cut off

Table 11. Comparing alternative heavy tailed distributions for the pyro-climatic regions of Catalonia, period 1986-2015.



Pyr-climatic regions of Catalonia with their power law respective alpha coefficient, period 1986-2015

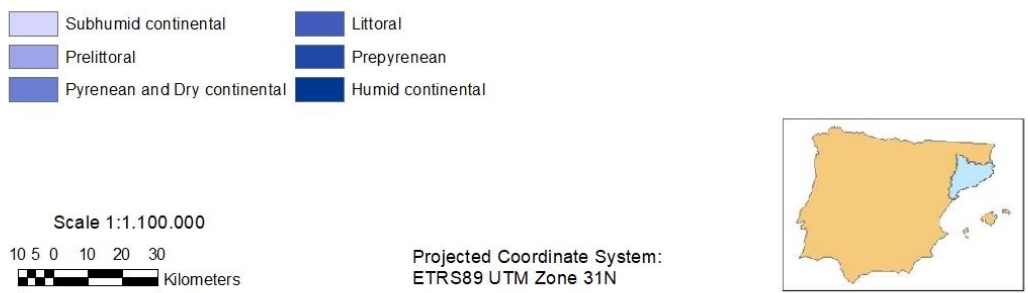


Figure 14. Pyro-climatic regions of Catalonia with their power law respective alfa coefficient, period 1986-2015.

## 2.4.2 Discussion (pyro-climatic regions)

The results show plausibility with the power law alternative. The values of alpha are coherent with other studies that made similar approaches to the characterization of wildfires regimes from empirical data, like those of Moreno et al. (2011) in Spain, Jiang et al. (2009) in Canada, Cui et al. (2008) or Malamud et al. (2005) in US.

Pyro-climatic regions include different HFR zones depending basically on their climate classification and therefore, the results obtained at this spatial scale show the strength of aggregating more data in the statistical analyses. Thus, we have solved the problem of NED found in the previous section (HFR zones analysis), as well as the problem of having some wildfires in the database that spread in different HFR zones and mismatching their fire statistical signature (explained in the previous section 2.3). However, there is a clear weakness when aggregating large portions of the territory. These aggregates share common features in climate but also have significant differences in other relevant features linked to landscape (i.e., topography, agricultural uses, extensive cattle farming, forest management, fire culture, etc.). In that sense I remark the fact that this spatial approach has the deficiency of homogenizing the richness found previously in the HFR zones approach. Therefore, according to this potential homogenization of the richness of wildfire regimes of Catalonia, any conclusion coming from the pyro-climatic region approach must be taken with caution.

The values obtained show general intraspecific diversity in wildfire regimes over the territory. The results for each pyro-climatic region analyzed can be summarized as follows:

- **Humid continental.** In this pyro-climatic region the value of alpha is exceptionally high ( $\alpha = 2.05$ ). Since Catalonia is fully ubicated in on the influence of the Mediterranean Basin and can be considered a fire-prone territory, this low value of alpha fits with the exceptionality of this local geography, characterized for a lack of fires and the poorest historical database. When observing the results of the intrinsic HFR zones (section 2.3) for that geography, we observe NED in most of the cases.
- **Dry continental.** The big plain of Lleida accounts for windy fire patterns that spread mainly in a landscape dominated by agricultural uses. The value of alpha in this eastern side is significantly lower ( $\alpha = 1.63$ ) than in the humid continental, a coherent result considering it has a higher fire activity, especially during the harvest season before the peak of summer.
- **Subhumid continental.** The results detect the fire activity gradient across the continental pyro-climatic regions, differentiating the "pure" central subhumid zone from the western and driest zone as well as the eastern and more humid interior. The largest wildfires of Catalonia during the 90's have left a profound impact in the FSD and explain the fact this area accounts for the lowest alpha ( $\alpha = 1.5$ ).

- **Pre-littoral and Littoral.** Topographical richness and specially, the abundance and diversity of wind patterns, makes for these two pyro-climatic regions a rich cocktail of wildfire casuistic. For that reason, considering only statistical analysis of FSD, the results for these zones generate a strong homogenization of the wildfire richness. In any case, our results for these two pyro-climatic regions show clear differentiations around Ports de Beseit ( $\alpha = 1.52$ ) and the basin of Ebre ( $\alpha = 1.63$ ), what makes sense according the singularity of both and the history of large fires compared to the littoral region where topography do not make any difference. The plain of Tarragona accounts for  $\alpha = 1.64$  and this little difference clearly remains us that the FSD analyses approach is just one of the attributes to characterize wildfire regimes and makes full sense when it is integrated with other statistical measures as fire rotation periods, frequency, seasonality, etc. (see chapter 1). There is also another limitation for interpreting the results in the Pre-littoral zone, where wildfire activity is highly conditioned by wind patterns, and where a local area like the Alt Empordà contains by itself some of the largest fire events at the level of Catalonia (La Jonquera 1986, La Junquera 2012 <sup>39</sup>). Such large fire events have a profound impact in FSD and that explains its relatively low value of alpha ( $\alpha = 1.52$ ), following a similar statistical pattern as we have found for the Semi-humid continental zone.
- **Pyrenees and Pre-Pyrenees.** The line between bottom and most accessible parts of the valleys where traditional fire use is not so common nowadays, is differentiated from the higher lands of pastures ubicated at the top of those valleys. The bottom parts are still used for agriculture purposes and have concentrated the urban sprawl processes. This land configuration where the bottom part of the valley is highly demanded and anthropized, performs like a fence and constrains topographical spread patterns. In these bottom parts of the mountain valleys, omitting the traditional burns of crop residuals, the extensive use of fire is not a common practice. This is a representative fact for the bottom parts of Pallars Jussà, Alt Urgell or Cerdanya, which have the highest values of alpha ( $\alpha = 2.02$ ). On the contrary, in higher parts of these valleys, extensive control burnings have been on the socio-economic and cultural agenda. Motivated basically for productivity aspects related with grassland management, cattle, and herds, the derivation of this higher fire activity is a lower statistical signature (lower alpha values). This is the case for the Aran Valley, Pallars Sobirà and Berguedà areas ( $\alpha = 1.63$ ).

---

<sup>39</sup>[http://interior.gencat.cat/web/.content/home/030\\_arees\\_dactuacio/bombers/foc\\_forestal/consulta\\_incendis\\_forestals/informes\\_incendis\\_forestals/2010-2019/2012/20120722\\_REG\\_LA-JONQUERA.pdf](http://interior.gencat.cat/web/.content/home/030_arees_dactuacio/bombers/foc_forestal/consulta_incendis_forestals/informes_incendis_forestals/2010-2019/2012/20120722_REG_LA-JONQUERA.pdf)

## 2.5 PYRENEES REGION

What we here refer as Pyrenees region corresponds with the northern part of Catalonia. It stretches from the shores of the Mediterranean Sea on the east, to the Aran Valley on the west. There is a general description of this part of Catalonia in chapter 1 (section 1.4), as well as the main motivations to have concentrated part of our analysis in this region. After consulting and discussing with the GRAF team, in terms of homogeneous fire regime zones, I conclude that the Pyrenees region includes the ones shown in figure 15.

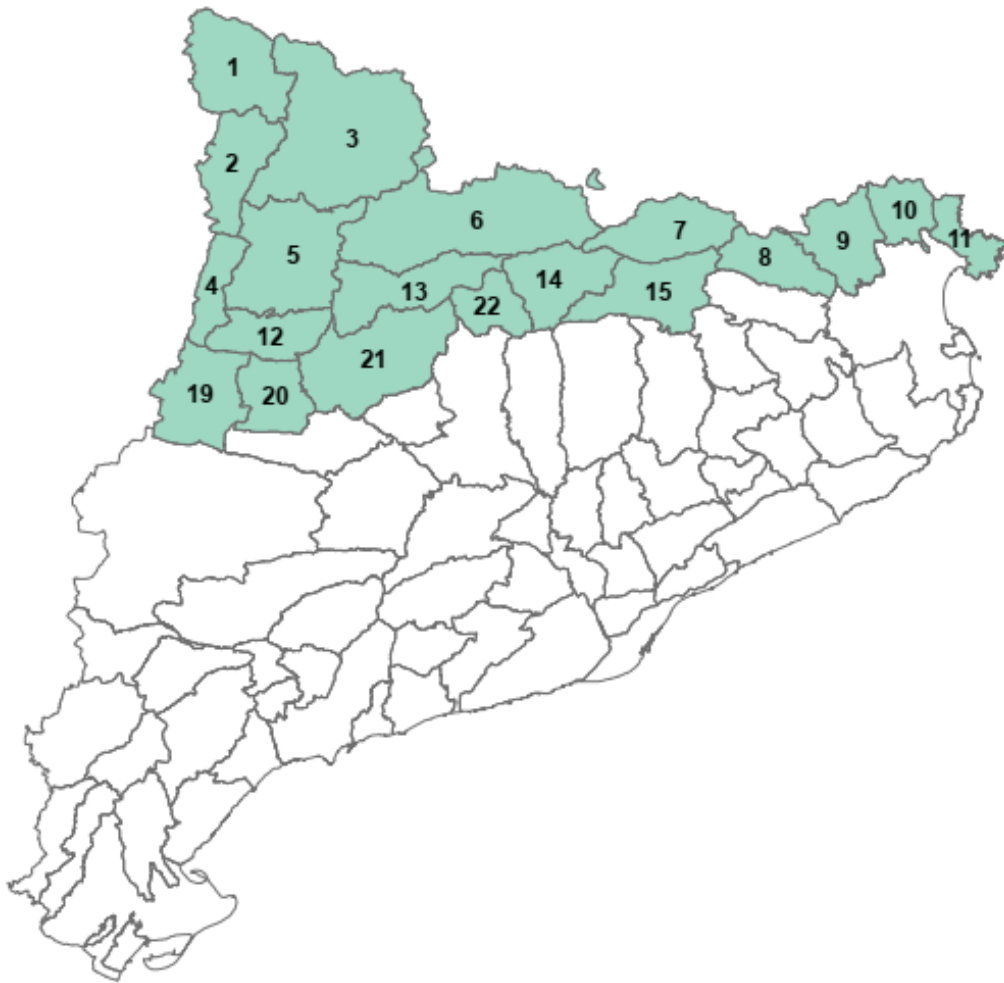


Figure 15. Map of Catalonia with the Homogeneous Fire Regime divisions (HFR). The colored HFR zones are the ones considered in our analysis as the Pyrenees region.

At the same time, we have divided the Pyrenees region into two subregions to include some of its internal diversity. These two subregions are Oriental and Occidental Pyrenees. The respective HFR zones that include each of them are illustrated in figures 49 and 50 (appendix A). From that point, I have defined three general subsets according with the table 12.

<b>Set name</b>	<b>Area (ha)</b>	<b>HFR zones included</b>	<b>Set code</b>
<b>Pyrenees region</b>	1.011.099	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15, 19,20,21,22	Pyr
<b>Occidental Pyrenees</b>	751.638	1,2,3,4,5,6,12,13,19,20,21,22	POc
<b>Oriental Pyrenees</b>	259.461	7,8,9,10,11,14,15	POr

Table 12. Set codes and main features for the 3 categories analyzed in the Pyrenees region.

### 2.5.1 Data treatment and results

According to the three subdivisions mentioned previously in table 12, it is possible to generate different subsets in time and space (table 13).

<b>Set code</b>	<b>Duration of the period (years)</b>
Pyr30	30
Pyr15_19862000	15
Pyr15_20012015	15
POc30	30
POc15_19862000	15
POc15_20012015	15
POr30	30
POr15_19862000	15
POr15_20012015	15

Table 13. Fire sets for different time-space subperiods, Pyrenees region.

To complement the FSD analysis, for this approach I have included an analysis based on size clusters. This step facilitates the quantification of the relative weights on the total surface area burned. The size of wildfires in the Pyrenees in the studied period spans 4 orders of magnitude, omitting some exceptions as La Jonquera wildfires in 1986 and 2012. The clusters have been scaled to the uniqueness of this region and sub-regimes, giving the following classes:

- a)  $x \leq 10$
- b)  $10 < x \leq 100$
- c)  $100 < x \leq 1000$
- d)  $1000 < x \leq 5000$
- e)  $x > 5000$

where x is area, in hectares.

Complementarily, I analyzed the seasonality because it is apparently one of the singularities of the fire regime in the Pyrenees compared to the rest of Catalonia. In this case, the seasonality has been obtained from the original fire database thanks to the existence of the "date" column. For every set presented in table 13 I have filtered the fires

by month, and we have pictured these sets together with number of fires and area burned. By doing so, it is possible to quantify and start a discussion about seasonality in the Pyrenees region.

I made a total amount of 18 tests, following the method mentioned in section 2.1 (Clauzet et al, 2009). Firstly, I present some results of basic statistics by introducing descriptive measures (table 14).

Set code	Burnt area (ha)	Fires	Average (ha)	Median (ha)	SD (ha)	Xmax (ha)
<b>Pyr30</b>	63.090	974	65	3	727	19.612
Pyr15_19862000	47.143	697	68	3	791	19.612
Pyr15_20012015	15.947	277	58	3	534	8.730
<b>POc30</b>	15.884	721	22	3	101	1.980
POc15_19862000	11.489	507	23	3	116	1.980
POc15_20012015	4.395	214	21	3	52	364
<b>POr30</b>	47.207	253	187	4	1.412	19.612
POr15_19862000	35.654	190	188	4	1.500	19.612
POr15_20012015	11.553	63	183	4	1.113	8.730

Table 14. Basic descriptive measures for each Pyrenees set.

Those general descriptive measures manifest the typical behavior of heavy-tailed distributions, showing an apparent incoherence between fire average size and the standard deviation values. That means essentially there is a reasonable need to look for and apply for alternative measures. However, those general results indicate the same trend than the one observed in the analysis of all Catalonia (section 2.2), showing a clear decrease in the total area burned and in the number of fires.

Tables 15 and 16 show the results obtained for each time subset analyzed, and figures 51 and 52 (appendix A) help to visualize the results of alpha values in a map format. For the eighteen tests made I also have obtained visual representations (figures) to facilitate the interpretation and posterior discussion. Thus, I have obtained and present results about the FSD analysis, and additionally and specifically for the approach of the Pyrenees region, I also have calculated and present the analysis of size classes by clusters as well as the analysis of seasonality. All those figures are available in the appendix A and a few of them are presented below (figures 16, 17, 18, 19, 20 and 21).



Set code	$x_{min}$	$\alpha$	$n$ -tail
Pyr30	6.0	1.65	314
Pyr15_19862000	11.6	1.68	144
Pyr15_20012015	1.4	1.65	245
POc30	7.0	1.73	199
POc15_19862000	12.0	1.79	93
POc15_20012015	1.8	1.70	163
POr30	2.7	1.54	146
POr15_19862000	2.6	1.55	112
POr15_20012015	1.05	1.52	62

Table 15. FSD analysis for different time subsets in the Pyrenees region, power law model values.

Period 1986-2015	PL + cut off		Log-normal		Exponential		Stretched Exp.		Support for
	LR	$p$	LR	$p$	LR	$p$	LR	$p$	
Pyr30	(-)1.36	0.13	(-)0.75	0.45	4.58	4.63e-06	(-)0.213	0.83	<b>PL</b>
Pyr15_19862000	(-)0.97	0.36	(-)0.28	0.77	3.62	2.9e-04	0.28	0.77	<b>PL</b>
Pyr15_20012015	(-)0.91	0.32	(-)0.21	0.82	3.52	4.2e-04	0.73	0.46	<b>PL</b>
POc30	(-)1.99	0.008	(-)1.22	0.22	4.14	3.44e-05	(-)1.26	0.20	<b>PL + cut off</b>
POc15_19862000	(-)1.29	0.14	(-)0.62	0.53	3.50	4.6e04	(-)0.54	0.58	<b>PL</b>
POc15_20012015	(-)1.83	0.06	(-)0.37	0.70	7.9	2.08e-15	0.24	0.80	<b>PL</b>
POr30	(-)1.39	0.28	(-)0.31	0.75	5.87	4.15e-09	0.31	0.75	<b>PL</b>
POr15_19862000	(-)1.09	0.42	(-)0.10	0.91	4.91	8.74e-07	0.64	0.51	<b>PL</b>
POr15_20012015	(-)0.92	0.52	(-)0.21	0.83	4.20	2.60e-05	0.23	0.81	<b>PL</b>

Table 16. Comparing alternative heavy tailed distributions for different time subsets in the Pyrenees region.

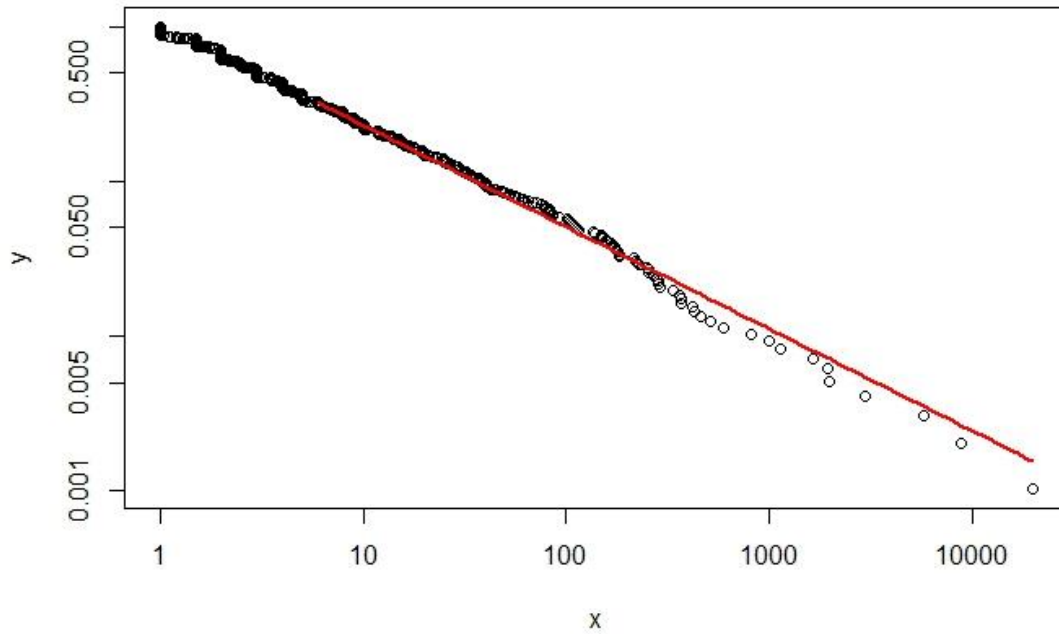


Figure 16. FSD plot related to the empirical data contained in the set “Pyr30” (period 1986-2015). Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.



Figure 17. Size class analysis in the set “Pyr30” (period 1986-2015). Red line represents number of fires and columns the burnt area for each size class.

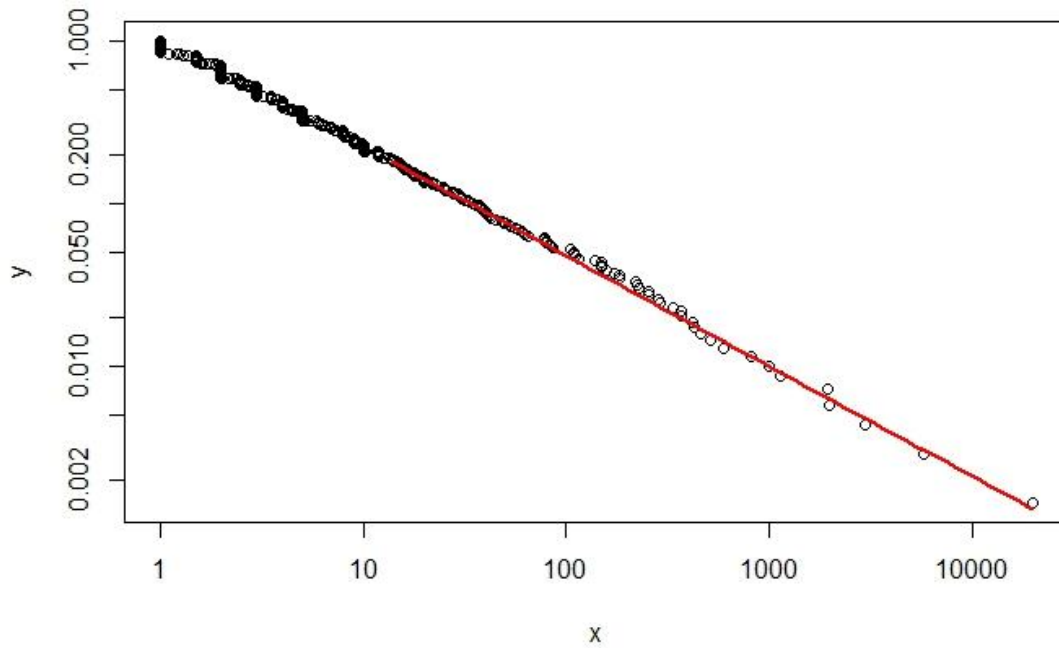


Figure 18. FSD plot related to the empirical data contained in the set “Pyr15\_19862000”. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.



Figure 19. Size class analysis in the set “Pyr15\_19862000”. Red line represents the number of fires and columns the burnt area for each size class.

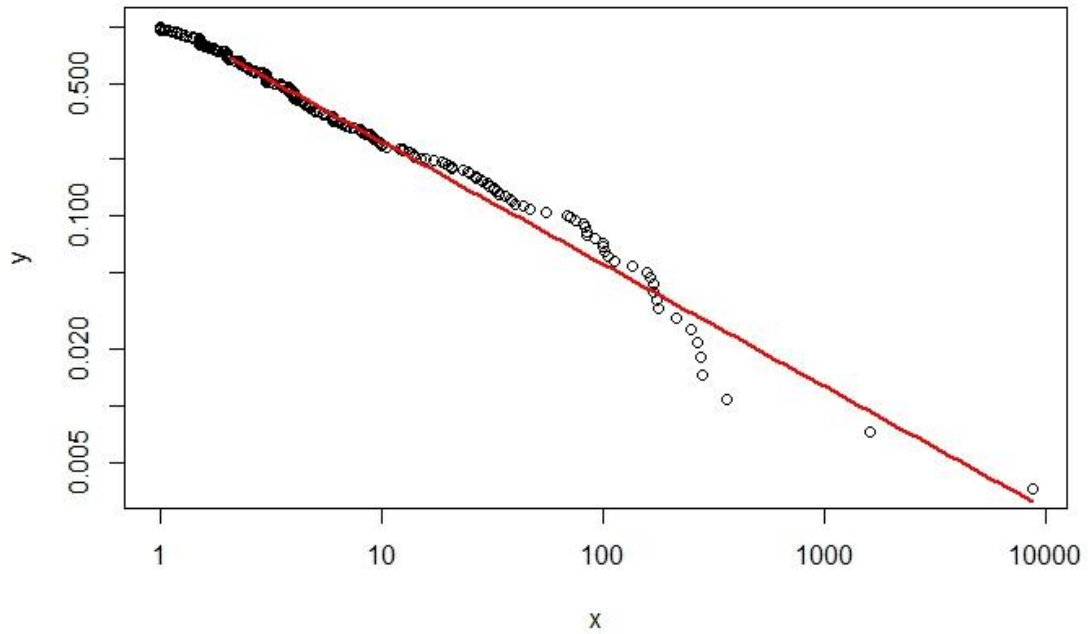


Figure 20. FSD plot related to the empirical data contained in the set “Pyr15\_20012015”. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

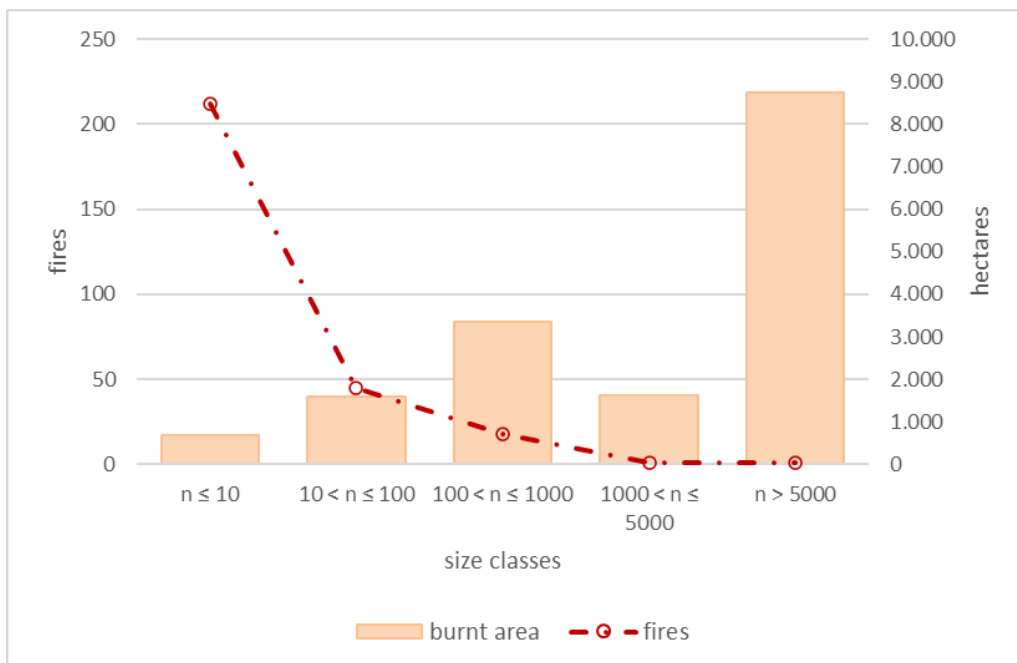


Figure 21. Size class analysis in the set “Pyr15\_20012015”. Red line represents the number of fires and columns the burnt area for each size class.

## 2.5.2 Discussion (FSD in Pyrenees)

Once again, the alpha values obtained are quantitatively coherent with results proposed in other studies made for different parts of the world (e.g. Reed & McKelvey 2002; Malamud et al. 2005). Nonetheless, these values are lower than expected in the sense they are similar with values obtained in other regions of Catalonia (see map of HFR zones shown in section 2.3). At the level of alpha values in power laws there is no big difference between the most mountainous Mediterranean region of Catalonia (Pyrenees) and the central and coastal Mediterranean regions. We must take in consideration though, once again, that little changes in alpha values make big difference in real (dimensions) world, basically because the value of alpha corresponds to the exponent of the power law.

- The results show robustly that most subsets correlate better with the power law distribution than any other alternative considered (table 16). Only the subset POC30 responds better to the truncated power law distribution ( $p - value < 0.008$ ).
- Pyr sets: in the subperiod Pyr15\_19862000,  $N_{tail}$  represents the 20% of total fires, while in the subperiod Pyr15\_20012015 the correlation with the power law reaches the 80% of total fires. On the contrary, the tail of the empirical data decays from the power law in the subperiod Pyr15\_20012015 (figure 20), while in the subperiod Pyr15\_19862000 the correlation of the empirical data with the power law spans more across the length of the distribution (figure 18). As we observe in the previous sets analyzed for all Catalonia (section 3.2), the relative increase in the  $N_{tail}$  suggests that the finer the process of data collection, the higher the range represented. That, again, makes sense from the years where use of GPS technology was normalized, and it can be appreciated mainly in the lowest part of the distribution ( $X_{min}$  values). That fact becomes plausible because there are more empirical data correlating within this first segment of the power law. At the level of the evolution of size classes during the thirty-year period, both, total number of fires and total burned area have decreased in absolute terms. However, it is remarkable the relative decrease in the range of 1000-5000 hectares events, and the relative increase in the range of 100-1000 hectares (figures 19 and 21). I propose an explanation for this pattern further on in section 2.6 ("the arched back effect"), when we tackle with general discussion interrelating the results obtained by the different approaches.
- POC sets: In the case of subperiod POC15\_19862000,  $N_{tail}$  represents only the 18% of total fires, but in the subperiod POC15\_20012015 the correlation with the power law reaches the 76% of total fires.  $X_{max}$  also shows a decreasing when comparing both POC subperiods; the reduction achieved in the subperiod 2001-2015 is about 5 times below than in subperiod 1986-2000.
- POr sets: In the case of subperiod POr15\_19862000  $N_{tail}$  represents a significant 59 % of total fires, but in the subperiod POr15\_20012015 the fitting with the power law reaches a 98% of total fires.  $X_{max}$  also shows a clear decreasing when

comparing both POr subperiods; the reduction achieved in the subperiod 2001-2015 is about 2 times below than in subperiod 1986-2000.

The high values of *Ntail* in Oriental Pyrenees allow us to understand the low values of alpha for the whole Pyrenees. This could be a direct consequence of the geographical extension that we have considered as Pyrenees. However, there is probably a second subtle explanation for the highest *Ntails*. These largest events correspond to wildfires spreading over what we could understand as natural borders of the Pyrenees. In that sense, there are two paradigmatic episodes that must be mentioned both occurring over the HFR zones 9, 10 and 11. The year 1986 and the year 2012 have in common large fire events near La Jonquera (Girona). These two episodes have a deep impact in the statistical analysis of FSD, and in our opinion it can explain by itself the relatively low alpha value for the whole Pyrenees (Pyr sets).

These low values can hide the intraspecific diversity as well in the Pyrenees region or, in other terms, the existence of different sub-regimes. This reasoning allows us to highlight the importance to have focused our analysis of the empirical data by considering both, Occidental and Oriental Pyrenees together, with the possibility to observe what happens at a spatial scale of HFR zones.

All these results add statistical evidence about the weight of extinction capacity on the Pyrenees during the period 1986 to 2015, so that widening the conclusions proposed by Brotons et al, 2013 for the rest of Catalonia. Thus, fire regime dynamics in Catalonia, including the Pyrenees region, cannot be fully understood without considering the role developed by the emergency services and their capacity of extinction.

#### 2.5.2.1 Seasonality

Most of the studies about fire regimes in the Mediterranean basin context are usually constrained to summer season. Somehow, that is not rare at all since the fact that summer is clearly the season when wildfires historically have shown more impacts (burned area and severity).

On the other hand, although the Pyrenees region is fully ubicated in the Mediterranean basin, it has a notable differentiation when considering fire activity along the year. It is well known by wildfire community that the phenology of vegetation in this region do not behave synchronically to the rest of Catalonia. Pyrenees altitude, topography and climatology are the predominant reasons why landscapes are "green-humid" in summer and "brown-dry" in winter, although drought episodes and heat waves in summer also have big influence and impact intermittently.

The tables and figures collecting the results of the seasonality analysis are in the appendix A. For every set analyzed from the total of nine sets (according with table 13), I have obtained 3 figures and 1 table, making a total of 27 figures and 9 tables. Following, I present just a few of them, the ones related with the Pyr30 set. Among the different ways

to present results, there are the values in absolute and relative numbers (table 17, figure 22), the pareto distribution with the area burned by months (figure 23) and the pareto distribution with the number of fires by months (figure 24).

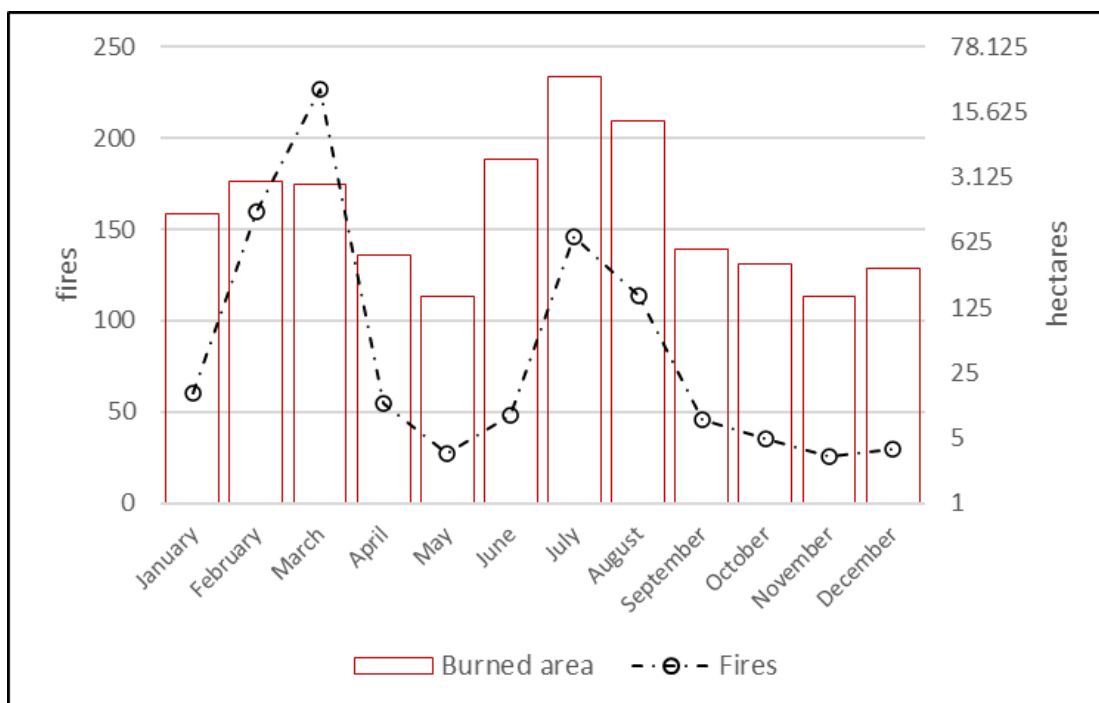


Figure 22. Fire seasonality for the Pyrenees region during the 1986-2015 period (set Pyr30).

Months	Fires (number)	Fires (%)	Burned area (ha)	Burned area (%)
January	60	6,2%	1.248	2,0%
February	160	16,4%	2.795	4,4%
March	227	23,3%	2.651	4,2%
April	55	5,6%	464	0,7%
May	27	2,8%	164	0,3%
June	48	4,9%	4.858	7,7%
July	146	15,0%	36.925	58,5%
August	114	11,7%	12.597	20,0%
September	46	4,7%	527	0,8%
October	35	3,6%	368	0,6%
November	26	2,7%	165	0,3%
December	30	3,1%	328	0,5%

Table 17. Fire seasonality for the Pyrenees region during the 1986-2015 period (set Pyr30). The values are presented in absolute and relative numbers.

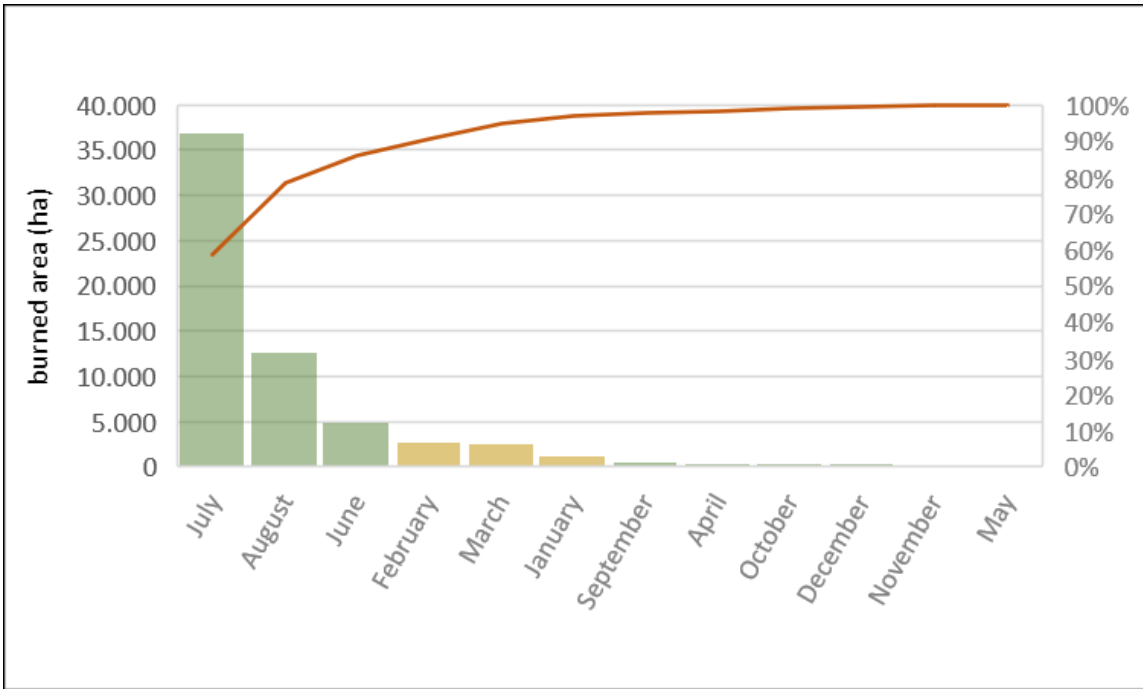


Figure 23. Pareto distribution with the area burned by months, together with the respective percentages and Pareto line (set Pyr30). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

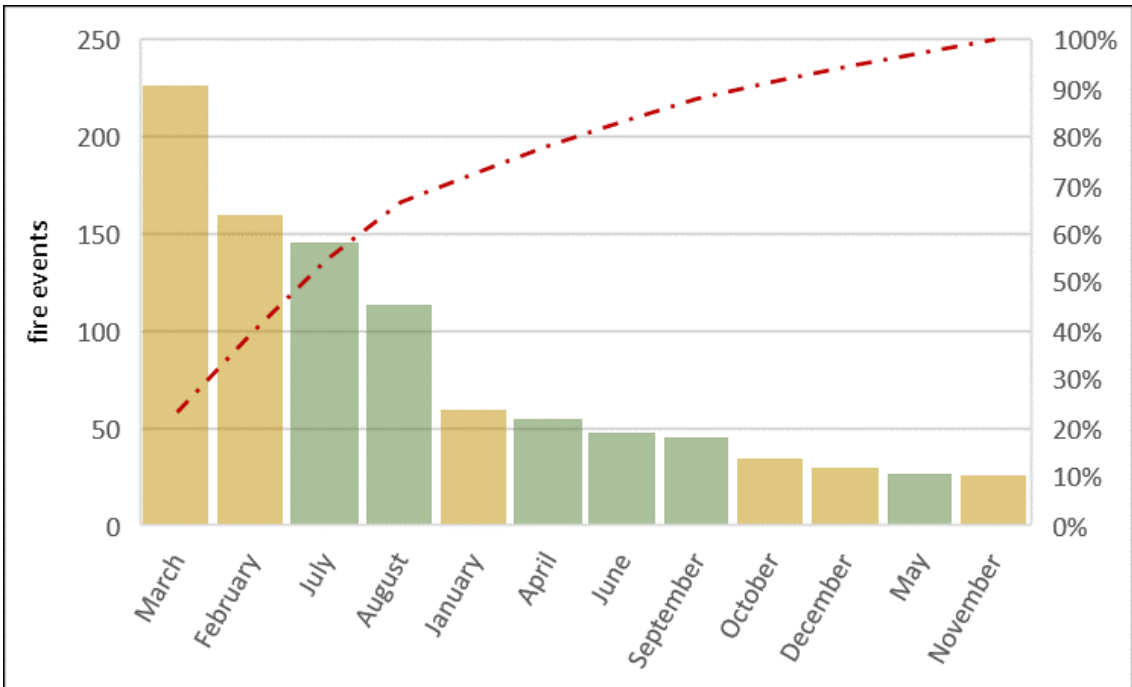


Figure 24. Pareto distribution with the number of fires by months, together with the respective percentages and Pareto line (set Pyr30). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.



I ended the discussion of FSD results in Pyrenees region affirming the weight of extinction during the period 1986 to 2015. However, there is a qualitative nuance on how this extinction capacity performs in Pyrenees and how it functions in the rest of the country:

- There is a clear pattern in seasonality during the 30 year-period analyzed, where fire events dominate in the winter season (table 17, figures 22, 23 and 24) while the area burned dominates in a significant percentage during the summer season (>70%).
- When comparing Occidental and Oriental Pyrenees, we observe significant differences between them. While in the case of Oriental Pyrenees there is a coherence with the seasonality pattern observed in the all Pyrenees set (i.e., more fire events in winter but more burned area in summer), in the case of Occidental Pyrenees the historical pattern differs notably (tables 28 and 31, appendix A).
- When focusing on subperiods of time, the trend in Occidental Pyrenees shows a different behavior. During the period 1986-2000, the summer season clearly dominates the total burned area, while during the 2001-2015 period most of the total burned area happens in the winter season. Therefore, the trend has allocated most of fire events and burned area in the winter season (tables 29 and 30, appendix A).

I suggest the winter allocation of the area burned in Occidental Pyrenees is a direct consequence of the improvements in the capacity of monitoring dry-lighting activity in real time, together with a fast-qualified response to suppress small ignitions. *Esplà* wildfire (August 1980) and *Carreu* wildfire (August 1978) are clear examples of a large wildfire in the Occidental Pyrenees during a heat wave episode several days after a lightning storm (what is known by experts as *sleepers*). In Catalonia, the spread potential of these fire types is well understood and monitored in advance. To avoid scenarios of simultaneity, when these “*sleepers*” are detected they are rapidly extinguished by fire services.

On the other hand, the fire footprint during the winter and autumn seasons in the whole Pyrenees has not experienced the same pattern in relation with the effect of extinction capacity improvements. There is a paradigmatic episode of simultaneity in March 2012, affecting Pyrenees <sup>40</sup> (Lo Forestalillo, 152). Wildfires dominated by windy spread patterns in mountainous landscapes represent a more difficult challenge for fire responders than topographic spread patterns, for many operative reasons that, after all, notably complicate the normal way of proceeding. For example, the safety limits for aerial means have many derivatives in operations, from the accessibility of the firefighters to the use of water to control fire behavior in those zones where terrestrial units are in disadvantage. I unknow if windy spread patterns are increasing in Pyrenees, but there is a ground effect that I do understand is critical to explain the relative increasing in burned area during winter. Since the year 2015 ahead, our last year analyzed in this study, autumn and winter

---

<sup>40</sup> [http://interior.gencat.cat/ca/el\\_departament/publicacions/bombers/lo-forestalillo/](http://interior.gencat.cat/ca/el_departament/publicacions/bombers/lo-forestalillo/)

seasons in the Occidental Pyrenees have experienced larger wildfires (Cerbi 2016, Garós 2017, Arties 2019 <sup>41</sup>). It is significant that these wildfires have reached, and even surpassed, the historical maximum of the thirty-year period analyzed. From a maximum of 350 hectares to 500 hectares, in the case of Occidental Pyrenees. It is not a jump in the order of magnitude, but it is plausible the impact of the increase in the mean temperature on the organic fuel bed (Strategic Management Plan, appendix B).

It seems evident that changing trends in seasonality have a collateral effect in time at scale of fire regime, as well as in landscape structure and dynamics. Fire momentum is a key factor when considering ecological response in ecosystems. There is a wide gradient of possibilities, both in fire behavior and vegetation phenological attributes, that enrich and add complexity in ecosystem dynamics. In general terms, we may consider that dormant fire in winter is a negative feedback in fuel amount (reduction), while vigorous plant fires interacts in a more complex way closely related with enhancing plant and landscape diversity (He et al, 2019; Kelly et al, 2017). The fire ecology in animals, soil dynamics, food webs or any other biogeochemical cycles that perform at different scales of time and space also enrich and add complexity in ecosystem dynamics. Nonetheless, the deep discussion about severity and ecological response implications escapes from the scope of this analyses. For all that, our results should be understood simply as a preliminary approach focused on capturing strictly the statistics of fire seasonality in the Pyrenees region.

---

<sup>41</sup> [http://interior.gencat.cat/ca/arees\\_dactuacio/bombers/foc-forestal/incendis\\_forestals/informes-dincendis-forestals/2010-2019/2019/](http://interior.gencat.cat/ca/arees_dactuacio/bombers/foc-forestal/incendis_forestals/informes-dincendis-forestals/2010-2019/2019/)

## 2.6 GENERAL DISCUSSION

For most natural phenomena studied from a self-organization point of view, the presence of a cut-off in the power law would suggest there are biophysical boundaries. In wildfire regimes this is the case. The spread matrix has landscape patches that stop wildfire contagion. In other words, there are endogenous limits in the landscape system that are part of the game and counterbalance the effects of wildfire corridors. These boundaries in wildfire contagion can be manifested or not in the statistical analyses, depending on multiple factors. Lakes, rivers, rocky outcrops, irrigated croplands are some examples of endogenous wildfire fences, but there are also indirect attributes of landscape as wildfire suppression which play a relevant role in the outcomes. Positive and negative feedbacks in wildfire contagion interact at different scales of time and space, so that if we analyze FSD at different scales of time and space we can assert that wildfire corridors and fences have a statistical signature at a regime level.

Several studies have been found that frequency-area statistics show a robust power-law distribution over different orders of magnitude. This finding is confirmed by the results of this thesis and, if we consider that we have analyzed 4 different spatial approaches inside Catalonia and several time sub-sets, the fact to confirm robust plausibility in most of them makes the results more relevant. In that sense, the subperiod analysis approach for the allCAT and Pyrenees data sets provide novel results for better understanding the complexity of fire regimes in Catalonia. Statistically speaking, fire regimes (in Catalonia) follow (truncated) power law distributions over most of their empirical data.

Most sets and subsets analyzed have shown plausibility with power laws (and truncated power laws) in 3 or 4 orders of magnitude. It is remarkable the fact that, in Catalonia, the range of historical wildfires have reached maximum sizes of 5 orders of magnitude, so that the evidence of 3, 4 and exceptionally up to 5 orders of magnitude (year 2012) in empirical data represents a significant finding.

The results are numerically coherent with some other FSD analyses made around the world (Cui et al, 2008), but specifically I point out the consistency with the results obtained at a scale of Spain by Moreno et al. 2011. Nonetheless, I want to remember the fact I use a more robust statistical method (Clauset et al, 2009), a fact that makes our findings more reliable.

From the spatial approach of allCAT sets, truncated power laws emerge in the longest time sets, that is in allCAT30\_19862015, allCat15\_19862000 and allCAT15\_20012015. For 10-year periods, only allCAT10\_19861995 supports a truncated power law, but this is not the case for allCAT10\_19962005 and allCAT10\_20062015. This differentiation suggests that along the 30-year period there have not been the same level of interaction between fire suppression and fire regime dynamics. For the shortest subsets, the alternative of power law distributions represents the best statistical signature to describe empirical data.

In the central part of Catalonia is where convective wildfires have propagated intensively both in the northern and eastern directions, depending on different momentum associated with severe heat waves situations (Duane et al, 2015; Castellnou et al, 2009). The spread and energy released by these convective wildfires are conditioned mainly for the forest fuel amount as well as the capacity to create and maintain big plumes (what is known as PyroCu activity<sup>42</sup>) in an unstable atmosphere that turns across the landscape generating what is known as extreme wildfire events (Lareau et al, 2016; Ruffault et al, 2018; Clements et al, 2018; Delogu et al, 2019). The evidence of cut-offs together with the truncated power laws plausibility in both allCAT15 sets suggest the limits of the landscape homogeneity where convective behavior can be sustained. Beyond those limits, extreme behavior encounters less favorable landscape conditions where big plumes and massive spotting activity cannot evolve. The fact it happens mainly in the central part of Catalonia responds to its homogeneous landscape, mild rugosity, enough amount of forest fuel and the intermittent exposition to severe heat wave situations. The alignment of these forces in terms of fire propagation creates the perfect scenario needed for convective wildfires to appear in a Mediterranean basin context (Duane et al, 2015; Castellnou et al, 2009). On the contrary, every time we found plausibility for power laws in the sets does not mean that this regime or distribution has not a limit or cut-off. It simply expresses the best fitting of the empirical data between the theoretical heavy-tailed distribution alternatives considered in our analyses.

There are intrinsic features on the landscapes considered that also could explain there is plausibility for truncated power laws in some cases, and pure power laws in some others. In the case of Pyrenees, beyond climate patterns and vegetation singularities, there are significant topographical barriers that behave like fences in terms of wildfire propagation over the landscape. The valleys of the Pyrenees can range easily from 500 meters at the bottom to more than 3000 meters at its the crests and peaks. Therefore, the cut-off in fire size distribution could be related to these natural compartments, what I refer as fire disturbance basins. At the same time, the Pyrenees regime does not report any extreme wildfire event in the recent history (centuries), and considering only topographic and windy patterns of propagation, fire behavior cannot develop high enough plumes with capacity for jumping between these compartments (valleys). The geographical exception to this could be La Jonquera wildfire in 2012, a year, by the way, where the empirical data also fits significantly well in the tail of the power law distribution. This study does not demonstrate specifically the influence of topography or altitude, the nuance of fire disturbance basins simply tries to find an explanation to the incoherence between the statistical consistency of power laws (in empirical data) when at the same time the scale-invariance attribute linked to pure power laws is not represented.

The scale of HFR zones has showed a good plausibility with power laws in the majority of Catalonia. Nonetheless, there are some sets where the values obtained are outside the range of variability that we could consider normal according to other authors and publications (Cui et al, 2008). In those cases, the reason can be either a weak diversity in size classes or directly, a poor number of events (cells identified by the acronym NED in the map of HFR zones). To solve part of this problem I have aggregated HFR zones from

---

<sup>42</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus\\_floammagenitus](https://en.wikipedia.org/wiki/Cumulonimbus_floammagenitus)

a climatic approach, proposing what I have called pyro-climatic regions. This step has been productive since it allows to counterbalance the gaps in empirical data for some specific places of Catalonia. These pyro-climatic regions have shown plausibility with power law distributions and results have been represented also in a map format. The values respect quite well some of the diversity showed at the scale of HFR zones, but somehow the collateral effect of aggregating HFR zones is the homogenization of some other parts of the territory. In any case, both scales and obtained alpha values are not antithesis. From that point, the results are interesting in both scales to interpret wildfire regimes in Catalonia and, depending on the scope we focus, some of them can be more useful than others.

I want to highlight the findings obtained for the northern region of Catalonia. Some authors explicitly suggest that recent evolution of fire regimes in Catalonia cannot be explained without the gained improvement in fire prevention and extinction capacity (Brotons et al, 2013). This affirmation is based on studies made in the central and southern regions of Catalonia, but the northern region of the country (Pyrenees) has been systematically out of the framework since they consider only summer season activity. This systematic omission of the Pyrenees region mainly responds to its socio-ecological singularity in a Mediterranean context as well as its differentiation in terms of fire regime seasonality and cultural impacts. The results presented add statistical evidence about the weight of extinction capacity on the Pyrenees fire regime along the evolution of the Fire Services of Catalonia during the period 1986 to 2015. Therefore, I propose the conclusions already made for the rest of Catalonia by Brotons et al, 2013 can be amplified to the Pyrenees region. In fact, this conclusion makes a lot of sense considering that northern, central, and southern regions of Catalonia operate with the same fire services. Nonetheless, there is a qualitative difference on how the extinction capacity effect performs over the Pyrenees fire regime and over the rest of the country, a nuance intimately related with fire seasonality.

According to the community of fire experts, convective wildfires in the Pyrenees are already a probable scenario on the current dynamics of climate change together with the criticality in percolation<sup>43</sup>. In the way to this scenario, the truncation and the  $X_{max}$  would probably increase in a similar or higher magnitude than in the central region of Catalonia during the 90's. This scenario in the Pyrenees represents a transition from 1<sup>st</sup> / 2<sup>nd</sup> to 3<sup>rd</sup> / 6<sup>th</sup> wildfire generations (see chapter 1, section 1.2), so that making possible fire contagion between these valleys<sup>44</sup>.

This transition is not new at all in Catalonia. Years like 1994, 1998, 2003, 2005 or 2012 already show this type of extreme events. But the emergence of climate change opens the door to a new wildfire generation that in the case of Pyrenees, considering the probability of extreme fire behavior, clearly represents a new tipping point for emergency management organizations, including those who, metaphorically speaking, have the biggest sledgehammer.

---

<sup>43</sup> <https://www.ccma.cat/tv3/alcarta/sense-ficcio/lamenaca-incandescent/video/6049603/>

<sup>44</sup> <https://youtu.be/lfnV1sRhpBY>

Beyond evident safety matters for wildfire responders and the risk to collapse for emergency management organizations, I consider the socioecological impacts of such type of events in the ecotone island that connects Iberian Peninsula with the plains of central Europe (Pyrenees) would probably have critical collateral effects at a continental scale. Such types of events, like episodes of Australia (2019)<sup>9</sup>, represent not only an impact in local and regional socioecological systems, but also a socioeconomic collapse at regional scale as well as global significant atmospheric impacts (Viegas et al, 2018, Delogu et al, 2019).

## 2.7 MAIN POINTS IN REVIEW

- The hammer strategy in Catalonia (suppression policy) has performed with efficacy to reduce the potential size of wildfires along the evolution of fire prevention and extinction Services. This strategy deployed for 3 decades in Catalonia implies fuel accumulation in landscapes and, together with trends of climate change, is increasingly generating a more adverse and unsustainable scenario at medium term. The last demonstration of this tendency in Catalonia was the extreme fire behavior registered in the wildfire of La Torre de l'Espanyol, in 2019<sup>45</sup>.
- The findings presented show two main patterns in Catalonia's fire regimes within the recent past :
  - ✓ the rebound effect in the tail (extinction paradox), well represented during the first half of the 30-year period analyzed.
  - ✓ the allocation of fire events in the medium size classes during the second half of the 30-year period. The results suggest this collateral effect arises pushed by the suppression capacity when truncation is forced in the tail of the distribution. I call this pattern in FSD the arched back effect, which shows another way by how complexity emerges in fire regimes.
- The results add statistical evidence in Catalonia about the weight of extinction capacity in the Pyrenees fire regime along the evolution of fire services of Catalonia. This fact must be remarked because the northern region of the country has been systematically out of the framework due to their biophysical singularity and their different seasonality allocation when compared to the rest of the country. Thus, prevalent conclusions about how suppression capacity significantly explain fire regime dynamics in Catalonia (Brotons et al, 2013) can be amplified to the Pyrenees region although there are relevant nuances in how extinction operatively functions in mountain areas.
- Beyond the characterization of fire empirical data at different levels of space and time, what it clearly emerges from the results is the ubiquity of fat-tailed probability distributions, a statistical pattern associated to self-organization in complex systems (Solé et al, 2012). This statistical evidence, together with non-linearity in fire behavior and severity, cannot be omitted in landscape management when the values of common good and resilience become priorities (Piñol et al, 2007; Loepfe et al, 2011; Castellnou et al, 2019). Emergency teams are exposed and constrained by the fear trap of the extinction anywhere, anytime (Castellnou et al, 2019). Fatal accidents in Portugal 2017 (Turco et al, 2019; Viegas

2018), Greece 2018 (Viegas et al, 2018; Papalou et al, 2019) or Horta de Sant Joan 2009 in Catalonia <sup>46</sup> (González-Hidalgo et al, 2014) are some of the evidence of this upscaling trend in South Europe and justifies the uncomfortable truth explained proactively by the fire services of Catalonia <sup>47</sup>.

Considering the transdisciplinary vocation of this thesis, from here on the efforts are put on adapting the VUCA framework to emergency management (see section 1.3) in order to boost eco-innovation at the strategic level (chapter 3). This chance has been possible due to an explicit demand made by the Government of Aran (an autonomous region inside the massif of the Pyrenees) to the GRAF team (expert team within the Fire Services of Catalonia Government), and from there it arrives to me as a member of the GRAF Lleida unit and for my condition of PhD student in sustainability science. The demand consisted initially in designing a prescribed burning program, but this initial idea has matured till reaching a broader perspective to finally synthesizing the project I present in chapter 3 (and appendix B).

---

<sup>46</sup> <https://www.ccma.cat/tv3/alcarta/sense-ficcio/el-gran-silenci-horta-de-sant-joan/video/5154151/>

<sup>47</sup> <https://www.ccma.cat/tv3/alcarta/sense-ficcio/lamenaca-incandescent/video/6049603/>



## 2.8 REFERENCES

Agee, J. K. (1998). *The Landscape Ecology of Western Forest Fire Regimes*. Northwest Science.

Alstott, J., Bullmore, E., & Plenz, D. (2014). Powerlaw: A python package for analysis of heavy-tailed distributions. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085777>

Arno, S. (1994). *Fire Ecology of Pacific Northwest Forests*, by J.K. Agee. *International Journal of Wildland Fire*. <https://doi.org/10.1071/wf9940195>

Baily, R. G. (1980). *Description of the Ecoregions of the United States*. U.S. Department of Agriculture, Miscellaneous Publication No. 1391. <https://doi.org/10.1080/04597229308460051>

Bak, P. (1990). Self-organized criticality. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*. [https://doi.org/10.1016/0378-4371\(90\)90348-V](https://doi.org/10.1016/0378-4371(90)90348-V)

Bak, P. (1996). *How Nature Works*. In *How Nature Works*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5426-1>

Brotans, L., Aquilué, N., de Cáceres, M., Fortin, M. J., & Fall, A. (2013). How Fire History, Fire Suppression Practices and Climate Change Affect Wildfire Regimes in Mediterranean Landscapes. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062392>

Casals, P., Baiges, T., Bota, G., Chocarro, C., de Bello, F., Fanlo, R., Sebastià, M. T., & Taull, M. (2009). Silvopastoral Systems in the Northeastern Iberian Peninsula: A Multifunctional Perspective. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6_8)

Castellnou, M., Pagés, J., Miralles, M., & Pique, M. (2009). Tipificación de los incendios forestales de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal. 5º Congreso Forestal Español.

Clauset, A., Shalizi, C. R., & Newman, M. E. J. (2009). Power-law distributions in empirical data. In *SIAM Review*. <https://doi.org/10.1137/070710111>

Clements, C. B., Lareau, N. P., Kingsmill, D. E., Bowers, C. L., Camacho, C. P., Bagley, R., & Davis, B. (2018). Observations from the Fire Zone the RAPID deployments to wildfires experiment (RaDFIRE). *Bulletin of the American Meteorological Society*. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0230.1>

Cui, W., & Perera, A. H. (2008). What do we know about forest fire size distribution, and why is this knowledge useful for forest management? *International Journal of Wildland Fire*. <https://doi.org/10.1071/WF06145>

Cumming, S. G. (2001). A parametric model of the fire-size distribution. *Canadian Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1139/x01-032>

Delogu, G., Tedim, F., Leone, V., Viegas, K. McGee, T., Mccaffrey, S., Fernandes, P., Coughlan, M., Xanthopoulos, G., & Bouillon, C. (2019). Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. *Fire*.

Díaz-Delgado, R., Lloret, F., & Pons, X. (2004). Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-0183-1>

Duane, A., Piqué, M., Castellnou, M., & Brotons, L. (2015). Predictive modelling of fire occurrences from different fire spread patterns in Mediterranean landscapes. *International Journal of Wildland Fire*. <https://doi.org/10.1071/WF14040>

Duane, A., Aquilué, N., Canelles, Q., Morán-Ordoñez, A., De Cáceres, M., & Brotons, L. (2019). Adapting prescribed burns to future climate change in Mediterranean landscapes. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.348>

Fréjaville, T., & Curt, T. (2015). Spatiotemporal patterns of changes in fire regime and climate: defining the pyroclimates of south-eastern France (Mediterranean Basin). *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1332-3>

Giannetti, B. F., Marcilio, M. D. F. D. F. B., Coscieme, L., Agostinho, F., Liu, G., & Almeida, C. M. V. B. (2019). Howard Odum's "Self-organization, transformity and information": Three decades of empirical evidence. *Ecological Modelling*.

González-Hidalgo, M., Otero, I., & Kallis, G. (2014). Seeing beyond the smoke: The political ecology of fire in Horta de Sant Joan (Catalonia). *Environment and Planning A*. <https://doi.org/10.1068/a45600>

Hantson, Stijn, Salvador Pueyo, and Emilio Chuvieco. 2015. "Global Fire Size Distribution Is Driven by Human Impact and Climate." *Global Ecology and Biogeography*. <https://doi.org/10.1111/geb.12246>.

He, T., Lamont, B. B., & Pausas, J. G. (2019). Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biological Reviews*. <https://doi.org/10.1111/brv.12544>

Jiang, Y., Zhuang, Q., Flannigan, M. D., & Little, J. M. (2009). Characterization of wildfire regimes in Canadian boreal terrestrial ecosystems. *International Journal of Wildland Fire*. <https://doi.org/10.1071/WF08096>

Kelly, L. T., & Brotons, L. (2017). Using fire to promote biodiversity. *Science*, 355(6331). <https://doi.org/10.1126/science.aam7672>

Lareau, N. P., & Clements, C. B. (2016). Environmental controls on pyrocumulus and pyrocumulonimbus initiation and development. *Atmospheric Chemistry and Physics*. <https://doi.org/10.5194/acp-16-4005-2016>

LEVIN, S. A. (2005). Self-organization and the Emergence of Complexity in Ecological Systems. *BioScience*. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[1075:sateoc\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[1075:sateoc]2.0.co;2)

Loepfe, L., Martinez-Vilalta, J., Oliveres, J., Piñol, J., & Lloret, F. (2010). Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenisation determine fire regimes in three Mediterranean areas. *Forest Ecology and Management*, 259(12). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.03.009>

Loepfe, L., Martinez-Vilalta, J., & Piñol, J. (2011). An integrative model of human-influenced fire regimes and landscape dynamics. *Environmental Modelling and Software*. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.02.015>

Malamud, B. D., Morein, G., & Turcotte, D. L. (1998). Forest fires: An example of self-organized critical behavior. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.281.5384.1840>

Malamud, B. D., Millington, J. D. A., & Perry, G. L. W. (2005). Characterizing wildfire regimes in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.0500880102>

Marković, D., & Gros, C. (2014). Power laws and self-organized criticality in theory and nature. In *Physics Reports*. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2013.11.002>

Minnich, R. A. (1983). Fire mosaics in southern California and northern Baja California. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.219.4590.1287>

Moreno, M. Vanesa & Malamud, Bruce & Chuvieco, Emilio. (2011). Wildfire Frequency-Area Statistics in Spain. *Procedia Environmental Sciences*. 7. 182-187. [10.1016/j.proenv.2011.07.032](https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.07.032). DOI: [10.1016/j.proenv.2011.07.032](https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.07.032)

Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C., & Corte-Real, J. (2006). Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research*. <https://doi.org/10.3354/cr031085>

Newman, M. E. J. (2005). Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. *Contemporary Physics*. <https://doi.org/10.1080/00107510500052444>

Odum, H. T. (1988). Self-organization, transformity, and information. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.242.4882.1132>

Otero, I., & Nielsen, J. (2017). Coexisting with wildfire? Achievements and challenges for a radical social-ecological transformation in Catalonia (Spain). *Geoforum*. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.07.020>

Pais, Silvana & Aquilué, Núria & Campos, João & Sil, Ângelo & Marcos, Bruno & Martínez-Freiría, Fernando & Domínguez, Jesús & Brotons, Lluís & Honrado, Joao & Regos, Adrián. (2020). Mountain farmland protection and fire-smart management jointly reduce fire hazard and enhance biodiversity and carbon sequestration. *Ecosystem Services*. 44. 10.1016/j.ecoser.2020.101143.

Papalou, A., & Baros, D. K. (2019). Assessing structural damage after a severe wildfire: A case study. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings9070171>

Piñol, J., Terradas, J., & Lloret, F. (1998). Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1023/A:1005316632105>

Piñol, J., K. Beven, and D. X. Viegas. 2005. "Modelling the Effect of Fire-Exclusion and Prescribed Fire on Wildfire Size in Mediterranean Ecosystems." *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.09.001>.

Piñol, J., Castellnou, M., & Beven, K. J. (2007). Conditioning uncertainty in ecological models: Assessing the impact of fire management strategies. *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.020>

Pique, Miriam & Castellnou, Marc & Valor, Teresa & Pagés, Jordi & Larrañaga, Asier & Miralles, Marta & Cervera, Teresa. (2011). Integració del risc de grans incendis forestals (GIF) en la gestió forestal: Incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures forestals al foc de capçades. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST).

Pueyo, Salvador. 2007. "Self-Organised Criticality and the Response of Wildland Fires to Climate Change." *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9134-2>.

Reed, W. J., & McKelvey, K. S. (2002). Power-law behaviour and parametric models for the size-distribution of forest fires. *Ecological Modelling*. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00483-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00483-5)

Regos, A., Aquilué, N., Retana, J., De Cáceres, M., & Brotons, L. (2014). Using unplanned fires to help suppressing future large fires in mediterranean forests. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094906>

Ricotta, C. (2003). Fractal Size Distributions of Wildfires in Hierarchical Landscapes: Natura Facit Saltus? Comments on Theoretical Biology. <https://doi.org/10.1080/08948550302443>

Rodrigo, A., Retana, J., & Picó, F. X. (2004). Direct regeneration is not the only response of Mediterranean forests to large fires. *Ecology*. <https://doi.org/10.1890/02-0492>

Ruffault, J., Curt, T., Martin-Stpaul, N. K., Moron, V., & Trigo, R. M. (2018). Extreme wildfire events are linked to global-change-type droughts in the northern Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(3). <https://doi.org/10.5194/nhess-18-847-2018>

Solé, R. V., & Bascompte, J. (2012). Self-organization in complex ecosystems. In *Self-Organization in Complex Ecosystems*.

Sornette, D. (2012). Probability distributions in complex systems. In *Computational Complexity: Theory, Techniques, and Applications*. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1800-9\\_142](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1800-9_142)

Turco, M., Jerez, S., Augusto, S., Tarín-Carrasco, P., Ratola, N., Jiménez-Guerrero, P., & Trigo, R. M. (2019). Climate drivers of the 2017 devastating fires in Portugal. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50281-2>

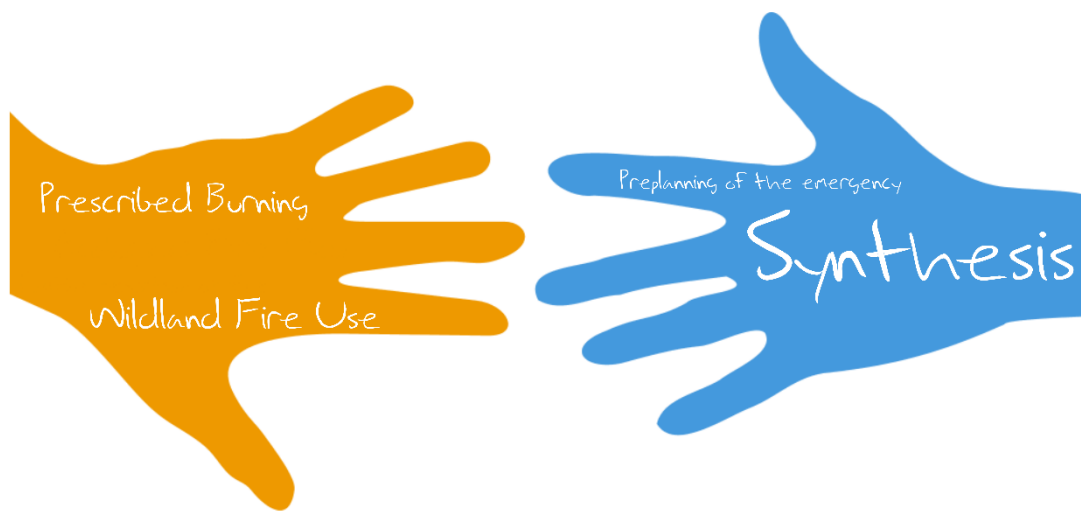
Turcotte, D. L., & Rundle, J. B. (2002). Self-organized complexity in the physical, biological, and social sciences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.012579399>

Viegas, D. X. (ed. ), Castellnou, M., & et. al. (2018). Fire growth patterns in the 2017 mega fire episode of October 15, central Portugal. In *Advances in forest fire research 2018*. [https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506\\_48](https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_48)

Viegas, D. X. (2018). Wildfires in Portugal. *Fire Research*. <https://doi.org/10.4081/fire.2018.52>

Viegas, D. X. (ed. ), Athanasiou, M., & Xanthopoulos, G. (2018). Observations on wildfire spotting occurrence and characteristics in Greece. In *Advances in forest fire research 2018*. [https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506\\_65](https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_65)

Vuong, Q. H. (1989). Likelihood Ratio Tests for Model Selection and Non-Nested Hypotheses. *Econometrica*. <https://doi.org/10.2307/1912557>



## THE PYRO-SUSTAINABILITY FRAMEWORK

### 3 SYNTHESIS OF PYRO-RESILIENCE IN MOUNTAIN SOCIOECOLOGICAL SYSTEMS

Synthesis is promoted as an approach that deals with the challenge of information overload, delivering products that further our understanding of problems and distil relevant evidence for decision-making (C. Wyborn et al. 2018). The term synthesis here refers to the integration of existing knowledge and research findings pertinent to an issue. In our research approach these issues are fire ecology, wildfires, and sustainability.

On the other hand, the term of pyro-resilience refers to the adaptation capacity of socioecological systems to the changing dynamics of wildfire regimes. We also introduce “mountain” as a nuance because the scope of the research, Pyrenees, is aligned with the definition of “mountain areas” proposed by the European Commission <sup>48</sup> (figure 25).

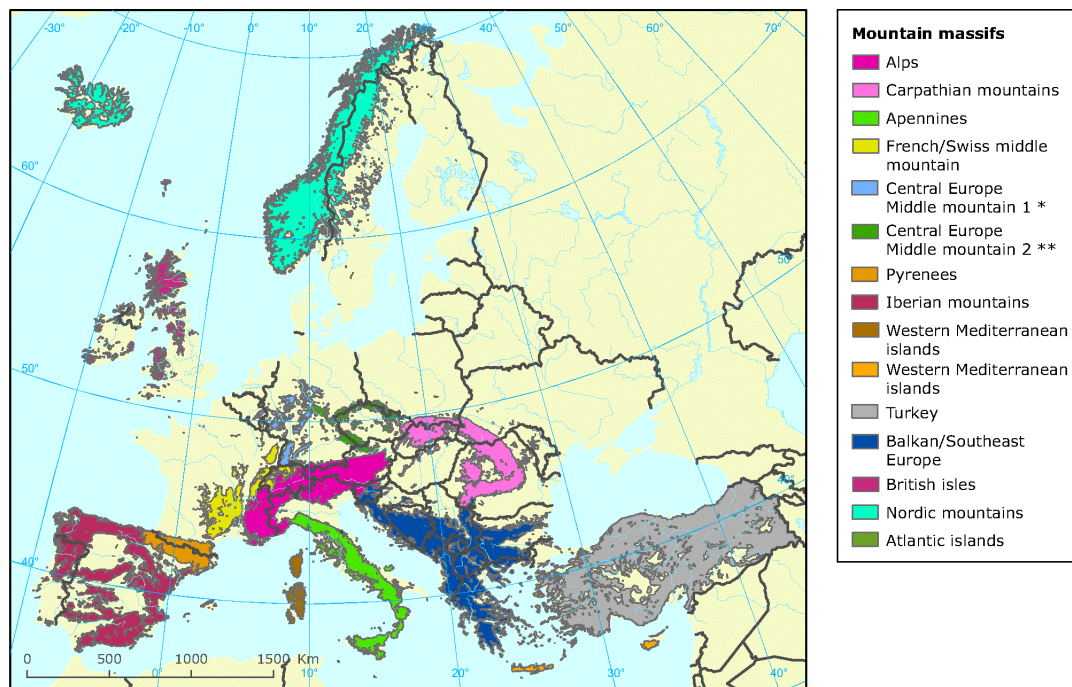


Figure 25. Mountain massifs in Europe. Source: European Environment Agency (EEA).

This chapter has a proactively holistic approach. This means that we seek to understand something primarily in the context of the whole that it is part of. Before we go about changing parts, we seek to gain an understanding of the overall context in which the parts exist and how they are interrelated in affecting each other and the whole system. Socioecological systems are fundamentally open systems, their boundaries are permeable. This characteristic of complex systems changes fundamentally how we should go about designing for them as without boundary conditions we do not have the same

<sup>48</sup> Europe's ecological backbone: recognizing the true value of our mountains EEA Report No 6/2010 ISSN 1725-9177

kind of control that we may have when designing simpler systems. Without the capacity to directly impose order on the system we must work with processes of self-organization and emergence, as well as to switch to a relational design paradigm and design networks of connections. The net result of this is that the system can change and is not determined to follow a linear life cycle from cradle to grave. A socioecological system is dynamic, adaptive, and evolving. It can learn, grow, and adapt in response to internal and external conditions in order to renew itself. If we want regenerative, resilient, and sustainable systems we must design for systems to evolve over time.

## 3.1 OVERALL FRAMEWORK

### 3.1.1 Justification

Episodes of extreme wildfires around the world show that firefighting policy only postpones the inevitable. Emergency organizations need to make a shift from suppression to resilience, including the ability to accept and manage some wildfires within pre-planned conditions (Castellnou et al., 2019).

The particularities of the Pyrenees socio-ecological system, together with the need to adapt to climate change, lead me to the creation of a new conceptual and operational framework, the pyro-sustainability. The transdisciplinary research project develops a case study for the Aran community (section 3.2), offering a more holistic and adaptive landscape management model than the current one.

### 3.1.2 Proposal

Pyro-sustainability is translated into practice by applying a pioneering methodology and developing a series of specific products with direct implications for emergency management organizations and landscape managers (section 3.7). The framework provides a technical solution tailored to the Aran where the priority is the conservation and management of the common good together with conciliation of interests between different agents involved. The proposal is based on a few key concepts that are gathered in the glossary of the Document of Reference (see Appendix B). We consider these concepts may help to understand why and how using some wildfires as suppliers of ecosystem services (Pausas et al., 2019) can play a more successful management strategy to foster landscape resilience than fire suppression systematically delivers (Moreira et al., 2020; Duane et al., 2019). Three of them are already used within the community of wildfire experts<sup>a,b,d</sup> and two of them are introduced as novel concepts<sup>c,e</sup>. These key concepts are:

- Positive selection of fire<sup>a</sup>
- Pre-planning of the emergency (PPE)<sup>b</sup>
- Ecological fire flow (EFF)<sup>c</sup>
- Wildland fire use (WFU)<sup>d</sup>
- Pyro-sustainability (framework)<sup>e</sup>



### **Positive selection of fire**

Using the concept of natural selection within the context of the adaptive evolution in natural systems, the negative selection of fire deals with the extinction paradox implications in the long term. Short term suppression efficacy represents a negative feedback of the burned surface, but a side effect emerges in the medium-term increasing forest fuel loads. In this way, the systematic extinction of low and medium intensity wildfires progressively homogenizes the landscape and creates favorable conditions for large fires, higher intensities, and higher severities (negative selection of fire). The more effective is the suppression system, the more intense are the fires that exceed the extinguishing capacity, and the more severe is the fire footprint in the landscape. In contrast, if we consider the time scale of fire regimes (decades-centuries), a more natural selection of fire (or a less aggressive suppression policy), promotes a wide variety of fire intensities and severities. Thus, fire as an ecological disturbance plays a role of selective pressure directly on plant communities and indirectly on the quality of wildlife habitats. This diversity of fire disturbances on an evolutionary scale has acted as an engine of biodiversity (Pausas & Keeley, 2009). Therefore, a positive selection of fire refers to the environmental benefits linked to fire diversity, in contrast to fire regimes highly polarized to highest intensities (megafires) as a consequence of the efficacy in suppression. Additionally, considering negative impacts of fire into socioeconomical systems, I want to emphasize the broad sense of environmental issues specially those concerning civil protection together with resilience of emergency organizations to avoid collapse when simultaneity episodes arise. Thus, positive selection of fire refers to sustainability potential both at ecological and social levels (Pausas et al., 2012; Castellnou et al., 2009).

### **Pre-planning of the emergency (PPE)**

PPE is equivalent to the idea of resolving the incident in a specific space-time context where actions are proactively identified in such a way that the common good can be maximized during emergency management. It is known also as the pre-planned strategy. Pre-planned strategy recognizes the hysteresis nature of fire in the sense there are simultaneous interconnected processes performing at different scales of space and time, so that actions implemented within the emergency response can both be detrimental or contribute to future landscape resilience. From a thermodynamic point of view, emergence phenomenon in complex systems (as fire represents in forests) is a consequence and a manifestation of their self-organization capacity. Additionally, PPE breaks systematically with the fear trap<sup>49</sup>, allowing to democratize strategic decision-making, reconcile interests between different groups of the community, and prioritize multifunctional management in favor of landscape resilience (Castellnou et al., 2019).

### **Ecological fire flow (EFF) – novel concept**

EFF refers to the quantity and quality of fire flow required to sustain the common good linked to a particular socio-ecological system. To be applicable in management, EFF must be translatable to specific actions, must have traceability and must be monitorable. The EFF is a parameter that simplifies reality but safeguards the key attributes to capture the complexity of fire in the natural environment and, to support decision-making in its practical sense. It is based on variables commonly used and standardized for wildfire

---

<sup>49</sup> <https://youtu.be/2W87J1Sn6Yc>

analysts and prescribed fire users such as intensity, frequency, seasonality, etc. Section 4 of the Document of Reference (appendix B) details the EFF concept by using the Aran project design, and which has served also to reach a level of resolution in the modelling (MEDFIRE Aran) that goes beyond the surface variable. Considering fire beyond “hectares burned” does not only make sense for prescribed fire users and wildfire analysts but also to the community of research (Moreira et al., 2020).

- Quantity can be formally represented with the surface (hectares). At the same time, we propose two sub-differentiations: Capacity (CA) and Power (P).
  - Capacity (CA) is a proxy to the wildfire propagation potential, measured in hectares, with notable meaning nuances depending on the scale of action (historical regime, projections under different scenarios and management alternatives).
  - Power (P) is a proxy on the maximum area that can be managed in a single episode, measured in hectares (Pp). P may also have a historical connotation, that is the maximum area burned in a single episode during the period considered (Ph).
- Quality can be formally represented through fire behavior (CO), seasonality (E), and recurrence (R).

The variables intrinsic to the EFF parameter are not new but correspond to the pillars of knowledge that have been consolidated to date within the wildfire community and fire ecologists, where these variables are normally used. On the other hand, fire flow and fire ecological flow have remarkable differences. From the perspective of modeling, fire flow has been used to formally represent the dynamics of contagion in fire percolation, or in relation to socioecological implications at scale of fire regimes (Piñol et al, 2007, Duane et al, 2019). Therefore, fire footprint in landscape models is reduced to the burned surface, the probabilistic area-frequency distribution and severity. However, in the case at hand, the proposal of a fire ecological flow allows to integrate within the modeling those fundamental principles that from the expert community and applied ecology have already been used for a long time (Arno, 1994; Agee, 1998; Castellnou et al, 2009). In this sense, the MEDFIRE Aran model has inferred variables of space (management sectors), fire behavior, recurrence, and seasonality. This step makes the difference for managers and decision makers because it is the basis for marrying concrete management goals with the potentials the modelling offers. The virtual experimentation has been lowered to a level of project concretion, helping to find out the optimal fire ecological flow by analyzing the cost-benefit of different actions. This “model + practical expertise” formula brings robustness to the project design, provides a space-time holistic vision, and supplies a realistic mission for managers.

Additionally, the fact the modelling has been adapted to the Aran makes our work singular and fresh, in the sense ecological modelling approaches to wildfire regimes in the NE of Iberian Peninsula traditionally have accounted for Mediterranean sub-climates and encrypt the Pyrenees wildfire regime dynamics.

### **Wildland fire use (WFU)**

WFU use was originally termed as prescribed natural fire and initiated in United States of America by the National Park Service (NPS) in 1968. Prescribed natural fire grew slowly in the Park Service and in the U.S. Forest Service during the 1970s and 1980s. The 1995 Federal Wildland Fire Management Policy renamed prescribed natural fire to wildland fire use and documented the need to increase these types of management actions in response to wildfires. Since 1995, WFU has increased progressively. During the 1970s, for example, there were prescribed natural fire programs in California, Arizona, Idaho, Montana, Wyoming, Colorado, and Florida. By 2001, WFU had expanded to include those states, plus Washington, Oregon, North Dakota, South Dakota, Minnesota, Michigan, Utah, Nevada, New Mexico, Texas, Arkansas, Kentucky, Tennessee, Alaska, and Georgia

<sup>50</sup>.

Formally, WFU is the management of naturally ignited wildland fires (those started by lightning or lava) to accomplish specific resource objectives within a pre-defined area<sup>51</sup>. Objectives can include maintenance of healthy forests, rangelands, or support of ecosystem diversity, among others. In this scenario, monitoring is a high priority to ensure the fire stays within boundaries and meets objectives. In the north American context, it is often a long-duration event which can last weeks or months and may involve temporary inconveniences regarding smoke, travel, and potential closure of public use areas. For this reason, WFU occurs primarily in remote and undeveloped areas.

Based on GRAF's opinion as well as several authors' conclusions (Piñol et al, 2007; Duane et al, 2019), as a transdisciplinary research team (details about the team in section 3.5.3 and appendix B, Document of Reference), we step on the idea that in some cases, especially in the socioecological context of the Pyrenees, allowing some fires to burn may be the most appropriate management response when outlined in a fire management plan and where communities are not at risk. Also, in rugged, steep, or highly inaccessible terrain where people are not threatened, wildland fire use can help avoid putting firefighters at unreasonable risk. From our particular point of view of systems innovation (pyro-sustainability framework) and sustainable project design (Aran project), WFU is the intervention aimed at monitoring the evolution of the fire to minimize its negative consequences and / or enhance the positive ones, deploying stabilization and fire support maneuvers to final anchors until the final extinction. WFU is based on the aforementioned pre-planning of the emergency (PPE), the strategy that allows consensus and prior approval of the idea of final resolution of an emergency. As far as we know, WFU has no formal precedents in Europe neither related to fire suppression policies nor to wildlife or biodiversity conservation. Therefore, the case of the Aran represents the

---

<sup>50</sup> [https://www.fws.gov/fire/what\\_we\\_do/wildland\\_fire\\_use.shtml](https://www.fws.gov/fire/what_we_do/wildland_fire_use.shtml)

<sup>51</sup> <https://search.usa.gov/search?query=wildland+fire+use&submit=Search&v%3Aproject=firstgov&affiliate=fws.gov>

first attempt in Europe to formally design and implement a WFU strategy, although it must be emphasized there are significant differences between the American way and the way proposed for the Pyrenees (see section 3.6.5).

### **Pyro-sustainability (framework) – novel concept**

It is a code proposed as a strategic action framework based on tangible actions that promote landscapes of low socio-ecological vulnerability, where work is done creatively, transversally and proactively so that the fire footprint generates strengths and opportunities for the benefit of the common good. It involves a deep change in the rules for arranging the conventional response to natural disturbances. The strategy is no longer encapsulated by default within a culture of strength, coercion and / or contingency, but a culture of creativity and adaptability. It provides a more diversified toolbox of strategies to deal with climate change challenges, empowering landscape resilience in a manner compatible with other alternative sustainable policies, as for example «circular bioeconomy» paradigms (Carus and Dammer, 2018). Related with other sustainable policies I want to remark the fact any sustainable socio-economic paradigm promoted in mountain regions is not able to generate immediate results in the short term, and consequently, any expected collateral and positive impacts over these landscapes are nor plausible neither expected in an extensive manner in the short term (Casals et al, 2009). This is relevant in the sense climate change is already altering mountain fire regimes, and the impact of extreme fire behavior and high severity in Pyrenees is already a probable event contemplated by experts<sup>52,53</sup>. On contrary, our framework can be compatible with biodiversity conservation policies, circular bioeconomy or any other effort oriented to regional sustainable policies but differential when considering the return period of investment; by directly using a natural element of disturbance (prescribed fire), it becomes possible to select positive impacts on landscape and minimize the most detrimental ones. This is differential to tackle with current climate change as far as prescribed fire can transform the landscape in a matter of hours/days, creating social and ecological resilience at medium-long term (reducing vulnerability to climate change impacts on mountain forest lands).

The framework of pyro-sustainability is not conceived systematically against fire but to actively foster socioecological resilience. That means it recognizes fire diversity and the implications it has in terms of management of the common good (positive selection of fire). Therefore, in some situations prevails fire extinction, in other prescribed burnings are promoted, and occasionally, wildland fire use may prevail whether is coherent with the pre-planning of the emergency. Following figure 26 distills the main components of the pyro-sustainability framework.

---

<sup>52</sup> “Els Pirineus poden cremar sencers” | Catalunya | EL PAÍS Catalunya (elpais.com)

<sup>53</sup> Coordinador informe cambio climático prevé un gran incendio en el Prepirineo (lavanguardia.com)

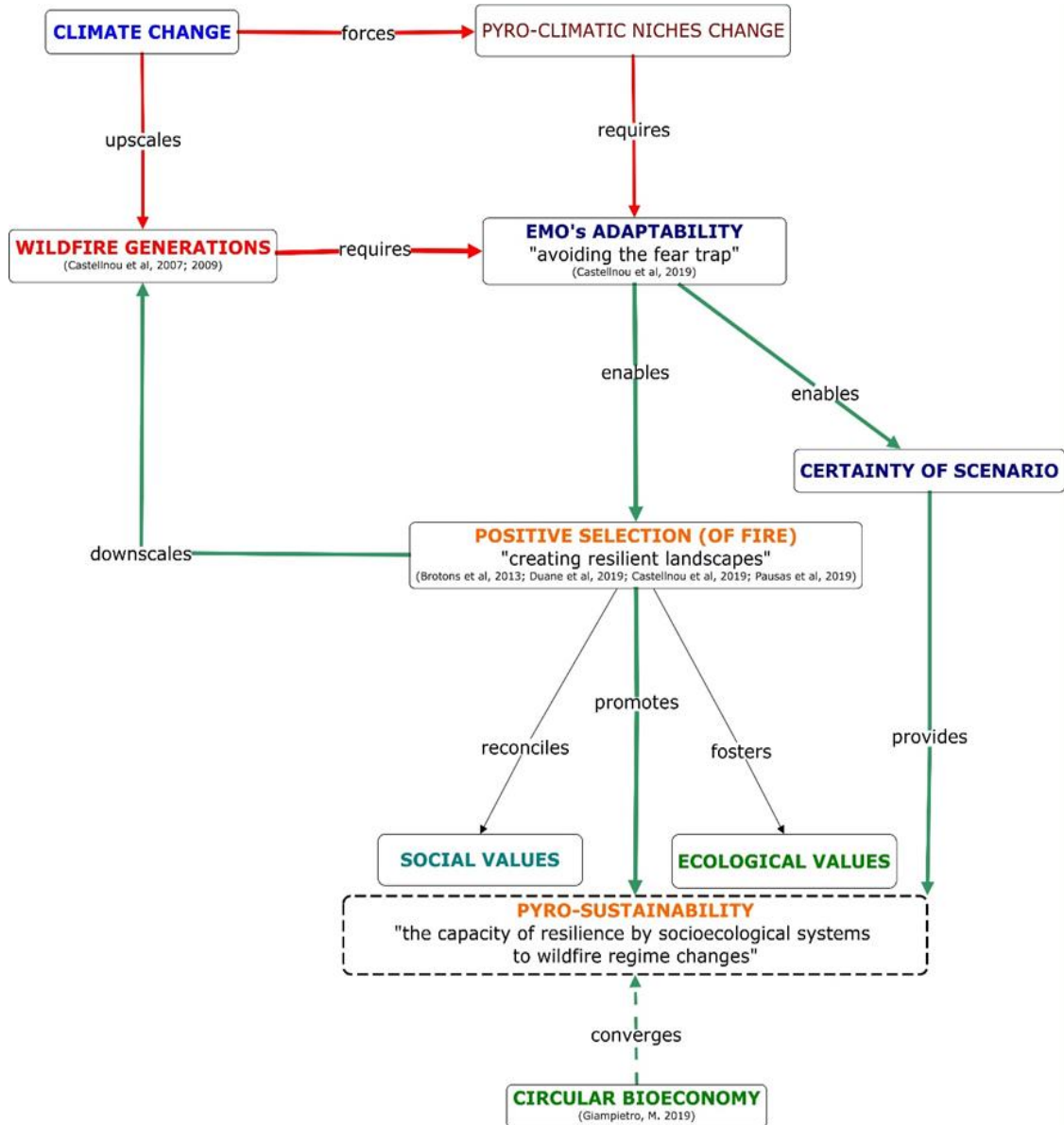


Figure 26. Main components of the pyro-sustainability framework proposed for the socioecological system of the Aran.

### 3.1.3 Design

The scope of action includes the whole of the Aran, limiting sectors susceptible to management with prescribed fire, and sectors where conventional extinction will be systematically applied. The period planned by the Strategic Plan covers 10 years from the date on its approval. The main motivation for using prescribed fire in the Aran deals with regeneration of pastures. This action counterposes the trend of landscape homogenization thanks to an extensive control of scrub populations, and it significantly reduces wildfire behavior and severity.

In case of a forest fire, it can only become manageable instead of extinguished when the conditions are coherent with the criteria set out in the prescription, the casuistry is consistent with the decision tree proposed for incident commanders, and in general, when the window of opportunity is coherent with the emergency pre-planning formally approved in advance (Castellnou et al, 2019).

The Strategic Plan proposes to establish a fire ecological flow (EF) that can reach 400 hectares per year, a proposal resulting from the process of modeling the wildfire regime in the context of climate change. EFF must be interpreted as a scenario of maximums guaranteed at the level of containment capacity. Tactical analysis provided by emergency experts have been determinant to deal with practical viability. The annual manageable area is significantly large because anchorages and natural boundaries are priorities when designing the limits of confinement. In this way, we create certainty of scenario in relation to the ability to control the fire within the expected limits of propagation. In practice, prescribed fire experts affirm that depending on environmental conditions and field decision making (snow level, time lag fuel classes, etc.) the flow of prescribed fire must fall significantly below the maximum stage (around 250 hectares per year). This magnitude is a friendlier target compared to the 400 hectares per year proposed by the MEDFIRE Aran modeling, but the fact to consider larger sectors with robust anchorages has advantages when operational adversities emerge. In expert's jargon, having alternative plans for reaching a strategic idea of resolution is a must to increase tactical certainty.

Each proposed management sector has an operational file with the framework window, in which the EF parameter is specified through variables such as fire behavior, seasonality or recurrence, among others. Each file also pre-identifies key aspects at the operational level such as limits of confinement, vulnerable elements to consider for decision making during implementation, etc.

The information related to the design of the proposal is presented in text format (Document of Reference, appendix B), and in a web map format (appendix B)<sup>54</sup>, so that it is a searchable, dynamic, and adaptable documentation from online and offline platforms.

### 3.1.4 Collateral effects

The project has several effects that must be evaluated to ensure the community and political acceptance, as well as technical and legal viability. The project identifies key environmental factors and approximates the assessment of potential impacts. The methodology used was based on modeling, wildfire expertise, and bibliographic references. Potential benefits, vulnerabilities, and areas for improvement to mitigate adverse effects have been identified.

### 3.1.5 Implementation and Monitoring

The Plan develops the dynamics of operation and proposes two ways of implementation:

- prescribed burnings and
- wildland fire use (WFU).

WFU becomes possible by means of the emergency pre-planning, defining key aspects such as the decision tree for the incident commander or the way to integrate the pre-approved idea of resolution to the action plan of intervention. The Plan proposes the creation of a risk monitoring bulletin, a tool that should be used to anticipate episodes of exceptional risk as well as to identify favorable operational windows for prescribed burnings and wildland fire use. At the training level, special attention is paid to the need of designing and developing a specific career plan. This involves deploying different training itineraries, facilitating exchanges between experts to gain experience more quickly, and creating professional skills. The training involves a wide range of profiles, from the executives themselves to the burning teams, to the heads of emergency response, to others with a more technical profile oriented to the world of environmental management.

## 3.2 THE ARAN CASE

### 3.2.1 Local (social) context

Fire activity in the Aran Valley is not a new or anecdotal phenomenon, but a historical one. In recent times, however, and in an emerging context of climate change with direct and indirect repercussions, the fire community has highlighted the need to understand, manage and plan the role of fire in the Pyrenees from a more holistic, ecological, integrative and multifunctional perspective <sup>55</sup>.

The project is a formal demand of the Aran's General Council that fundamentally responds to the need for managing the current local conflict between wildfires and use of controlled fire. Specifically, the aim is to find a technical solution tailored to the Aran that, from the prioritization of the common good, allows a conciliation of interests to be found between the main social actors involved (extensive fire use demand for productivity of pastures for cattle rangers, biodiversity conservation according to public managers, prevention of large wildfires, hunting resource management, protective forests conservation, etc.). This conflict, sufficiently representative of the Aran reality of the last two decades, has a predominantly social connotation, but it can be stated that today there is no critical problem in terms of socio-ecological severity and civil protection as it is the case in the Mediterranean region.

However, the conflict exists and materializes occasionally in the form of uncontrolled ignitions that end up being managed as wildfires. This increases the vulnerability of the emergency organization as it is more exposed to the simultaneity of services during the peaks of winter tourism. On the other hand, it generates contradictory situations such as the decision to have to put out a fire that occurs in a space where there have historically been and there are recurring requests for controlled burns, burns that otherwise are not achieved for logistical, bureaucratic reasons, lack of expertise, etc. In this context, the need to change the business as usual of extinction has become evident in the Aran, both to have greater certainty in the ability to respond to emergencies for the future, as well as to avoid contradictions such as extinguishing a fire today that is within a range of results compatible with socioecological landscape demands and management. Such contradictions have occurred repeatedly during the last two decades, with Garós (2017) and Arties (2019) wildfires as the most recent and paradigmatic examples <sup>56,57</sup>.

---

<sup>55</sup> <https://www.cma.cat/tv3/alacarta/sense-ficcio/lamenaca-incandescent/video/6049603/>

<sup>56</sup>

[http://interior.gencat.cat/web/.content/home/030\\_arees\\_dactuacio/bombers/foc\\_forestal/consulta\\_incendis\\_forestals/informes\\_incendis\\_forestals/2010-2019/2019/20190107\\_VA\\_Arties\\_fitxa.pdf](http://interior.gencat.cat/web/.content/home/030_arees_dactuacio/bombers/foc_forestal/consulta_incendis_forestals/informes_incendis_forestals/2010-2019/2019/20190107_VA_Arties_fitxa.pdf)

<sup>57</sup> <https://youtu.be/cLqZzW-Q-jg>



Different seemingly divergent actors coexist in this social based conflict:

1. *The public manager*, which includes the organization that manages emergencies (Pompieri Aran) and the organization that investigates the causes of ignition and the alleged perpetrators<sup>58</sup>.
2. *The private manager*, who legitimately has specific particular or collective interests that motivate him to use controlled fire, but who often does not have executive capacity given the magnitude of the challenge (contain the fire within specific limits while fuel density and homogenization increase in space and time).
3. *The occasional arsonist*, who works for his own interest in a totally irregular way, who operates through uncontrolled ignitions that end up being managed as wildfires by emergency responders.
4. *The passive user of the landscape*, of tourist profile, who simply observes the episodes of fires and must assume some restrictions during the process of extinction, and by which a fire will entail a negative connotation in his perception of the natural environment and the tourism that derives from it.

In the case of private managers, controlled burns have been used mainly as a tool for habitat management and more specifically, for the maintenance and regeneration of pastures, exercising direct control over woody structures, mainly scrub, which make grazing difficult. Therefore, the use of fire in Aran does not respond to burnings of piles (remains), nor of a way to open spaces within wooded masses to be able for cultivation (slash and burn practices). In the recent history of the Aran and the Pyrenees in general (the last hundreds of years) controlled burning has been carried out on herbaceous vegetation structures and high mountain scrub.

There are environmental and social factors that have led to the gradual abandonment of controlled fire as a tool for pasture management and / or habitat management. As an example, the consequences in terms of legal punishments when burns escape out of control together with the challenge that current landscapes represent in terms of fuel load and homogeneity. Therefore, the difficulty is explained both by biophysical factors of changes in the landscape and especially by social factors associated with the progressive loss of the pastoral profession, the generational change in the way of managing herds and pastures, or even all to the blindness of fire in an increasingly urban society that is unable to discriminate between wildfires and fire, in contradiction to how it is done with water versus floods, or snow versus avalanches. In parallel, if we overlap the effect of climate change on the current socio-economic model of the Aran, we assume a panorama where the upscaling in wildfire generations becomes a highly probable scenario. In just a few decades, the ecological footprint in the Aran has moved from an economy of subsistence based on extensive livestock production and forestry sector, to an active market based on tourism services and construction.

---

<sup>58</sup>Departament d'Agricultura, Ramaderia e Miei Naturau | Conselh Generau d'Aran ([conselharan.org](http://conselharan.org))

However, the current conflict can also generate positive synergies, although exploiting this complexity in a positive way requires considering strategic alternatives. Any deep political change on landscape management requires great consensus for the democratization of risk (Otero et al, 2018), and must integrate the current knowledge available from both experts and the scientific community. In terms of challenges for emergency responders, the situation in the Aran belongs to a scenario of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> wildfire generations, which translated into fire behavior, is characterized by the horizontal continuity of the fuel and the speed of propagation. These fire behaviors are apparently within the capacity of extinction, but we must consider that the orography of the Pyrenees is a limiting factor for any extinction system based on direct attack with water. In addition, when it comes to containing fires, the penetrability of the fire in the subsoil makes the difference in achieving final extinction. If we overlap on this orographic singularity the current context of climate change, the situation of the Aran and Pyrenees shifts from the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> wildfire generations to a more complex scenario, where extreme wildfire behavior (3<sup>rd</sup> to 6<sup>th</sup> generations) is expected to be unavoidable on a scale of years-decades under present business as usual trends <sup>59</sup>.

### 3.2.2 What exactly (objectives)

The Strategic Plan has the following **objectives**:

1. Address and manage the current conflict between uncontrolled anthropogenic ignitions and fire causation (details of conflict in following section 3.2.3).
2. Address and manage the current conflict between control burning private demand (mainly cattle rangers) and inability to execute in a safe and controllable manner (difficulty related with extension and capacity of containment).
3. Propose a transversal framework of work and consensus at the county level in relation to the use of fire.
4. Propose a 10/20 - year strategy tailored to the Aran socioecological system to manage the climate change challenges and proactively respond and adapt to the upscaling trend in wildfire generations.
5. Facilitate a pioneering methodology to create opportunities that promote systemic resilience, with the co-management of key aspects such as biodiversity conservation, pasture management for the livestock sector, mountain ecosystem services, and prevention of the risk of landslides, among others.
6. Propose an effective methodology to democratize the risk of wildfires from citizen participation during the project design process, beyond the public consultation linked to the technical-administrative process of project approval.
7. Create a new strategic framework at the scale of the Aran community able to empower the public network involved with the management of the socioecological common good. That means mainly public agencies who deal with conservation of natural resources, risk analysis and emergency response.

---

<sup>59</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=IfnV1sRhpBY>

### 3.2.3 Why there

On a regional scale the Aran Valley is framed within the Pyrenees (figure 27). At a continental scale, Pyrenees are a rich ecotone that performs like an island of biodiversity between the plains of Europe and the Iberian Peninsula. Details of their ecological inventory, past, present, and future climate, meteorological patterns, biodiversity, or natural risks are described in the document of reference (DR) called «The Strategic Plan for the sustainable wildfire regime management of the Aran Community» (appendix B).



Figure 27. Map of the Aran Valley, within a Pyrenees massif perspective.

The fact that this project happens in the Aran Valley is not accidental. There are several reasons why it happens in this specific community and not in any other community of the Pyrenees or even Europe:

- A direct demand from the Aran community to GRAF to design a formal prescribed burning program including gaining autonomy to execute it. Nowadays, they occasionally execute controlled burns but always depending on GRAF team's assistance and availability. In practice, this is a weakness because GRAF teams have parallel demands and agenda all over Catalonia.
- High capacity for self-government, as they have full powers in emergencies and environmental policies.
- The size and rural characteristics of the Aran community. The fact that it is a small community (around 10.000 inhabitants) may be an advantage in the sense that bottom-up initiatives coming from the community as well as top-down proposals coming directly from its own government are more likely to succeed than in larger and more complex communities. In the case of Aran, from a strategical idea of resolution to formally propose and approve a real plan there are less interactions than in communities like Catalonia or Spain (7.5 and 47 million people, respectively). Although having more social interactions may create more favorable environments for innovation, more social interactions also require attending more diverse interests. Therefore, any socioecological innovation created and promoted from the own community of the Aran is more likely to succeed than the same idea of innovation in other regions of the Pyrenees which are politically more clustered to urban communities. Urban policies have been commonly fire blind, showing lack of fire culture and being a negative feedback when dealing with tolerance to low intensity fire disturbances. This sociopolitical strength highly explains why the Aran community is more willing to the innovation proposed in that thesis («wildland fire use by means of the emergency pre-planning») than other communities of the Pyrenees.
- Mutual confidence thanks to a long cooperation between Pompiers Aran and GRAF team (more than 20 years), as well as mutual empathy in the sense we share similar fire regime singularities from a Pyrenees perspective. Since today, Pompiers Aran has been organically dependent of the Generalitat de Catalunya, so that working hand by hand with Catalan Fire Services, but due to its political and regional singularity Pompiers Aran is going to become organically independent of the Generalitat de Catalonia in 2022<sup>60</sup>.
- The open-minded attitude and their proactivity for creating a window of opportunity to step on an integrated new paradigm in emergency and environmental management.

---

<sup>60</sup>Acord per la Gestió Integral d'Emergències a l'Aran | Conselh Generau d'Aran ([conselharan.org](http://conselharan.org))

- From a GRAF perspective, the Aran Valley case represents an excellent opportunity to empower common values and cooperation between different communities of work in the Pyrenees. At a tactical level it represents a challenge due to the magnitude of the proposal in space and time, but the project design creates a scenario of certainty because it mainly focuses on open spaces dominated by shrublands and grasslands, a far less complicated work compared to those prescribed burnings implemented in Catalonia inside dense tree landscape patches.

### 3.3 THE TRANSDISCIPLINARY RESEARCH PROJECT APPROACH

A transdisciplinary research project may be understood like a process where specific methods are applied for relating diverse knowledge types in concrete problem solving. The key point is focused on creating the path to reach a desired solution, an approach that uses science mainly as a tool (Kotter et al, 1999). At a practical level, science findings, analytical tools, experts' knowledge, and decision makers do not perform separately as segregated silos of information but in an integrated way. The "added value" of transdisciplinarity is the ability for co-creating novel products (methods, concepts, frameworks, projects, tools, etc.) to overcome (tackle) an issue of complex nature (Schaltegger et al, 2013).

Diversity reflects somehow the flows of matter, energy, and information in ecosystems. Natural systems work, adapt, and evolve far from the "command & control" pattern typically spread in human systems when it comes to relations with environment. In this sense, ecological nets sustain diversity and evolvability under an energetic hierarchy among trophic levels (Giannetti et al, 2019) and following rules of reciprocity (energy flows) among species (Schneider & Kay, 2010). The transdisciplinary approach creates a synthetic framework that serves as a connection between nodes of the social network involved in the problem's environment. It is well known for managers that consequences of complexity can be both negative and positive, but when complexity is accepted as an unavoidable and ubiquitous part of the path to resolution, complexity may become an opportunity.

In our case of study in the Pyrenees, the desired resolution in terms of management and pyro-resilience is conceived precisely under the priority of the common good. Inspired by living systems adaptability, the project steps on the idea that when social agents involved in a socioecological conflict interact under patterns of diversity and reciprocity, the socioecological system evolves facilitating the path to the common good. Although the project is in a specific valley of the Pyrenees, it could have a wider application in many valleys of this massif. At the same time, the project could also be an interesting management reference beyond the Pyrenees, as far as European mountain areas share similar challenges in the context of global change and fire regimes (Alps, Scandinavian mountains, Highlands of Scotland, Carpathians, among others).

### 3.4 THE NEW FIRE DEAL IN PYRENEES

As complex adaptive systems, wildfire regimes show self-organization, non-linearity, and hysteresis in terms of energy, matter, and information flows (McKenzie et al, 2011). According to the results presented in Chapter 2 (analyses of FSD distributions), we recognize two patterns in fire regimes of Catalonia along the evolution of Fire Services:

1. The extinction paradox or rebound effect in the tail of fire size distributions, well represented during the first half of the 30-year period analyzed.
2. The allocation of wildfire events in the medium size classes during the second half of the 30-year period (the arched back effect), suggesting both patterns emerges when truncation is forced in the tail of the distribution by the suppression efficacy. We metaphorically refer to the Fire Services truncation in the tail as the hammer effect.

Our findings demonstrate the hammer effect has been also significant in the Pyrenees, what it could be understood somehow as a temporal success. Nonetheless, climate change does not give a break to emergency organizations in a scenario where adverse meteorological conditions are globally evolving to worse quickly (in decades)<sup>61</sup>. Wildfire experts remark the impacts and deep connotations that this adverse scenario represents also in the case of the Pyrenees, where some aspects of fire behavior and larger fires are correlated with the increase in mean temperatures, as we have found in the Aran Valley (figure 28).

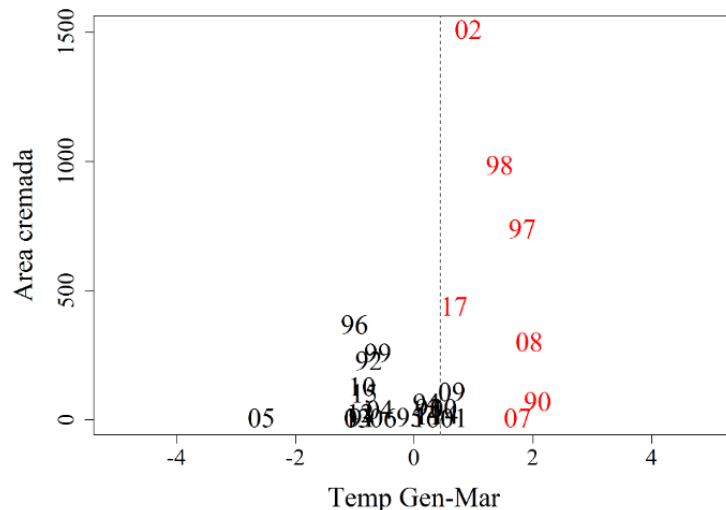


Figure 28. Annual burned area by years from 1990 to 2017 in function of mean temperature (January-March) in the Aran Valley. Vertical line shows the boundary between sever (red) and non-sever (black) years. This figure is extracted from the Document of Reference (appendix B)

<sup>61</sup> <https://www.opcc-ctp.org/>

Figure 28 represents a key finding of the research done by this thesis since the meteorological pattern used to understand critical summer seasons in Catalonia (south heat waves episodes) does not reproduce at all the historical fire regime of the Aran (more details about the fire regime of the Aran in Appendix B, Document of Reference). In the Pyrenees in general and in the Aran specially, mean temperatures in winter are differential to understand how surface fires can evolve to ground fires (subsurface fires<sup>62</sup>). When daily mean temperatures of winter are low enough to endure the soil (near or below zero degrees), then ground fires are not possible. In these conditions, fire responders can put off the flames without big problems to mop up during the day. In contrast, after neutralizing flames (surface fires) and when organic soil is a part of the fuel load available, a ground fire can start to spread and may re-evolve later on surface helped by katabatic winds (descending winds), widening notably the perimeter during the night. That empirical perception of fire responders matches with our findings shown in figure 28. This is an example of the richness of transdisciplinary research, being in that case a key factor to adapt and calibrate the model MEDFIRE to the Pyrenees context, where typical fire summer seasons are not enough to understand and reproduce fire regimes (more details about the model MEDFIRE Aran in appendix B).

In relation with the use of technical fire, it has been applied systematically in Catalonia since 1999 (in prescribed burnings but mainly as a suppression technique). In legal terms, the use of technical fire in Catalonia has a specific regulation since 2006: Decret 312/2006, of 25 July, which regulates the management of technical fire by the staff of the fire prevention and extinction services of the Generalitat de Catalunya. Since that moment, the use of technical fire has been developed in two differentiated formats:

- Prescribed burns, for various purposes related to fire prevention in vulnerable and strategic points of the territory, as well as for different objectives of multifunctional management such as the regeneration of pastures, among others.
- Use of technical fire in firefighting maneuvers (indirect attack) and at the same time to gain safety in highly exposed scenarios, as well as speed of control and efficiency in many interventions.

According to INFOCAT (The standing Specific Emergency Plan for forest fires in Catalonia), the objectives of the intervention can be determined by four different types of action, depending on the characteristics of the emergency scenario<sup>63</sup>:

- Attack: the intervention is designed to minimize the area affected by the fire, making use of extinguishing resources to suppress the fire front where it is burning. Direct and indirect attack maneuvers are deployed.
- Defense: the intervention is aimed at protecting people and property that may be affected by the spread of forest fires. Extinguishing resources are used to

---

<sup>62</sup> Fire behaviour (nrcan.gc.ca)

<sup>63</sup>[https://interior.gencat.cat/ca/arees\\_dactuacio/proteccio\\_civil/plans\\_de\\_proteccio\\_civil/plans\\_de\\_proteccio\\_civil\\_a\\_catalunya/plans-especials/infocat/](https://interior.gencat.cat/ca/arees_dactuacio/proteccio_civil/plans_de_proteccio_civil/plans_de_proteccio_civil_a_catalunya/plans-especials/infocat/)

deploy protective maneuvers to the population, housing, campsites, farms, industries, and other vulnerable elements.

- **Confinement:** the intervention is aimed at delimiting the maximum area that the forest fire will reach in a specific and known space. Indirect attack maneuvers are deployed.
- **Wildfire management:** the intervention is aimed at monitoring the evolution of the fire to minimize its negative consequences (monitoring), where stabilization maneuvers and technical fire use can be deployed to anchor lines until final extinction. This objective of intervention is contemplated by the INFOCAT but it has not been formally implemented yet due to its complexity.

In the case of the Aran, the use of technical fire is conceived in the same situational formats mentioned as far as the Aran is subjected to the INFOCAT, and the scenario of wildfire management is being developed for the coming future (pending legal approval). Beyond this, the new fire deal in the Pyrenees is a sustainable management approach for reintroducing a “positive selection of fire” policy in an extensive and controlled way to foster socioecological resilience. We metaphorically refer to this new deal as the dance with wildland fire use, a strategic scenario where all four different objectives of intervention previously mentioned in the INFOCAT can be formally implemented thanks to the potentialities linked to pre-planning of the emergency (PPE). That idea of resolution clearly shifts the classical mental map supporting the policy of “reducing the burned surface at all cost”. This new deal is expected to empower public managers of the community gaining new functional attributes. These attributes are:

- The awareness and acceptance of non-linearity in fire behavior and self-organization in wildfire regimes. Therefore, the awareness of their consequences in terms of extinction capacity, safety, civil protection, emergency management and socioecological vulnerability at medium – long term.
- Institutional and systemic ability for planning emergency response in an adaptive way, by means of diversifying the strategical toolbox or objectives of interventions (attack, defense, confinement, and management).
- Systemic ability to develop different tactics, incorporating the use of technical fire safely.
- Systemic ability to determine landscape resilience finding a balance between quantity and quality of fire, that is by defining what we propose as Fire Ecological Flow (EFF) in space and time.
- Systemic ability to implement the EFF using different ways tactically credible.
- Extinguishing high severity fires (ground fires) as soon as possible to mitigate the most detrimental effects provoked by wildfires on mountain areas.
- Designing and implementing prescribed burning programs.
- Implementing wildfire management in those wildfires where positive socioecological effects can be achieved by means of what we propose as the Pre-planning of the emergency.



## 3.5 METHODOLOGY

### 3.5.1 The challenge

Architects move from the idea of theoretical resolution to an executive project by tackling with creativity a technically normalized process. Unfortunately, projects of prescribed burnings at landscape scale are still far away from being a normal landscape architecture project. Even though architecture or engineering projects clearly interact with our lives in many ways, the process of design essentially deals with non-living technical challenges. However, when we propose pathways to upscale landscape resilience with prescribed fire, we cannot avoid integrating the complexity of living systems in the project design. This makes systems design (sustainability design) a big challenge.

In addition, if we consider the creative twist of making it possible by taking advantage of nature's inertia together with the emergency management momentum, upscaling landscape resilience with prescribed fire represents an extra challenge. From a legal perspective alone, it requires legislative changes in the Aran to regulate the use of technical fire as well as to create the corresponding professional qualifications. The challenge coincides with a time when Pompiers, the Aran EMO, is closing a process of organizational reforms that has involved, among other things, taking a strategic direction more cohesive and adapted to the context of simultaneity, climate change, efficiency of public resources and empowerment of public managers from the co-management and promotion of integrated actions. This evolutionary leap at the EMO level is reflected in table 2, section 1.3.1.

### 3.5.2 Starting point (initial strengths)

Initially, we count with the characterization of a 30-year period of wildfire probability distributions at a scale of Pyrenees, including seasonality patterns. The results come directly from the chapter 2 of the thesis here presented and have been useful to contextualize the analyses of fire regime at a scale of the Aran.

Secondly, we start from two different fire databases, neither connected nor coherent between them. The database collected by the Catalan Rural Ranger Corps (COSAR)<sup>64</sup>, and the one collected by the Catalan fire services called perimeters of Catalonia (PERICAT)<sup>65</sup>. The first one has the strength of being formally validated annually by the Prevention of forest fire Service (SPIF)<sup>66</sup>, who has legal attributions to report fire statistics in Catalonia. Its weakness is that it is not in a geodata format as well as that there is a lack of many fires before 1986, being this reality especially significant in the Pyrenees where historical escaped control burns were not included in the fire database. On the other hand, PERICAT has reconstructed many (not all) historical fires that occurred before 1986 by

---

<sup>64</sup> <http://agricultura.gencat.cat/ca/departament/agents-rurals/>

<sup>65</sup> [http://interior.gencat.cat/ca/arees\\_dactuacio/bombers/foc-forestal/incendis\\_forestals/cercador/](http://interior.gencat.cat/ca/arees_dactuacio/bombers/foc-forestal/incendis_forestals/cercador/)

<sup>66</sup> [http://sac.gencat.cat/sacgencat/AppJava/organisme\\_fitxa.jsp?codi=12988](http://sac.gencat.cat/sacgencat/AppJava/organisme_fitxa.jsp?codi=12988)

doing field analyses, applying GIS tools and bibliographic research. This has allowed to build a geodatabase which is useful to understand spread patterns and landscape memory, creating new knowledge that experts have defined as fires of design at a scale of massifs in Catalonia (Castellnou et al, 2009). The weakness in this case is that when considering events before 1986, it does not exist an official validation for the Pyrenees (more detail about the Pyrenees database in chapter 2). According to this starting point, our job has consisted in filtering and fusing data, to finally create a novel fire geodatabase. That step allows us to build a more representative database to analyze and understand the recent fire history in the Aran.

Thirdly, we use a validated fire landscape model: MEDFIRE<sup>67</sup>. This point has been crucial to reproducing the historical fire regime of the Aran from the available geodatabase, to make projections under different scenarios of climate change and different strategic alternatives at a level of EMO.

Finally, the GRAF's background and expertise, without which the proposal inherent to wildfire management would not be neither viable nor credible. This expertise consists mainly in:

- Accumulated experience in the design, dimensioning, and implementation of prescribed burnings, in different forest structures and "diversity of goals" (1999-2020)
- Accumulated experience in firefighting operations using technical fire (2000-2020).
- Accumulated experience in episodes of wildfires outside the capacity of extinction, where from the strategic vision, the tactical capacity and the application of complex maneuvers, EMO responds effectively (avoiding the collapse). Some examples are La Junquera 2012, Òdena 2015 or La Ribera d'Ebre 2019<sup>68</sup>.
- Transdisciplinary research experience because of the collaboration and active participation with research and non-research institutions at regional and international scale, being part of clusters developing competitive projects at European level<sup>69</sup>.

---

<sup>67</sup> <https://sites.google.com/site/medfireproject/medfire>

<sup>68</sup> [https://interior.gencat.cat/ca/arees\\_dactuacio/bombers/foc-forestal/incendis\\_forestals/informes-dincendis-forestals/2010-2019/](https://interior.gencat.cat/ca/arees_dactuacio/bombers/foc-forestal/incendis_forestals/informes-dincendis-forestals/2010-2019/)

<sup>69</sup> [http://interior.gencat.cat/ca/el\\_departament/accio\\_exterior\\_i\\_ue/projectes\\_europeus/bombers/](http://interior.gencat.cat/ca/el_departament/accio_exterior_i_ue/projectes_europeus/bombers/)

### 3.5.3 Work team and roles

Success in designing and carrying out a project of this transdisciplinary nature depends to a large extent on the ability to integrate diverse knowledge and expertise. A step of this nature has been possible thanks to the possibility of setting up a work team that is knowledgeable firsthand in critical aspects; the management of the Aran landscapes singularities, the management and operations in the Aran emergencies, together with experts in wildfires and prescribed burnings with local, regional and global experience, and finally, researchers in fire ecology and sustainability science who can support decision-making and at the same time provide tools such as modeling to help project future scenarios.

As a researcher in sustainability science I want to highlight the solidarity between the different members of the team, who have shown full awareness of what is at stake not so much in the threats but in the opportunities for change. The project has involved technicians attached to the Conselh Generau d'Aran, experts from the GRAF team, and researchers from the Forest Science and Technology Centre of Catalonia (CTFC). In my case, I have been working as a researcher and as a fire expert (GRAF member) simultaneously. The authors and the roles assumed by each are mentioned in detail in the Document of Reference (appendix B). My participation and contribution in this project have not been only a consequence of my condition of researcher in sustainability science; the opportunity has come mainly from the generosity of the GRAF team lead by Marc Castellnou, and its deference of my professional dedication in the Pyrenees-Lleida unit since 2009. In other words, for my condition of tactical analyst, my experience in wildfires and prescribed burnings, and my determination for putting fire ecology and sustainability design to work for socioecological resilience in the Pyrenees. The tasks assumed are described below in table 18 (next page).

<b>TASKS DEVELOPED</b>
Define the scope and the contents of the Document of Reference (DR)
Set up the teamwork
Coordinate transition processes between the periods of action
DR writing
Basic team dynamics (open communication to avoid conflicts; effective coordination to avoid confusion and the overstepping of boundaries; efficient cooperation to perform the tasks in a timely manner and produce the required results, especially in the form of workload sharing; optimal levels of interdependence to maintain high levels of trust, risk-taking, and performance)
Brain-storming process m for adapting the model MEDFIRE to Pyrenees and Aran singularities, together with A. Duane (researcher involved in the team)
Collection of field data to create a sub-model of shrubland succession
Elaboration of a novel wildfire database for the Aran Valley from pre-existing different data sources (including classification of the corresponding fire spread pattern)
Analysis of frequency-area probability distributions of the Aran
Initializing and calibrating key aspects of the model based on wildfire expertise, together with A. Duane.
Discussion and interpretation of the results obtained from the virtual experimentation together with A. Duane.
The fitting between the model results and real tactical capacities
Elaboration of the "MEDFIRE Aran compilation" for a technical publication (co-author with A. Duane, N. Aquilué and L.Brotons)

Table 18. Actions developed within the project of the Aran elaborated by the author.

### 3.5.4 How to make it probable

Presented below as simple as a list of consecutive actions (table 19), the “how to make it possible” is far away from being a planned and serial dispatching process. The reality of a transdisciplinary research project like this implies working in parallel multiple tasks so that it is closer to a network pattern than a serial one. The actions here presented are a simplification of dynamical interactions between persons involved as well as both planned and unplanned events happening during this space-time window.

<b>Actions</b>	<b>Temporal window</b>
<b>Field work exchanges related with fire</b>	2010 - 2020
Document of reference (DR)	October 2019 – April 2020
ArcGIS online (web map)	January – Abril 2020
Social participation	June – December 2020
Legalization	December 2020
Knowledge transfer	2020 - 2022
Implementation (time scope)	10 years since approval
Monitoring plan	10 years (learning by doing)

Table 19. Required actions to tackle with the project of Aran. The situation prior to the project appears in light brown. The specific work done related to the Document of Reference (DR), a six-month full-time project, is showed in green. The work linked to the practical implementation once the project will be formally approved is showed in light blue.

In this table 19 the situation prior to the project appears in light brown and it includes the GRAF team support to the Aran community during wildfires, sharing experiences in designing and implementing controlled burns in high mountains (years 2010-2020), as well as analytical field work to visualize macro-polygons of fire propagation and potential prescribed burning sectors in the Aran (year 2018).

The fact that the project has been permanently interconnected with the GRAF team has implied to reschedule the project actions depending on the EMO’s internal demands and priorities. However, far from being a negative feedback, these gaps of timework on the project have given the opportunity to convert a conventional prescribed burning

program (2017-2018), into a pioneer project for landscape resilience management with extensive prescribed fire (2019-2020), which uses landscape modeling as a tool for project design and management, and for first time in Europe, proposes wildland fire use as a practical tool to achieve management goals.

Concerning the DR, it can be understood as the design core of the Aran project. The DR is structured in 4 different approaches that in practice are converted into 4 integrated work blocks:

- The analytical approach  
The statistical and descriptive process to better understand regional and local wildfire phenomena, and it includes the adaptation of the MEDFIRE model to the Aran case to reproduce the recent historical wildfire regime.
- The synthetic approach  
The creative process where the transdisciplinary team proposes a specific way to enhance the management of the common good in a complex nature conflict. It includes an experimentation by modelling, using the results as a tool to support the design of the proposal.
- The legislative approach  
The process needed to assess the level of legal compatibility, by including the legislative measures needed to have a robust legal framework to develop the proposal.
- The functional approach (implementation)  
The recognition of the importance of knowledge transfer, professional qualifications, cooperation, and exchange programs as a key factor in the short-medium term, as well as the setup of a monitoring system and a "learning by doing" culture.

The structure of the document is as follows:

- Chapter 1 of the DR begins by defining the objectives of the work.
- Chapter 2 provides a biophysical and social contextualization in which general environmental aspects are introduced, followed by a detailed description of the Aran fire regime. The description of the fire regime is made in two scales of analysis, the homogeneous zone of the Aran and an aggregate of homogeneous zones of regime that has been called Western Pyrenees.
- Chapter 3 makes a synthesis effort to interpret the inherent complexity of fire regimes. Aspects such as rural abandonment, extinction capacity, climate change, severity, among others, are intertwined in direct and indirect relationships. The strength to support the project design by modeling is also justified in this section and the model architecture and the most significant results are presented in the

document MEDFIRE Aran (appendix B). This chapter closes with the definition of the 2 strategic alternatives proposed, and presents an analysis of the strengths, weakness, opportunities, and threats associated with each of them (SWOT).

- Chapter 4 is the core part of the system design. A new paradigm framework (pyro-sustainability) and the structural design of the strategic alternative are extensively detailed.
- Chapter 5 explains the steps required to complete the implementation process with certainty. Special emphasis is placed on the need to promote the transfer of knowledge and professional skills in the different roles linked to prescribed burning, risk analysis, fire ecology, use of technical fire, command in the intervention, among others.

The project also considers collateral effects related to the implementation:

- Chapter 6 sets out main impacts in relation to the two strategic alternatives proposed.
- Finally, the annex contains among other the details of each geographical sector proposed by means of the pre-planning of the emergency. Additionally, the project includes an ArcGIS online platform, which provides a tool to support project management by taking advantage of geographic information systems and geodata analyses (appendix B). The users of this ArcGIS platform will be the managers responsible for implementing the strategic plan.

### 3.5.5 How to make it possible (tactical inputs)

Exploring the ways to generate certainty of scenario in emergency management relies mostly on the robustness of the tactics deployed. The success to make real a strategy when the work conditions during an emergency are adverse deals mainly with the tactical capacity of the emergency management system. The richer is the diversity of tactics and the toolbox of maneuvers, the higher is the probability to succeed in the strategies. Moreover, tactical analysis is necessary to give credibility to the teams in charge of carrying out field operations.

On the other hand, complexity is a ubiquitous attribute in socioecological systems and depending on how this complexity is managed the results can be beneficial or detrimental to the objectives pursued by management. Therefore, the decision-making process related to wildland fire use (WFU) option during the emergency management must be realistic and as clear as possible. That means all the social consensus, technical work and legal aspects must be planned and approved in advance (pre-planned strategy). From the incident commander point of view, the capacity to adapt tactics during the emergency (having alternative ways) is one of the best guarantees in terms of safety and efficacy to deal with complexity. At the same time, fire responders know well that complexity can be not only overwhelming but also make some ideas of resolution simply inviable.

Examples of how complexity manifests during emergencies are plentiful. For instance, the arrival of a storm in the emergency ecosystem is an unavoidable event and its effects on wildfire behavior vary a lot depending on multiple aspects. In those cases, dispatching tactical support by monitoring the radar allows the operative teams to gain safety, efficiency, and proactively adapt the work they develop in the field. Consequently, being aware of the biophysical and human factors complexities involved in the emergency ecosystem, the decision tree for the incident commander related to WFU must contribute above all to create certainty of scenario.

In that scenario of WFU and to make the emergency momentum more viable, there are many operative aspects that must be considered in advance. When considering the use of technical fire during emergencies, anchor points make the difference to guarantee the limits of confinement. From a tactical analysis perspective, the possibility of pre-identifying the limits of confinement for every management sector proposed represents a leverage point for the viability of the tactical objectives linked to the pre-planned strategy.

From this premise, the limits of confinement have been proactively pre-designed, prioritizing natural anchors like scree, rock ridges, ravines, as well as forest tracks, trails, arable lands, among others. The limits of confinement have been adapted to these anchor points offered by the landscape complex (limits of confinement at a scale of burning plots), and also, according to the fuel models involved, re-adapted to the expected fire behavior in case of adverse conditions (limits of confinement at a scale of burning sectors). This way of designing WFU avoids the procedures commonly used in



prescribed burning or wildfire suppression operations where control lines are built by crews and where many times water lines support control teams (based on GRAF team expertise). It may be the case also in WFU scenarios, but we have prioritized natural anchor points whenever possible to simplify operations.

The consideration of those robust limits of confinement has led to what is known as the maximum manageable area (MMA). In real practice, these big areas of management do not represent the target but the limit. In the Pyrenees context, and above all considering the seasonal window for management has been prescribed in winter, a significant surface of these MMA is covered with snow. This dynamic aspect of the landscape not only reduces the real managed area but also makes it less complicated to control the implications of using fire as a tool at a landscape scale. This type of tactical and technical nuances, together with the implications in terms of cost-benefit of different fire ecological flows, are widely detailed in the DR.

According to the assessment led by GRAF and the local land managers of the Aran, we propose two different compatible pathways to use prescribed fire for multifunctional landscape management (figures 29 and 30):

1. Prescribed burnings and,
2. Wildland fire use (according with the pre-planned strategy)

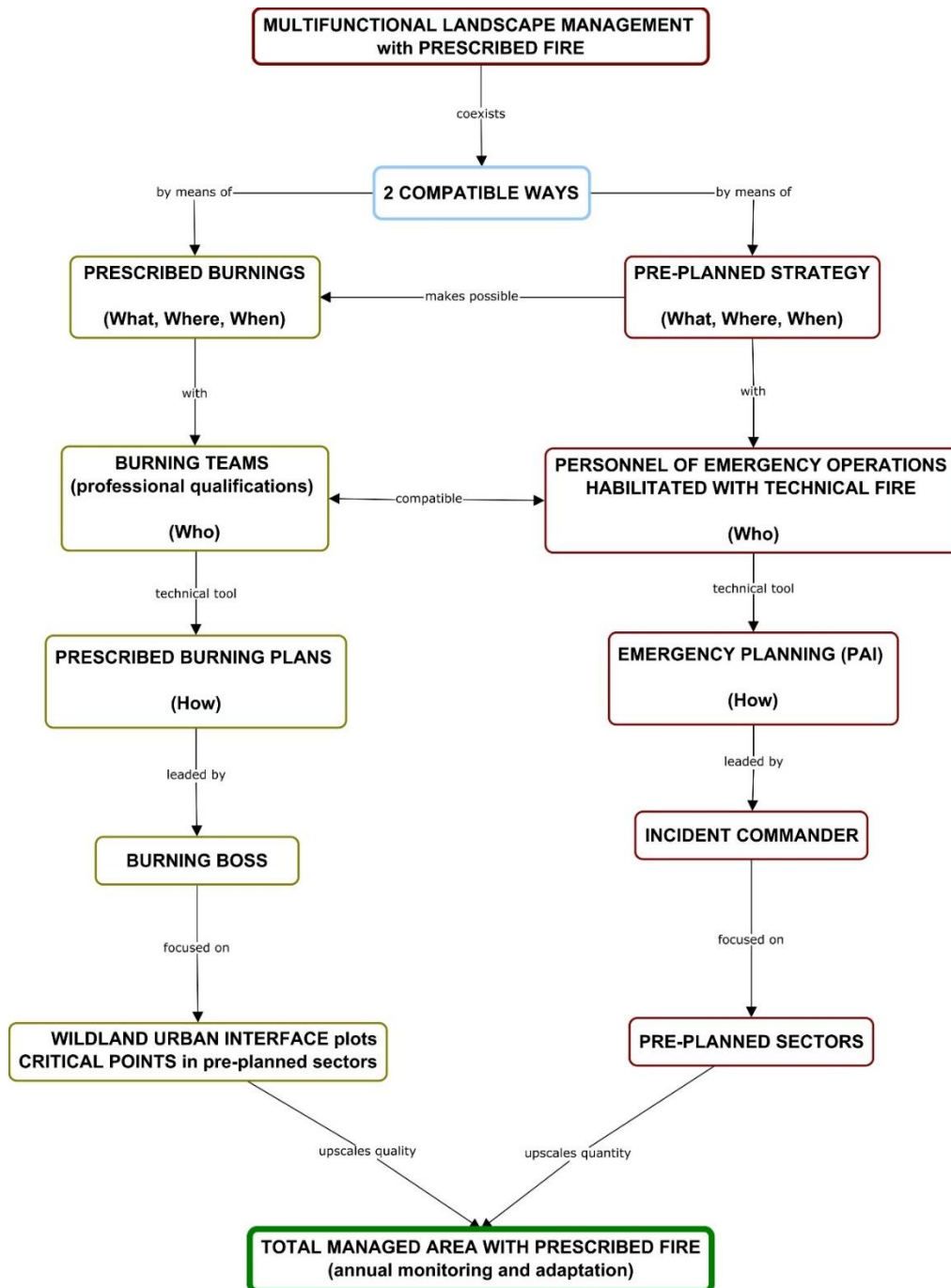


Figure 29. Practical pathways to multifunctional landscape management with prescribed burnings and wildland fire use in the Aran Valley. Left column shows the current policy implemented in Catalonia related to the Prescribed Burning program. Right column shows the new deal related to the positive selection of fire by means of emergency responders and pre-planned sectors.

There are two complementary ways for applying prescribed fire in order to upscale the managed area (figure 29). Using the momentum of the emergency implies taking advantage of fire services resources to control but also attain pre-planned and pre-approved objectives of management. It makes no sense to put off the flames of a wildfire in one sector where there is a prescribed burning approved and pending to execute, and the fire behavior is occurring under prescription. Tactically speaking, it makes sense since emergency commanders already pre-know the critical aspects related with fire risk, fire prescription, limits of confinement, potential pyro-escapes, available resources, timings need, etc. Those interrelated aspects can be inserted into the Intervention Action Plan (IMP), and this is a strength compared to the difficulties to arrange prescribed burning teams beyond the emergency momentum (figure 30). That difficulty to arrange teams outside the emergency momentum mainly responds to those common episodes where the demand for attending multi-emergency prevails to the demand of executing prescribed burnings, since human resources well trained in technical fire use are not unlimited. On the other hand, the most common way to manage with fire keeps being prescribed burnings, a window of work that allows to execute those sectors where the momentum of the emergency response is not comfortable enough for attaining the goals with certainty. For example, it is typical for sectors located in the perimeter of villages, where especial caution must be considered; burnings near the limits of confinement of the sectors approved where pre-treating the area makes a big change in case of potential wildfires; or pre-treatment with surface fire of tree-forest islands located inside the sectors approved to protect them from highest intensities in case of wildfire reaches the zone.

Thus, from a prescribed burning program point of view, the Aran community would count with the conventional way to implement prescribed burnings and, as a novel way in Pyrenees and European continent, with the WFU way.

The decision tree shown below is a simplification of the process to follow by the incident command system in case of wildfire:

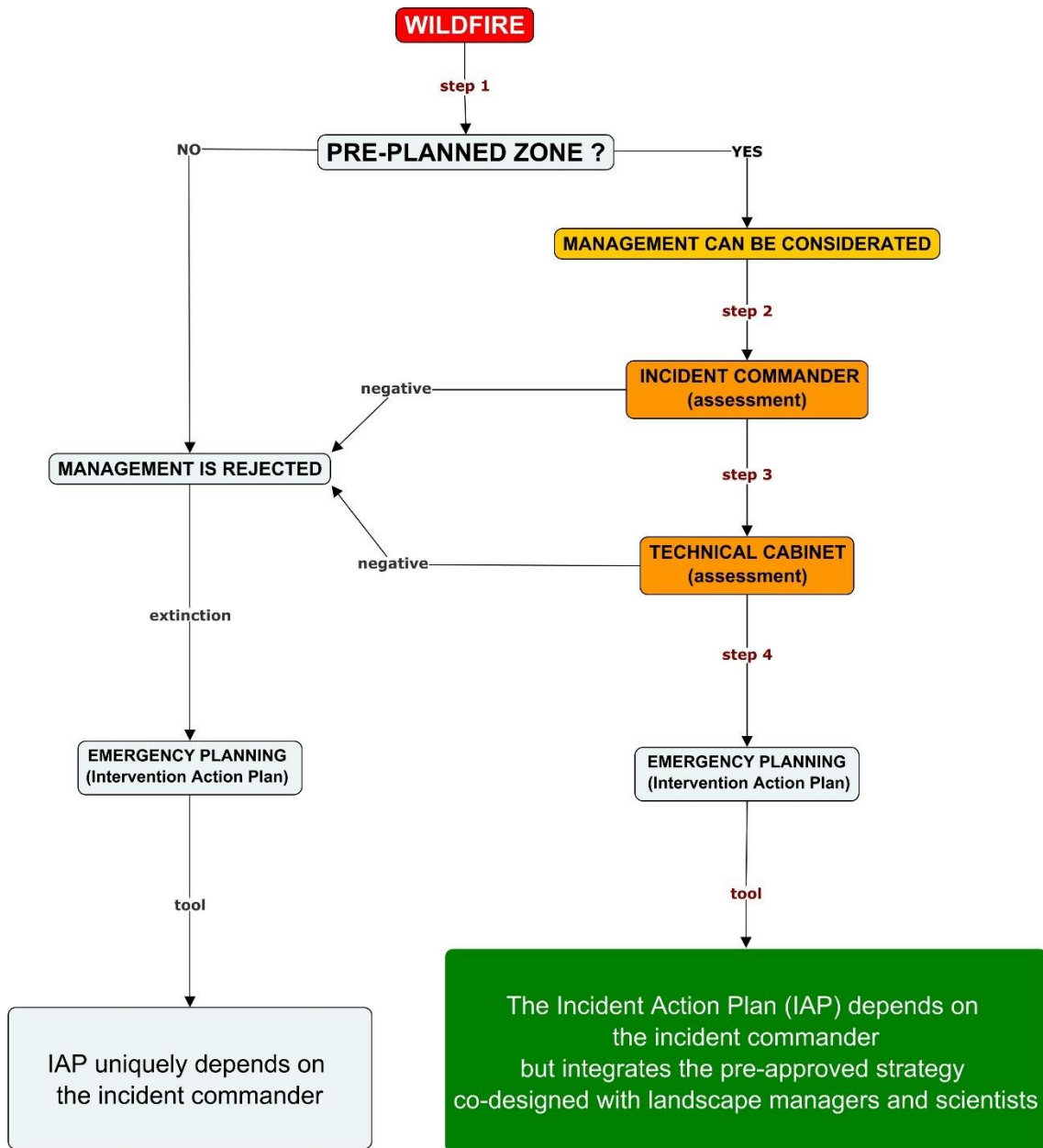


Figure 30. Decision tree related to decision making during a wildfire emergency. The right column represents the new fire deal where wildland fire use can be deployed.

### 3.5.6 The alternatives

The DR proposes two clearly differentiated organizational response alternatives:

- the business as usual (BAU) and
- the new fire deal (NFD).

#### BAU (Business as usual)

It represents the strategy of **confrontation with fire**.

This alternative is the conventional way emergency services function and respond in terms of forest fires, including in the Aran. It responds by emergency planning in a modular way based on the incident command system (ICS), and deploying tactics and maneuvers. It does not intrinsically include strategic vision and capacity within emergency planning, nor does it systematically implement prescribed burnings.

The strategic capacity and the prescribed burning program are two attributes that are currently being developed within the Fire Services of the Generalitat de Catalunya. In the case of Aran these two attributes are non-existent and are currently subject to the occasional support of the GRAF units. However, GRAF teams must deal with covering different areas of Catalonia, so that this occasional assistance has a weak balance when simultaneity of services appears.

BAU manages to magnify a pattern that in expert jargon has been globally recognized as the extinction paradox (see glossary in the document of reference, Annex A). Translated into management, a high percentage of interventions are controlled successfully in the first hours, but the few that are not controlled end up leaving the footprint of high intensity and more area burned annually. Thus, BAU involves recognizing that a lower percentage of fires that exceed the containment capacity of emergency management organizations (EMO) will leave a high-severity footprint on the socioecological system. This also includes accepting the likelihood of collapse in EMO, systemic increase in risk, vulnerability at the level of civil protection and self-protection, among other critical derivatives of ecological and economic connotation. It is the alternative that progressively erodes the ability to defend the common good and at the same time generates a sense of collective frustration.

#### NFD (New fire deal)

It represents the strategy of **cooperation with fire**.

The idea of resolution linked to the NFD in Pyrenees is to reintroduce the positive selection of fire in an extensive and controlled way to foster socioecological system resilience. The design and operation of this alternative B are set out in chapter 4 of the document of reference (DR).

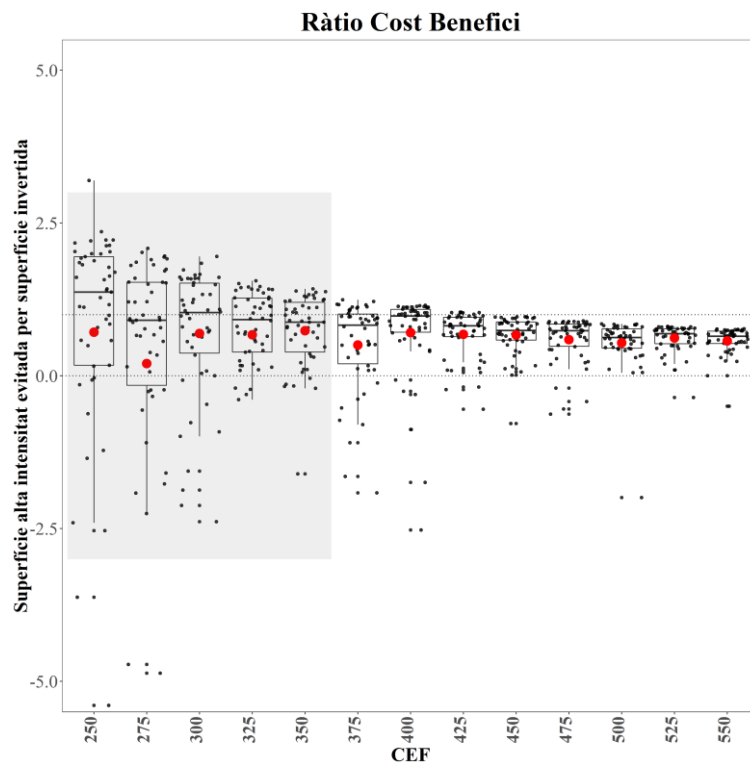
The NFD alternative dissolves conventional extinction and managers limitations, what is known as the fear trap (Castellnou et al, 2019) by means of:

- The acceptance of non-linearity in fire behavior and the limits of extinction capacity (table 1, chapter 1).
- Systemic ability for planning emergency response in an adaptive way, diversifying the strategic toolbox (attack, defense, confinement, and management).
- Systemic ability to develop different tactics, incorporating the use of technical fire safely.
- Systemic ability to determine landscape resilience finding a balance between quantity and quality of fire, that is by defining in the space and time what we define in this thesis as ecological fire flow (EFF).
- Systemic ability to implement the EFF using different pathways:
  - Extinguishing high intensity fires as soon as possible to mitigate the most severe effects provoked by wildfires in mountain areas (ground fires and crown fires in protected forests).
  - Designing and implementing prescribed burning programs.
  - Implementing **wildfire management** (also mentioned as WFU) in those wildfires where positive socioecological effects can be achieved through what GRAF team proposes as the Pre-planning of the emergency (also mentioned as pre-planned strategy).

The prescribed burning program in Catalonia does not change the structural risk of landscapes in quantitative terms of managed area (Piñol et al, 2007; Duane et al, 2019), but it can be stated with certainty that it has impacted positively in qualitative terms, providing conditions for a long learning process (based on GRAF opinions). This «learning by doing» culture inside the GRAF team explains why Catalonia has led the reintroduction of technical fire at the European level, both in its application in extinction operations and in its demonstration aspect as a tool for multifunctional landscape management. This attitude for learning has creatively disrupted several times and forest management. Some of these lessons learnt have been recognized internationally, being remarkable the Safety Award 2015 (IAWF, International Association of Wildland Fire, USA).

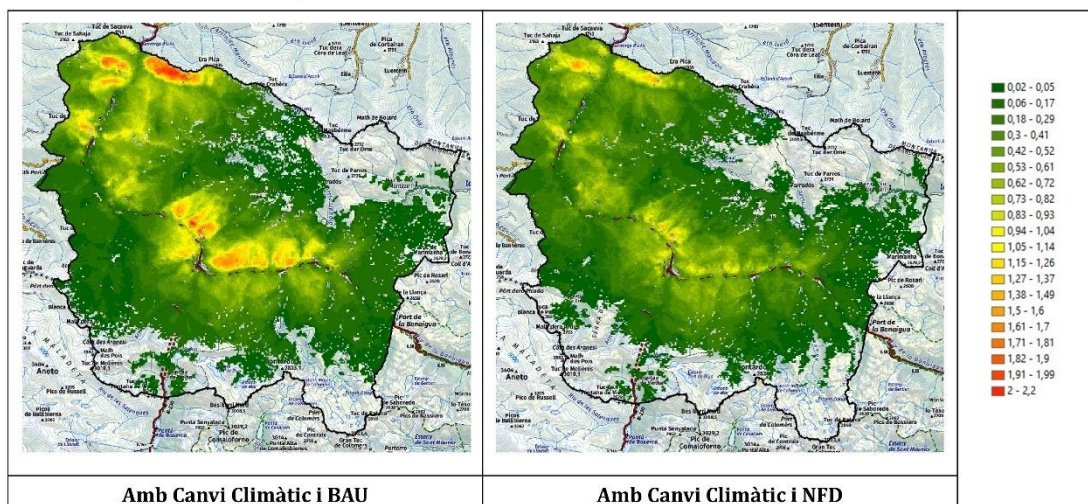
It must be said, however, that the NFD alternative proposed in Aran is not an exact replica of the paradigm shift that has taken place (and is taking place) in the Fire services of the Generalitat de Catalunya over the last 2-4 years (figure 6 and table 2, chapter 1). The twist in the Aran is in designing the way to formally implement landscape management from the emergency response. In the opinion of the author of this thesis in sustainability, the

NFD can be understood as an eco-innovation at the level of strategy in emergency management. Additionally, from a co-management perspective, it aligns the challenges of mitigation and adaptation to climate change with those of multifunctional management. This eco-innovation may be considered disruptive in the sense that it is estimated to make a quantitatively significant leap, achieving up to a 10 times performance improvement with NFD over conventional prescribed burnings program (more details within the DR). As examples of this kind of outcomes, the following «figures 6 and 7» extracted from the MEDFIRE Aran compendium, collect some of the beneficial aspects linked to prescribed fire. «Figure 6» shows the cost-benefit ratio when considering different EFF (prescribed burning flows) in relation with the area saved in high intensity (ground and crown wildfires). According to model, an EFF of 300 ha/year is the optimum cost-benefit ratio to reduce the area burned in high intensity. In a similar way, the «figure 7» shows the expected benefits in relation with recurrence of high intensity fires, which account for higher severities in mountain regions. This type of outcomes demonstrate that a virtual experimentation based on the historical fire regime with the possibility to integrate climate change scenarios and strategic alternatives (MEDFIRE Aran model) represent a leverage point when considering the potential impacts of different management alternatives.



“Figure 6” extracted from the MEDFIRE Aran compendium, appendix B. Ratio between the high intensity burnt area saved (benefit) versus the area managed with prescribed fire (cost). The grey zone shows the most productive scenarios; the ratio is maximum, 0.75, for values of EFF around 300 ha/year.

## RECURRENCIA MITJANA D'INCENDIS D'ALTA INTENSITAT\* ENTRE 2011 I 2050



\*Inclou incendis de vent, topogràfics i d'estiu

Si un píxel crema 2,20 vegades en 40 anys vol dir que té una probabilitat anual de cremar de 0,055

“Figure 7” extracted from the MEDFIRE Aran compendium, appendix B. Map of recurrence within a climate change scenario, without management (business as usual) and with management (new fire deal, with an EFF of 300 ha/year). If one pixel burns 2,20 times in 40 years, it means there is about 0,055 annual likelihood of burning.

### 3.5.7 Wildfire regime singularities

To avoid duplications of the contents produced by the thesis, we do not present here the details regarding the characterization of the Aran wildfire regime. The document of reference (DR) provides an extensive description of the analysis performed. Below, we list the contents included within the DR (Appendix B) about the analysis of Aran’s regime:

- Approximation to the Aran fire regime and the Pyrenees occidental Catalan side
  - Wildfires, landscape dynamics and social perspective
  - Fire ecology
- Fire regime description
  - Fire behavior
  - Fire types
  - Intensity
  - Severity
  - Seasonality
  - Areal frequency



### 3.5.8 Wildfire regime modelling

Fire regime modeling tools are one key element to ensure the management of the fire regime on a large scale and over a long period of time. Understanding fire regime dynamics and the ability to project different scenarios into the future, allows quantifying the effects of the application of management measures. The landscape model we have created to represent the fire regime of the Aran is not an explicit demand of the promoter of the Strategic Plan (Aran Government) but a consequence of the project design.

It must be mentioned that the pre-existence of a model like the MEDFIRE developed for center and southern Catalonia (Brotos et al, 2013; Duane et al, 2019) has been key to make possible the idea of modeling at a project level. Virtual experimentation based on different scenarios of climate and management means the capacity to incorporate the state of the art of science within a technical project. Thus, the modeling allows to assess the impact of different strategic alternatives, including the null hypothesis linked to the BAU strategy.

The adaptation of the MEDFIRE to the Aran is justified by the singularity of the Pyrenees in a Mediterranean context. In that sense, the attributes that are differentiators of the Pyrenees are also representative within the Aran, such as the role that control burns have played historically or the richness of biodiversity linked to their landscapes. However, in the case of Aran, the differentiation with the rest of the Pyrenees (Catalan side) exists and becomes especially plausible in terms of seasonality. Pyrenees fire regime manifests in summer, but the range of fire activity during autumn and winter seasons is also statistically relevant. In the case of the Aran this pattern is clearly polarized in winter to the point that the fire footprint in summer has been statistically irrelevant throughout the 30 year-period analyzed. This fact, along with its Oceanic character (Atlantic), explains that the MEDFIRE Aran we created cannot be directly extrapolated to the rest of the Pyrenees.

The Climate Change Pyrenees Observatory (OPCC)<sup>70</sup> is a cross-border initiative of territorial cooperation of the Working Community of the Pyrenees (CTP)<sup>71</sup>. OPCC is the reference platform of knowledge on adaptation to climate change in mountain ecosystems, an institution that monitors and studies the climate change phenomenon in the Pyrenees. OPCC provides a series of reports about many socioecological factors with the aim to guide regional political actions, including natural hazards. Among natural risks, OPCC recommendations refer to the wildfire phenomenon in a superficial manner. The fact that wildfires have not represented a socioecological threat in the recent history of Pyrenees is probably the reason why OPCC reports are somehow omitting fire disturbances.

Nonetheless, according to fire ecologists and wildfire experts, changes in pyro-climate niches and therefore in forest ecosystems are ubiquitous in the current context of climate change. In any of the possible climate scenarios considered by OPCC reports (coherent

---

<sup>70</sup> <https://www.opcc-ctp.org/>

<sup>71</sup> <https://ctp.org/ca/ctp-cat/>

with the IPCC reports), the Pyrenees cannot escape from the top-down environmental pressure that climate change represents, so that wildfire regime re-arrangements seem unavoidable. Mitigating socioecological effects and adapting to these wildfire trends in the Pyrenees is the core of our transdisciplinary research approach. For understanding aspects related with landscape dynamics, it is necessary interrelating vegetation dynamics and climate scenarios together with management alternatives. To formally represent this complexity, modeling makes the difference.

I have selected the IPCC recommendations on natural risks (quotation marks), and I do a specific assessment in relation to how we integrate these recommendations into our approach. Thus, I hope to justify the strengths of having created a landscape model tailored to the Aran as a tool to support the project design:

*« Promote local characterization studies of natural hazards by incorporating as far as possible, future climate projections (e.g. replacing current benchmarks with others that incorporate possible climate change in risk calculation models) ».*

The Strategic Plan for the Aran is based on a valid model for strategic decision-making, the MEDFIRE. This model has been adapted to the specific casuistry of the Aran and allows highlighting a research work done in the framework of the present doctoral thesis, supported by Dr. Andrea Duane of the CTFC. This modeling work includes a characterization of the fire regime of the Pyrenees (Catalan side) and its singularity within the Iberian Peninsula.

*« Prioritize the selection of “robust” measures that are effective in reducing vulnerability to natural hazards, with positive results regardless of climate change and uncertainties (e.g. combining nature-based solutions with structural measures and management measures) ».*

The Strategic Plan is framed precisely under this premise of reducing vulnerability and uncertainty linked to climate change. It proposes a cross-cutting framework for action, pyro-sustainability, and takes a step forward by defining and proposing pre-planning of the emergency (PPE) as a tool for strategic eco-innovation. With the help of modeling it is possible to quantitatively assess the cost-benefit of the current business as usual (BAU) and the new fire deal (NFD). Section 4 of the DR develops extensively and concisely the design and operating dynamics of this eco-innovation proposal.

*« Improve awareness of the impact of climate change on natural disasters; draw up natural risk maps; create decision support tools and at the same time integrate climate projections ».*

The strategic plan precisely represents a decision support tool that integrates climate projections on the risk of forest fires in the context of the Aran. It provides new information and becomes an original management tool in terms of natural risks and potential impacts insofar as it raises and emphasizes the fact that there is a new reality

linked to wildfire activity in the Pyrenees massif<sup>72</sup>. In expert jargon, a wave of disruptive and profound changes in the landscape is expected because of a global process of migration of fire generations.

*« Maintain and optimize the current systems for monitoring the different natural hazards so as to allow better monitoring of areas located at height and / or difficult to access, and also enhance cross-border cooperation to pool efforts in obtaining data and in its processing ».*

The proposal contemplates the need of a monitoring plan and proposes the key environmental factors that should be included. The project also considers the transfer of knowledge and cross-border cooperation at different levels. These aspects are detailed in sections 5.2 and 5.3 of the DR, being a basic pillar for scaling resilience between regions. In this sense, the Fire Services of Catalonia is a proactive organization promoting professional exchanges at an international level. In terms of forest fires and prescribed burnings and led by the GRAF group, exchanges have been an asset since its origins in 1999. This explains why cross-border cooperation has been normalized as a key action to scale collective learning, as well as to accumulate effective experience more quickly between the professionals involved.

To avoid duplications of the contents produced by the thesis, I do not present here the details regarding the model. The document published as «MEDFIRE Aran model: design, initialization, simulation and results» (A. Duane, J. Oliveres, N. Aquilué, L. Brotons) describes the process followed to adapt the model MEDFIRE to the casuistry of the Aran, as well the discussion of the results obtained (appendix B). This compendium provides information about:

- INTRODUCTION AND CLIMATE CHANGE CONTEXT
- MODEL DESIGN
  - GOALS
  - SCALE AND VARIABLES
- MODEL DESCRIPTION
  - Fire sub-model
  - Fires
  - Prescribed burns
  - Fire extinction
  - Vegetation sub-model
- INITIALIZATION
  - Variables
  - Fire sub-model
  - Vegetation sub-model

---

<sup>72</sup> [https://www.lavanguardia.com/vida/20201113/49425775882/coordinador-informe-cambio-climatico-preve-un-gran-incendio-en-el-prepirineo.html?facet=amp&\\_twitter\\_impression=true&s=09](https://www.lavanguardia.com/vida/20201113/49425775882/coordinador-informe-cambio-climatico-preve-un-gran-incendio-en-el-prepirineo.html?facet=amp&_twitter_impression=true&s=09)

- SCENARIOS AND SIMULATIONS
  
- RESULTS
  - Optimal Fire Ecological Flow (EF)
  - Wildfire activity
  - Cost-benefit analysis (CBA)
  - Wildfire regime analysis
  - High intensity fires
  - Fire types
  - Frequency-area spatial patterns
  - Control burns patterns
  - Wood forests and shrublands burned in high intensity
  - Effects on ecological services
  - Biodiversity
  - Evolution of vegetation covers
  - Functional landscape diversity (ages)
  - Avalanches and changes in protected wood forests
  
- REFERENCES

## 3.6 PRODUCTS

The analysis of the fire regime as well as the analysis of the results provided by the model are unavoidable steps to deliver a robust strategic proposal. However, we are now in a focus of synthesis rather than analysis, where the aim is to formalize an innovative strategic planning for the management of the Aran fire regime. To turn an idea of resolution into a strategic plan that has legal viability, social participation, institutional support, adaptability over time and conceived as a management tool, it obviously has been necessary to develop a series of documentation and tools beyond this thesis document.

All the products we present have been discussed, agreed, and validated by the project team involved (see section 3.5.3), where the Government of Aran assumes the role of promoter. However, it should also be noted that the design of the project and the elaboration of the contents have been developed from the framework offered by this thesis, without which the elaboration of these products would have been partially or totally different. These products are (1) the document of reference (DR), (2) the Web Map and (3) the MEDFIRE Aran compilation.

### 3.6.1 Document of reference (DR)

The DR is entitled as the «Strategic Plan for the Sustainable Management of the Aran Fire Regime. Horizon 2030». It is conceived as the document where the project is fully developed at a technical level. It allows the initialization of different processes as creative discussion between managers and scientists as well as democratization of the risk and formal legalization.

From all the information included in the DR, we want to highlight the part where multifunctional management with prescribed fire is defined in detail and geo-referenced. We call management sectors (sGIP, acronym in Catalan) the places of the Aran where wildland fire use (WFU) and formal prescribed burnings (PB) have been proposed. There are twelve management sectors with their correspondent technical sheets. All this information is in the Annex of the DR, but it also exists in a geodata format to facilitate the integration to a geographical information system. Each sGIP has its own technical sheet and contains useful information for managers and operative teams. In content terms, each sector follows the structure listed below:

- Name and general geophysical characteristics
- Goals of management
- General Map
- Vegetation structure
- Safety aspects
- Limits of confinement and types (map)
- Detail of the burning plots included
- Recommendations (for operatives)

- Plots conditionings
- Prescription details, including socioecological and economical conditionings, fire specific goals, favorable and unfavorable management scenarios), range of acceptable results (ecological fire flow (EFF) described by variables) and framework window

In parallel, the DR covers key aspects related to knowledge transfer and monitoring needs. Recommendations consist of training programs, cooperation agreements between mountain regions and, exchanges between wildfire responders, prescribed burning experts and landscape managers. On the other hand, the monitoring plan is conceived as a formal way to take advantage of the benefits of a «lessons learnt culture», promoting evolvability while a «learning by doing» process is gaining force.

### 3.6.2 Web Map (ArcGIS online platform)

A web map has been created specifically for the project of the Aran taking advantage of the ArcGIS online platform potentialities. That represents a technical guarantee for structuring, ordering, saving, consulting, updating, sharing and managing all key information related to the Strategic Plan. The fact of using a geodata platform makes a difference for operative teams and managers who work in the field. The structure of this web map is detailed in section 4 of the DR and can be consulted through the platform of ArcGIS online (user code and password required).

### 3.6.3 MEDFIRE Aran compilation

It corresponds to a technical publication entitled «MEDFIRE Aran model: design, initialization, simulation and results» (Appendix B). The publication mentioned is available in the web of the Forest Science and Technology Center of Catalonia (CTFC). As a product of our research approach, it must be put in value that the model is not only a tool that has been key to provide scientific support to the project design, but also it is a living tool that can be used through time including updates for management, new sub-models related to collateral environmental factors, etc. Thus, once the implementation of the Strategic Plan starts, the model is expected to serve also as an assessment tool for exploring possible re-arrangements in annual targets depending on each situation and real outcomes. This virtual experimentation backing helps decision making and facilitates any possible annual planification updating.

### 3.7 MAIN POINTS IN REVIEW

- The transdisciplinary work presented in this section 3 constitutes a significant re-alignment in the emergency management response to mitigate and adapt to climate change challenges. This makes this research potentially disruptive since it provides a formula for system innovation in the context of mountain areas like the Pyrenees, a paradigm shift formula to leverage into actions some of the latest conclusions from the community of researchers and managers (Moreira et al., 2020; Pais et al., 2020; Castellnou et al., 2019; Duane et al., 2019).
- The synthesis proposed can be understood as a practical case for adapting the VUCA framework (see section 1.3) to emergency management organizations as well as a disruptive innovation in sustainability policies. The approach designs how to create a space-time window where fire experts can turn wildfires into prescribed burnings, and in such a counter-intuitive way emergency management can take advantage of complexity instead of being constrained by it.
- Pyro-sustainability is translated into practice by developing a series of specific products with direct implications for emergency management organizations and landscape managers. The products delivered provide a technical and tactical solution tailored to the Aran that from the prioritization of the common good allows to find a conciliation of interests between the agents involved.
- The strategic design is based on a few key concepts: positive selection of fire, pre-planning of the emergency (PPE), ecological fire flow (EFF), wildland fire use (WFU) and pyro-sustainability framework. EFF is a (novel) parameter based on pre-existent variables and related with the quantity and quality of fire required to maintain essential processes linked to landscape resilience. Collaterally, EFF reduces vulnerability to the collapse in case of simultaneity, enhances environmental factors within the socioecological system, including the capacity of resilience within emergency organizations.
- How does it work? In the event of a fire, this can only become a manageable fire if it is part of the PPE, and only when conditions are compatible with the criteria set out in the prescription. Each proposed management sector has an operational window in which the EFF parameter and specific data for implementation have been pre-defined. We also identify key environmental factors to assess potential impacts, based on modeling, wildfire community expertise, and bibliographic references. Potential benefits, vulnerabilities, and areas for improvement to mitigate adverse effects have been identified.
- The project explores virtually different alternatives of management thanks to potentialities linked to landscape modeling at regime scale. This cutting-edge innovation in emergency and sustainability policies requires scientific support, social and legal pre-agreements and above all, tactical expertise to carry it out safely. This strategic alternative of WFU provides a window of opportunity where

a «positive selection of fire» in an extensive and controlled way becomes possible in the Pyrenees (Aran Valley community). Within this framework of pyro-sustainability, public managers are empowered to create reciprocity between social values and ecosystem services.

As far as we know today, the project represents the first real attempt in Europe for restoring a key environmental flow by means of the positive selection of fire (Castellnou, 2019). Metaphorically speaking, the «positive selection of fire» is the balance between the «hammer of extinction» (applied when/where negative impacts by fire over the common good prevail) and «the dance with wildland fire use» or alternatively prescribed burnings (applied when/where positive impacts by fire over the common good prevail).

From a research perspective, the project promoted by the Aran Government has been an excellent occasion for applying leading edge scientific tools in real management, a work fully aligned with a sustainability science research program. We provide a valid methodology to apply similar approaches not only in the Pyrenees context but also in other European mountain regions sharing similar socioecological challenges. In parallel, the fact the MEDFIRE model has been adapted to the Aran socioecological system makes this work singular and fresh, in the sense that ecological modelling approaches and wildfire policies in the NE of Iberian Peninsula mainly account for Mediterranean sub-climates and encrypt the Pyrenees wildfire regime dynamics.



### 3.8 REFERENCES

Firstly, I want to highlight some publications we consider are aligned to the need of integrating fire ecology knowledge into wildfire policies. Following those ones, the rest of references are listed below.

- ✓ Castellnou, M., Prat-Guitart, N., Arilla, E., Larrañaga, A., Nebot, E., Castellarnau, X., Vendrell, J., Pallàs, J., Herrera, J., Monturiol, M., Cespedes, J., Pagès, J., Gallardo, C., & Miralles, M. (2019). Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape. In *Fire Ecology* (Vol. 15, Issue 1). SpringerOpen. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0048-6>
- ✓ Duane, A., Aquilué, N., Canelles, Q., Morán-Ordoñez, A., De Cáceres, M., & Brotons, L. (2019). Adapting prescribed burns to future climate change in Mediterranean landscapes. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.348>
- ✓ He, T., Lamont, B. B., & Pausas, J. G. (2019). Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biological Reviews*. <https://doi.org/10.1111/brv.12544>
- ✓ Kelly, L. T., & Brotons, L. (2017). Using fire to promote biodiversity. *Science*, 355(6331). <https://doi.org/10.1126/science.aam7672>
- ✓ Loepfe, L., Martinez-Vilalta, J., Oliveres, J., Piñol, J., & Lloret, F. (2010). Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenization determine fire regimes in three Mediterranean areas. *Forest Ecology and Management*, 259(12). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.03.009>
- ✓ Moreira, Francisco, Davide Ascoli, Hugh Safford, Mark A. Adams, José M. Moreno, José M.C. Pereira, Filipe X. Catry, et al. 2020. "Wildfire Management in Mediterranean-Type Regions: Paradigm Change Needed." *Environmental Research Letters*. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab541e>.
- ✓ Otero, I., & Nielsen, J. (2017). Coexisting with wildfire? Achievements and challenges for a radical social-ecological transformation in Catalonia (Spain). *Geoforum*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.07.020>
- ✓ Pais, Silvana & Aquilué, Núria & Campos, João & Sil, Ângelo & Marcos, Bruno & Martínez-Freiria, Fernando & Domínguez, Jesús & Brotons, Lluís & Honrado, Joao & Regos, Adrián. (2020). Mountain farmland protection and fire-smart management jointly reduce fire hazard and enhance biodiversity and carbon sequestration. *Ecosystem Services*. 44. [10.1016/j.ecoser.2020.101143](https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101143).
- ✓ Pausas, J. G., & Parr, C. L. (2018). Towards an understanding of the evolutionary role of fire in animals. *Evolutionary Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10682-018-9927-6>

✓ Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2019). Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/fee.2044>

✓ Piñol, J., Castellnou, M., & Beven, K. J. (2007). Conditioning uncertainty in ecological models: Assessing the impact of fire management strategies. *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.020>

✓ Regos, A., Aquilué, N., Retana, J., De Cáceres, M., & Brotons, L. (2014). Using unplanned fires to help suppressing future large fires in Mediterranean forests. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094906>

Agee, James K. 1998. "The Landscape Ecology of Western Forest Fire Regimes." *Northwest Science*.

Arno, SF. 1994. "Fire Ecology of Pacific Northwest Forests, by J.K. Agee." *International Journal of Wildland Fire*. <https://doi.org/10.1071/wf9940195>.

Brotons, Lluís, Núria Aquilué, Miquel de Cáceres, Marie Josée Fortin, and Andrew Fall. 2013. "How Fire History, Fire Suppression Practices and Climate Change Affect Wildfire Regimes in Mediterranean Landscapes." *PLoS ONE* 8 (5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062392>.

Carina Wyborn, Elena Louder, Jerry Harrison, Jensen Montambault, Jasper Montana, Melanie Ryan, Angela Bednarek, Carsten Nesshöver, Andrew Pullin, Mark Reed, Emilie Dellecker, Jonathan Kramer, James Boyd, Adrian Dellecker, Jonathan Hutton. *Understanding the Impacts of Research Synthesis, Environmental Science & Policy*, Volume 86, 2018, Pages 72-84, ISSN 1462-9011, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.04.013>.

Carus, Michael, and Lara Dammer. 2018. "The Circular Bioeconomy - Concepts, Opportunities, and Limitations." *Industrial Biotechnology*. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.29121.mca>.

Castellnou, Marc, and Edgar Nebot. 2007. "El Papel Del Fuego En La Gestión Del Paisaje." *International Wildfire Fire Conference de Sevilla -Thematic Session N°1-*.

Castellnou, M, Jordi Pagés, M Miralles, and M Pique. 2009. "Tipificación de Los Incendios Forestales de Cataluña. Elaboración Del Mapa de Incendios de Diseño Como Herramienta Para La Gestión Forestal." *5º Congreso Forestal Español*.

Giannetti, Biagio F., Maria De Fatima D.F.B. Marcilio, Luca Coscieme, Feni Agostinho, Gengyuan Liu, and Cecilia M.V.B. Almeida. 2019. "Howard Odum's 'Self-Organization, Transformity and Information': Three Decades of Empirical Evidence." *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.06.005>.

Kotter, Rudolf, Philipp Balsiger, Stanley Bailis, and Jay Wentworth. 1999. "Interdisciplinarity and Transdisciplinarity: A Constant Challenge to the Sciences." *Issues in Interdisciplinary Studies*.

McKenzie, D., Miller, C., & Falk, D. A. (2011). *Toward a Theory of Landscape Fire*. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0301-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0301-8_1)

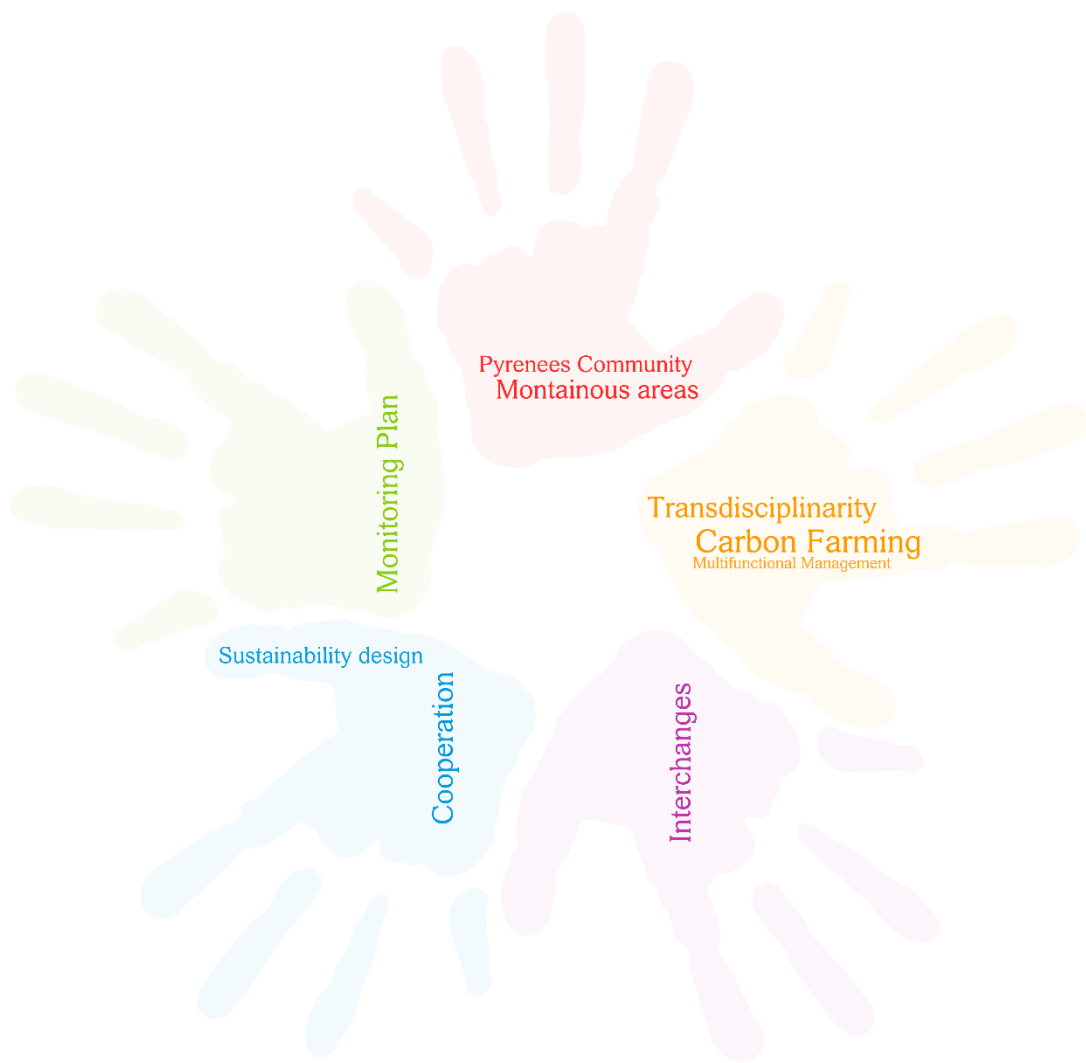
Otero, I., & Nielsen, J. (2017). Coexisting with wildfire? Achievements and challenges for a radical social-ecological transformation in Catalonia (Spain). *Geoforum*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.07.020>

Pausas, Juli G., and Jon E. Keeley. 2009. "A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life." *BioScience*. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>.

Pausas, Juli G., and Santiago Fernández-Muñoz. 2012. "Fire Regime Changes in the Western Mediterranean Basin: From Fuel-Limited to Drought-Driven Fire Regime." *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0060-6>.

Schaltegger, Stefan, Markus Beckmann, and Erik G. Hansen. 2013. "Transdisciplinarity in Corporate Sustainability: Mapping the Field." *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.1772>.

Schneider, Eric D., and James J. Kay. 2010. "Order from Disorder: The Thermodynamics of Complexity in Biology." In *What Is Life? The Next Fifty Years*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511623295.013>.



## TOWARDS A SUSTAINABLE FIRE MANAGEMENT IN MOUNTAINOUS AREAS

#### 4 TOWARDS A SUSTAINABLE FIRE MANAGEMENT

The world is changing in profound ways as we go from disconnected to highly connected societies, letting arise, more than ever before, the complexity linked to socioecological conflicts. This creates both challenges and opportunities in the face of which traditional ways of thinking based upon reductionist simplification are failing, demanding to transform the business as usual related to isolated boxes of interests and silos of information into networks and cooperation. During this 21<sup>st</sup> century, new approaches to dissolve wicked sustainability conflicts are needed as well as a paradigm shift to leverage the solutions into significant socioecological transformations.

In that context, rational thinking, even assisted by computers, cannot predict the future. All it can do is to map out the probability space as it appears at the present and which will be different tomorrow when one of the infinite possible states will be materialized. Technological and social inventions are broadening this probability space all the time and nowadays is larger than it was before the industrial revolution. In this magma of volatility, uncertainty, complexity and ambiguity (VUCA context), systems innovation represents a new approach aiming to change the underlying structure of a system (topology) rather than any of its individual parts, dissolving big conflicts instead of fighting against them systematically. It requires new ways of thinking, where large organizations such as those involved in emergency management should move from hierarchy and intra-competition paradigms to creative teams based on collaborative networks, where analyses and technology support decision making to finally synthesize cohesive outcomes. Citing the scientist Prigogine, «the way to cope with the future is to create it», (version adapted from the book «Inventing the Future», written by Dennis Gabor, who was later awarded a Nobel Prize in Physics for his work in holography). Gabor was the author of the adagio repeated by many other thinkers that «the future cannot be predicted, but futures can be invented», remarking the idea that it was man's ability to invent which has made human society what it is. From this perspective, social organizations can be the masters of their fate. Why not emergency management organizations?

Since the initial idea of empowering emergency management organizations, the strategy of this thesis has been inspired somehow in reinterpreting the relations conventionally disconnected between emergency (negative connotation) and emergence (ubiquitous connotation and unavoidable in complex systems dynamics). On one hand, an emergency is considered a situation where life, health, property, or the environment face an immediate threat. In emergencies, urgent measures must be taken to prevent the situation from worsening, and in some conditions, the urgent threat cannot be prevented but only palliated by giving help later. The definition of emergency depends upon the agencies which respond to emergency situations, the procedures involved in taking care of a situation and jurisdiction. The national/regional governments are responsible for setting the standards as they are the ones who manage emergencies. In other terms, emergencies can be interpreted as a disturbance in socioecological systems that if possible, must be reversed and if not, mitigated and contained as soon as possible by the state. In this mental map, an emergency is an event that it would be preferable if it

would not happening, and when it happens, the emergency organization must surround and swallow it like a kind of phagocytosis, protecting society against the contagion. I do not pretend to deny this view at all, as this social niche exists, and it needs to be considered more than ever, especially within our highly interconnected communities. I just pretend to show the ambiguity related with emergency, in the sense that from a system science approach emergence is a process where components interact and form synergies. Thus, emergence is a product of the synergistic relations between the parts and thus cannot be seen in the properties of the parts themselves, but they can only be seen as a global structure or integrated network. From this point of view, fire in socioecological systems should not necessarily be seen systematically as an undesirable event that must be phagocytosed by the emergency systems. That is the ambiguous side of fire, the fact there is more than one interpretation depending on the context, the scale of time considered, etc. Since ambiguity is the quality of being open to more than one interpretation, resolving ambiguity in strategy management means understanding the context within which the event takes place. Fire diversity exists since it is inherent of biogeochemical cycles in natural systems, being the consequence of landscape hysteresis, meteorological patterns, and cultural community dynamics. If we think for a moment in fire as a consequent process of emergence in natural systems, similar to water with raining and snowing events, or the formation and functioning of meanders in rivers according with flow dynamics and potential socioecological impacts, we can observe that fire may manifest and percolate in landscape with a wide range of intensities, severities and ecological responses, adding value (enhancing biodiversity) in most forest ecosystems, which is synonym at the end of fostering landscape resilience. Observing this type of nuances, maybe one could see the fire as something unavoidable but creative when managing goes in the direction of having a positive selection, that means in practice having the possibility to manage wildland fire emergencies beyond conventional fire suppression in favor of a diversification and amplification of strategies within emergency management organizations. Additionally, if we consider the current fear trap and their negative connotations in terms of socio-ecological collapse, the positive selection of fire should not only be seen as a product of ambiguity but probably better a sociopolitical priority. Fatal accidents in Portugal 2017, Greece 2018, or Horta de Sant Joan 2009 in Catalonia, are some of the evidence in Southern Europe about a global trend that is expanding and scaling severity beyond forest systems, as it has recently succeeded in Australia 2019 or Western USA 2020.

To foster resilience under the global context of climate change with its implications over fire regimes requires keeping upgrading analytical capacities at several levels. At this point, descriptive statistics neither function properly to characterize fire size empirical data nor serve to capture statistical patterns in non-linear behaviors. It is in this context where complex systems science, by means of statistical physics and landscape modeling, has significant advantages to explore virtual experimentation to better understand fire regimes. Nonetheless, analytical approaches themselves do not make the difference to this challenge of resilience in socio-ecological systems, something that clearly suggests the need to strengthen interconnections between science and management policies. Sustainability science, as a discipline inspired by and oriented towards action, enhances analytical and synthetic approaches (vision and mission), and thus offers a creative

opportunity for researchers to participate actively in the challenge of transformability and adaptation. Thus, the underlying culture of learning and adapting changes deeply, in the sense that other families of knowledge beyond science must interact together for reaching a target of reciprocity, cohesion, and resilience. The research here presented constitutes a practical case for adapting the VUCA context to emergency management organizations in mountain areas, as well as a disruptive innovation in conservation policies since it focuses on restoring, integrating and cooperating with natural processes like fire to maintain ecological services, rather than confronting and fighting systematically against it. To mitigate and adapt to global change trends in mountain regions of Europe, from the point of view of my research, I consider that the transboundary community of the Pyrenees massif should keep advancing towards the paradigm of pyro-sustainability by means of the novel concepts and products provided in this thesis.

#### 4.1 FUTURE RESEARCH

The idea of WFU is easy to say in theory but could be easily a mere chimera in practice. The leverage point to gain credibility has been to integrate the tactical criteria of emergency experts who deal with decision making during fire operations. In that sense, the contribution of the GRAF team to design the management sectors has been key to provide certainty of scenario. Nonetheless, the results obtained during real implementation will depend fundamentally on the quality of knowledge transfer (training courses and exchanges programs) as well as the capacity for learning and re-adapting the strategic plan by means of one's own and others' experiences.

The first immediate task consists in consolidating the approval and implementation of the Aran project, within which there is an environmental monitoring plan. Such monitoring plan is a tool to report the interactions between the actions implemented and their effects over some key environmental factors (vegetation response, ethology of protected species, erosion, etc.). This is a fundamental step to provide capacity of adaptive capacity during the period of implementation. In this monitoring plan there is an opportunity for researchers since we consider it the best way to progressively accelerate the learning process when dealing with innovation.

Within those environmental factors that need monitoring there is one that specially requires a phase of research to establish and validate a robust methodology to quantify the effects. This environmental aspect is carbon sequestration in dead organic matter and the balance of greenhouse gas emissions associated with fire regimes and prescribed burnings interactions. In that sense, there are some examples who are already implementing carbon farming with fire<sup>73</sup>. The Emissions Reduction Fund of Australia<sup>74</sup> and concretely, savanna fire management projects implemented in northern and western Australia, have the aim to reduce the frequency and extent of late dry season fires in

---

<sup>73</sup> <https://blogs.unimelb.edu.au/sciencecommunication/2019/10/20/carbon-farming-with-fire-how-does-it-work-and-is-there-a-better-way/>

<sup>74</sup><https://www.industry.gov.au/funding-and-incentives/emissions-reduction-fund>

savannas, resulting in fewer greenhouse gas emissions (methane and nitrous oxide) and more carbon being sequestered in dead organic matter. Thus, strategic savanna fire management is currently used in northern and western Australia to reduce greenhouse gas emissions, protect fodder and infrastructure, and potentially attract payment for stewardship activity<sup>75</sup>. This scenario has many analogies in Catalonia and specifically in mountain rural areas like the Pyrenees where fire (controlled burns) has been traditionally used to improve productivity in land management (livestock, hunting). Considering the alignment with the European policies to reduce greenhouse emissions, the regional and European scientific/technological capacities to (remotely) monitor these practices, and the need to slow down the worsening trends in wildfire generations in mountain areas, there is a reasonable research opportunity for monitoring and fostering carbon farming by prescribed fire management practices in the Pyrenees.

In parallel to this immediate task of consolidating the project of the Aran Valley (implementation and environmental monitoring), there is the commitment and a manifest interest to keep advancing in other sub-regions of the Pyrenees to scale up the pyro-sustainability framework proposed in this thesis. The transdisciplinary research formula seems a robust way for advancing towards a sustainable fire management in mountainous areas. Complex modelling relating climate change interactions, regional fire regimes and different strategic fire management alternatives is a key tool for making projections and assessing strategic alternatives. At the same time, tactical analysis improves calibration of the models and provides a way to gain certainty of scenario to implement wildfire management and prescribed fire. Additionally, the socialization of the risk and the democratization of the opportunity costs seem also an equitable and smart way to foster cohesion within and among communities exposed to climate change impacts. In this point, there are other communities of the Pyrenees willing to advance in this direction, and the first candidate right now is the administrative Catalan demarcation known as «Alt Pirineu» (High Pyrenees), which is next to the Aran Valley. Beyond this regional commitment, I think that other mountain regions of Europe could explore and benefit from the pyro-sustainability framework and the transdisciplinary research done in this thesis.

To sum up, ongoing research is firstly oriented to monitor the strategic management plan of the Aran Valley, and in parallel, to scale up and adapt the pyro-sustainability framework within the community of Pyrenees.

---

<sup>75</sup> <https://www.industry.gov.au/regulations-and-standards/methods-for-the-emissions-reduction-fund/savanna-fire-management-sequestration-and-emissions-avoidance-method>



# APPENDIX A

TABLES & FIGURES:  
«ALLCAT» TIME SUBSETS

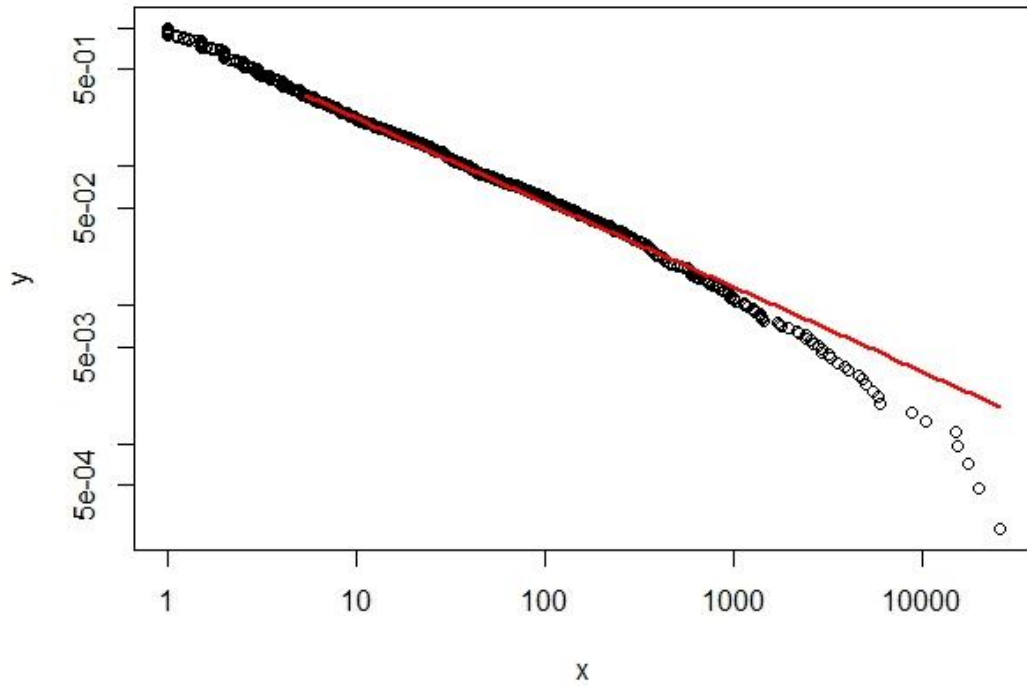


Figure 31. FSD plot related to the empirical data contained in the set “allCAT30” (period 1986-2015). Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

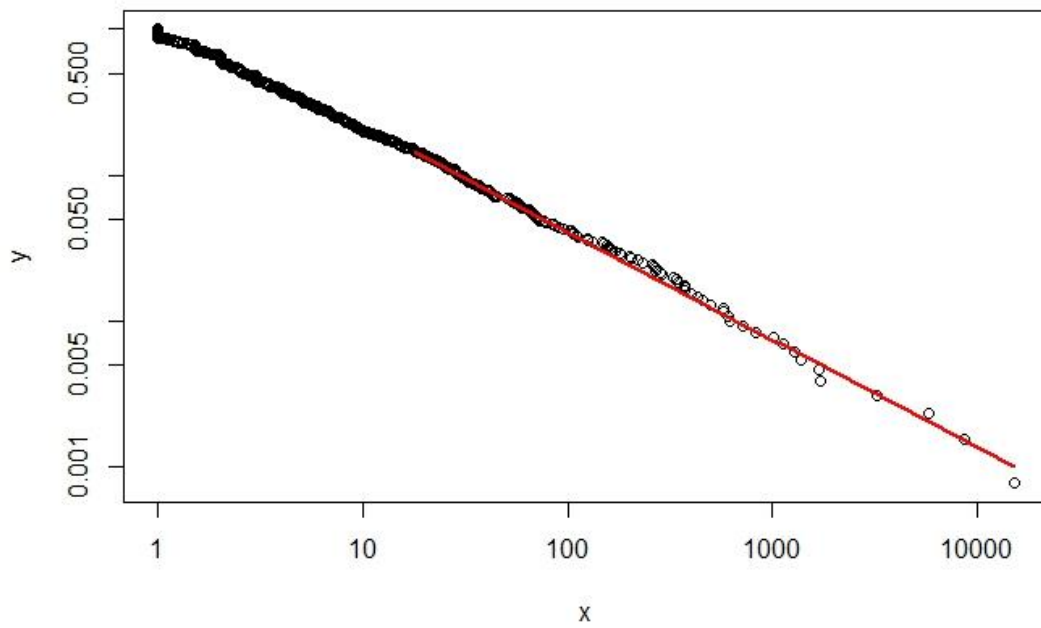


Figure 32. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT10\_19861995. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

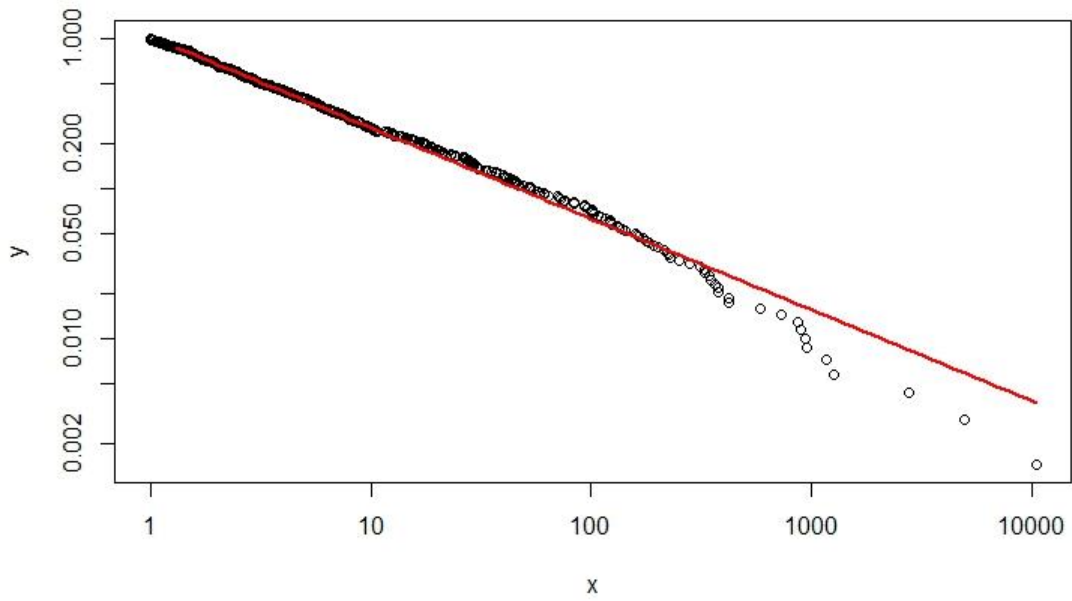


Figure 33. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT10\_20062015. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

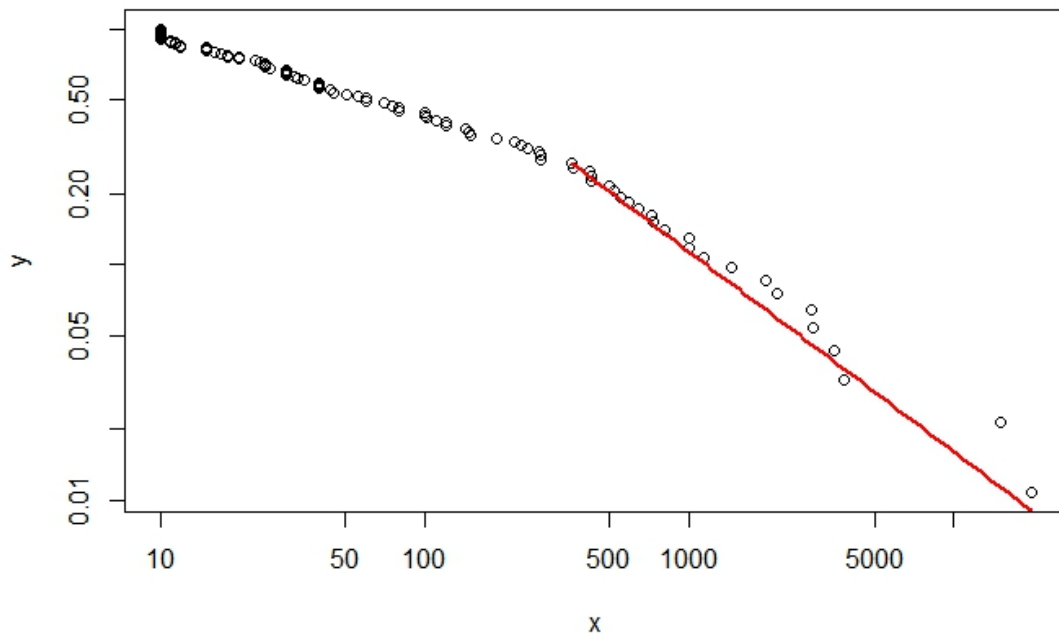


Figure 34. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_1986. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

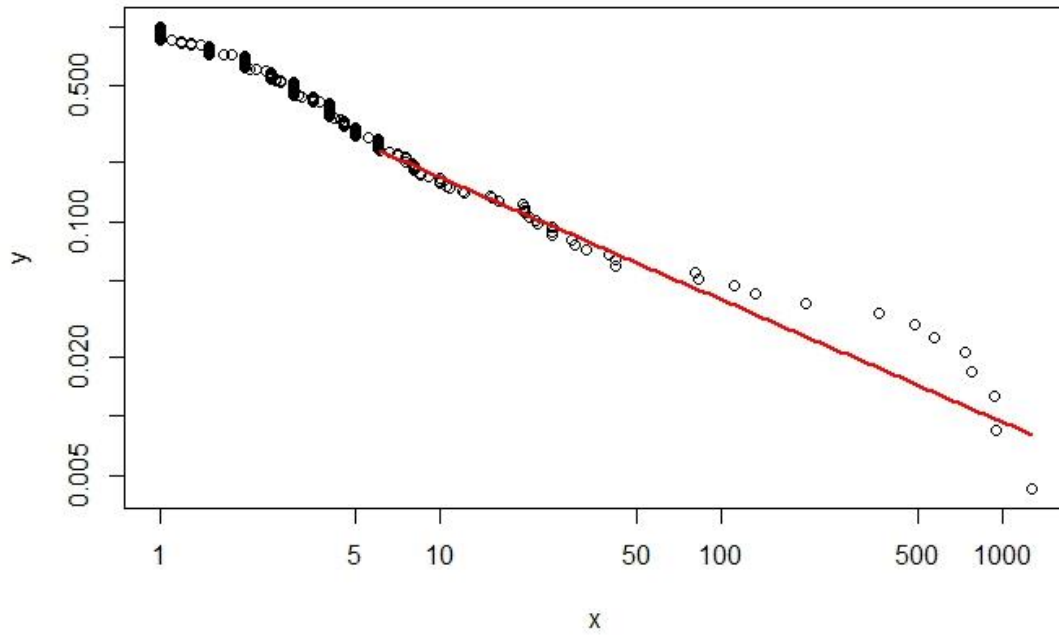


Figure 35. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_1993. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

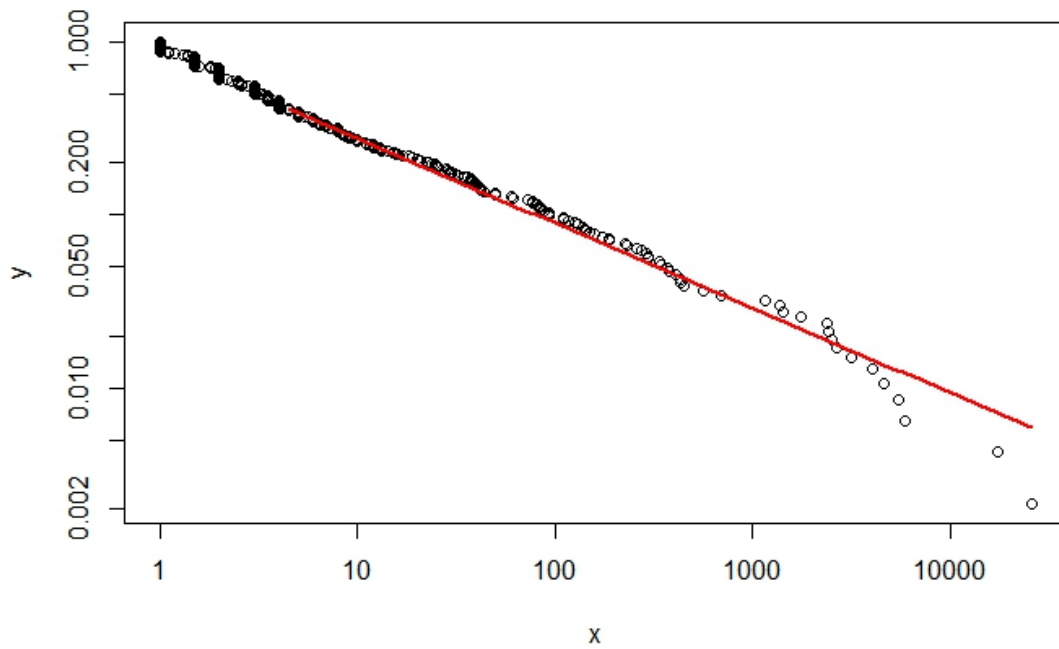


Figure 36. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_1994. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

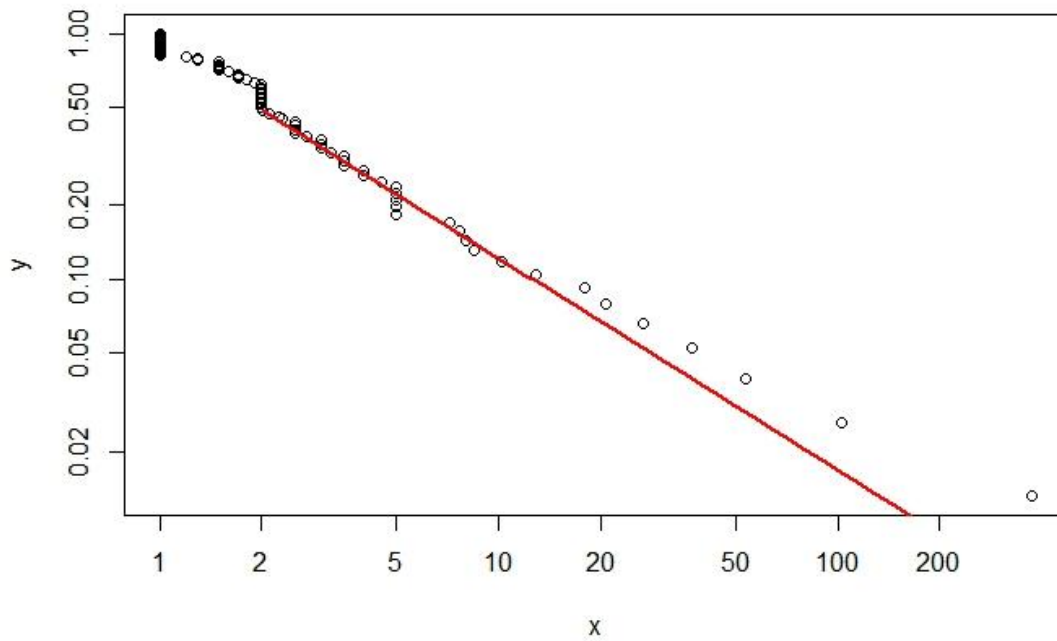


Figure 37. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_1996. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

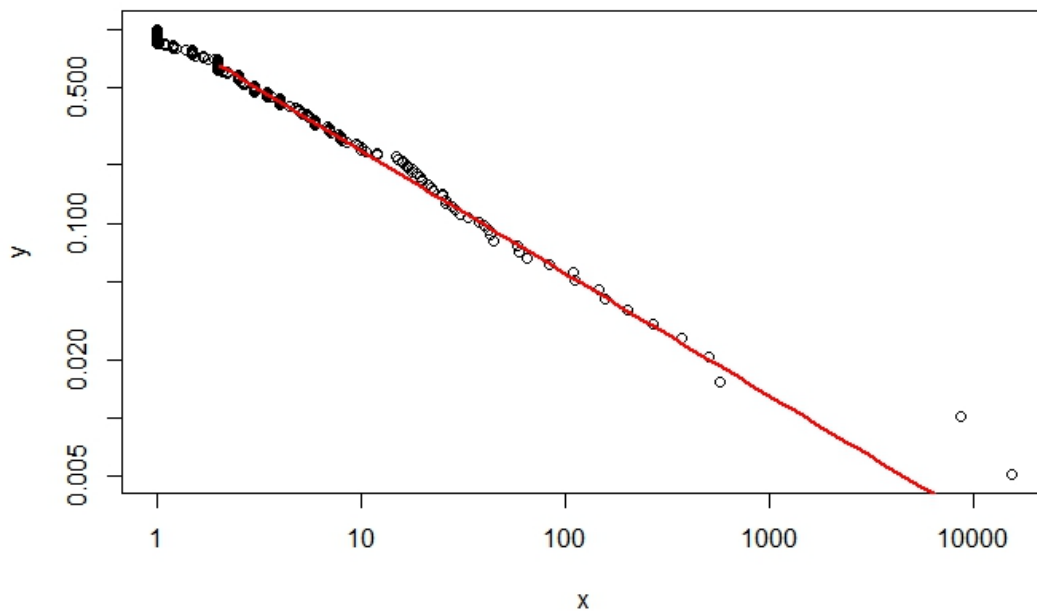


Figure 38. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_1998. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

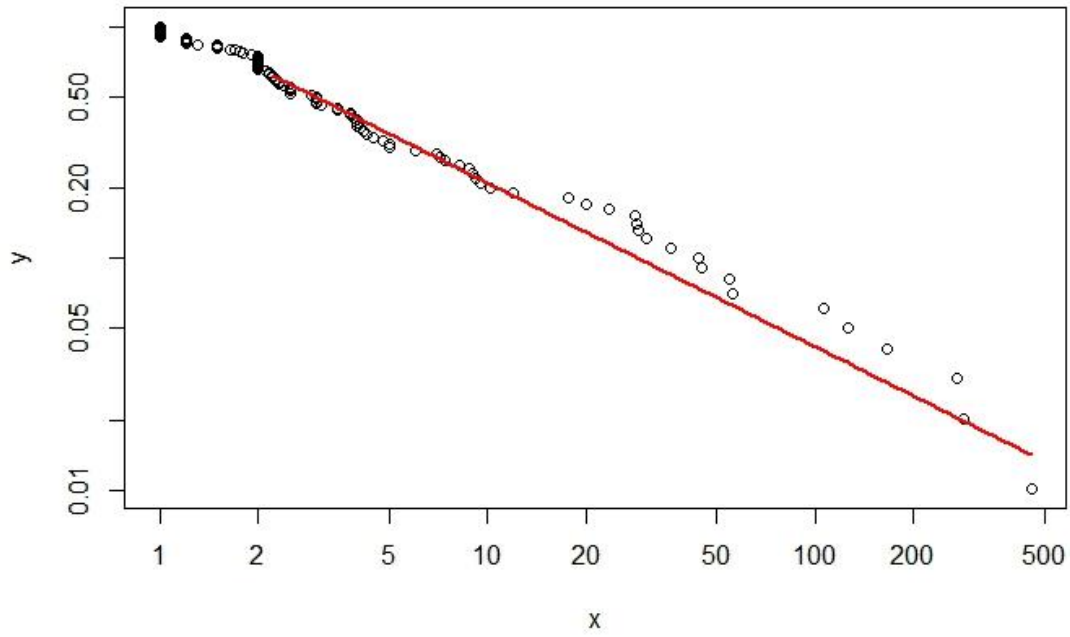


Figure 39. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_2002. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

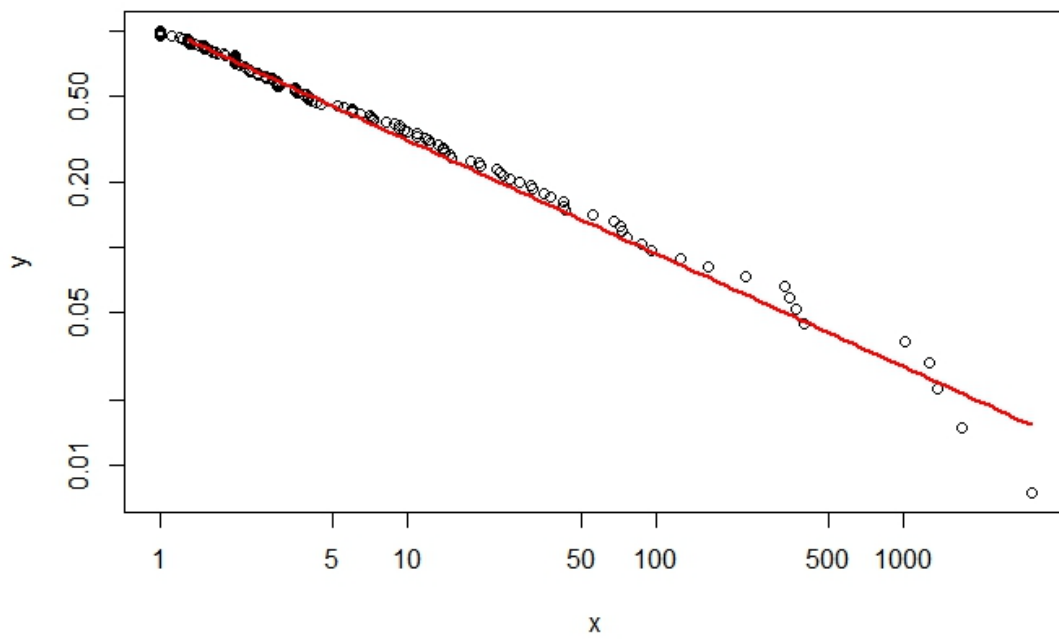


Figure 40. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_2003. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

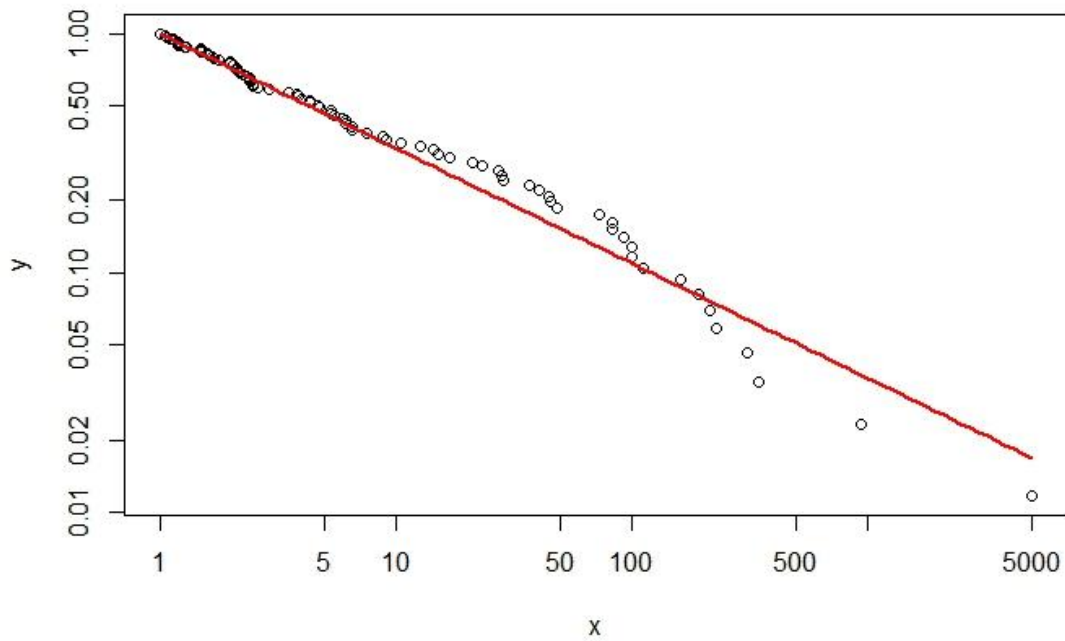


Figure 41. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_2009. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

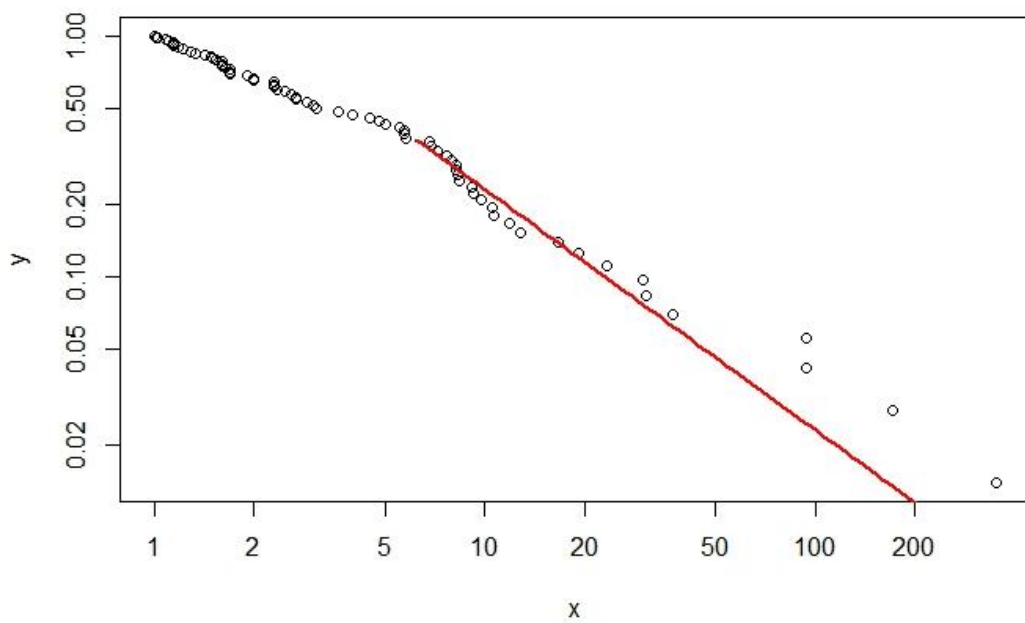


Figure 42. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_2011. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.



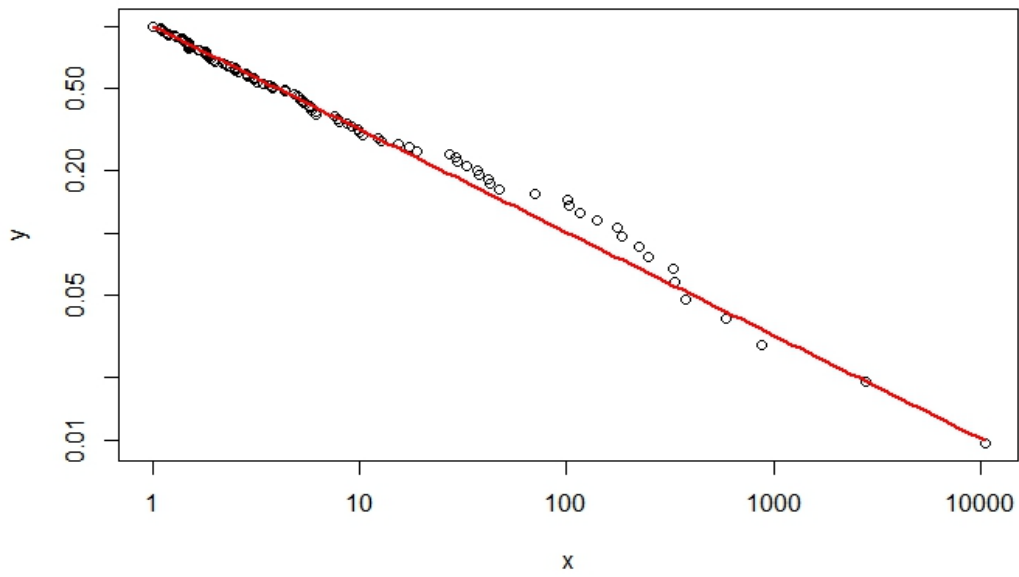


Figure 43. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_2012. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

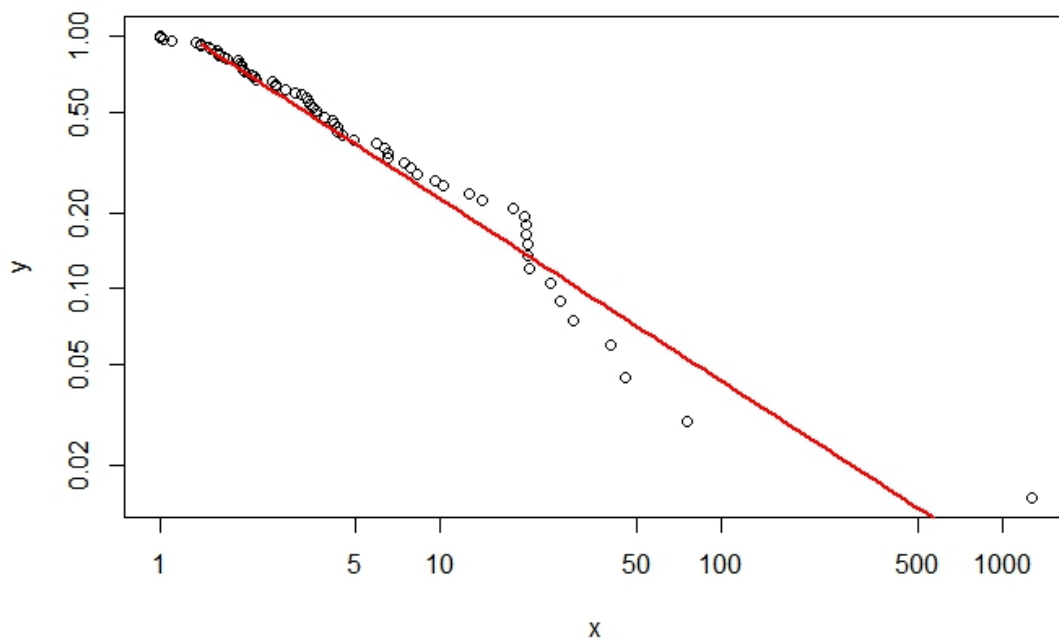


Figure 44. FSD plot related to the empirical data contained in the set allCAT1\_2015. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

TABLES & FIGURES:  
HOMOGENEOUS FIRE REGIME ZONES

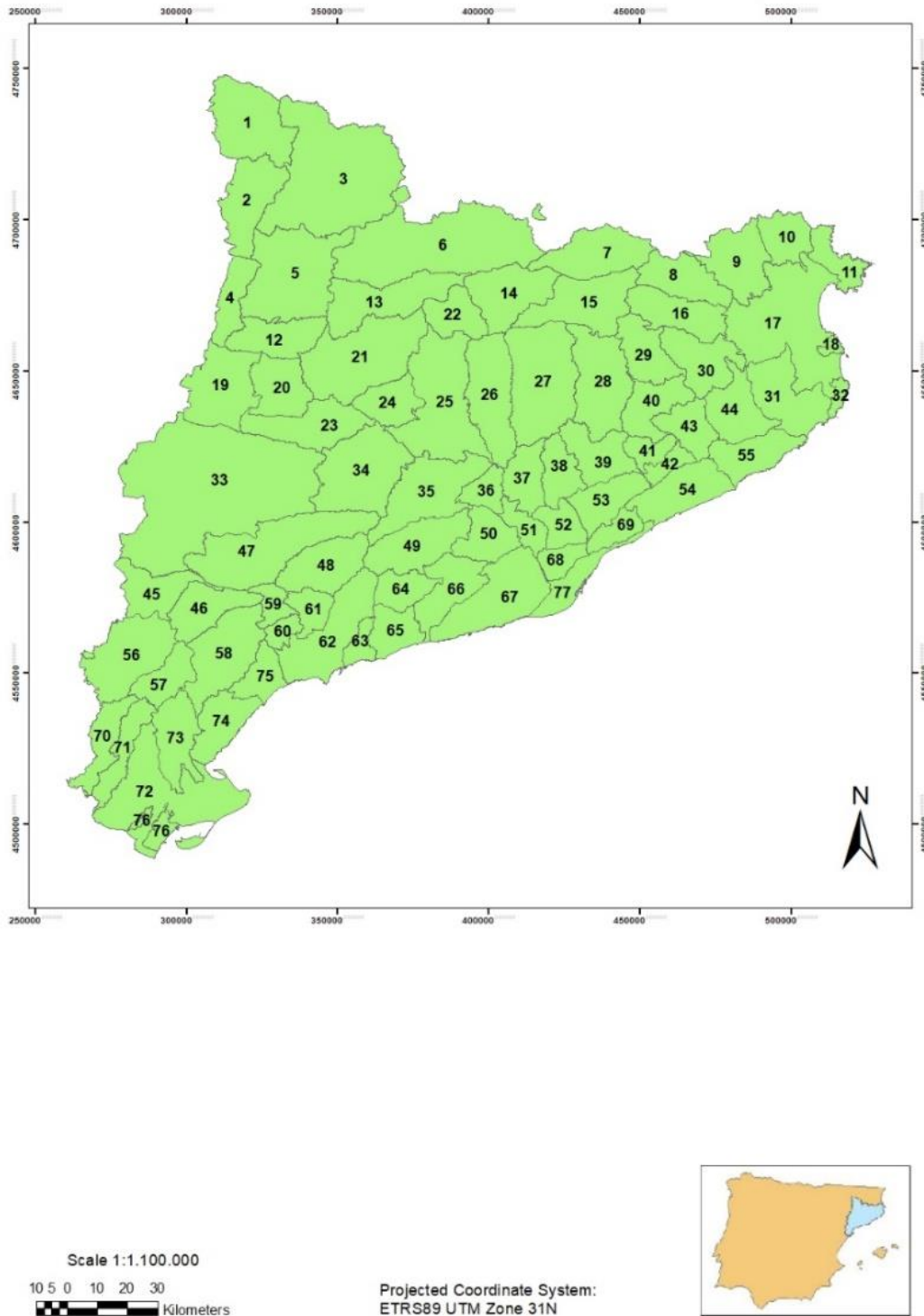


Figure 45. Map of Homogeneous Fire Regime zones of Catalonia. Source: adapted from Piqué et al. 2011.

Period 1986-2015	$\wedge X_{min}$	$\wedge \alpha$	Ntail	PL+cut off		Log-normal		Exponential		Stretched exponential		Support for
				LR	p	LR	p	LR	p	LR	p	
HFRz 01	1.1	1.44	69	(-)2.39	0.001	(-)1.49	0.136	3.03	0.002	(-)1.57	0.115	PL + cut off
HFRz 02	9.0	1.81	19	(-)0.79	0.298	(-)0.40	0.685	1.48	0.136	(-)0.42	0.671	power law
HFRz 03	2.5	1.85	72	(-)1.42	0.068	(-)0.67	0.496	2.93	3.0e-4	(-)0.70	0.481	power law
HFRz 04	5.0	4.01	13									ned
HFRz 05	2.5	1.94	57	(-)0.53	0.678	0.08	0.929	2.79	0.005	0.58	0.560	power law
HFRz 06	2.1	1.91	53	(-)0.57	0.703	(-)1.32	0.183	4.47	7.65e-6	0.94	0.346	power law
HFRz 07	1.0	1.59	25	(-)1.01	0.186	(-)0.41	0.677	2.57	0.010	(-)0.44	0.659	power law
HFRz 08	7.0	3.82	4									ned
HFRz 09	1.0	1.51	31	(-)0.59	0.722	(-)1.02	0.306	4.56	5.10e-06	0.78	0.429	power law
HFRz 10	2.5	1.60	36	(-)0.40	0.890	(-)1.14	0.251	7.01	2.27e-12	1.46	0.14	power law
HFRz 11	1.5	1.49	88	(-)1.61	0.095	(-)0.46	0.638	6.16	7.09e-10	(-)0.05	0.95	power law
HFRz 12	1.0	1.91	52	(-)1.62	0.010	(-)1.05	0.290	0.30	0.757	(-)1.13	0.254	power law
HFRz 13	1.0	1.63	37	(-)1.07	0.164	(-)0.47	0.632	2.50	0.012	(-)0.49	0.620	power law
HFRz 14	4.4	3.42	5									ned
HFRz 15	1.1	2.17	15									ned
HFRz 16	1.0	2.30	23	(-)0.36	0.661	0.01	0.995	1.37	0.169	0.18	0.851	power law
HFRz 17	2.6	1.61	41	(-)1.00	0.305	(-)0.22	0.825	4.44	8.85e-06	0.06	0.946	power law
HFRz 18	2.0	1.72	6									ned
HFRz 19	1.5	1.72	37	(-)0.81	0.412	(-)0.16	0.868	3.28	0.001	0.14	0.885	power law
HFRz 20	1.0	1.63	38	(-)0.55	0.656	(-)1.18	0.235	6.63	3.27e-11	1.60	0.109	power law
HFRz 21	1.0	1.57	60	(-)0.84	0.544	(-)1.25	0.208	6.98	2.79e-12	1.43	0.15	power law
HFRz 22	1.8	5.10	6									ned
HFRz 23	1.4	1.69	28	(-)0.40	0.833	0.01	0.998	3.52	4.3e-4	0.93	0.352	power law
HFRz 24	1.1	1.63	10									ned
HFRz 25	2.8	1.40	29	(-)0.75	0.443	(-)0.46	0.645	7.48	7.34e-14	1.18	0.234	power law
HFRz 26	1.3	1.67	48	(-)0.63	0.684	(-)0.36	0.714	5.83	5.43e-9	1.38	0.167	power law
HFRz 27	1.4	1.65	54	(-)0.63	0.652	(-)1.06	0.287	3.87	1.05e-4	1.20	0.227	power law
HFRz 28	1.3	2.46	25	(-)0.49	0.544	(-)0.10	0.913	1.47	0.139	0.02	0.978	power law
HFRz 29	1.0	2.15	16									ned
HFRz 30	1.2	2.04	14									ned
HFRz 31	5.0	1.89	27	(-)0.38	0.767	(-)0.95	0.340	4.31	1.65e-5	1.10	0.270	power law
HFRz 32	1.1	1.80	13									ned
HFRz 33	1.9	2.34	138	(-)0.95	0.275	(-)0.291	0.770	3.17	1.5e-3	0.098	0.921	power law
HFRz 34	2.6	1.63	24	(-)0.28	0.933	(-)1.02	0.304	5.96	2.44e-9	1.02	0.307	power law
HFRz 35	1.0	1.70	59	(-)0.35	0.905	(-)1.03	0.298	5.09	3.43e-7	2.20	0.027	power law
HFRz 36	1.1	1.59	22	(-)0.41	0.740	(-)1.68	0.091	6.44	1.14e-10	1.98	0.047	power law
HFRz 37	1.5	1.51	35	(-)1.40	0.111	(-)0.87	0.380	3.11	1.8e-3	(-)0.94	0.344	power law
HFRz 38	1.7	1.60	29	(-)0.52	0.771	(-)1.31	0.188	5.59	2.1e-8	0.96	0.334	power law
HFRz 39	1.0	1.69	27	(-)0.24	0.938	(-)0.86	0.385	4.85	1.2e-6	1.60	0.109	power law
HFRz 40	1.1	2.78	6									ned

Table 20. FSD analyses, HFR zones of Catalonia. Period 1986-2015. HFR zones from 1 to 40. "Ned" stands for "not enough data".

Period 1986-2015	$\wedge X_{min}$	$\wedge \alpha$	Ntail	PL+cut off		Log-normal		Exponential		Stretched exponential		Support for
				LR	$\rho$	LR	$\rho$	LR	$\rho$	LR	$\rho$	
HFRz 41	1.0	1.34	3									ned
HFRz 42	1.7	2.93	8									ned
HFRz 43	1.0	1.46	10									ned
HFRz 44	1.0	1.71	29	(-)0.85	0.368	(-)0.34	0.732	3.06	2.1e-3	(-)0.19	0.848	power law
HFRz 45	1.2	1.61	21	(-)0.48	0.781	(-)1.02	0.303	3.90	9.5e-5	0.55	0.578	power law
HFRz 46	1.0	1.54	44	(-)0.70	0.551	(-)1.71	0.085	6.97	3.2e-12	1.58	0.112	power law
HFRz 47	1.6	1.94	75	(-)0.96	0.315	(-)0.27	0.781	3.36	7.7e-4	0.07	0.939	power law
HFRz 48	1.3	1.66	73	(-)0.61	0.739	(-)1.05	0.291	3.98	6.7e-5	1.31	0.190	power law
HFRz 49	43	1.82	13									ned
HFRz 50	1.02	1.76	49	(-)0.21	0.963	(-)1.01	0.307	4.75	1.94e-6	1.97	0.048	power law
HFRz 51	1.2	1.73	80	(-)0.56	0.799	(-)1.41	0.158	4.94	7.7e-7	1.52	0.127	power law
HFRz 52	1.01	1.90	59	(-)0.19	0.972	(-)0.84	0.400	5.52	3.2e-8	1.59	0.100	power law
HFRz 53	1.0	2.31	21	(-)3.8e-4	0.999	(-)0.08	0.928	3.96	7.34e-5	2.06	0.039	power law
HFRz 54	1.8	2.07	63	(-)0.88	0.317	0.37	0.710	2.44	0.014	(-)0.22	0.820	power law
HFRz 55	1.0	1.66	47	(-)0.56	0.678	(-)1.45	0.144	5.78	7.6e-9	1.93	0.052	power law
HFRz 56	1.9	1.88	43	(-)2.4e-3	0.999	(-)0.63	0.525	4.94	7.4e-7	1.95	0.050	power law
HFRz 57	1.1	1.50	26	(-)1.06	0.204	(-)0.53	0.593	2.68	7.2e-3	(-)0.56	0.572	power law
HFRz 58	2.2	1.53	53	(-)1.18	0.253	(-)0.38	0.701	4.47	7.7e-6	(-)0.15	0.875	power law
HFRz 59	1.4	1.76	13									ned
HFRz 60	1.1	1.65	10									ned
HFRz 61	1.0	1.43	25	(-)0.97	0.162	(-)0.16	0.872	3.50	4.6e-4	0.02	0.980	power law
HFRz 62	1.0	1.98	71	(-)0.34	0.851	(-)1.11	0.265	2.60	9.2e-3	0.74	0.457	power law
HFRz 63	4.0	1.90	12									ned
HFRz 64	1.0	1.44	71	(-)1.87	0.022	(-)0.89	0.369	5.19	2.03e-7	(-)0.94	0.347	power law
HFRz 65	3.0	1.80	38	(-)0.58	0.653	(-)0.48	0.627	3.44	5.7e-4	0.63	0.523	power law
HFRz 66	1.0	2.1	49	(-)0.13	0.966	(-)1.05	0.289	2.66	7.7e-3	1.14	0.253	power law
HFRz 67	1.8	1.65	163	(-)1.05	0.280	(-)0.32	0.742	3.69	2.2e-4	0.31	0.752	power law
HFRz 68	3.0	2.00	42	(-)0.84	0.384	(-)0.33	0.734	2.69	7.0e-3	(-)0.19	0.847	power law
HFRz 69	1.3	1.70	98	(-)1.16	0.206	(-)0.61	0.538	3.24	1.1e-3	(-)0.49	0.617	power law
HFRz 70	95	2.35	5									ned
HFRz 71	5	1.64	18									ned
HFRz 72	1.4	1.83	52	(-)0.29	0.934	(-)1.19	0.234	4.46	7.9e-6	1.51	0.129	power law
HFRz 73	3.5	1.48	18									ned
HFRz 74	1.7	1.63	56	(-)0.83	0.521	(-)1.37	0.167	5.38	7.16e-8	0.92	0.357	power law
HFRz 75	1.0	1.51	46	(-)1.01	0.267	(-)0.02	0.983	4.38	1.14e-5	0.48	0.630	power law
HFRz 76	23	2.30	7									ned
HFRz 77	2.0	3.61	13									ned

Table 21. FSD analyses, HFR zones of Catalonia. Period 1986-2015. HFR zones from 41 to 77.

TABLES & FIGURES:  
PYRO-CLIMATIC REGIONS

Group/Type	Subtype	P (mm)	Seasonal precipitation regime	T (°C)	ΔT (°C)	
OCEANIC	Aran Valley	900-1100	equilibrated	6-10	13-15	
MEDITERRANEAN	Pyrenean	Oriental	1000-1200	maximum in summer and minimum in winter	3-9	13-16
		Occidental	1000-1300		2-9	
	Pre-pyrenean	Oriental	850-1100	maximum in summer or spring and minimum in winter	9-12	16-19
		Central	750-1000			
	Continental	Occidental	650-900			
		Humid	700-850		11-13	
		Subhumid	550-700	minimum in winter	12-14	17-20
	Pre-littoral	Dry	350-550			
		Northern	750-1000	maximum in equinoctials	14-15	
		Central	600-900	maximum in autumn	11-15	15-18
Littoral	Southern	600-800	maximum in equinoctials	12-14		
	Northern	550-750		14,5-16		
	Central	550-700	maximum in autumn	14.5-16,5	14-15	
	Southern	500-600		15,5-17		

Table 22. Climate Division of Catalonia defined by criteria of thermo-precipitation. Source: Meteorological Service of Catalonia.

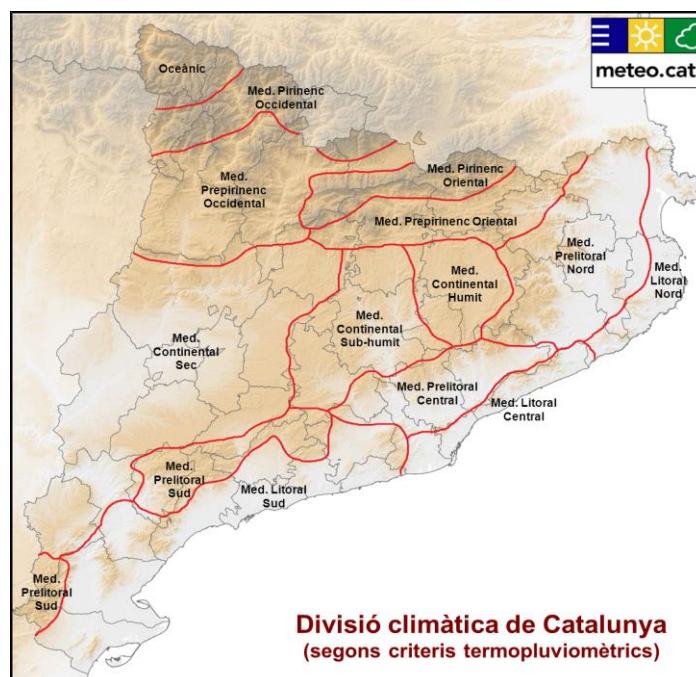


Figure 46. Climate division of Catalonia by criteria of thermo-precipitation. Source: Meteorological Service of Catalonia.

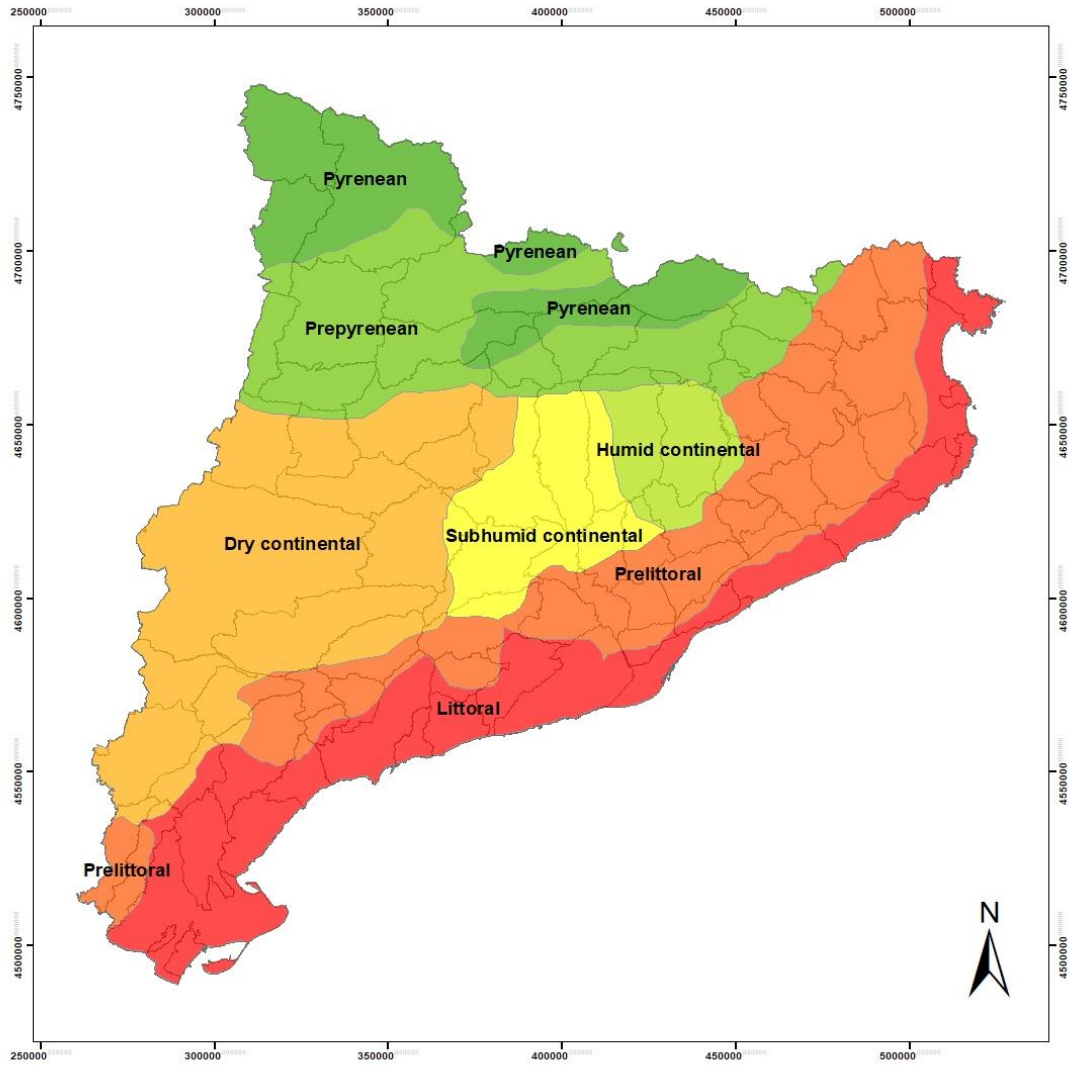
Group/Type		Subtype	Simplified division	Area (ha)
OCEANIC		Aran		
MEDITERRANEAN	Pyrenean	Oriental	Pyrenean	286.787
		Occidental		
	Pre-Pyrenean	Oriental	Pre-Pyrenean	474.064
		Central		
	Continental	Humid or Oriental	Humid continental	123.369
		Subhumid or Central	Subhumid continental	410.745
		Dry or Occidental	Dry continental	749.489
Pre-littoral	Northern	Pre-littoral	450.362	
	Central			
	Southern			
Littoral	Northern	Littoral	714.674	
	Central			
	Southern			

Table 23. Simplified proposal to redefine the climate division of Catalonia.

Pyroclimatic region name (period 1986-2015)	Region code	Data set code
Pyrenean	1	PCr1
Prepyrenean	2	PCr2
Humid continental	3	PCr3
Subhumid continental	4	PCr4
Dry continental	5	PCr5
Pre-littoral	6	PCr6
Littoral	7	PCr7

Table 24. Data set code proposed for each pyro-climatic region.





Simplified climatic division map overlaid with the map of FHR zones

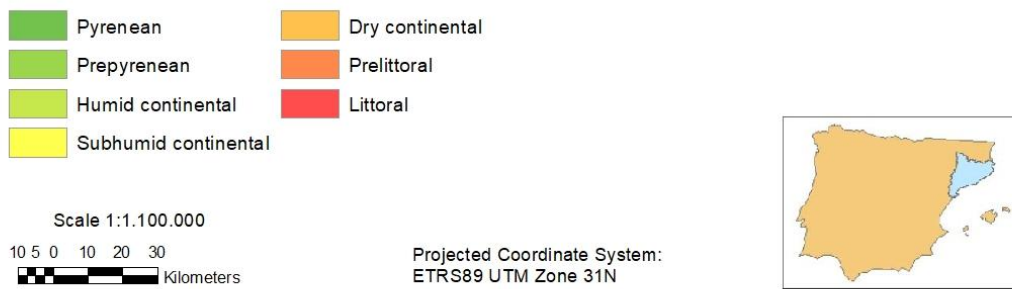
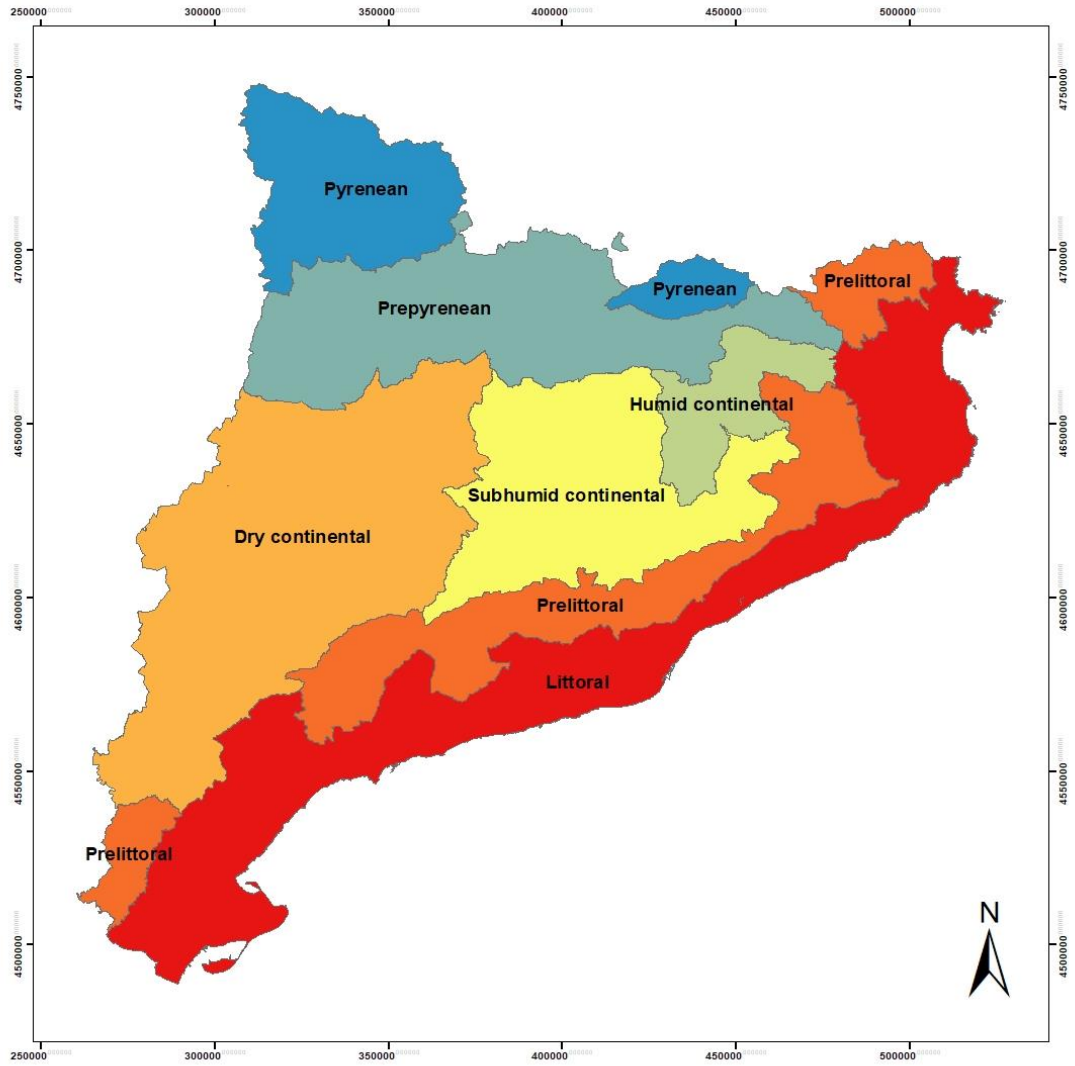
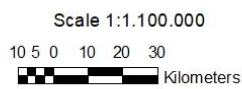
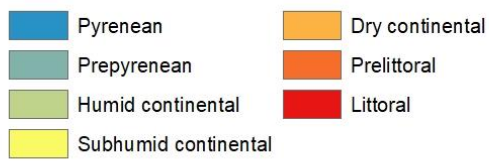


Figure 47. Simplified climatic division map overlaid with the map of FHR zones



## Pyroclimatic regions of Catalonia



Projected Coordinate System:  
ETRS89 UTM Zone 31N



Figure 48. Map of pyro-climatic regions of Catalonia.

TABLES AND FIGURES:  
PYRINEES REGION

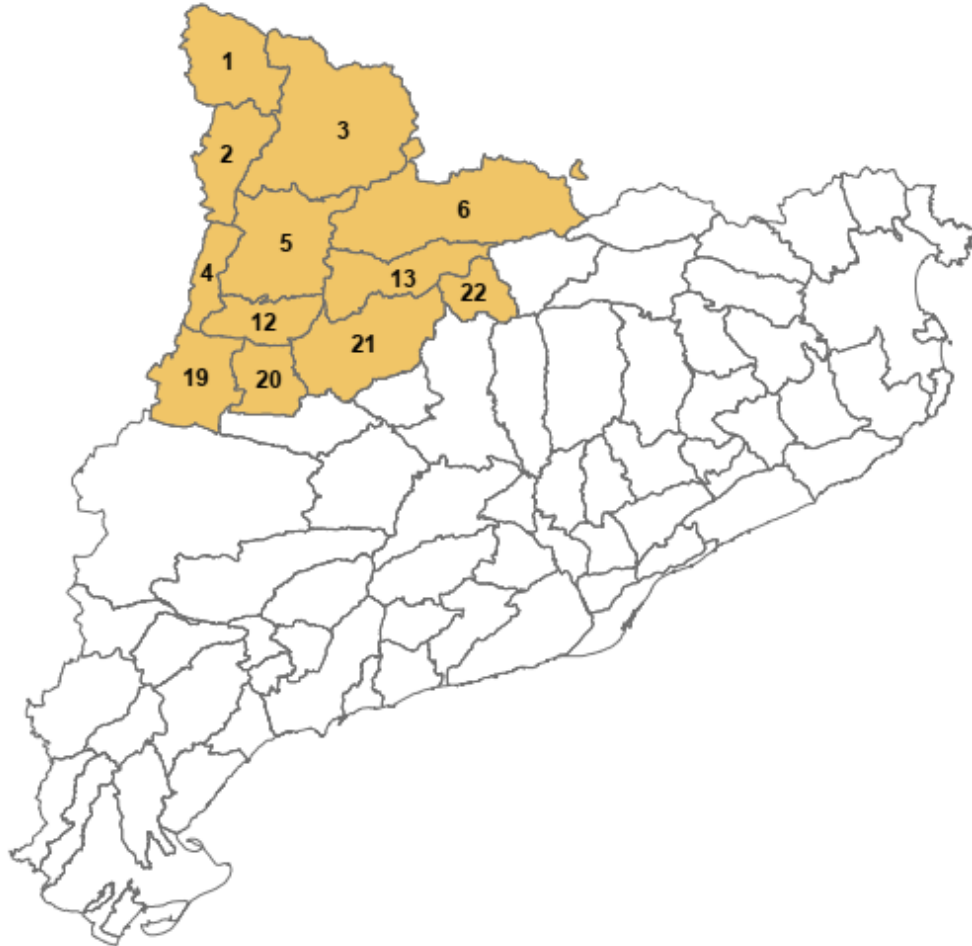


Figure 49. Occidental Pyrenees region with the HFR zones included (brown colored).

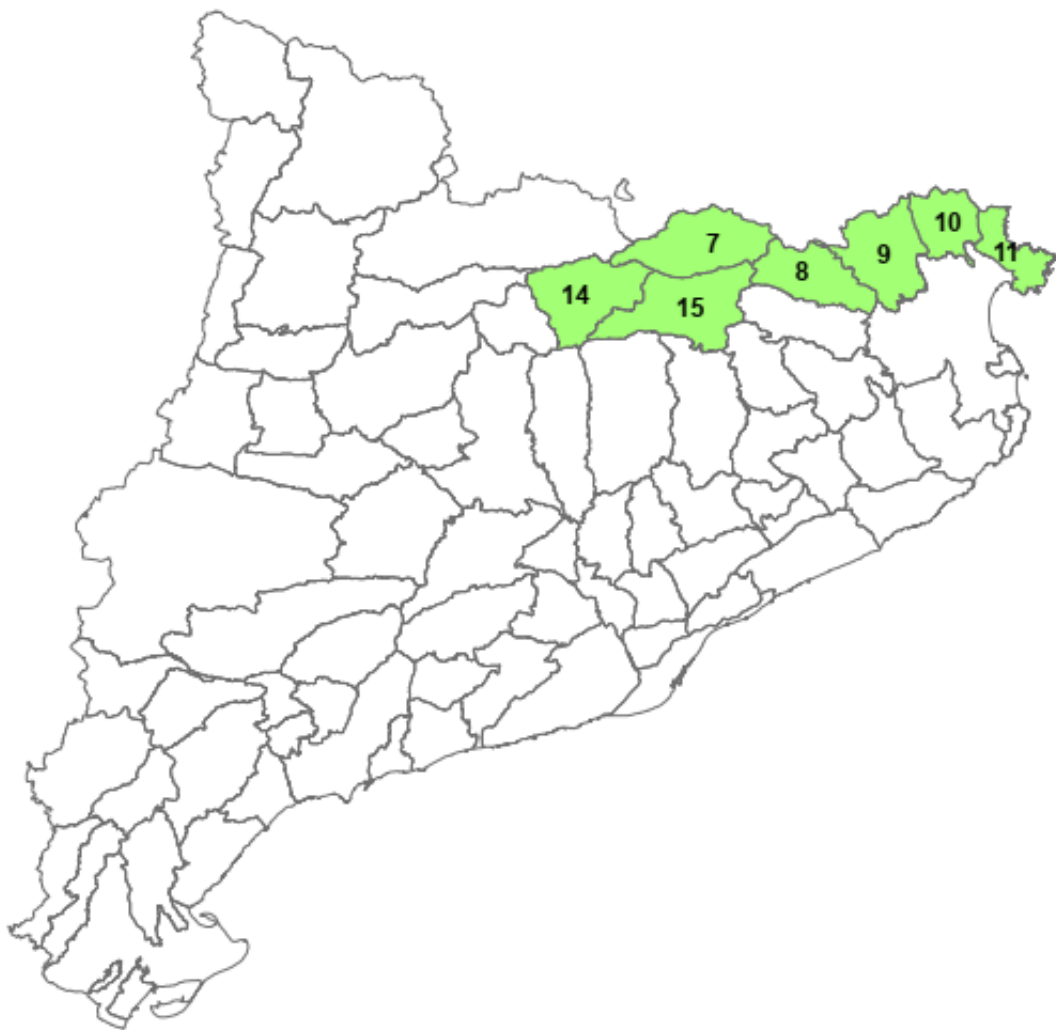


Figure 50. Oriental Pyrenees region with the HFR zones included (green colored).

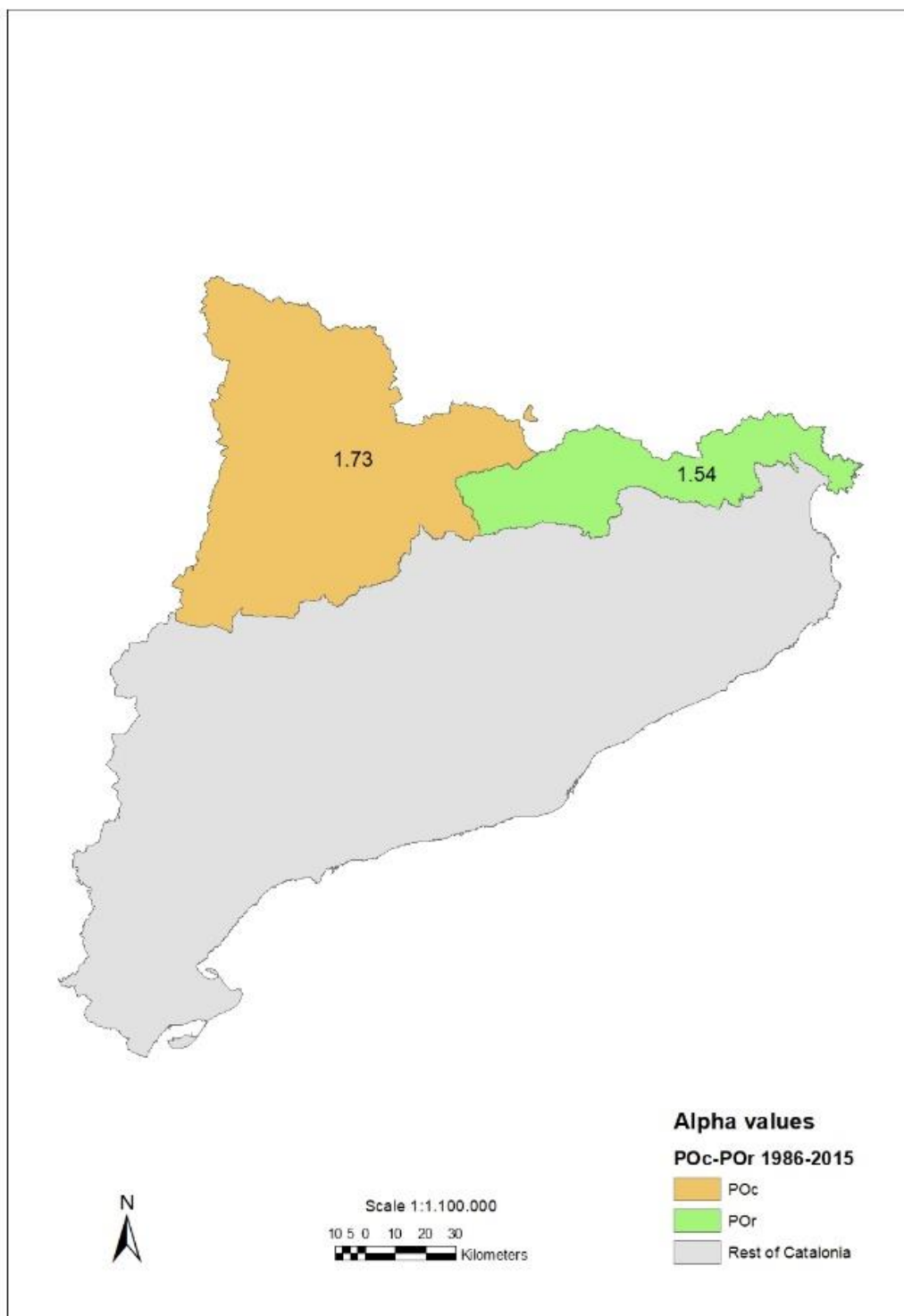


Figure 51. Map with alpha values for both Occidental and Oriental Pyrenees during the period of 1986-2015.

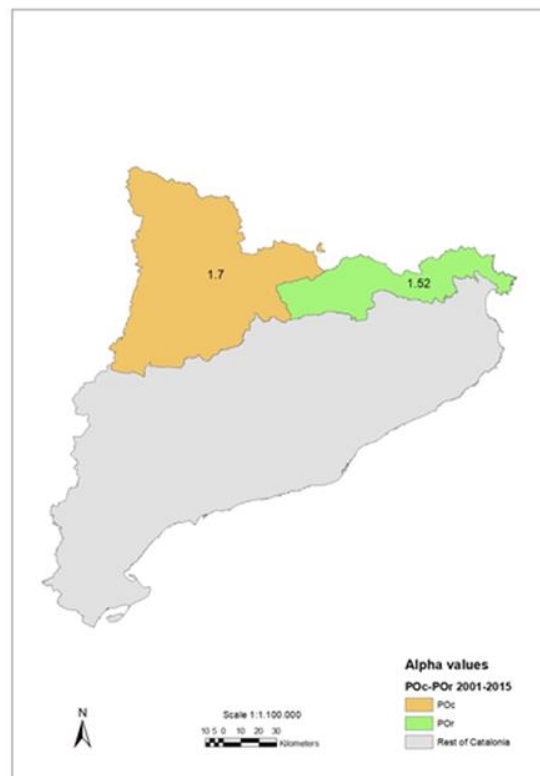
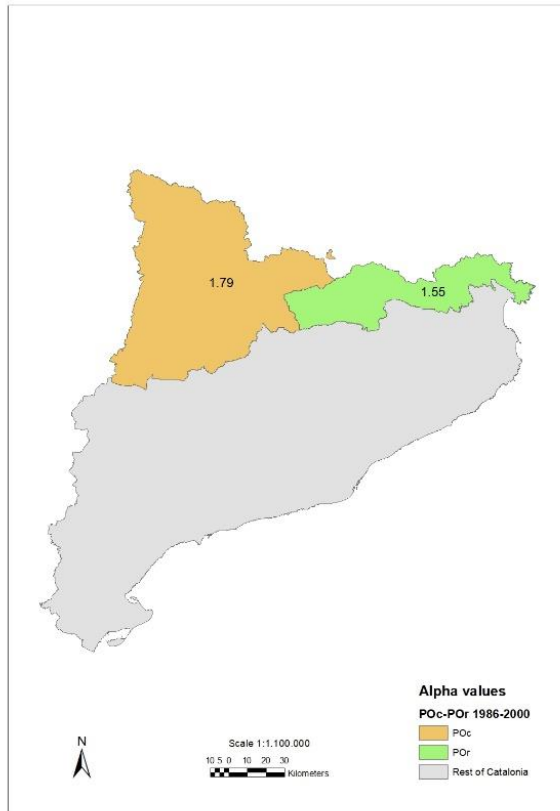


Figure 52. Maps with alpha values for subsets POC15 and POR15 during the period of 1986-2000 (left) and 2001-2015 (right).

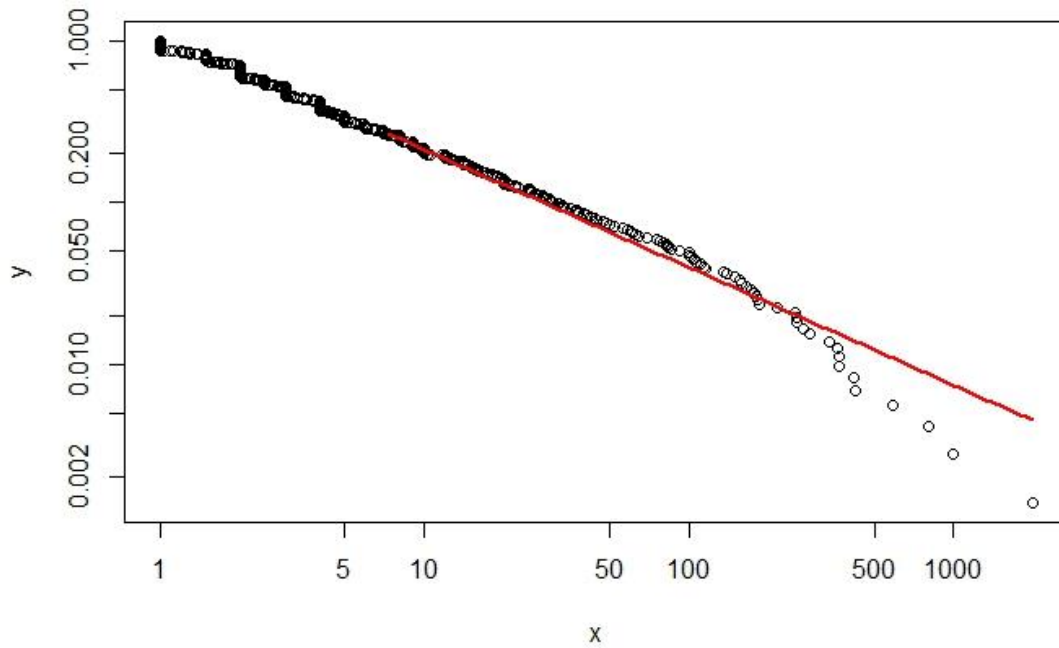


Figure 53. FSD plot related to the empirical data contained in the set “POc30”. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

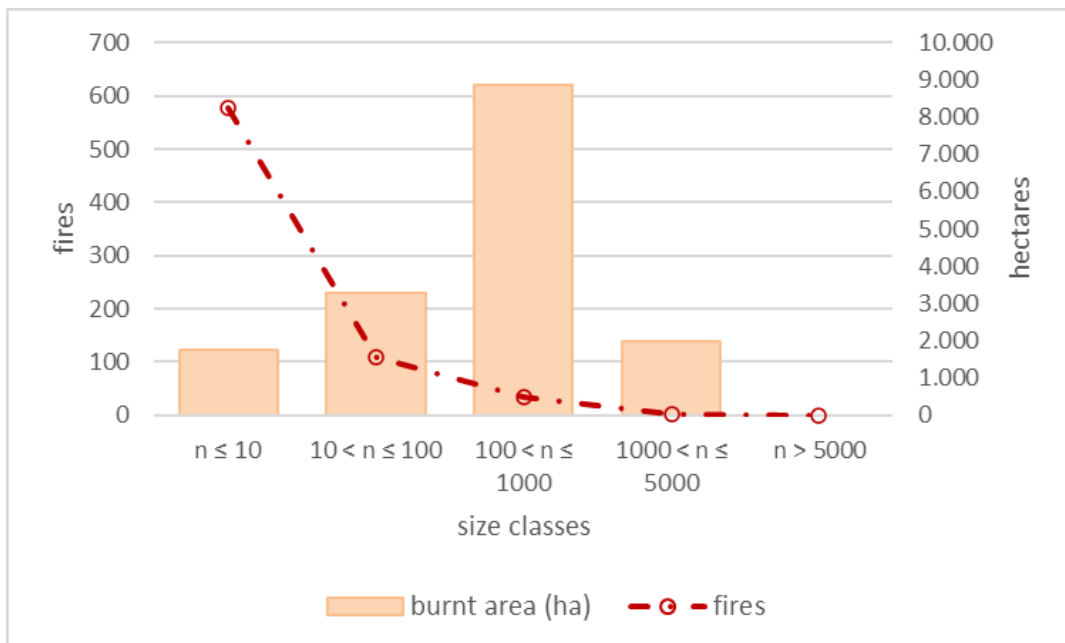


Figure 54. Size class analysis in the set “POc30”. Red line represents the number of fires and columns the burnt area for each size class.



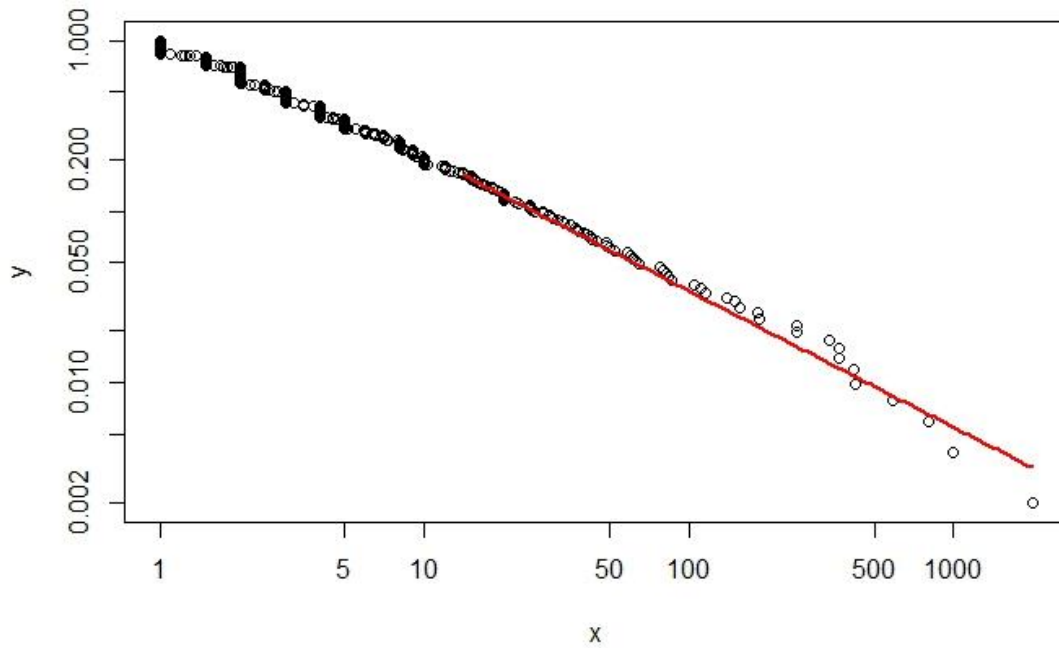


Figure 55. FSD plot related to the empirical data contained in the set “POc15\_19862000”. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

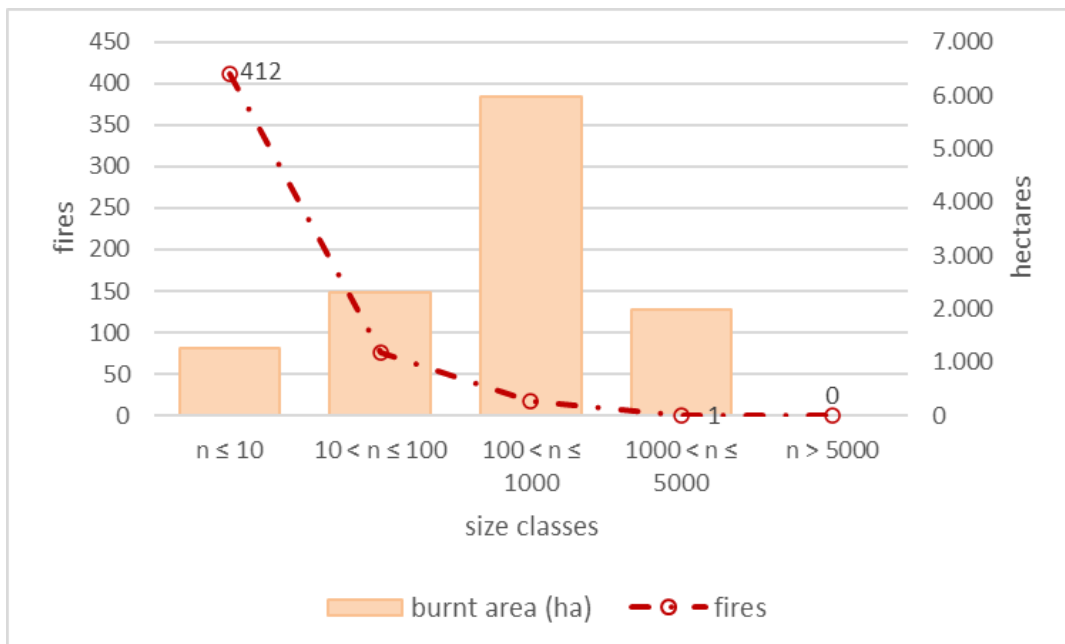


Figure 56. Size class analysis in the set “POc15\_19862000”. Red line represents the number of fires and columns the burnt area for each size class.

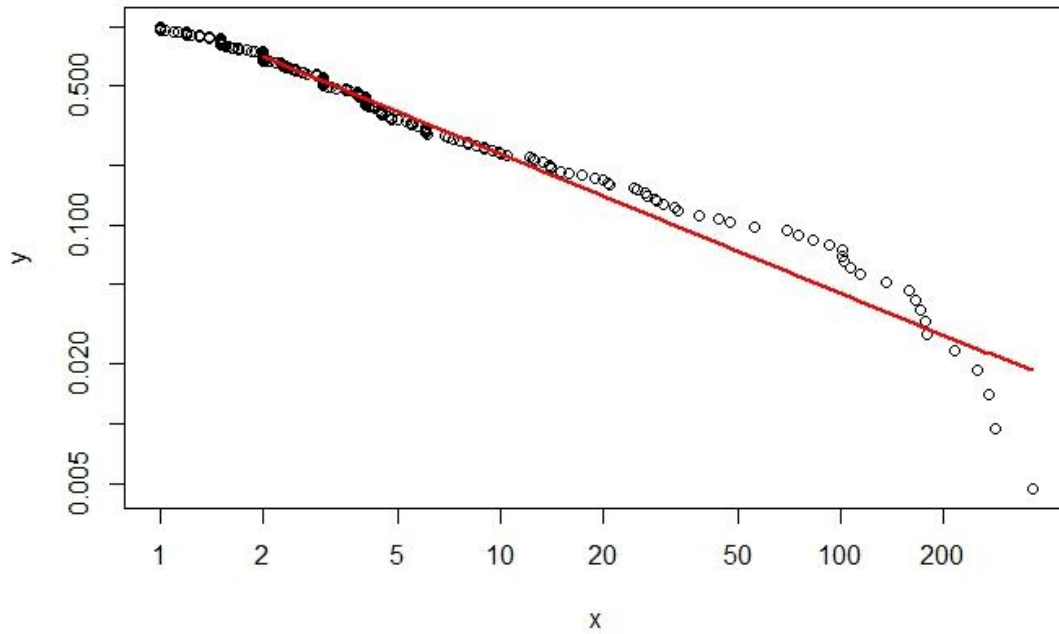


Figure 57. FSD plot related to the empirical data contained in the set “POc15\_20012015”. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.



Figure 58. Size class analysis in the set “POc15\_20012015”. Red line represents the number of fires and columns the burnt area for each size class.

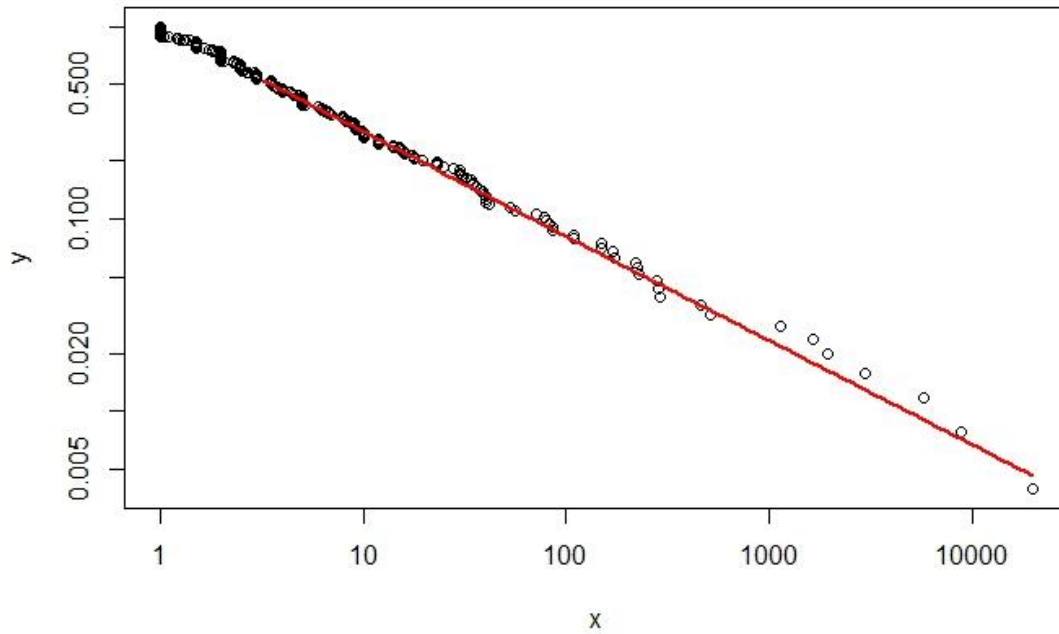


Figure 59. FSD plot related to the empirical data contained in the set “POr30”. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

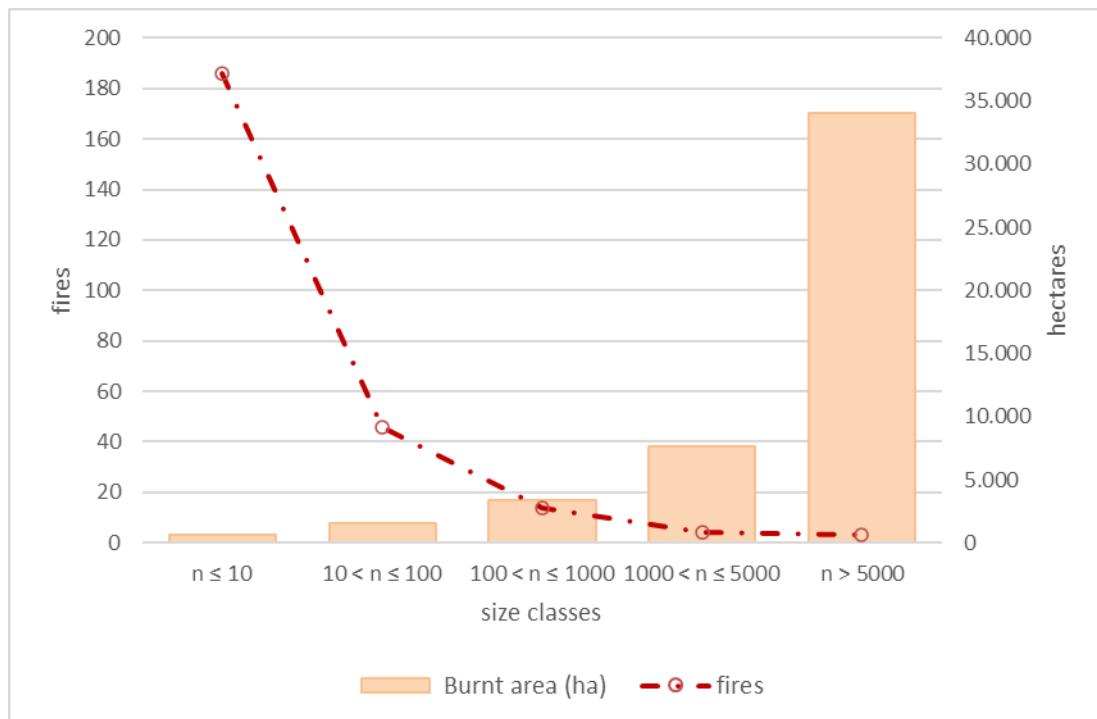


Figure 60. Size class analysis in the set “POr30”. Red line represents the number of fires and columns the burnt area for each size class.

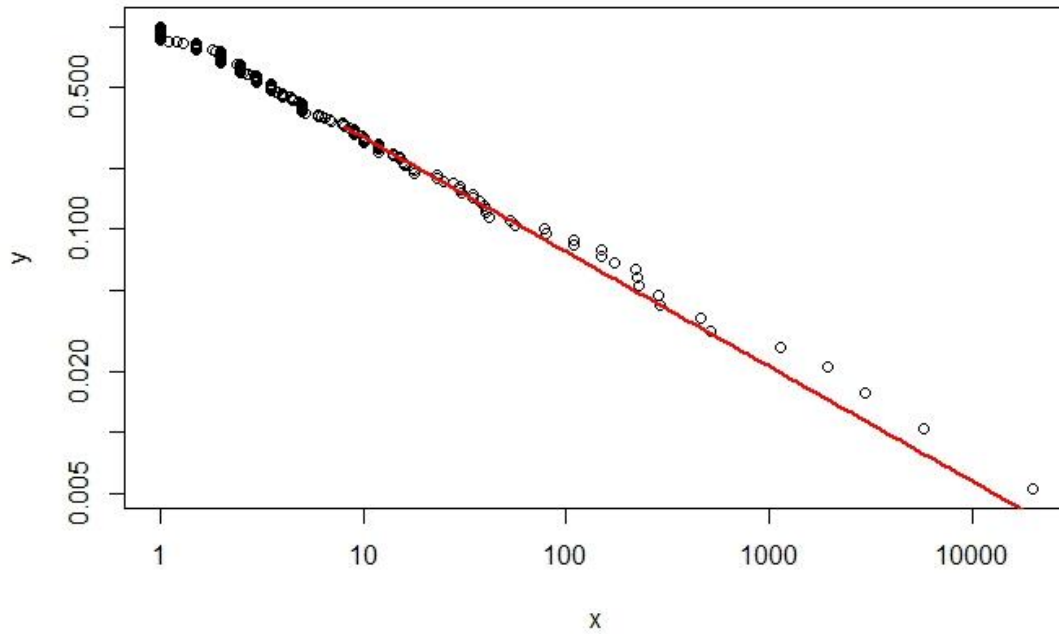


Figure 61. FSD plot related to the empirical data contained in the set “POr15\_19862000”. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

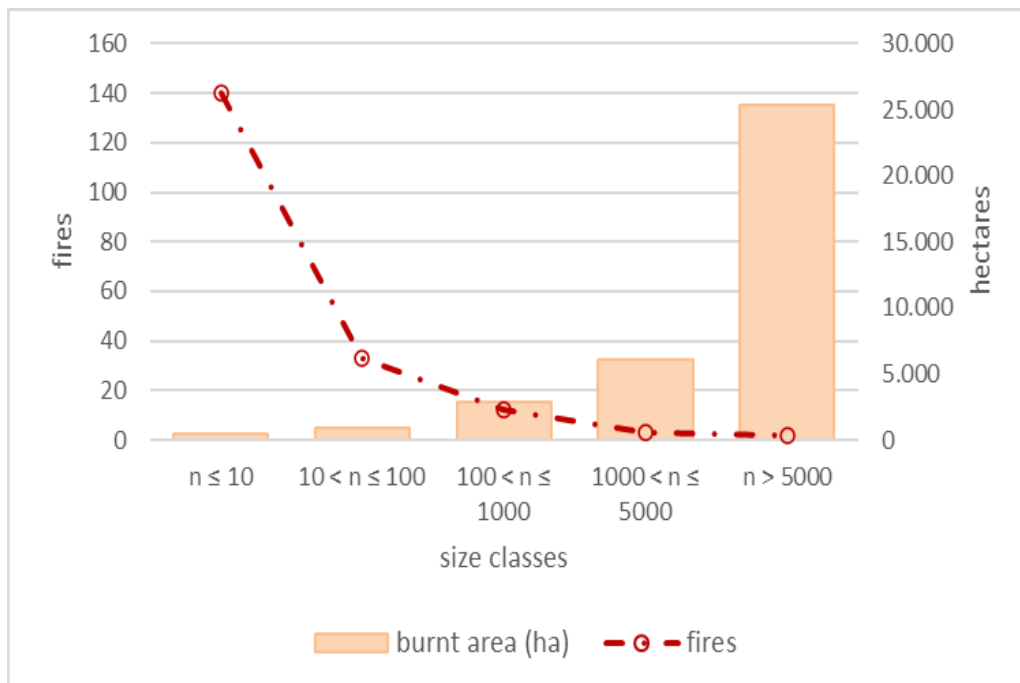


Figure 62. Size class analysis in the set “POr15\_19862000”. Red line represents the number of fires and columns the burnt area for each size class.

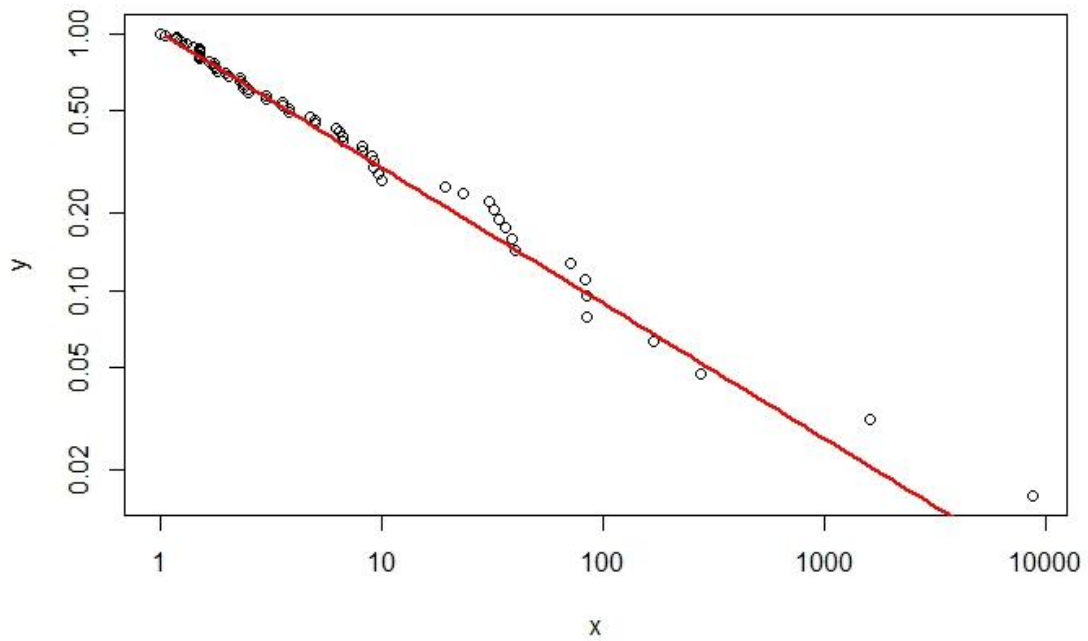


Figure 63. FSD plot related to the empirical data contained in the set “POr15\_20012015”. Red line represents the hypothetical power law and black dots the existing empirical data.

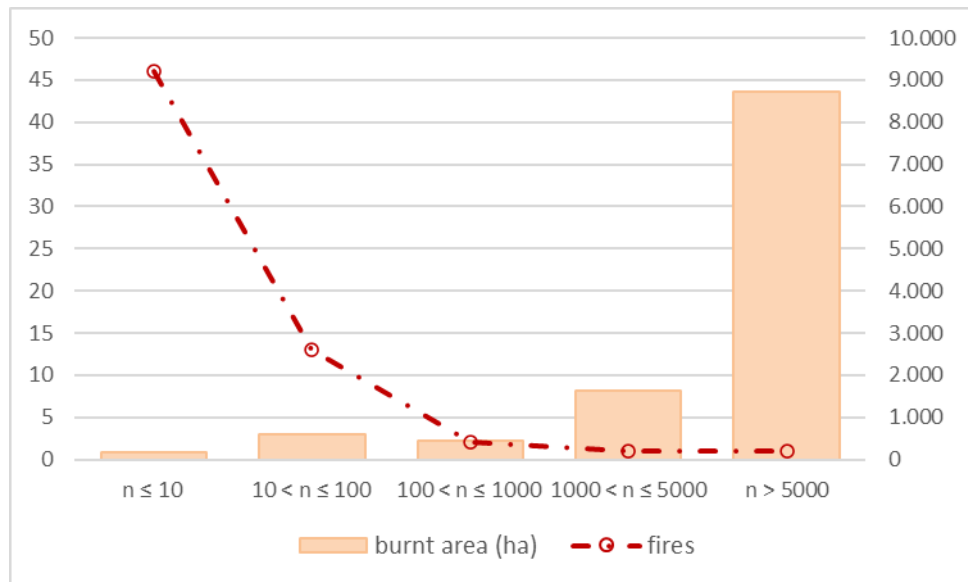


Figure 64. Size class analysis in the set “POr15\_20012015”. Red line represents the number of fires and columns the burnt area for each size class.

Figure 64.

TABLES AND FIGURES:  
SEASONALITY (Pyrenees Region)



Figure 65. Fire seasonality for the Pyrenees region during the 1986-2015 period (set Pyr30).

Months	Fires (number)	Fires (%)	Burned area (ha)	Burned area (%)
January	60	6,2%	1.248	2,0%
February	160	16,4%	2.795	4,4%
March	227	23,3%	2.651	4,2%
April	55	5,6%	464	0,7%
May	27	2,8%	164	0,3%
June	48	4,9%	4.858	7,7%
July	146	15,0%	36.925	58,5%
August	114	11,7%	12.597	20,0%
September	46	4,7%	527	0,8%
October	35	3,6%	368	0,6%
November	26	2,7%	165	0,3%
December	30	3,1%	328	0,5%

Table 25. Fire seasonality for the Pyrenees region during the 1986-2015 period (set Pyr30). The values are presented in absolute and relative numbers.

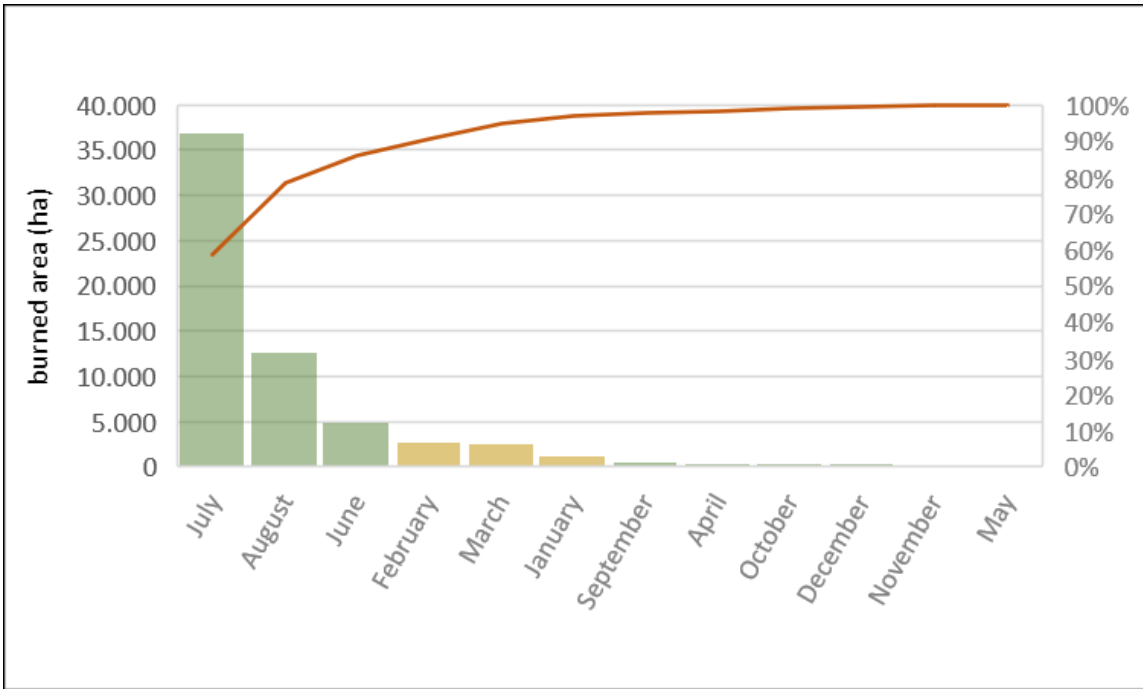


Figure 66. Pareto distribution with the area burned by months, together with the respective percentages and Pareto line (set Pyr30). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

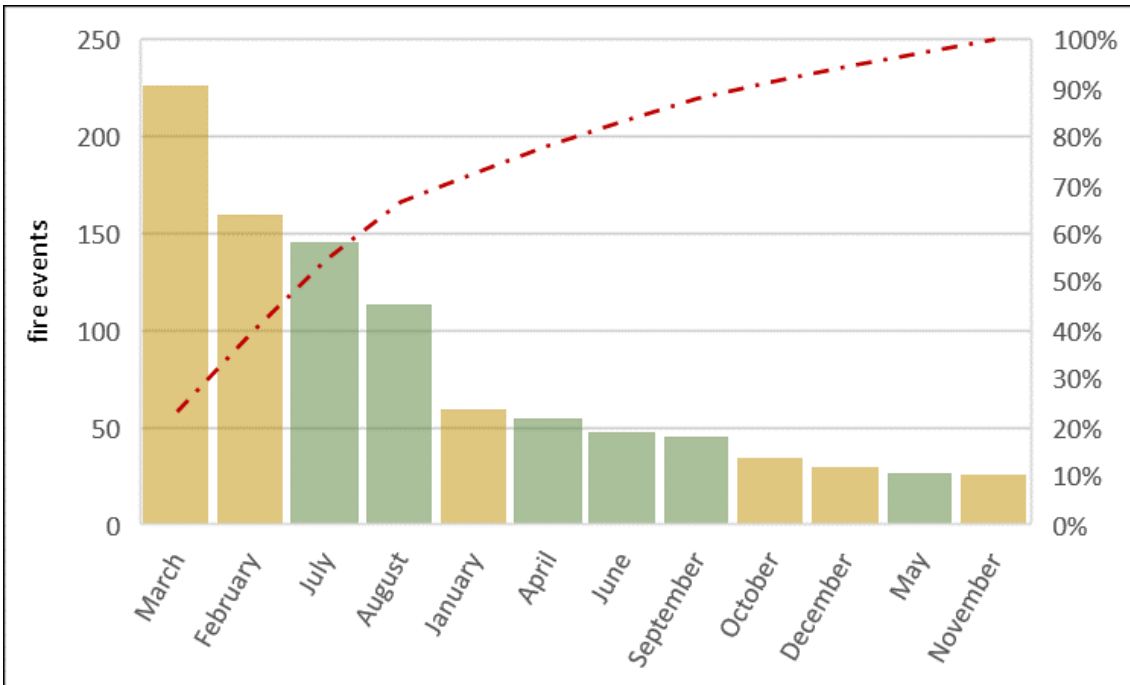


Figure 67. Pareto distribution with the number of fires by months, together with the respective percentages and Pareto line (set Pyr30). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.



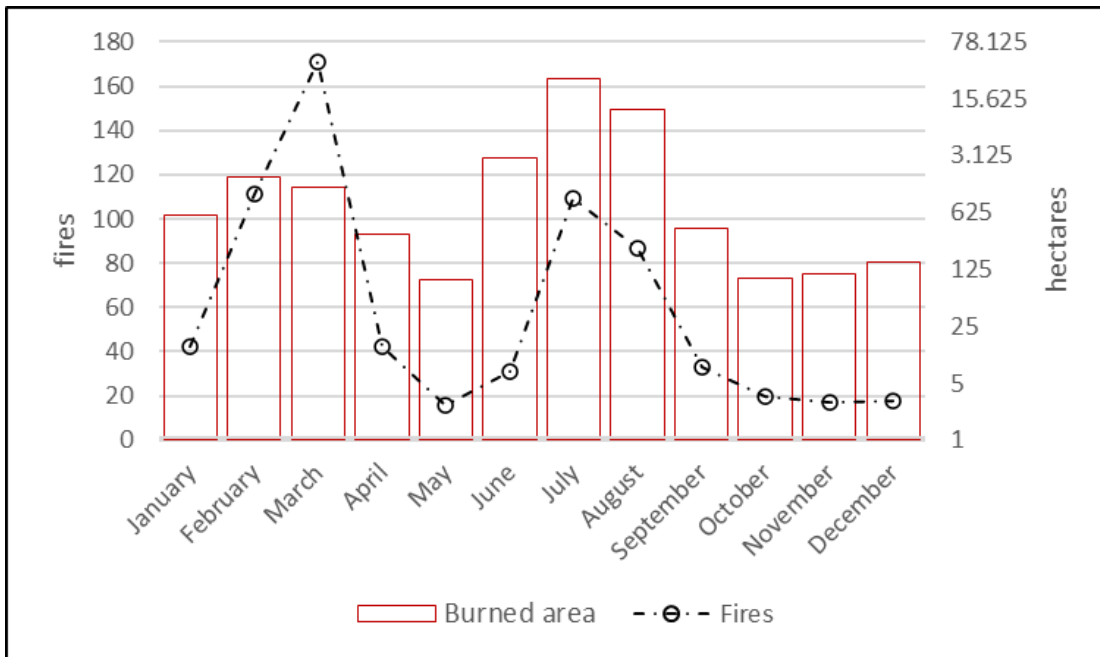


Figure 68. Fire seasonality for the Pyrenees region during the 1986-2000 period (set Pyr15\_19862000).

Months	Fires (number)	Fires (%)	Burned area (ha)	Burned area (%)
January	42	6,0%	589	1,2%
February	111	15,9%	1.692	3,6%
March	171	24,5%	1.269	2,7%
April	42	6,0%	343	0,7%
May	16	2,3%	92	0,2%
June	31	4,4%	2.904	6,2%
July	109	15,6%	27.835	59,1%
August	87	12,5%	11.658	24,7%
September	33	4,7%	393	0,8%
October	20	2,9%	97	0,2%
November	17	2,4%	109	0,2%
December	18	2,6%	153	0,3%

Table 26. Fire seasonality for the Pyrenees region during the 1986-2000 period (set Pyr15\_19862000). The values are presented in absolute and relative numbers.

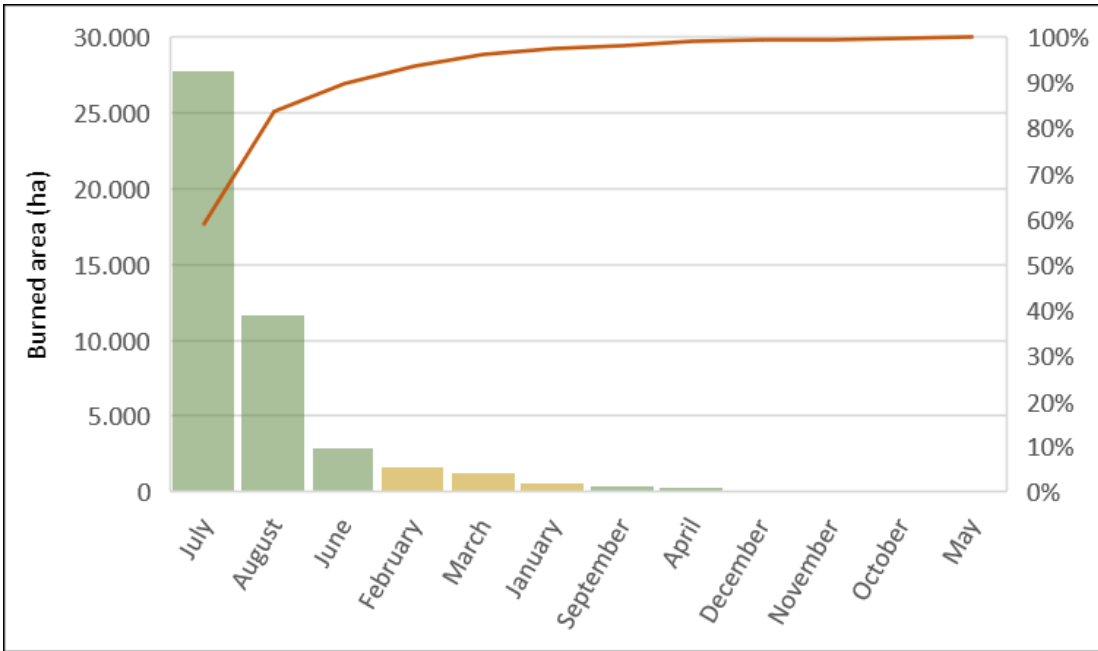


Figure 69. Pareto distribution with the area burned by months, together with the respective percentages and Pareto line (set Pyr15\_19862000). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

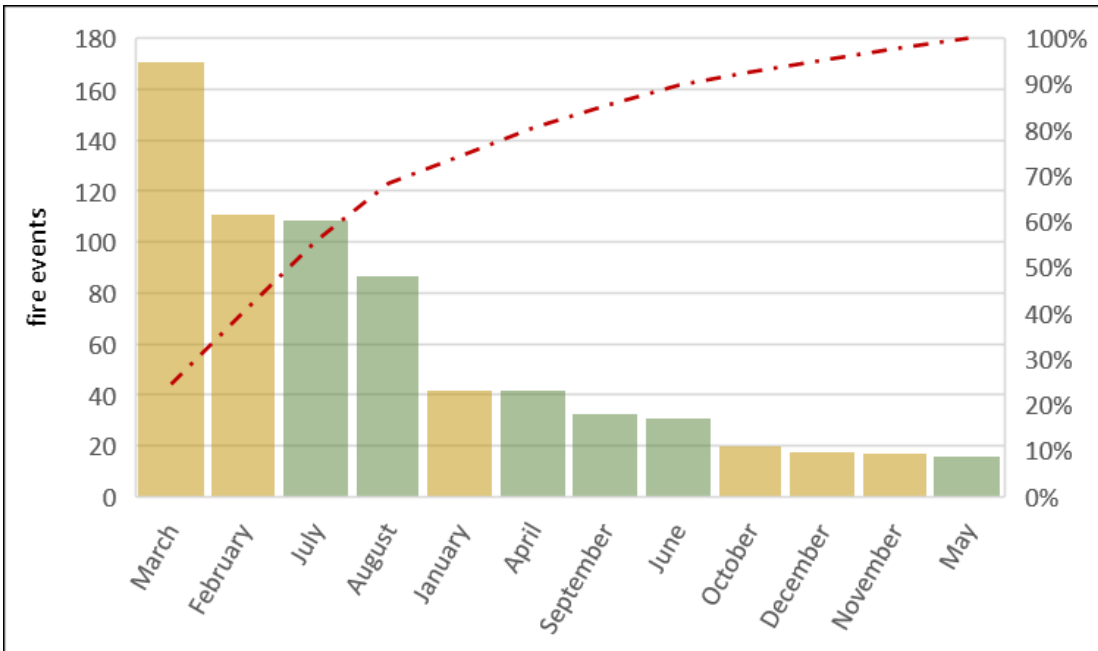


Figure 70. Pareto distribution with the number of fires by months, together with the respective percentages and Pareto line (set Pyr15\_19862000). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

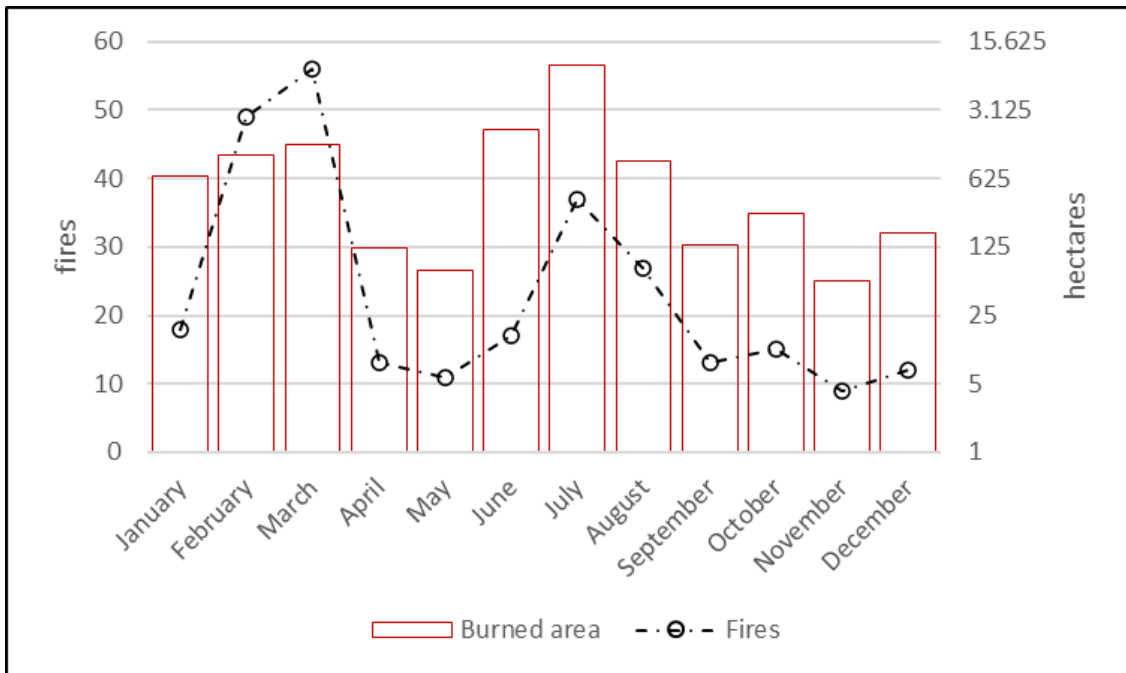


Figure 71. Fire seasonality for the Pyrenees region during the 2001-2015 period (set Pyr15\_20012015).

Months	Fires (number)	Fires (%)	Burned area (ha)	Burned area (%)
January	18	6,5%	659	4,1%
February	49	17,7%	1.093	6,9%
March	56	20,2%	1.382	8,7%
April	13	4,7%	121	0,8%
May	11	4,0%	72	0,5%
June	17	6,1%	1.954	12,3%
July	37	13,4%	9.090	57,0%
August	27	9,7%	940	5,9%
September	13	4,7%	133	0,8%
October	15	5,4%	271	1,7%
November	9	3,2%	56	0,4%
December	12	4,3%	175	1,1%

Table 27. Fire seasonality for the Pyrenees region during the 2001-2015 period (set Pyr15\_20012015). The values are presented in absolute and relative numbers.

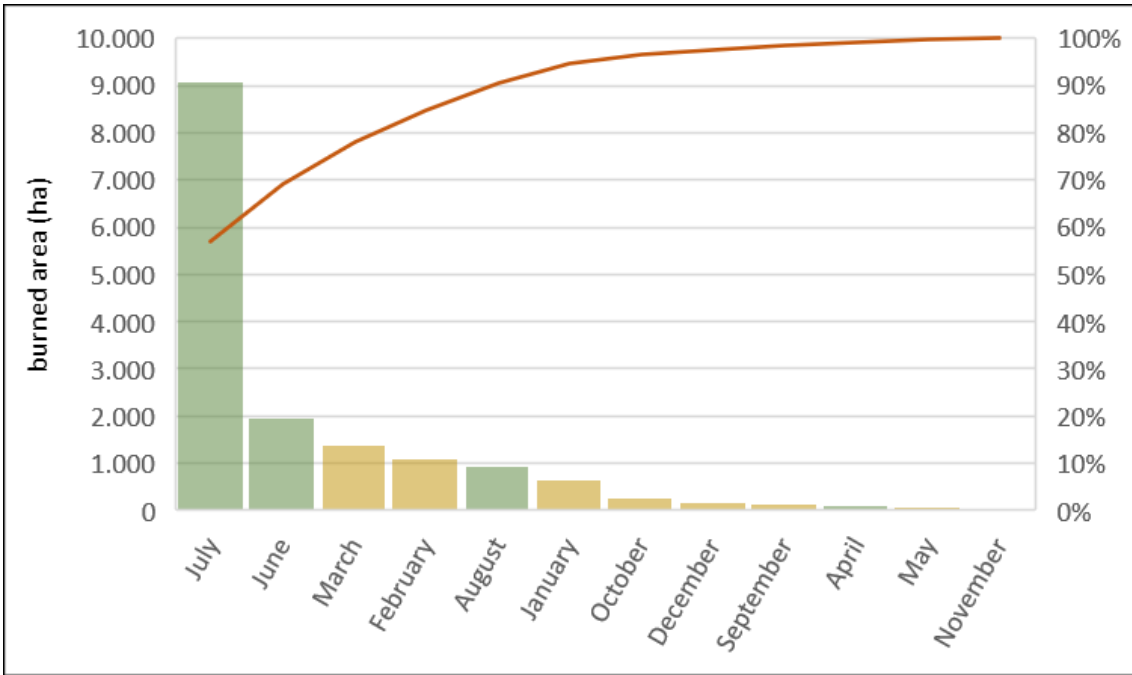


Figure 72. Pareto distribution with the area burned by months, together with the respective percentages and Pareto line (set Pyr15\_20012015). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

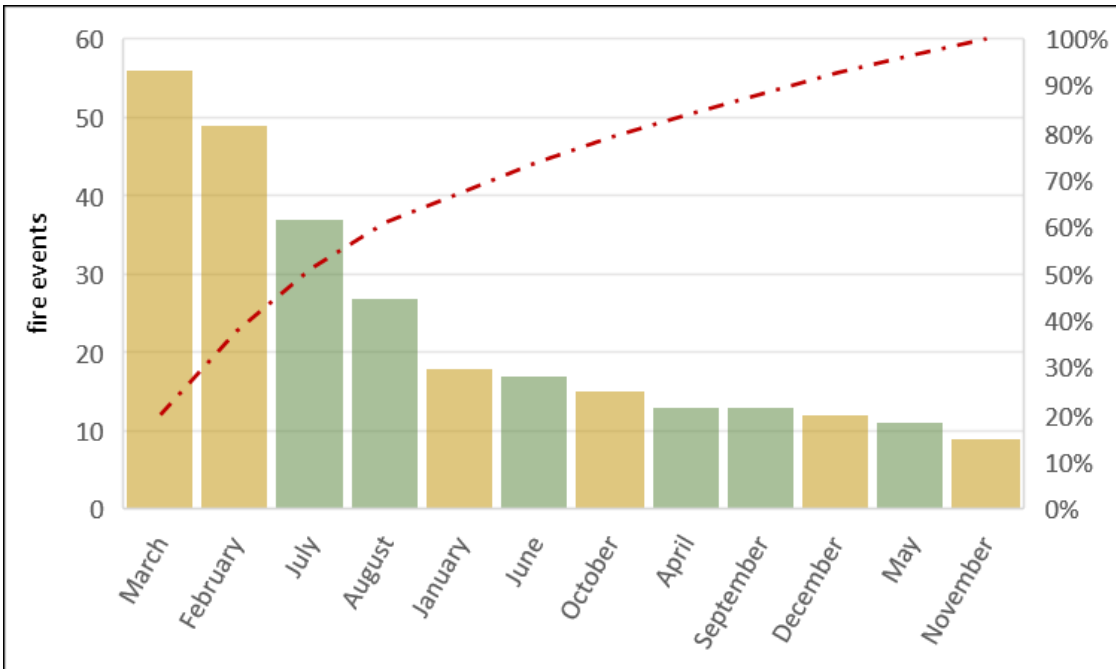


Figure 73. Pareto distribution with the number of fires by months, together with the respective percentages and Pareto line (set Pyr15\_20012015). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

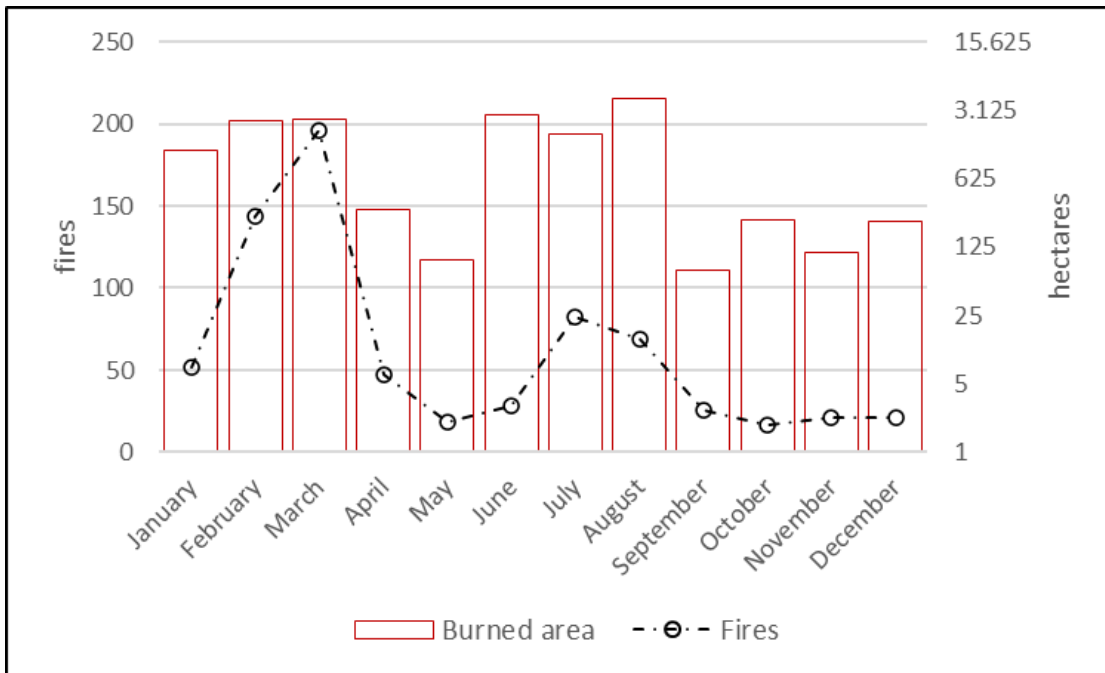


Figure 74. Fire seasonality for the Occidental Pyrenees region during the 1986-2015 period (set POc30).

Months	Fires (number)	Fires (%)	Burned area (ha)	Burned area (%)
January	52	7,2%	1.192	7,5%
February	144	20,0%	2.462	15,5%
March	196	27,2%	2.501	15,7%
April	47	6,5%	297	1,9%
May	18	2,5%	93	0,6%
June	28	3,9%	2.794	17,6%
July	82	11,4%	1.779	11,2%
August	69	9,6%	4.124	26,0%
September	26	3,6%	72	0,5%
October	17	2,4%	232	1,5%
November	21	2,9%	110	0,7%
December	21	2,9%	228	1,4%

Table 28. Fire seasonality for the Occidental Pyrenees region during the 1986-2015 period (set POc30). The values are presented in absolute and relative numbers.

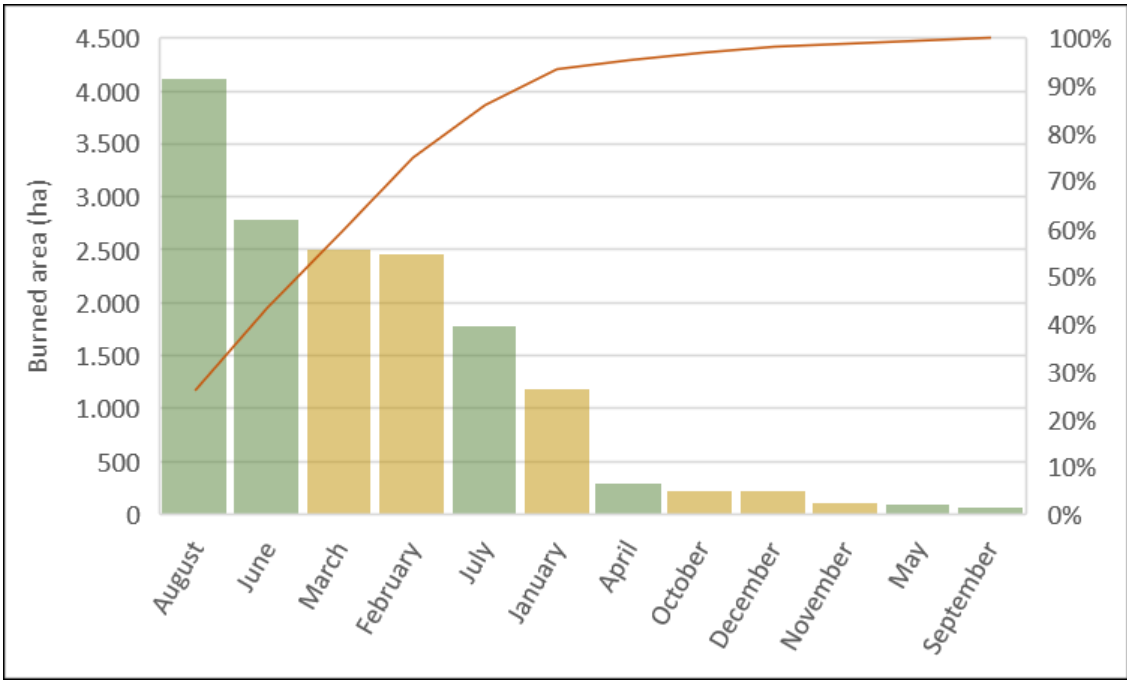


Figure 75. Pareto distribution with the area burned by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POC30). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

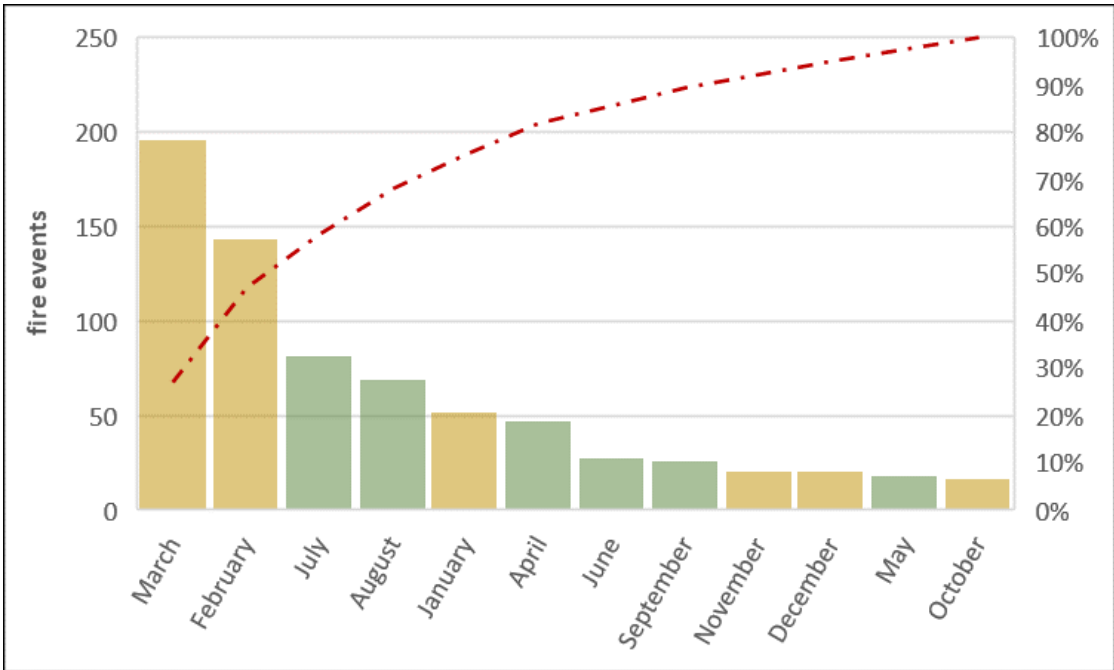


Figure 76. Pareto distribution with the number of fires by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POC30). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

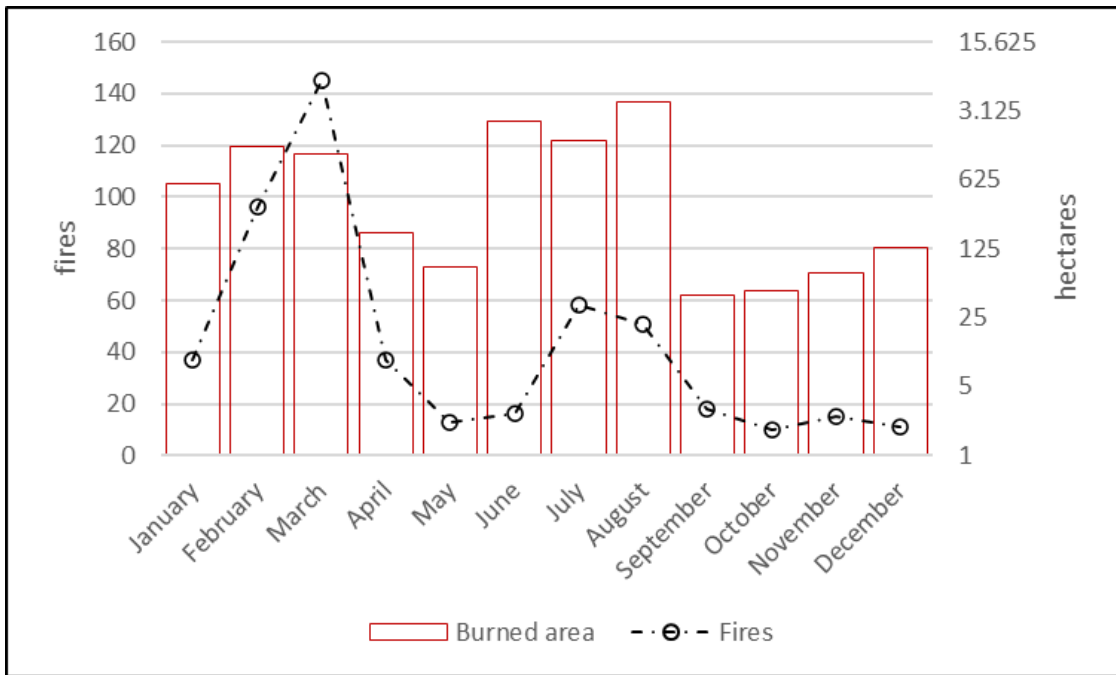


Figure 77. Fire seasonality for the Occidental Pyrenees region during the 1986-2000 period (set POc15\_19862000).

Months	Fires (number)	Fires (%)	Burned area (ha)	Burned area (%)
January	37	7,3%	576	5,0%
February	96	18,9%	1.370	11,9%
March	145	28,6%	1.134	9,9%
April	37	7,3%	183	1,6%
May	13	2,6%	82	0,7%
June	16	3,2%	2.478	21,6%
July	58	11,4%	1.567	13,6%
August	51	10,1%	3.810	33,2%
September	18	3,6%	42	0,4%
October	10	2,0%	47	0,4%
November	15	3,0%	71	0,6%
December	11	2,2%	129	1,1%

Table 29. Fire seasonality for the Occidental Pyrenees region during the 1986-2000 period (set POc15\_19862000). The values are presented in absolute and relative numbers.

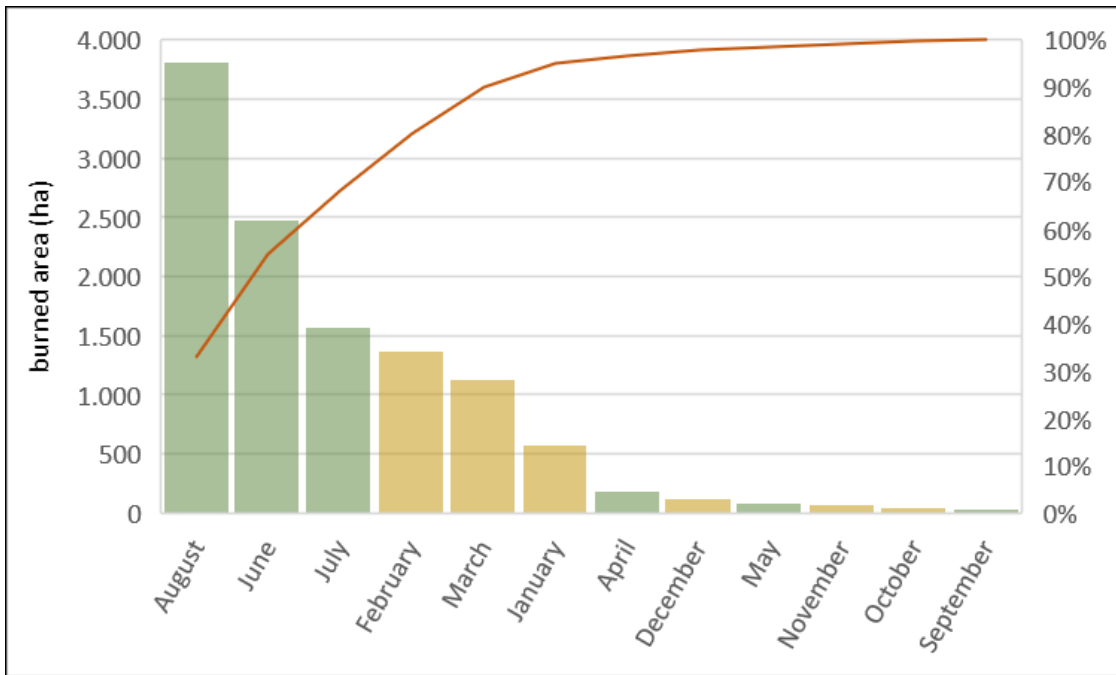


Figure 78. Pareto distribution with the area burned by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POC15\_19862000). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

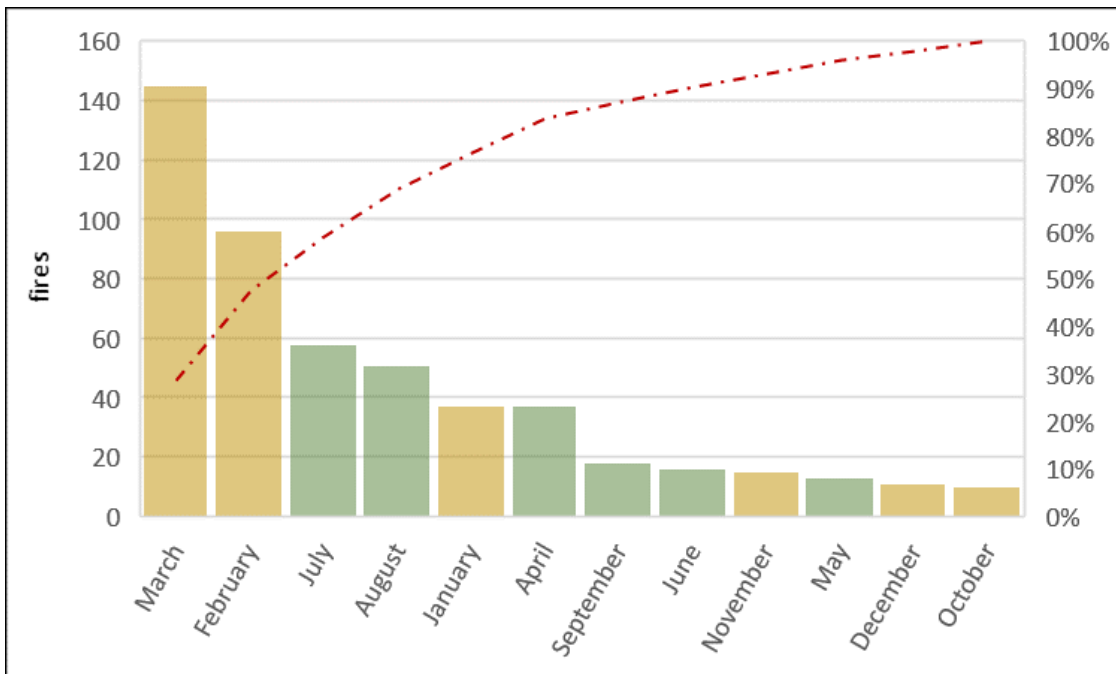


Figure 79. Pareto distribution with the number of fires by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POC15\_19862000). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.



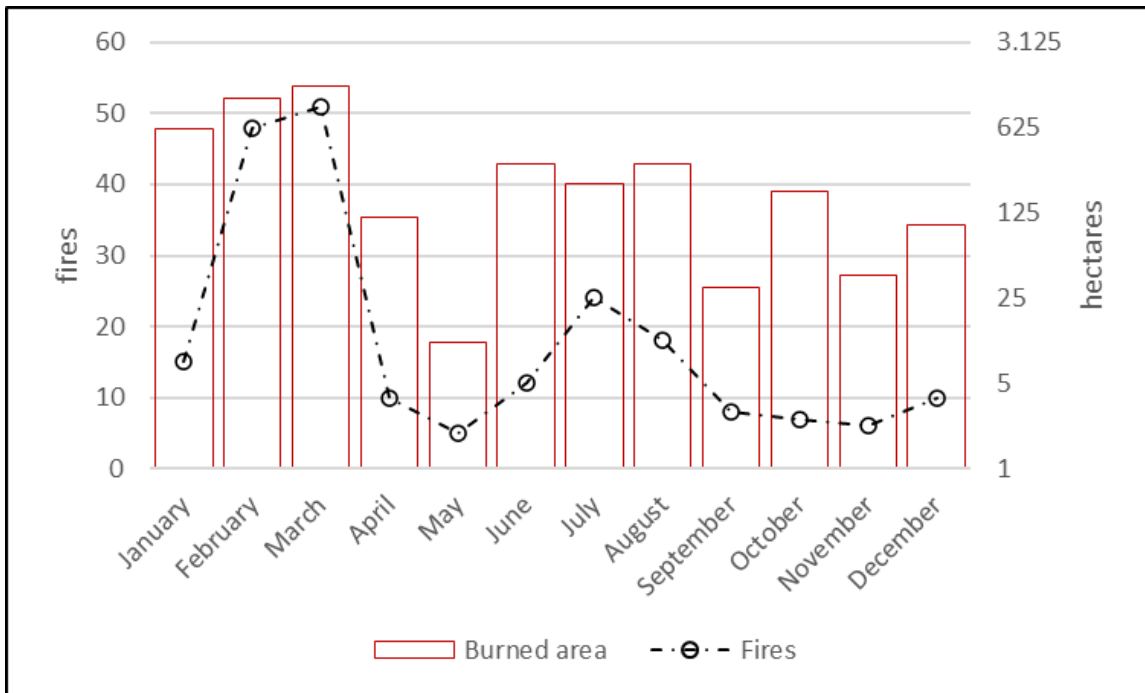


Figure 80. Fire seasonality for the Occidental Pyrenees region during the 2001-2015 period (set POc15\_20012015).

Months	Fires (number)	Fires (%)	Burned area (ha)	Burned area (%)
January	15	7,0%	616	14,0%
February	48	22,4%	1.092	24,9%
March	51	23,8%	1.366	31,1%
April	10	4,7%	114	2,6%
May	5	2,3%	11	0,3%
June	12	5,6%	315	7,2%
July	24	11,2%	213	4,8%
August	18	8,4%	313	7,1%
September	8	3,7%	31	0,7%
October	7	3,3%	185	4,2%
November	6	2,8%	39	0,9%
December	10	4,7%	99	2,3%

Table 30. Fire seasonality for the Occidental Pyrenees region during the 2001-2015 period (set POc15\_20012015). The values are presented in absolute and relative numbers.

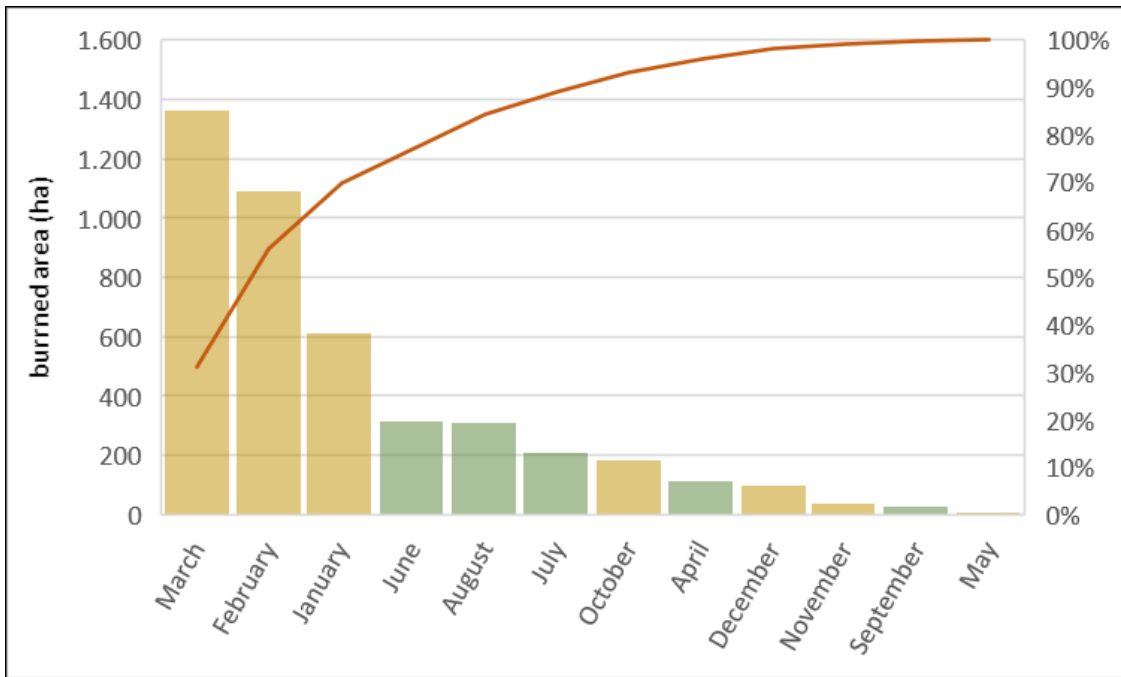


Figure 81. Pareto distribution with the area burned by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POC15\_20012015). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

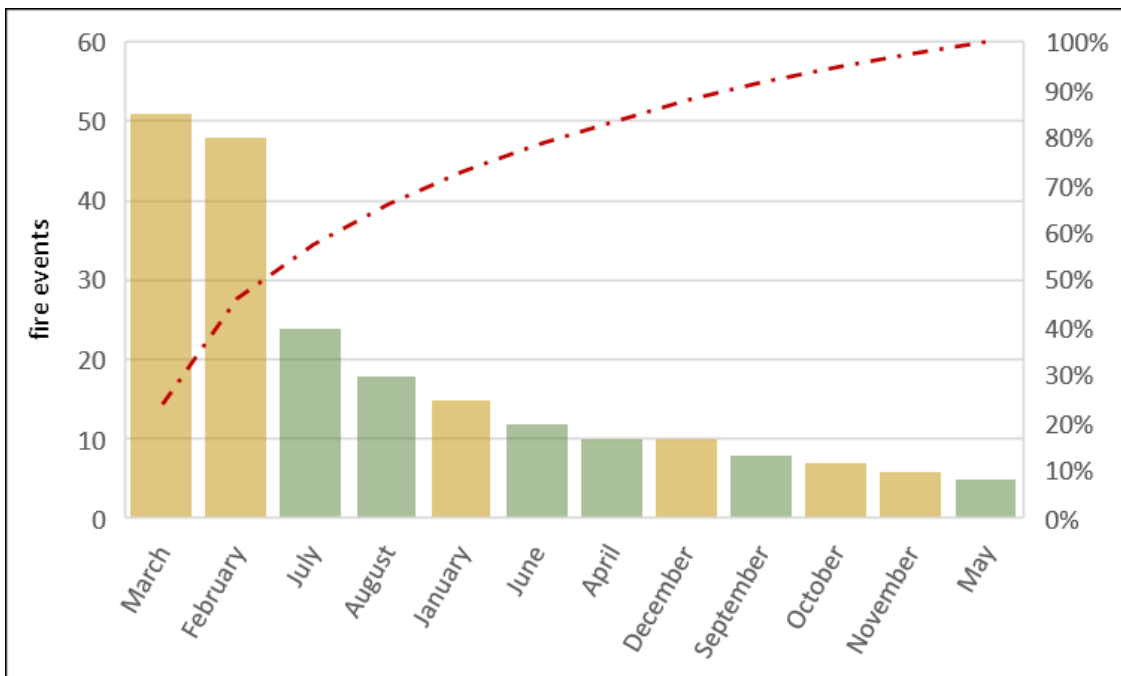


Figure 82. Pareto distribution with the number of fires by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POC15\_20012015). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

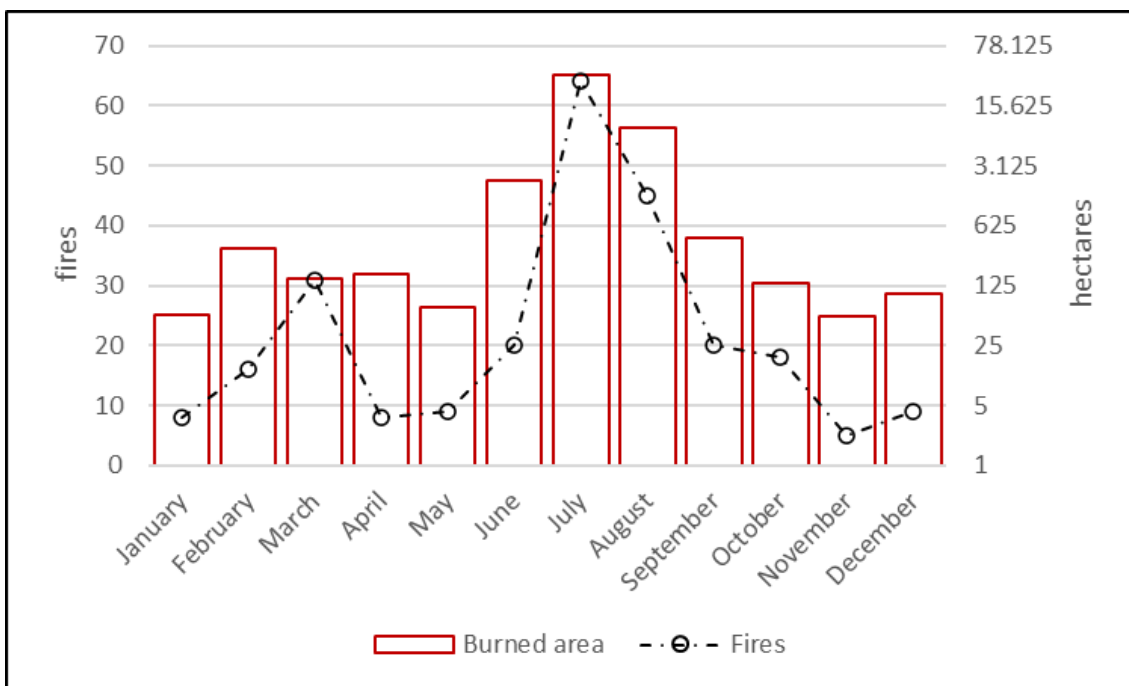


Figure 83. Fire seasonality for the Oriental Pyrenees region during the 1986-2015 period (set PO30).

Months	Fires (number)	Fires (%)	Burned area (ha)	Burned area (%)
January	8	3,2%	56	0,1%
February	16	6,3%	334	0,7%
March	31	12,3%	151	0,3%
April	8	3,2%	167	0,4%
May	9	3,6%	71	0,2%
June	20	7,9%	2.064	4,4%
July	64	25,3%	35.146	74,4%
August	45	17,8%	8.474	18,0%
September	20	7,9%	454	1,0%
October	18	7,1%	136	0,3%
November	5	2,0%	55	0,1%
December	9	3,6%	100	0,2%

Table 31. Fire seasonality for the Oriental Pyrenees region during the 1986-2015 period (set PO30). The values are presented in absolute and relative numbers.

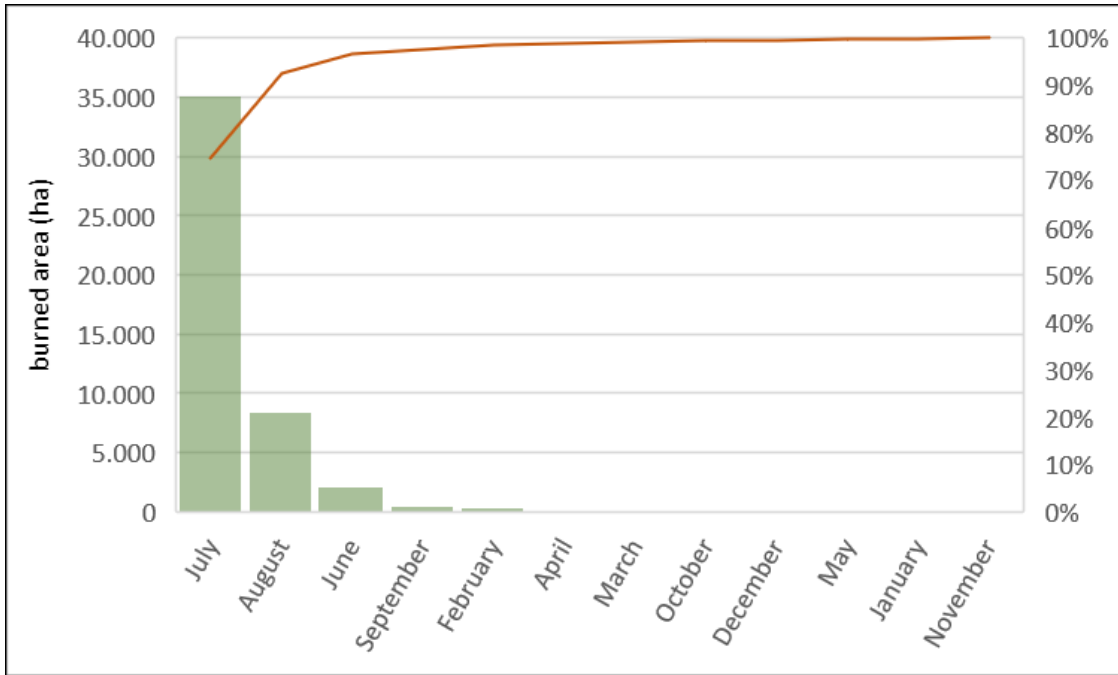


Figure 84. Pareto distribution with the area burned by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POr30). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

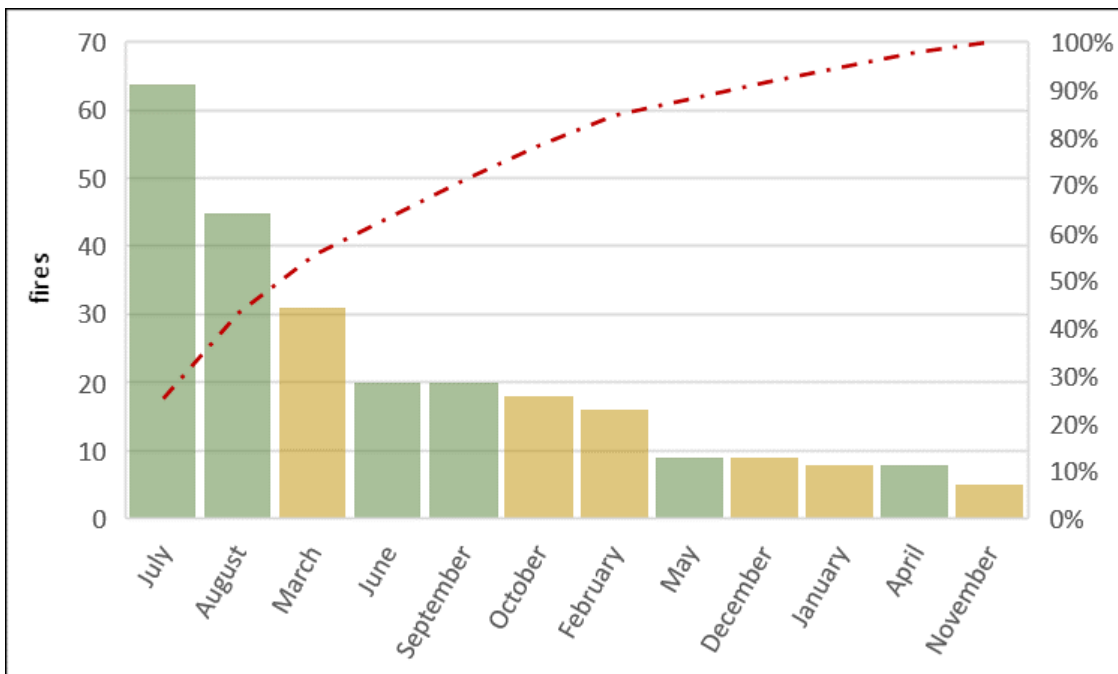


Figure 85. Pareto distribution with the number of fires by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POr30). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

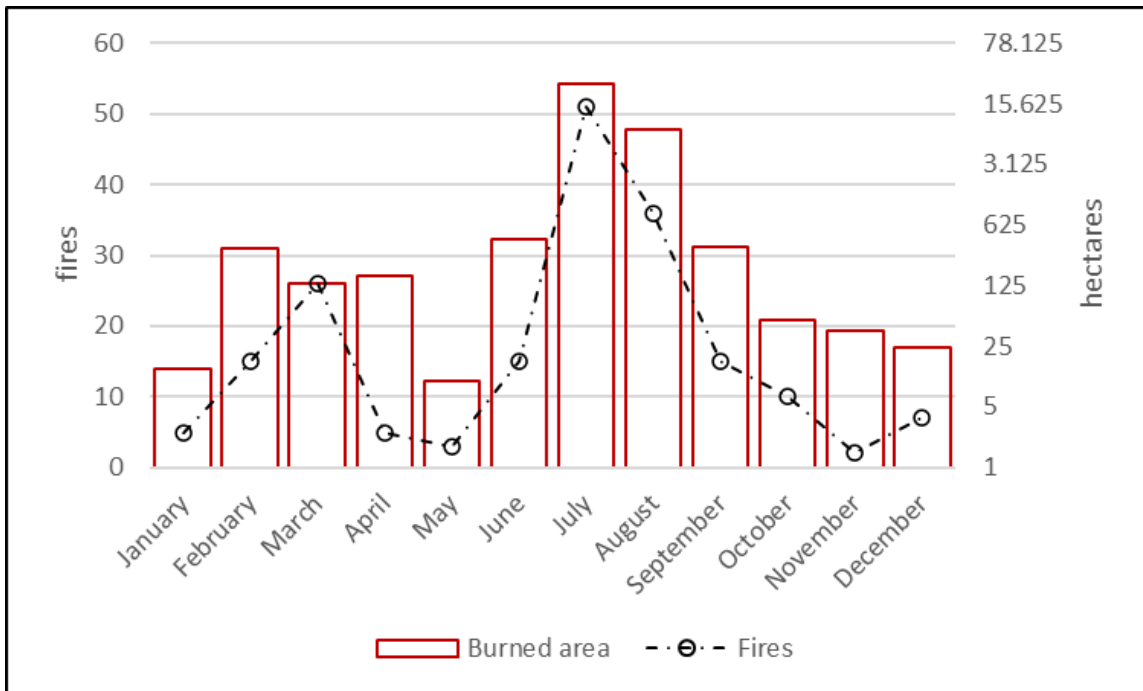


Figure 86. Fire seasonality for the Oriental Pyrenees region during the 1986-2000 period (set PO15\_19862000).

Months	Fires (number)	Fires (%)	Burned area (ha)	Burned area (%)
January	5	2,6%	14	0,04%
February	15	7,9%	331	0,93%
March	26	13,7%	135	0,38%
April	5	2,6%	160	0,45%
May	3	1,6%	10	0,03%
June	15	7,9%	425	1,19%
July	51	26,8%	26.268	73,67%
August	36	18,9%	7.848	22,01%
September	15	7,9%	352	0,99%
October	10	5,3%	50	0,14%
November	2	1,1%	38	0,11%
December	7	3,7%	24	0,07%

Table 32. Fire seasonality for the Oriental Pyrenees region during the 1986-2000 period (set PO15\_19862000). The values are presented in absolute and relative numbers.

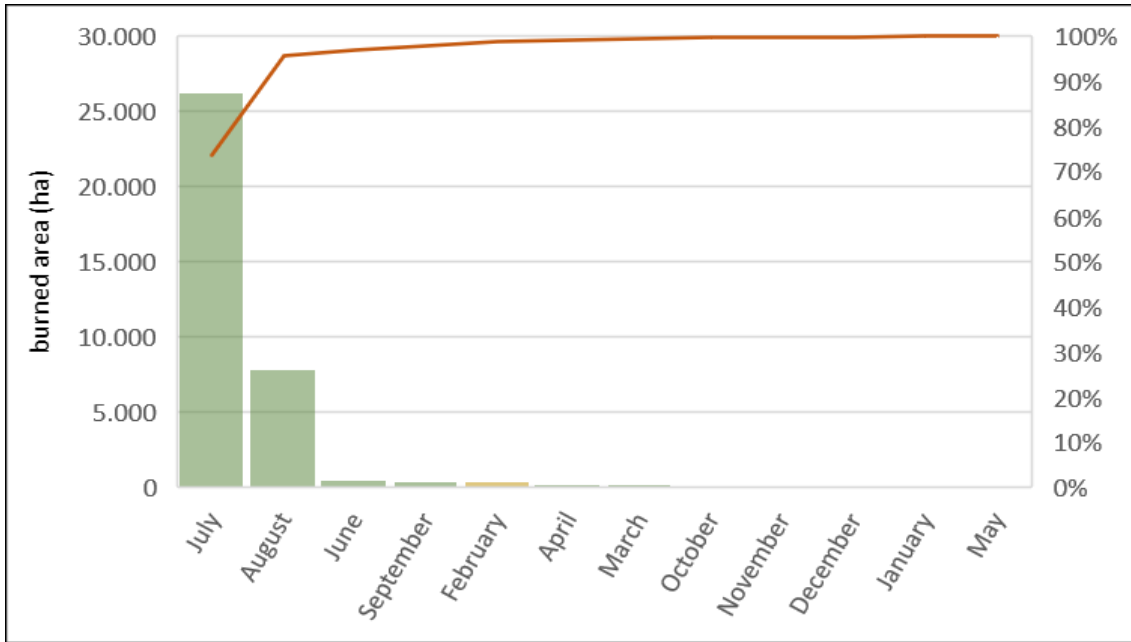


Figure 87. Pareto distribution with the area burned by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POr15\_19862000). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively

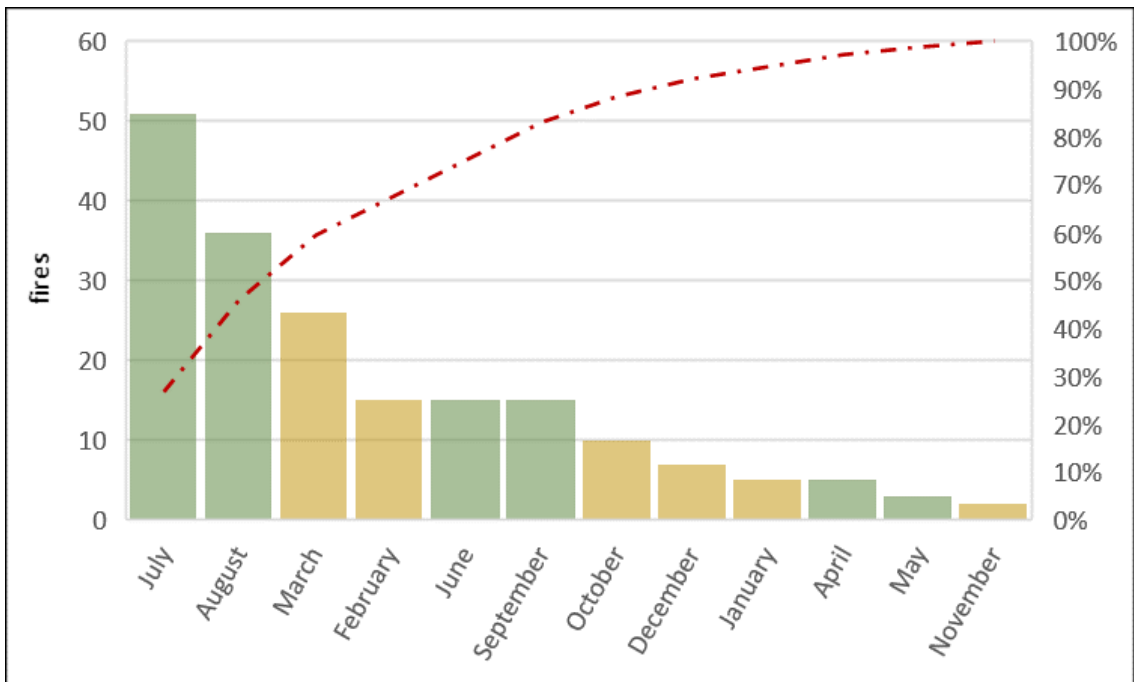


Figure 88. Pareto distribution with the number of fires by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POr15\_19862000). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

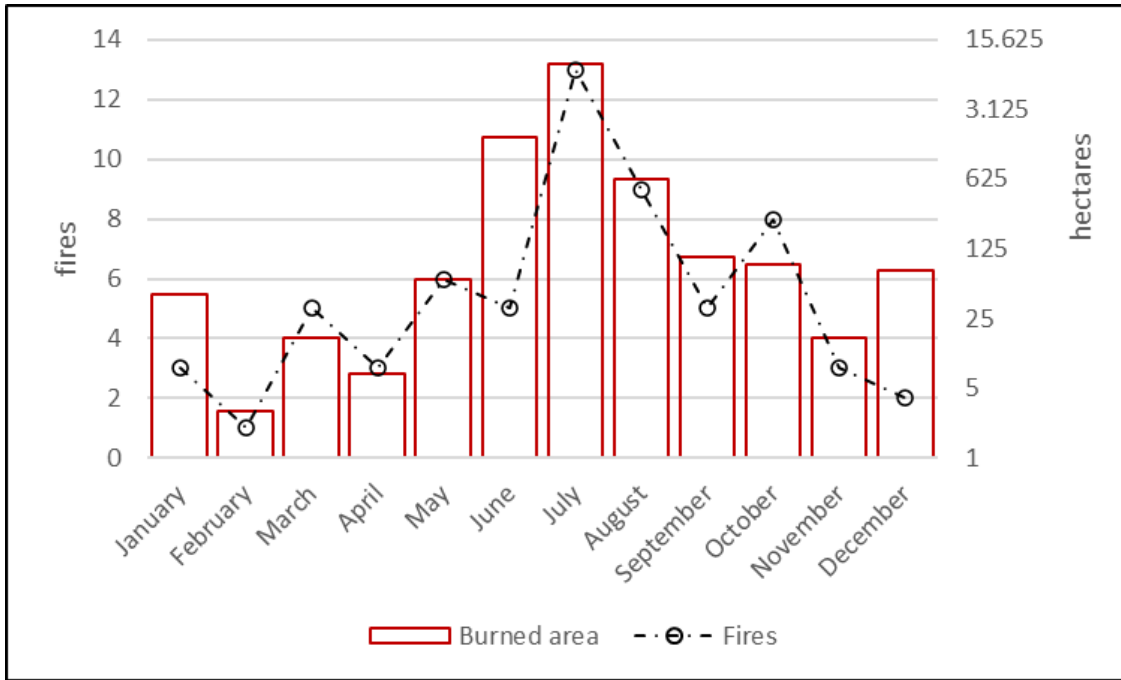


Figure 89. Fire seasonality for the Oriental Pyrenees region during the 2001-2015 period (set PO15\_20012015).

Months	Fires (number)	Fires (%)	Burned area (ha)	Burned area (%)
January	3	4,8%	43	0,37%
February	1	1,6%	3	0,03%
March	5	7,9%	16	0,14%
April	3	4,8%	7	0,06%
May	6	9,5%	61	0,53%
June	5	7,9%	1.639	14,19%
July	13	20,6%	8.878	76,84%
August	9	14,3%	626	5,42%
September	5	7,9%	103	0,89%
October	8	12,7%	86	0,74%
November	3	4,8%	16	0,14%
December	2	3,2%	76	0,66%

Table 33. Fire seasonality for the Oriental Pyrenees region during the 2001-2015 period (set PO15\_20012015). The values are presented in absolute and relative numbers.

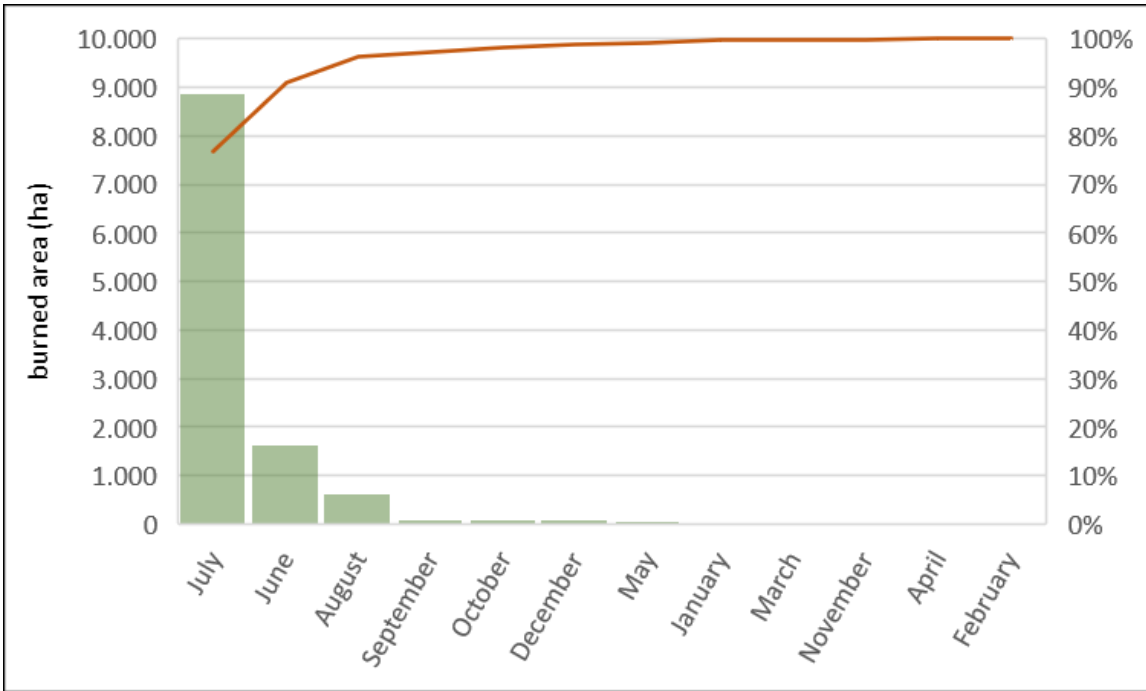


Figure 90. Pareto distribution with the area burned by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POr15\_20012015). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.

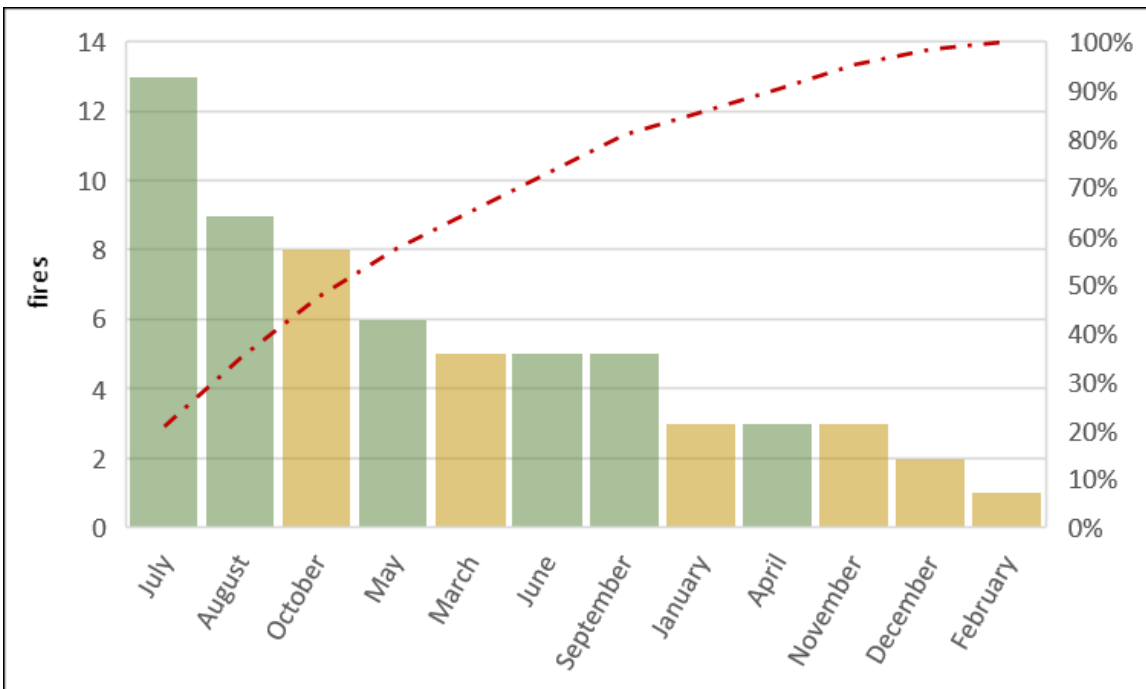


Figure 91. Pareto distribution with the number of fires by months, together with the respective percentages and Pareto line (set POr15\_20012015). Green and light brown columns correspond with spring-summer and autumn-winter seasons, respectively.





## LIST OF FIGURES

FIGURE 1. PASTEUR’S QUADRANT (STOKES, 1997) .....	17
FIGURE 2 . SCHEME OF LANDSCAPE DYNAMICS, FIRE REGIMES AND THEIR KEY FEATURES FROM A COMPLEX SYSTEMS PERSPECTIVE. ....	25
FIGURE 3. AN ENERGETICS PERSPECTIVE OF FIRE ECOLOGICAL DISTURBANCES AND LANDSCAPE DYNAMICS. ADAPTED BY THE AUTHOR FROM MCKENZIE ET AL., 2011. ....	30
FIGURE 4. GENERATIONS OF WILDFIRES AND LANDSCAPE DYNAMICS AS COMPLEX ADAPTIVE SYSTEMS (CAS). POWER LAWS CORRESPONDS TO THE STATISTICAL SIGNATURE WHERE CRITICALITY AND LARGE PERCOLATION PHENOMENA MAY OCCUR IN A SYSTEM.....	31
FIGURE 5. THE PYRAMID OF MASLOW ADAPTED TO TRADITIONAL EMERGENCY MANAGEMENT ORGANIZATIONS RESPONDING TO NON-COMPLEX SCENARIOS. SAFETY, METRICS, PREDICTABILITY, AND SUCCESS DEPEND ON THE CAPACITY OF MANEUVER. ....	39
FIGURE 6. THE PYRAMID OF MASLOW ADAPTED TO EMERGENCY MANAGEMENT ORGANIZATIONS RESPONDING TO COMPLEX SCENARIOS. SAFETY, METRICS OF CONTROL AND PREDICTABILITY MAINLY DEPEND ON TACTICAL AND ORGANIZATIONAL CAPACITIES. BASIC NEEDS ARE LINKED TO RESILIENCE, WITH SYSTEMIC POSITIVE SYNERGIES AS ADDED VALUES. ....	41
FIGURE 7. ANNUAL NUMBER OF FIRES AND ANNUAL BURNED AREA FROM 1986 TO 2015 IN CATALONIA. ....	69
FIGURE 8. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET “ALLCAT15_19862000”. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	73
FIGURE 9. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT15_ 20012015. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	73
FIGURE 10. PROBABILITY FSD RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET “ALLCAT5”, ACCORDING TO THE 6 SPECIFIC SUBSETS SHOWN IN TABLE 3. ....	74
FIGURE 11. SIZE CLASS ANALYSIS INCLUDING BURNED AREA AND NUMBER OF FIRES FOR THE SET “ALLCAT15”, ACCORDING TO TABLE 3. ....	75
FIGURE 12. GINI INDEX (%) AND AREA BURNED (HA) FOR EACH YEAR OF THE PERIOD 1986-2015 (ALLCAT1’s). THE GREEN DASHED LINE IS THE LINEAL TREND OF THE GINI INDEX VALUES ALONG THE PERIOD. ....	76
FIGURE 13. HFR ZONES OF CATALONIA WITH THE ALPHA VALUES. ....	81
FIGURE 14. PYRO-CLIMATIC REGIONS OF CATALONIA WITH THEIR POWER LAW RESPECTIVE ALFA COEFFICIENT, PERIOD 1986-2015.....	87
FIGURE 15. MAP OF CATALONIA WITH THE HOMOGENEOUS FIRE REGIME DIVISIONS (HFR). THE COLORED HFR ZONES ARE THE ONES CONSIDERED IN OUR ANALYSIS AS THE PYRENEES REGION. ....	90
FIGURE 16. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET “PYR30” (PERIOD 1986-2015). RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	95
FIGURE 17. SIZE CLASS ANALYSIS IN THE SET “PYR30” (PERIOD 1986-2015). RED LINE REPRESENTS NUMBER OF FIRES AND COLUMNS THE BURNT AREA FOR EACH SIZE CLASS. ....	95
FIGURE 18. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET “PYR15_19862000”. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	96
FIGURE 19. SIZE CLASS ANALYSIS IN THE SET “PYR15_19862000”. RED LINE REPRESENTS THE NUMBER OF FIRES AND COLUMNS THE BURNT AREA FOR EACH SIZE CLASS. ....	96
FIGURE 20. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET “PYR15_20012015”. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	97
FIGURE 21. SIZE CLASS ANALYSIS IN THE SET “PYR15_20012015”. RED LINE REPRESENTS THE NUMBER OF FIRES AND COLUMNS THE BURNT AREA FOR EACH SIZE CLASS. ....	97
FIGURE 22. FIRE SEASONALITY FOR THE PYRENEES REGION DURING THE 1986-2015 PERIOD (SET PYR30). ....	100
FIGURE 23. PARETO DISTRIBUTION WITH THE AREA BURNED BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET PYR30). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	101
FIGURE 24. PARETO DISTRIBUTION WITH THE NUMBER OF FIRES BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET PYR30). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY.....	101
FIGURE 25. MOUNTAIN MASSIFS IN EUROPE. SOURCE: EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA).....	116
FIGURE 26. THE PYRO-SUSTAINABILITY FRAMEWORK PROPOSED FOR THE SOCIOECOLOGICAL SYSTEM OF THE ARAN. ....	122
FIGURE 27. MAP OF THE ARAN VALLEY, WITHIN A PYRENEES MASSIF PERSPECTIVE.....	128
FIGURE 28. ANNUAL BURNED AREA BY YEARS FROM 1990 TO 2017 IN FUNCTION OF MEAN TEMPERATURE (JANUARY-MARCH) IN THE ARAN VALLEY. VERTICAL LINE SHOWS THE BOUNDARY BETWEEN SEVER (RED) AND NON-SEVER (BLACK) YEARS. ....	131

FIGURE 29. PRACTICAL PATHWAYS TO MULTIFUNCTIONAL LANDSCAPE MANAGEMENT WITH PRESCRIBED BURNINGS AND WILDLAND FIRE USE IN THE ARAN VALLEY. LEFT COLUMN SHOWS THE CURRENT POLICY IMPLEMENTED IN CATALONIA RELATED TO THE PRESCRIBED BURNING PROGRAM. RIGHT COLUMN SHOWS THE NEW DEAL RELATED TO THE POSITIVE SELECTION OF FIRE BY MEANS OF EMERGENCY RESPONDERS AND PRE-PLANNED SECTORS. ....	143
FIGURE 30. DECISION TREE RELATED TO DECISION MAKING DURING A WILDFIRE EMERGENCY. THE RIGHT COLUMN REPRESENTS THE NEW FIRE DEAL WHERE WILDLAND FIRE USE CAN BE DEPLOYED. ....	145
FIGURE 31. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET "ALLCAT30" (PERIOD 1986-2015). RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	168
FIGURE 32. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT10_19861995. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	168
FIGURE 33. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT10_20062015. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	169
FIGURE 34. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_1986. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	169
FIGURE 35. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_1993. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	170
FIGURE 36. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_1994. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	170
FIGURE 37. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_1996. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	171
FIGURE 38. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_1998. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	171
FIGURE 39. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_2002. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	172
FIGURE 40. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_2003. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	172
FIGURE 41. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_2009. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	173
FIGURE 42. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_2011. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	173
FIGURE 43. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_2012. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	174
FIGURE 44. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET ALLCAT1_2015. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	174
FIGURE 45. MAP OF HOMOGENEOUS FIRE REGIME ZONES OF CATALONIA. SOURCE: ADAPTED FROM PIQUÉ ET AL. 2011.	176
FIGURE 46. CLIMATE DIVISION OF CATALONIA BY CRITERIA OF THERMO-PRECIPITATION. SOURCE: METEOROLOGICAL SERVICE OF CATALONIA. ....	180
FIGURE 47. SIMPLIFIED CLIMATIC DIVISION MAP OVERLAID WITH THE MAP OF FHR ZONES. ....	182
FIGURE 48. MAP OF PYRO-CLIMATIC REGIONS OF CATALONIA. ....	183
FIGURE 49. OCCIDENTAL PYRENEES REGION WITH THE HFR ZONES INCLUDED (BROWN COLORED). ....	185
FIGURE 50. ORIENTAL PYRENEES REGION WITH THE HFR ZONES INCLUDED (GREEN COLORED). ....	186
FIGURE 51. MAP WITH ALPHA VALUES FOR BOTH OCCIDENTAL AND ORIENTAL PYRENEES DURING THE PERIOD OF 1986-2015. ....	187
FIGURE 52. MAPS WITH ALPHA VALUES FOR SUBSETS POC15 AND POR15 DURING THE PERIOD OF 1986-2000 (LEFT) AND 2001-2015 (RIGHT). ....	188
FIGURE 53. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET "POC30". RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	189
FIGURE 54. SIZE CLASS ANALYSIS IN THE SET "POC30". RED LINE REPRESENTS THE NUMBER OF FIRES AND COLUMNS THE BURNT AREA FOR EACH SIZE CLASS. ....	189
FIGURE 55. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET "POC15_19862000". RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	190
FIGURE 56. SIZE CLASS ANALYSIS IN THE SET "POC15_19862000". RED LINE REPRESENTS THE NUMBER OF FIRES AND COLUMNS THE BURNT AREA FOR EACH SIZE CLASS. ....	190
FIGURE 57. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET "POC15_20012015". RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	191
FIGURE 58. SIZE CLASS ANALYSIS IN THE SET "POC15_20012015". RED LINE REPRESENTS THE NUMBER OF FIRES AND COLUMNS THE BURNT AREA FOR EACH SIZE CLASS. ....	191

FIGURE 59. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET “POR30”. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	192
FIGURE 60. SIZE CLASS ANALYSIS IN THE SET “POR30”. RED LINE REPRESENTS THE NUMBER OF FIRES AND COLUMNS THE BURNT AREA FOR EACH SIZE CLASS. ....	192
FIGURE 61. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET “POR15_19862000”. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	193
FIGURE 62. SIZE CLASS ANALYSIS IN THE SET “POR15_19862000”. RED LINE REPRESENTS THE NUMBER OF FIRES AND COLUMNS THE BURNT AREA FOR EACH SIZE CLASS. ....	193
FIGURE 63. FSD PLOT RELATED TO THE EMPIRICAL DATA CONTAINED IN THE SET “POR15_20012015”. RED LINE REPRESENTS THE HYPOTHETICAL POWER LAW AND BLACK DOTS THE EXISTING EMPIRICAL DATA. ....	194
FIGURE 64. SIZE CLASS ANALYSIS IN THE SET “POR15_20012015”. RED LINE REPRESENTS THE NUMBER OF FIRES AND COLUMNS THE BURNT AREA FOR EACH SIZE CLASS. ....	194
FIGURE 65. FIRE SEASONALITY FOR THE PYRENEES REGION DURING THE 1986-2015 PERIOD (SET PYR30). ....	196
FIGURE 66. PARETO DISTRIBUTION WITH THE AREA BURNED BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET PYR30). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	197
FIGURE 67. PARETO DISTRIBUTION WITH THE NUMBER OF FIRES BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET PYR30). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	197
FIGURE 68. FIRE SEASONALITY FOR THE PYRENEES REGION DURING THE 1986-2000 PERIOD (SET PYR15_19862000). ...	198
FIGURE 69. PARETO DISTRIBUTION WITH THE AREA BURNED BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET PYR15_19862000). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	199
FIGURE 70. PARETO DISTRIBUTION WITH THE NUMBER OF FIRES BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET PYR15_19862000). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	199
FIGURE 71. FIRE SEASONALITY FOR THE PYRENEES REGION DURING THE 2001-2015 PERIOD (SET PYR15_20012015). ...	200
FIGURE 72. PARETO DISTRIBUTION WITH THE AREA BURNED BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET PYR15_20012015). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	201
FIGURE 73. PARETO DISTRIBUTION WITH THE NUMBER OF FIRES BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET PYR15_20012015). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	201
FIGURE 74. FIRE SEASONALITY FOR THE OCCIDENTAL PYRENEES REGION DURING THE 1986-2015 PERIOD (SET POC30). .	202
FIGURE 75. PARETO DISTRIBUTION WITH THE AREA BURNED BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POC30). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	203
FIGURE 76. PARETO DISTRIBUTION WITH THE NUMBER OF FIRES BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POC30). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	203
FIGURE 77. FIRE SEASONALITY FOR THE OCCIDENTAL PYRENEES REGION DURING THE 1986-2000 PERIOD (SET POC15_19862000). ....	204
FIGURE 78. PARETO DISTRIBUTION WITH THE AREA BURNED BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POC15_19862000). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	205
FIGURE 79. PARETO DISTRIBUTION WITH THE NUMBER OF FIRES BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POC15_19862000). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	205
FIGURE 80. FIRE SEASONALITY FOR THE OCCIDENTAL PYRENEES REGION DURING THE 2001-2015 PERIOD (SET POC15_20012015). ....	206
FIGURE 81. PARETO DISTRIBUTION WITH THE AREA BURNED BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POC15_20012015). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	207
FIGURE 82. PARETO DISTRIBUTION WITH THE NUMBER OF FIRES BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POC15_20012015). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	207
FIGURE 83. FIRE SEASONALITY FOR THE ORIENTAL PYRENEES REGION DURING THE 1986-2015 PERIOD (SET POR30). ....	208

FIGURE 84. PARETO DISTRIBUTION WITH THE AREA BURNED BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POr30). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	209
FIGURE 85. PARETO DISTRIBUTION WITH THE NUMBER OF FIRES BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POr30). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY.....	209
FIGURE 86. FIRE SEASONALITY FOR THE ORIENTAL PYRENEES REGION DURING THE 1986-2000 PERIOD (SET POr15_19862000). ....	210
FIGURE 87. PARETO DISTRIBUTION WITH THE AREA BURNED BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POr15_19862000). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY .....	211
FIGURE 88. PARETO DISTRIBUTION WITH THE NUMBER OF FIRES BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POr15_19862000). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	211
FIGURE 89. ....	212
FIGURE 90. PARETO DISTRIBUTION WITH THE AREA BURNED BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POr15_20012015). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	213
FIGURE 91. PARETO DISTRIBUTION WITH THE NUMBER OF FIRES BY MONTHS, TOGETHER WITH THE RESPECTIVE PERCENTAGES AND PARETO LINE (SET POr15_20012015). GREEN AND LIGHT BROWN COLUMNS CORRESPOND WITH SPRING-SUMMER AND AUTUMN-WINTER SEASONS, RESPECTIVELY. ....	213

## LIST OF TABLES

TABLE 1. WILDFIRE EVENTS CLASSIFICATION BASED ON FIRE BEHAVIOR AND CAPACITY OF CONTROL. SOURCE: TEDIM ET AL., 2018. ....	29
TABLE 2. EVOLVING CHANGES IN THE RULES OF ENGAGEMENT WITHIN EMERGENCY MANAGEMENT ORGANIZATIONS (EMOs). ....	42
TABLE 3. FIRE SETS FOR DIFFERENT TIME SUB-PERIODS, FOR ALL CATALONIA. ....	68
TABLE 4. DESCRIPTIVE MEASURES FOR 30 YEARS OF FIRE DATA IN CATALONIA. ....	69
TABLE 5 FSD ANALYSIS FOR DIFFERENT TIME SUBSETS IN CATALONIA FIRE DATA BASE, POWER LAW MODEL VALUES. ....	70
TABLE 6. COMPARING ALTERNATIVE HEAVY TAILED DISTRIBUTIONS FOR DIFFERENT TIME SUBSERIES, IN CATALONIA FIRE DATA BASE. ....	70
TABLE 7. FSD ANALYSIS FOR ANNUAL SUBSERIES OF TIME IN CATALONIA FIRE DATA BASE. POWER LAW MODEL VALUES. ....	71
TABLE 8. COMPARING ALTERNATIVE HEAVY TAILED DISTRIBUTIONS FOR ANNUAL SUBSERIES OF TIME IN CATALONIA FIRE DATA BASE. ....	72
TABLE 9. DESCRIPTIVE MEASURES FOR PYRO-CLIMATIC REGIONS OF CATALONIA (PCR). ....	86
TABLE 10. POWER LAW VALUES FOR EACH PYRO-CLIMATIC REGION OF CATALONIA, PERIOD 1986-2015. ....	86
TABLE 11. COMPARING ALTERNATIVE HEAVY TAILED DISTRIBUTIONS FOR THE PYRO-CLIMATIC REGIONS OF CATALONIA, PERIOD 1986-2015. ....	86
TABLE 12. SET CODES AND MAIN FEATURES FOR THE 3 CATEGORIES ANALYZED IN THE PYRENEES REGION. ....	91
TABLE 13. FIRE SETS FOR DIFFERENT TIME-SPACE SUBPERIODS, PYRENEES REGION. ....	92
TABLE 14. BASIC DESCRIPTIVE MEASURES FOR EACH PYRENEES SET. ....	93
TABLE 15. FSD ANALYSIS FOR DIFFERENT TIME SUBSETS IN THE PYRENEES REGION, POWER LAW MODEL VALUES. ....	94
TABLE 16. COMPARING ALTERNATIVE HEAVY TAILED DISTRIBUTIONS FOR DIFFERENT TIME SUBSETS IN PYRENEES REGION. ....	94
TABLE 17. FIRE SEASONALITY FOR THE PYRENEES REGION DURING THE 1986-2015 PERIOD (SET PYR30). THE VALUES ARE PRESENTED IN ABSOLUTE AND RELATIVE NUMBERS. ....	100
TABLE 18. ACTIONS DEVELOPED WITHIN THE PROJECT OF THE ARAN ELABORATED BY THE AUTHOR. ....	137
TABLE 19. REQUIRED ACTIONS TO TACKLE WITH THE PROJECT OF ARAN. ....	138
TABLE 20. FSD ANALYSES, HFR ZONES OF CATALONIA. PERIOD 1986-2015. HFR ZONES FROM 1 TO 40. "NED" STANDS FOR "NOT ENOUGH DATA" ....	177
TABLE 21. FSD ANALYSES, HFR ZONES OF CATALONIA. PERIOD 1986-2015. HFR ZONES FROM 41 TO 77. ....	178
TABLE 22. CLIMATE DIVISION OF CATALONIA DEFINED BY CRITERIA OF THERMO-PRECIPITATION. SOURCE: METEOROLOGICAL SERVICE OF CATALONIA. ....	180
TABLE 23. SIMPLIFIED PROPOSAL TO REDEFINE THE CLIMATE DIVISION OF CATALONIA. ....	181
TABLE 24. DATA SET CODE PROPOSED FOR EACH PYRO-CLIMATIC REGION. ....	181
TABLE 25. FIRE SEASONALITY FOR THE PYRENEES REGION DURING THE 1986-2015 PERIOD (SET PYR30). THE VALUES ARE PRESENTED IN ABSOLUTE AND RELATIVE NUMBERS. ....	196
TABLE 26. FIRE SEASONALITY FOR THE PYRENEES REGION DURING THE 1986-2000 PERIOD (SET PYR15_19862000). THE VALUES ARE PRESENTED IN ABSOLUTE AND RELATIVE NUMBERS. ....	198
TABLE 27. FIRE SEASONALITY FOR THE PYRENEES REGION DURING THE 2001-2015 PERIOD (SET PYR15_20012015). THE VALUES ARE PRESENTED IN ABSOLUTE AND RELATIVE NUMBERS. ....	200
TABLE 28. FIRE SEASONALITY FOR THE OCCIDENTAL PYRENEES REGION DURING THE 1986-2015 PERIOD (SET POC30). THE VALUES ARE PRESENTED IN ABSOLUTE AND RELATIVE NUMBERS. ....	202
TABLE 29. FIRE SEASONALITY FOR THE OCCIDENTAL PYRENEES REGION DURING THE 1986-2000 PERIOD (SET POC15_19862000). THE VALUES ARE PRESENTED IN ABSOLUTE AND RELATIVE NUMBERS. ....	204
TABLE 30. FIRE SEASONALITY FOR THE OCCIDENTAL PYRENEES REGION DURING THE 2001-2015 PERIOD (SET POC15_20012015). THE VALUES ARE PRESENTED IN ABSOLUTE AND RELATIVE NUMBERS. ....	206
TABLE 31. FIRE SEASONALITY FOR THE ORIENTAL PYRENEES REGION DURING THE 1986-2015 PERIOD (SET POR30). THE VALUES ARE PRESENTED IN ABSOLUTE AND RELATIVE NUMBERS. ....	208
TABLE 32. FIRE SEASONALITY FOR THE ORIENTAL PYRENEES REGION DURING THE 1986-2000 PERIOD (SET POR_19862000) THE VALUES ARE PRESENTED IN ABSOLUTE AND RELATIVE TERMS ....	210
TABLE 33. FIRE SEASONALITY FOR THE ORIENTAL PYRENEES REGION DURING THE 2001-2015 PERIOD (SET POR15_20012015). THE VALUES ARE PRESENTED IN ABSOLUTE AND RELATIVE NUMBERS. ....	212

# APPENDIX B

STRATEGIC MANAGEMENT PLAN, ARAN  
(external document)

MEDFIRE ARAN COMPENDIUM  
(external document)

WEB MAP  
(ArcGIS online platform)

<https://interiorgencat.maps.arcgis.com/home/item.html?id=81b5950377dd4f16ba565eb42a94821c>

# PLA ESTRATÈGIC GESTIÓ SOSTENIBLE RÈGIM DE FOC VAL D'ARAN



Horitzó 2030

CONSELH GENERAU ARAN



## PROMOTOR



## COL·LABORADORS



# EQUIP DE PROJECTE

## CONSELH GENERAU D'ARAN

**Manel Bosch. Direcció estratègica projecte.** Major de Bompièrs d'Aran

**Lluís Rodríguez i Velimellis.** Cap der Airau d'emergències

**Gemma Arjó i Rella.** Enginyera tècnica forestal al Departament Territori, Paisatge e Entorn Naturau. Ingeniera forestal al Conselh Generau d'Aran

EQUIP DE PROJEC

**Josefina Calvo i Asensio.** Tècnica Protecció civil

## SUPORT TÈCNIC (Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya)

**Marc Castellnou i Ribau. Direcció estratègica projecte**

Analista en cap en incendis forestals i Inspector a la Unitat Tècnica GRAF

Enginyer forestal, expert i investigador en incendis forestals i ecologia del foc

**Jordi Oliveres i Solé. Direcció tècnica i redacció de projecte**

Bomber a la unitat GRAF Lleida-Pirineus. Expert en operacions amb foc tènic, cremes prescrites i ecologia del foc. Llicenciat en ciències ambientals, MAS en anàlisi sistemes naturals, MAS en enginyeria energètica, Doctorand en sistemes complexes i sostenibilitat al ISST de la Universitat Politècnica de Catalunya

**Xavi Castellarnau i Solé. Suport àmbit planificació d'emergències i cremes prescrites**

Sots-inspector a la UT GRAF. Enginyer forestal expert en incendis i cremes prescrites

**Asier Larrañaga. Suport àmbit programa de cremes.** Sots-inspector a la UT GRAF

**Jordi Pagès. Suport àmbit sistemes d'informació geogràfica.** Tècnic de projectes a la UT GRAF

**Marta Miralles. Suport àmbit formació i habilitacions professionals.** Sots-inspectora a la UT GRAF

**Ramon Valls. Suport àmbit operacions d'emergències.** Sergent i Cap d'unitat a la unitat GRAF Lleida-Pirineus

## SUPORT CIENTÍFIC

**Andrea Duane i Bernedo. Suport àmbit modelització i redacció de projecte**

Investigadora post-doctoral al CREAM-CTFC

Doctora en ecologia terrestre (línia recerca en incendis, ecologia i canvi global)

**Lluís Brotons i Alabau. Suport àmbit biodiversitat i ecologia del foc**

Investigador al CSIC-CREAM-CTFC. Doctor en ciències biològiques

# INDEX

<b>A. DOCUMENT DE SÍNTESI</b>	<b>5</b>
<b>B. GLOSSARI</b>	<b>8</b>
<b>C. FIGURES I TAULES</b>	<b>15</b>
<b>1. OBJECTIUS I SINOPSI</b>	<b>18</b>
<b>2. CONTEXT GEOGRÀFIC</b>	<b>23</b>
<b>2.1 GENERALITATS</b>	<b>23</b>
2.1.1 GEOGRAFIA FÍSICA	23
2.1.2 POBLACIÓ	25
2.1.3 CLIMATOLOGIA I PATRONS METEOROLÒGICS	28
2.1.4 HIDROLOGIA I ALTIMETRIA	47
2.1.5 BIODIVERSITAT ECOLÒGICA	48
2.1.6 RISCOS NATURALS I CANVI CLIMÀTIC	53
<b>2.2 RÈGIM D'INCENDIS</b>	<b>57</b>
2.2.1 APROXIMACIÓ AL PIRINEU OCCIDENTAL I LA VAL D'ARAN	57
2.2.2. RÈGIM D'INCENDIS	60
<b>3. JUSTIFICACIÓ</b>	<b>78</b>
<b>3.1 SISTEMA SOCIOECOLÒGIC I INCENDIS</b>	<b>78</b>
<b>3.2 MODELITZACIÓ</b>	<b>81</b>
3.2.1 RECOMANACIONS OBSERVATORI PIRINENC CANVI CLIMÀTIC (OPCC)	81
3.2.2 MEDFIRE ARAN	82
<b>3.3 ALTERNATIVES</b>	<b>83</b>
3.3.1 INTRODUCCIÓ	83
3.3.2 DEFINICIÓ D'ALTERNATIVES	85
3.3.3 DAFO	87
<b>4. PROPOSTA ESTRATÈGICA</b>	<b>91</b>
<b>4.1 PIRO-SOSTENIBILITAT</b>	<b>91</b>
<b>4.2 DISSENY ESTRUCTURAL</b>	<b>98</b>
4.2.1 ÀMBIT D'ACTUACIÓ I PERÍODE PLANIFICAT	98
4.2.2 CABAL ECOLÒGIC DE FOC (CEFH I CEFp)	99
4.2.3 SECTORS DE GESTIÓ DE FOCS PRESCRITS (SGIP)	109
4.2.4 SUBZONES HOMOGÈNIES DE RÈGIM (SZHR)	110
4.2.5 MAPA WEB I CAPES WEB	113
4.2.6 TAULES D'ATRIBUTS I CAMPS D'INFORMACIÓ ASSOCIADA	114
4.2.7 QUADRES DE COMANDAMENT (DASHBOARDS)	114
<b>4.3 DINÀMICA</b>	<b>116</b>
4.3.1 VIES D'IMPLEMENTACIÓ	117
4.3.2 SINCRONITZACIÓ AMB LA GESTIÓ DE L'EMERGÈNCIA	118
4.3.3 SEGUIMENT DEL RISC	123
<b>4.4. ADAPTABILITAT</b>	<b>124</b>
4.4.1 REVISIÓ ANUAL	125
4.4.2 PLA DE SEGUIMENT	126

<b>5. FASES I PROCÉS D'IMPLEMENTACIÓ</b>	<b>127</b>
5.1 CONTEXT LEGAL I ADEQUACIÓ DEL MARC LEGISLATIU .....	127
5.2 TRANSFERÈNCIA DE CONEIXEMENT .....	130
5.3 ESCOLA DE FORMACIÓ PROFESSIONAL .....	131
<b>6. APROXIMACIÓ A LA VALORACIÓ DELS IMPACTES CLAU</b>	<b>132</b>
6.1 PREVENCIÓ DE GRANS INCENDIS FORESTALS .....	133
6.2 ORGANITZACIÓ DE GESTIÓ D'EMERGÈNCIES I RESILIÈNCIA EN LA SIMULTANEÏTAT .....	136
6.3 PROTECCIÓ CIVIL .....	138
6.4 BIODIVERSITAT I VEGETACIÓ (AMBIENTS PLANIFICATS) .....	139
6.5 ACTIVITAT CINEGÈTICA .....	149
6.6 RISCOS GEOLÒGICS.....	154
6.7 QUALITAT DE L'AIRE I EMISSIONS DE GASOS D'EFECTE HIVERNACLE (GEH) .....	158
6.8 CONFLICTIVITAT SOCIAL EN RELACIÓ LES CAUSES D'IGNICIÓ.....	161
6.9 COST-BENEFICI ECONÒMIC .....	162
<b>7. REFERÈNCIES</b>	<b>164</b>
<b>8. ANNEX</b>	<b>169</b>
8.1 FITXES SECTORS DE GESTIÓ AMB FOC PRESCRIT .....	169
8.2 RELACIÓ CAPES WEB (ARCGIS ONLINE).....	233
8.3 CHECK LIST CAP D'INTERVENCIÓ EMERGÈNCIES .....	234
8.4 CHECK LIST CAP DE CREMES PRESCRITES.....	234

## A. DOCUMENT DE SÍNTESI

### *Justificació:*

**La política focalitzada en l'extinció d'incendis només posposa allò inevitable.** Els episodis d'incendis extrems viscuts arreu del món demostren la necessitat d'un canvi de paradigma no focalitzat en l'extinció sinó en la gestió del règim d'incendi en el seu conjunt. Les organitzacions d'emergències necessiten fer un canvi des de la supressió (lligat a una situació d'inseguretat davant la incertesa del que vindrà i de les possibles simultaneïtats) a la resiliència (capaç de proveir seguretat, adaptabilitat, auto-gestió, triatge i transversalitat enfront situacions incertes).

**Les particularitats socioeconòmiques de la Val d'Aran i del seu règim d'incendis** (règim d'hivern, cremes escapades, interacció amb neu/gel, etc.) propicien la creació d'un model de gestió basat en la capacitat d'acceptar els incendis dins d'unes condicions pre-planificades.

**La necessitat d'adaptar-se al nou escenari emergent de canvi climàtic** i d'escalada en les generacions d'incendi previst en el transcurs de la primera meitat de segle a la Val d'Aran propicia la creació d'un nou marc conceptual i operatiu.

### *Proposta:*

Aquest projecte proposa una **metodologia pionera per crear un marc de treball transversal i de gran consens** a nivell de comarca en relació a l'ús del foc, socialitzar el risc d'incendis, crear oportunitats que promoguin la resiliència sistèmica, i per apoderar la xarxa d'organitzacions d'emergències vinculada en la gestió i protecció del bé comú de l'Aran.

El pla estratègic per a la gestió del foc al medi natural reconeix l'ecologia del foc, els serveis ecosistèmics (biodiversitat, boscos protectors, etc.) i els costos d'oportunitat sobre el paisatge d'avui a favor del bé comú present i futur.

Amb el pla es pretén buscar una solució tècnica a mida de l'Aran que des de la prioritització del bé comú permeti trobar una conciliació d'interessos entre els diferents actors implicats. La proposta **es basa en els conceptes de "gestió del foc" i de "cabal ecològic de foc"**. La *gestió del foc* és la intervenció destinada al seguiment de l'evolució de l'incendi amb la finalitat de minimitzar les seves conseqüències negatives i/o potenciar-ne les positives, desplegant maniobres d'estabilització i acompanyament del foc fins a ancoratges definitius fins l'extinció final. La *gestió del foc* es fonamenta amb la *pre-planificació de l'emergència*, estratègia que permet consensuar i aprovar prèviament la idea de resolució final d'una emergència.

El *cabal ecològic de foc* (CEF) és una analogia del concepte de cabal ecològic d'aigua, i defineix la quantitat, el moment i la qualitat de foc requerit per aconseguir un patró de petjada de foc que mantingui processos essencials en l'auto-organització i la resiliència de l'ecosistema forestal, i paral·lelament, redueixi la vulnerabilitat al col·lapse del sistema socioecològic.

**El present document compara les implicacions d'aplicar l'alternativa del 'business-as-usual'**, en què l'estratègia es manté similar a anys anteriors però en un context de canvi climàtic, **amb l'alternativa del 'new fire deal'**, en què es proposa una nova estratègia de gestió del foc basada en cremes prescrites i la pre-planificació de l'emergència, també sota condicions de canvi climàtic.

### *Disseny:*

**L'àmbit d'actuació comprèn la totalitat de la Val d'Aran**, acotant els sectors susceptibles de gestió amb foc prescrit, i els sectors on de forma sistemàtica s'aplicaran treballs d'extinció convencionals.

**El període planificat és de 10 anys** a partir de la data que es declari favorable el tràmit tècnic-administratiu pertinent.

**L'objectiu principal** del foc prescrit a la Val d'Aran és **la regeneració de pastures i el control de les poblacions de matollar** per tal d'evitar una homogeneïtzació progressiva del paisatge, amb implicacions severes a mig i llarg termini pel que fa als potencials i comportament de foc dels incendis forestals.

En cas d'incendi, aquest només pot passar a ser un foc gestionable si forma part de la pre-planificació de l'emergència, o en altres termes, si el document de projecte ha estat resolt favorablement per part de l'organisme competent, si les condicions de la finestra d'oportunitat són compatibles amb els criteris fixats en la prescripció, i en general, si la casuística és coherent a l'arbre de decisions proposat al document de projecte.

**El Pla estratègic proposa establir un cabal ecològic de foc (CEF)** que pot arribar a les 400 hectàrees anuals, xifra resultat del procés de modelització del règim d'incendis en context de canvi climàtic. Aquest CEF cal interpretar-lo com un escenari de màxims forçadament garant a nivell de capacitat de contenció; els sectors són significativament grans perquè en el disseny dels eixos de confinament s'han prioritzat els ancoratges i límits naturals. D'aquesta manera els equips de treball tenen major seguretat i major certesa d'escenari en relació a la capacitat de control del foc dins els límits de contenció previstos. A la pràctica i en funció de condicionants ambientals (cota de neu, disponibilitat dels combustibles, etc.) el cabal de foc aplicat ha de pivotar notablement per sota de l'escenari de màxims; **segons resultats de la modelització, un cabal de foc prescrit de l'ordre de les 250 hectàrees anuals està dins del rang òptim per a la gestió sostenible** del règim d'incendis de la Val d'Aran en context canvi climàtic.

**Cada sector de gestió proposat té una fitxa operativa** on es concreta el paràmetre de CEF a través de variables com la capacitat, la potència, el comportament, l'estacionalitat, la recurrència i les finestres marcs d'actuació. També pre-identifica aspectes clau a nivell operatiu com els eixos de confinament, les vulnerabilitats, i els elements a considerar per a la presa de decisions durant la seva implementació.

**La informació relativa al disseny de la proposta es presenta en format text** (al document de projecte), i també en format digital perquè sigui una documentació **dinàmica, adaptable i consultable des de diferents plataformes** tant online com offline.

#### *Implementació i Seguiment:*

**El Pla** desenvolupa la dinàmica de funcionament i **proposa dues vies d'implementació: les cremes prescrites** com a primera casuística, i **la gestió de focs prescrits** (provinent d'una ignició descontrolada) a través de la pre-planificació de l'emergència. Es contemplen equips de crema mixtos, personal d'intervenció, gabinet tècnic, etc., i es concreten aspectes clau com l'arbre de decisions i la sincronització amb el pla d'accions de la intervenció.

**El Pla proposa la creació d'un butlletí de seguiment del risc**, una eina que ha de servir per fer una valoració de l'evolució del risc dinàmica i aplicada, tant per preveure i anticipar-se a episodis de risc excepcional, com per pre-identificar finestres d'oportunitat operatives favorables a la implementació de cremes i/o gestió de focs prescrits.

**A nivell formatiu**, es posa especial atenció en la necessitat de dissenyar i desenvolupar un pla de carrera professional específic. Això passa per desplegar diferents itineraris formatius, facilitar intercanvis entre experts per acumular experiència més ràpidament, i crear habilitacions professionals. La formació implica un ventall ampli de perfils, des dels executius propis als equips de crema, passant pels cap d'intervenció en emergències, fins a altres de perfil tècnic més orientats al món de la gestió del medi natural.

**A nivell social**, es remarca la necessitat d'elaborar un pla de comunicació i difusió específic del pla estratègic, pensat per informar però sobretot per socialitzar el risc i fent participants als actors interpel·lats amb la gestió del medi natural de la Val d'Aran.

*Col·lateralitats:*

El Pla Estratègic comporta una sèrie d'efectes que cal avaluar per a assegurar la viabilitat, acceptació i èxit del Pla.

**El Pla identifica els factors ambientals clau i fa una aproximació a la valoració dels impactes potencials.** La metodologia utilitzada s'ha basat en modelització, coneixement expert i en referències bibliogràfiques. S'han identificat els beneficis potencials, les vulnerabilitats i els aspectes que es poden millorar per a mitigar els efectes negatius.

**Els impactes directes** previstos incideixen en positiu sobre factors ambientals com el risc de grans incendis forestals, la resiliència de l'organització d'emergències davant la simultaneïtat, i la protecció civil.

**Els impactes indirectes** previstos incideixen favorablement sobre factors clau com la biodiversitat. Per altres factors ambientals com la qualitat de l'aire, emissions de gasos d'efecte hivernacle, riscos geològics i cost-benefici econòmic, si bé la incidència es preveu significativament baixa o inapreciable, o bé simplement perquè la valoració es basa en referències bibliogràfiques, s'especifiquen condicionants de prescripció per minimitzar o prevenir possibles efectes adversos

## B. GLOSSARI

L'apartat específic de referències permet aprofundir en algunes de les definicions del glossari així com en altres conceptes que apareixen al document i que a través publicacions científiques i tècniques estan extensament desenvolupades. En el glossari apareixen únicament algunes d'aquestes definicions amb un caràcter obert i orientatiu, amb l'objectiu de garantir que no hi hagi obstacles de base conceptual per la interpretació del document.

### **Alternativa BAU**

BAU respon a l'acrònim Business as usual, i fa referència a l'alternativa estratègica A definida i valorada en el projecte.

### **Alternativa NFD**

NFD respon a l'acrònim New Fire Deal, i fa referència a l'alternativa estratègica B definida i valorada en el projecte.

### **Cabal ecològic de foc (CEF)**

La quantitat i qualitat de cabal de foc requerit per sostenir el bé comú vinculat a un sistema socioecològic concret. Aquesta definició qualitativa per poder ser aplicable al món de la gestió cal que sigui traduïble a accions concretes, per tant ha de tenir **traçabilitat i ser monitoritzable**. El CEF és un concepte que simplifica la realitat però salvaguarda els atributs clau per entendre la complexitat del foc al medi natural i per poder recolzar la presa de decisions. El CEF doncs es basa en variables d'ús habitual i normalitzades en l'anàlisi d'incendis i de cremes prescrites com intensitat, freqüència, estacionalitat, etc. En l'apartat 4 del present document s'entra al detall del concepte CEF proposat de forma genuïna en el projecte de l'Aran, i que ha servit perquè l'exercici de modelització (Medfire Aran) tingui una connotació i nivell de resolució que vagi més enllà de la variable superfície.

### **Canvi climàtic**

Fenomen disruptiu d'abast global sobre el sistema climàtic que es caracteritza per canvis en els patrons meteorològics. Per sistema climàtic entenem la xarxa de relacions complexes entre els subsistemes atmosfera, hidrosfera, biosfera, criosfera i pedosfera. El canvi climàtic actual té com a motor de canvi el fenomen d'escalfament global d'origen antròpic a través principalment de l'increment d'emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. L'actual canvi climàtic s'evidencia amb diferents indicadors, però n'hi ha 3 que són especialment plausibles: (1) un augment de la temperatura mitjana global; (2) increment de la freqüència, intensitat, durada i severitat dels fenòmens meteorològics extrems com per exemple onades de calor i inundacions; (3) la velocitat del canvi en si mateix, que situa el canvi climàtic actual en el subconjunt de canvis climàtics ràpids que s'han donat al llarg dels més de 4.000 milions d'anys d'evolució de la Terra. Aquesta elevada velocitat de canvi, estimada en un ordre de magnitud de dècades, té connotacions molt severes en matèria de taxes d'extinció d'espècies i biodiversitat, i en darrer terme, en la resiliència i capacitat adaptativa dels sistemes socioecològics.

### **Capacitat d'extinció**

Conjunt d'habilitats d'una organització o xarxa d'organitzacions que determinen el nivell de capacitat operativa per estabilitzar, controlar i extingir un incendi forestal. La capacitat d'extinció té un límit físic que en argot d'experts té el seu sostre en el comportament de capçades (categories 4, 5, 6 i 7 o intensitats > 4.000 kW/ml).

### **Combustible forestal**

Conjunt de biomassa forestal, viu i mort, que potencialment pot entrar en joc en un incendi forestal i que queda representada amb diferents agregats d'informació que permeten caracteritzar-los. Entre aquests múltiples paràmetres relatius als combustibles forestals morts, destaquem:

a) **la càrrega de combustible mort**, mesurada en tones de combustible mort per hectàrea. Quant major és la càrrega, major energia en forma de calor és capaç de produir un incendi. Es descriuen i cartografien a partir dels models de combustible que permeten interpretar el comportament de foc segons tipologies d'estructures vegetals.



b) **la continuïtat de combustible**, entesa com la connectivitat espacial dels combustibles forestals. S'utilitza el concepte de continuïtat horitzontal per definir el grau de connectivitat del combustible en l'eix horitzontal de la matriu de paisatge. Quant major és la continuïtat horitzontal, major capacitat de percolació de l'incendi a través de la matriu de paisatge. Determinen els corredors de foc i el potencial de l'incendi mesurat en hectàrees. Per altra banda, s'utilitza el concepte de continuïtat vertical per definir el nivell de connectivitat del combustible en l'eix vertical de l'estructura forestal. Quant major és la continuïtat vertical, major és la capacitat del foc per generar comportament d'antorxeig i/o capçades. Determina la vulnerabilitat a incendis de capçades.

#### **Cost d'oportunitat**

El benefici que es perd quan es tria una alternativa sobre una altra.

#### **Estratègia (el què)**

Idea de resolució escollida entre els diferents escenaris possibles. Ha de ser creïble, viable tàcticament i objectivable (traçabilitat en la seva monitorització). La idea de resolució defineix uns objectius geo-estratègics, un ordre de prioritats en la mateixa idea de resolució i un període operacional durant el qual és vigent. Això redueix la incertesa d'escenari en la gestió de l'incident, proveeix credibilitat per a l'anàlisi tàctica i crea convergència en les múltiples decisions operatives que requereix la resolució de l'emergència.

#### **Finestra de prescripció marc**

Llistat de variables (meteorològiques, de comportament del foc o d'humitat de combustibles) que determina uns valors mínims, màxims i/o desitjables en els dies anteriors i posteriors de la crema de gestió, així com, els condicionants ecològics i biològics de l'execució que a la vegada poden limitar l'època de realització.

#### **Foc tècnic**

Ignició controlada, dirigida i realitzada amb objectius i resultats concrets, en base a unes condicions meteorològiques definides i una anàlisi de comportament d'incendi preestablerta. El foc tècnic s'aplica tant en cremes prescrites com en operacions d'extinció, sempre per part de persones habilitades professionalment per organismes competents en la matèria. Catalunya és pionera en la regulació del foc tècnic (Decret 312/2006), la formació reglada està ofertada des del Institut de Seguretat Pública de Catalunya, i les respectives habilitacions professionals es gestionen des de la pròpia organització del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya amb processos de capaciació interns.

#### **Generacions d'incendis**

Classificació d'incendis forestals en el seu context socioambiental, de comportament de foc, i de capacitat d'extinció i d'impactes. És una classificació que permet explicar i entendre el fenomen incendis forestals i comparar-ne l'impacte per a diferents tipologies d'incendi en relació les diferents aproximacions històriques dels serveis d'emergències. S'han definit sis generacions d'incendi per explicar l'evolució dels incendis forestals des del període de la industrialització. Cada salt endavant en les generacions d'incendis augmenta la vulnerabilitat dels sistemes socioecològics (veure apartat referències).

#### **Homogeneïtzació paisatge**

Procés inhibidor de la resiliència socioecològica que imposa un decaïment en la diversitat d'impactes. Genera patrons de paisatge de baixa diversitat que en clau de propagació d'incendis actuen sovint com a feedbacks positius dels grans incendis (veure apartat referències)

#### **Incendis tipus**

Els incendis tipus són una caracterització dels incendis en funció dels seus patrons de propagació: davant la mateixa topografia i meteorologia el foc propaga de la mateixa manera, canviant només la seva intensitat en funció de la disponibilitat de combustible durant l'episodi concret.

### **Innovació radical**

Segons el Manual d'Oslo (veure apartat referències), la innovació consisteix en la implementació de nous o suficientment millorats productes, serveis, processos o formes d'organització. La innovació genera major productivitat i satisfacció de necessitats dels seus usuaris. Pot consistir en canvis petits que augmenten les prestacions o capacitats (innovació incremental) o en canvis fonamentals (innovació radical). Des d'una perspectiva d'eco-innovació dins el sector de serveis públics, el present projecte implica una millora sistèmica de l'ordre de 10 vegades superior a la situació de referència prèvia. Des d'aquest punt de partida es pot afirmar que l'alternativa new fire deal (NFD) que es valora al projecte implica una innovació radical en relació l'alternativa business as usual (BAU).

### **Maniobra**

Operació o conjunt d'operacions derivades de l'anàlisi tàctic. Cada maniobra va associada a un objectiu tàctic concret, contempla aspectes de seguretat protocolitzats, està dimensionada en base un comportament de foc concret, té una finestra d'actuació espai-temps concreta, està liderada per un responsable de maniobra i requereix d'un briefing previ per posar en comú els punts esmentats.

### **Medfire Aran**

Model dissenyat per a reproduir el règim d'incendis (patrons espacio-temporals de foc) a la Val d'Aran basat en la relació dels incendis amb el clima i el paisatge (ignicions, vegetació, edat de la vegetació i gestió (cremes prescrites i extinció). L'objectiu del model és poder analitzar les interaccions espacials que determinen l'activitat dels incendis sota escenaris climàtics i de gestió canviants.

### **Modelització**

Procés de representació formal de la realitat a partir d'un model teòric de naturalesa matemàtica que mitjançant eines de computació permet fer una experimentació virtual de fenòmens complexos que operen a escales d'espai i temps que s'escapen a la capacitat d'experimentació real. Implica centrar-se en identificar els elements del sistema, les relacions d'interdependència, nivells de jerarquia, i des de la traçabilitat estadística, identificar possibles patrons emergents del sistema objecte d'estudi. És una eina útil i vàlida tant en l'àmbit de la recerca científica com també per recolzar la presa de decisions d'aspectes de naturalesa complexa.

### **Nínxol piro-climàtic**

Posició dins el gradient de productivitat-aridesa on se situa un ecosistema terrestre donades unes condicions climàtiques i ambientals particulars, i que en darrer terme li confereixen un règim d'incendis propi. Els nínxols piro-climàtics modelen de forma única i particular cada règim d'incendis d'un territori, és a dir, podem diferenciar-los determinant-ne la seva estacionalitat, recurrència, intensitat, severitat, signatura estadística de la seva distribució probabilística àrea freqüència, període de rotació, entre altres.

### **OPCC**

Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic (<https://opcc-ctp.org/ca/contenido/presentacio-lopcc>) Iniciativa transfronterera de cooperació territorial de la Comunitat de Treball dels Pirineus (CTP) en matèria de canvi climàtic, iniciada el 2010 sota la presidència de Midi-Pyrénées. Els membres de la CTP, i per tant, de l'OPCC, són els Governos d'Aragó, Nouvelle Aquitaine, Catalunya, Euskadi, Navarra, Occitanie i el Principat d'Andorra. L'Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic té com a objectiu realitzar el seguiment i comprendre el fenomen del canvi climàtic als Pirineus, per ajudar el territori a adaptar-se als seus impactes. La seva visió és la de ser una plataforma de referència sobre el coneixement de l'adaptació al canvi climàtic en ecosistemes de muntanya.

### **PAI (Pla d'Acció en la Intervenció)**

L'eina que permet planificar l'emergència és el Pla d'acció en la intervenció o PAI. Cal entendre el PAI com una eina flexible i adaptable a disposició de les necessitats del comandament de la intervenció per tal de millorar-ne el comandament i control.

El PAI facilita la coordinació entre les persones actuant, i ha de contenir:

- 1) La idea de resolució de l'incident (estratègia).

2) La identificació de les accions prioritàries, els recursos necessaris i l'assignació dels esforços (objectius tàctics)

3) Les línies de relació entre els recursos assignats (estructura organitzativa i canals de comunicació).

El PAI s'elabora per a intervals de temps específics, anomenats períodes operacionals. Un període operacional és l'interval de temps en què està vigent l'estratègia definida en el PAI. Els períodes són determinats pel cap d'intervenció i s'especifiquen en el mateix PAI. Dins d'un mateix període operacional es poden realitzar ajustos tàctics a mesura que la realitat canviï, sense que això impliqui preparar-ne un de nou. Només cal establir un nou PAI quan hi hagi un canvi en l'estratègia plantejada.

El PAI permet:

- Treballar amb una estratègia clara i amb objectius tàctics ben definits.
- Incrementar la seguretat.
- Valorar, sol·licitar i disposar dels recursos adequats.
- Controlar el progrés dels treballs (l'eficàcia); comprovar el compliment i corregir desviacions.
- Mesurar l'eficiència en vers el recursos.

A la majoria d'incidents els períodes operacionals van de 2 a 4 hores, i en incidents de llarga durada, com els incendis forestals, els períodes acostumen a ser de 12h a 24h.

#### **Paradoxa de l'extinció:**

Quan més eficaç és el sistema d'extinció, més intensos són els incendis que superen la capacitat d'extinció, i major severitat genera la petjada de foc al paisatge.

Això s'explica principalment perquè al curt termini l'extinció representa una retroalimentació negativa de la superfície afectada pels incendis, però a mig-llarg termini emergeix un efecte col·lateral que retro-alimenta positivament el combustible forestal. D'aquesta manera, l'extinció sistemàtica de la baixa i mitja intensitat (incendis dins capacitat d'extinció) homogeneïtza progressivament el paisatge i crea condicions favorables pels grans incendis, l'alta intensitat i l'alta severitat (selecció negativa del foc a escala règim i homogeneïtzació a escala paisatge).

#### **Pertorbació de manteniment i/o de fons**

Són aquelles pertorbacions de foc que tenen una magnitud i severitat assimilables per l'ecosistema, que generen canvis en la dinàmica però que no impliquen una bifurcació a un estadi d'auto-organització alternatiu. Impliquen successió secundària. En el cas de l'Aran alguns exemples serien les cremes de pastures i de balegars a l'hivern (pertorbació de manteniment), i com a pertorbacions de fons, el foc de superfície baixa-mitja intensitat dins masses arbrades.

#### **Pertorbació de renovació**

Són aquelles pertorbacions de foc que tenen una magnitud i severitat suficient perquè l'ecosistema evolucioni des d'una successió primària, o en altres casos, pertorbacions que bifurquen l'ecosistema a un nou estadi d'auto-organització alternatiu. Aquestes pertorbacions tenen una traçabilitat estadística en relació al nivell de complexitat de l'ecosistema. En el cas de l'Aran (clima atlàntic) les pertorbacions de renovació són situacions històricament possibles però estadísticament rares, és a dir molt excepcionals comparativament a altres valls del Pirineu amb clima mediterrani d'alta muntanya on el foc de capçades en masses arbrades té una petjada significativa a nivell de règim (Pallars, Alta Ribagorça, Alt Urgell, Cerdanya). Alhora, el foc d'alta intensitat que penetra i consumeix el subsòl també es pot interpretar com pertorbació de renovació en aquells casos extrems de severitat que comporta una successió primària post-foc. Aquesta tipologia d'alta severitat en el sòl, al contrari del comportament de foc de capçades, és més comuna en la història recent del règim d'incendis de l'Aran, i es dona sempre que les condicions del sòl orgànic són de disponibilitat per a la combustió. Cal destacar en aquest sentit la fortalesa que representa el foc prescrit en relació als incendis, ja que permet que a igual superfície cremada aquesta coincideixi en finestres marc on el subsòl no està disponible.

### **Piro-cúmul**

Fenomen meteorològic generat per l'activitat volcànica i per incendis amb comportament extrem (veure apartat referències). Les abreviatures de PyroCu i PyroCb responen a pyrocumululus i pyrocumulonimbus. Aquests fenòmens extrems (columnes de fum que alteren la termodinàmica atmosfèrica a escala continental) arriben a les capes altes de la troposfera i de la baixa estratosfera, i en els casos dels incendis, provoquen el comportament extrem de foc a nivell de superfície. Aquests fenòmens tenen una traçabilitat a diferents nivells de l'atmosfera, durant i després de la seva manifestació. En el cas dels incendis, i en el context de canvi climàtic i de canvis en els nínxols piro-climàtics, la manifestació d'activitat de PyroCu i PyroCb s'està tornant més freqüent, més intensa, i per primera vegada en la geo-història ambiental de l'holocè, s'està manifestant no únicament en ecosistemes boreals (grans càrregues de foc disponibles) sinó de forma global en els diferents grans ecotons del planeta (veure apartat referències).

### **Piro-sostenibilitat**

Marc d'actuació estratègic a base d'accions concretes (tangibles) que promou paisatges de baixa vulnerabilitat socioecològica (amb traçabilitat), on es treballa de forma creativa, transversal i proactiva perquè l'empremta de foc generi fortaleces i oportunitats en benefici del bé comú. Implica un canvi en les regles d'arranjament de la resposta convencional a les perturbacions naturals; l'estratègia ja no s'encapsula per defecte dins una cultura de força, coerció i/o contingència, sinó que emergeix una cultura creativa, d'adaptabilitat i d'inversió que reconeix l'ecologia del foc i els costos d'oportunitat sobre el paisatge d'avui a favor del bé comú present i de futur. Es trenca amb la trampa de l'extinció en la mesura que crea un horitzó més diversificat, amb la gestió de focs prescrits entrant en joc juntament amb l'extinció (selecció positiva del foc), de forma compatible amb una transició progressiva cap a la polítiques de bio-economia circular (l'apartat 4 del present document entra en profunditat al concepte de piro-sostenibilitat aplicat a l'Aran).

### **Pla Estratègic per a la Gestió sostenible règim de foc de l'Aran.**

Document de referència (projecte) per a la implementació d'un programa de cremes prescrites a la Val d'Aran, així com per a la pre-planificació de l'emergència en un context de canvi climàtic, on destaca una pro-activitat pràctica cap a la gestió multifuncional. Els objectius del Pla són:

1. Abordar i gestionar creativament el conflicte actual entre ignicions d'origen antròpic descontrolades i causalitat d'incendis.
2. Abordar i gestionar el conflicte actual entre demanda de cremes i incapacitat d'execució de forma segura i controlable.
3. Proposar un marc de treball transversal i de gran consens a nivell de territori en relació a l'ús del foc.
4. Proposar una estratègia a 10-20 anys a mida de l'Aran que permeti gestionar l'emergència climàtica i adaptar-se proactivament a l'escalada migratòria de generacions d'incendi.
5. Facilitar una metodologia pionera per crear oportunitats que promoguin la resiliència sistèmica, amb la gestió d'aspectes clau com la conservació de la biodiversitat, gestió de pastures per al sector ramader, l'activitat cinegètica, serveis ecosistèmics de muntanya, prevenció del risc de grans esllavissades, entre altres.
6. Proposar una metodologia efectiva per socialitzar el risc d'incendis des de la participació ciutadana durant el procés de disseny del projecte, més enllà de la consulta pública lligada al procés tècnic-administratiu d'aprovació del projecte.
7. Empoderar la xarxa d'organitzacions d'emergències i gestió del bé comú de l'Aran.

### **Pre-planificació estratègica (PPE) de l'emergència**

Equival a la idea de resolució de l'incident en un context espai-temps concret on queden identificades les accions prioritàries de forma proactiva de tal forma que es pugui maximitzar el bé comú en situacions d'emergència. Això permet democratitzar la presa de decisions estratègica a partir de la socialització del risc. En el cas de l'Aran i de la gestió d'incendis en concret entesa com un objectiu estratègic, la pre-planificació de l'emergència permet obrir una finestra d'oportunitat en sectors geogràfics on hi ha un programa de cremes prescrites aprovat en relació a la gestió d'incendis, sempre i quan coincideixin en l'espai i en el conjunt de prescripcions pre-

establertes relatives al cabal de foc (superfície afectada, comportament de foc, estacionalitat, recurrència, finestra marc). Aquesta finestra d'oportunitat permet conciliar interessos en grups d'interès de l'Aran des d'un enfoc de gestió multifuncional del paisatge, reduint la conflictologia entre els diferents agents socials representats al territori, trencant la trampa de l'extinció i fent que en determinades casuístiques la gestió de l'emergència derivi en una acció creativa en relació al bé comú a mig llarg termini.

### **Selecció negativa/positiva del foc**

Servint-nos del concepte de selecció natural dins el marc de l'evolució adaptativa dels sistemes naturals, la selecció negativa del foc fa referència al fet que la paradoxa de l'extinció a llarg termini implica una magnificació de la cua llarga de les distribucions àrea-freqüència dels règims d'incendis, i a l'hora de l'alta severitat. En altres paraules, els dispositius d'extinció són molt eficaços amb incendis que estan dins capacitat d'extinció, incendis de baixa i mitja intensitat, mentre que són ineficaços en incendis d'alta intensitat i comportament extrem de foc, que d'altra banda són els que generen impactes d'alta severitat en termes socioecològics. Per contra, la selecció natural de foc en un paisatge deixa una empremta d'àmplia diversitat d'intensitats i severitats. D'aquesta manera, el foc com a pertorbació actua com una pressió selectiva de forma directa sobre les comunitats vegetals i indirecta en la qualitat d'hàbitats de fauna. Aquesta diversitat de pertorbacions de foc a escala evolutiva ha actuat com un motor de biodiversitat (veure apartat referències).

### **Seqüència operativa genèrica (SOG)**

L'organització seqüencial d'una actuació d'emergències, el resultat de dividir en períodes, etapes i accions clarament identificables que es van succeint fins a la finalització de la resposta d'emergències (referència a nivell de protocols de treball del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya).

### **Socialització del risc**

Procés de participació social que permet democratitzar la presa de decisions estratègica per maximitzar el bé comú. Donada una cartografia de valors d'un sistema socioecològic concret, des de la pre-planificació de l'emergència és possible integrar el retorn del procés participatiu i concretament, aplicar-lo en clau de triatge a l'hora de definir l'ordre de prioritats estratègiques. D'aquesta manera s'aconsegueix que d'una forma proactiva es pugui posar en coneixement de la comunitat afectada els valors en risc i alhora, que l'estratègia dels dispositius d'emergència puguin incorporar la cartografia de valors socioecològics en aquelles incidències on la necessitat d'aplicar un triatge sigui inevitable per no col·lapsar.

### **Tàctica (el com)**

El desplegament dels objectius tàctics, per tant, la distribució dels esforços en el temps i l'espai durant la gestió de l'emergència que ajuda a aconseguir els objectius i les prioritats definides en l'estratègia. Inclou l'organigrama de treball (objectius tàctics, responsables, comunicacions, recursos destinats, aspectes de seguretat, finestres espai-temps d'actuació i maniobres a desplegar en cada sector).

### **Trampa de l'extinció (o trampa de la por, "Fear trap")**

Incrementar els esforços per extingir sistemàticament tots els incendis a mig-llarg termini contribueix a crear càrregues de foc més denses i homogènies en el paisatge forestal. La trampa de l'extinció és l'estrès negatiu que aquesta situació provoca en els dispositius d'emergències encarregats de donar resposta al incident, que coneixedors de la paradoxa de l'extinció, cada cop necessiten més recursos, més tecnologia i més coneixement per poder seguir sent eficaços i proveir seguretat en un context regional d'increment del risc forestal lligat a l'escalada de les generacions d'incendi (major intensitat de foc, més velocitat de propagació, més interfície urbana-forestal i més situacions de simultaneïtat de serveis).

### **Valors ecosistèmics**

Qualitat o conjunt de qualitats d'un ecosistema que des del punt de vista ètic i cultural suposen un imperatiu d'acció. Cada ecosistema s'emmarca així en un sistema de valors diferenciat, amb una jerarquia de valors pròpia i que influencia significativament l'acció social dins aquella comunitat.

### **Valors socials**

Qualitat o conjunt de qualitats d'una societat i que des del punt de vista ètic i cultural suposen un imperatiu d'acció. Cada societat, cultura, s'emmarca així en un sistema de valors diferenciat, amb una jerarquia de valors pròpia i que influeix significativament l'acció social dins aquella comunitat.

### **VUCA**

Acrònim de Volatilitat (Volatility), Incertesa (Uncertainty), Complexitat (Complexity), Adaptabilitat (Adaptability). Més enllà de l'acrònim, VUCA és un conjunt de coneixements al voltant de l'anticipació, l'evolució i la intervenció que permet crear un escenari intel·ligent per a la direcció i lideratge estratègic en escenaris d'alta complexitat. Per a la majoria d'organitzacions contemporànies, VUCA funciona com un codi pràctic de consciència i preparació a nivell de presa de decisions estratègiques, i la seva rellevància respon a la capacitat de les organitzacions per (a) anticipar problemes (b) entendre les conseqüències de problemes i accions (c) entendre la interdependència de les variables (d) preparar-se per reptes i realitats alternatives i (e) interpretar i aprofitar oportunitats (veure apartat referències).

### **Vulnerabilitat socioecològica**

Grau d'inhabilitat d'una comunitat, organització i/o sistema social en general, així com d'un sistema ecològic, per respondre amb resiliència als impactes negatius als quals està potencialment exposada. Els incendis són una dimensió més de la vulnerabilitat socioecològica, que pot expressar-se en múltiples dimensions (biòtiques, abiòtiques, socioeconòmiques i culturals)

### **Zona homogènia de règim de foc (ZHR)**

La ZHR correspon a una part del territori que presenta una homogeneïtat en termes orogràfics, de vegetació, règim local i general de vents, per generar de forma recurrent incendis tipus similars (Castellnou et al, 2009; Piqué et al., 2011a).

## C. FIGURES I TAULES

### C. RELACIÓ DE FIGURES I TAULES

- Figura 1. Mapa europeu massissos de muntanya.
- Figura 2. Mapa ubicació de l'Aran en la Serralada Pirinenca.
- Figura 3. Mapa ubicació Aran - Catalunya.
- Figura 4. Mapa de les Àrees urbanes, rurals, costaneres i de muntanya a Europa.
- Figura 5. Mapa de la Població per massissos de muntanya europeus
- Figura 6. Mapa municipis Val d'Aran.
- Figura 7. Evolució temperatura mitjana anual als Pirineus durant el període 1959-2010.
- Figura 8. Mapa Anomalia temperatures, sèrie 2000-2010.
- Figura 9. Evolució precipitació anual dels Pirineus durant el període 1959-2010.
- Figura 10. Mapa Anomalia precipitació mitjana, sèrie 2001-2010.
- Figura 11. Evolució de la capa de neu el mes d'abril, entre el 1949 i el 2010.
- Figura 12. Mapa Divisió climàtica de Catalunya.
- Figura 13. Climogrames comparats Val d'Aran-Alta Ribagorça, període 1961-1990.
- Figura 14. Climogrames comparats Val d'Aran-Pallars Sobirà, període 1961-1990.
- Figura 15. Climogrames comparats Val d'Aran-Pallars Jussà, període 1961-1990.
- Figura 16. Climogrames comparats Val d'Aran-Alt Urgell, període 1961-1990.
- Figura 17. Rosa dels vents Lac Redon, cicle anual.
- Figura 18. Rosa dels vents Lac Redon, febrer.
- Figura 19. Rosa dels vents Lac Redon, juliol.
- Figura 20. Rosa dels vents Sasseuva, cicle anual.
- Figura 21. Rosa dels vents Sasseuva, febrer.
- Figura 22. Rosa dels vents Sasseuva, juliol.
- Figura 23. Rosa dels vents Vielha, cicle anual.
- Figura 24. Rosa dels vents Vielha, febrer.
- Figura 25. Rosa dels vents Vielha, juliol.
- Figura 26. (a) Evolució de l'anomalia mitjana anual de la temperatura màxima; (b) temperatura mínima; (c) Evolució de l'anomalia mitjana de les precipitacions (projecte CLIMPY).
- Figura 27. Esquerra: distribució de la superfície arbrada comarcal ocupada per les diferents espècies arbrades. Dreta: Nombre de peus (en milers) de les diferents espècies.
- Figura 28. Distribució de les existències per classe diamètrica a la Val d'Aran.
- Figura 29. Imatge Inundacions Bossòst, riu Garona, juny 2013.
- Figura 30. Imatge Eslavissada a la Ribera de Valarties, maig 2018.
- Figura 31. Classificació terreny allaus (ATES) Val d'Aran.
- Figura 32. Àrea del Pirineu occidental caracteritzada.
- Figura 33. Imatge alta severitat en masses de pi roig (A) i pi negre (B).
- Figura 34. Imatge comportament de superfície baixa intensitat en una roureda del Baix Pallars.
- Figura 35. Imatge crema de balegars en alta intensitat, solana Gessa 2017.
- Figura 36. Imatge disponibilitat balegars (*Genista balansae*) en alta muntanya i estació hivernal (Solana de Vielha).
- Figura 37. Distribució incendis i superfície cremada a les comarques de muntanya (1995-2008).
- Figura 38. Nombre i superfície cremada a Catalunya i al Pirineu per mesos de l'any.
- Figura 39. Àrea cremada per patrons propagació i estacionalitat, Pirineu occidental 1970-2015.
- Figura 40. Distribució probabilística àrea-freqüència històrica (punts en negre) i distribució power law teòrica (línia vermella), pel Pirineu occidental durant el període 1986-2000.
- Figura 41. Distribució probabilística àrea-freqüència històrica (punts en negre) i distribució power law teòrica (línia vermella), pel Pirineu occidental durant el període 2001-2015.
- Figura 42. Exemple maniobra amb foc tècnic al coll de Cerbi (2017), per evitar entrada del incendi al bosc d'Isil.
- Figura 43. Distribució probabilística àrea-freqüència històrica (punts en negre) i distribució power law teòrica (línia vermella), per tot el Pirineu català durant el període 1986-2015.
- Figura 44. Comportament de foc de 1a i 2a generació, incloent carreres puntuals de capçades, amb probabilitat baixa de contagi fora de la pròpia conca hidrogràfica (fletxa vermella)

comportament de capçades al contravent, incendi Cabdella 2012, vall subsidiària a la Noguera Pallaresa, Vall Fosca).

Figura 45. Àrea cremada anual per a cada any en funció de la temperatura mitjana al gener-març, Val d'Aran. La línia vertical mostra el llindar que difereix els anys severos (vermells) dels no-severos (negres).

Figura 46. Mapa conceptual generacions d'incendis i vulnerabilitat socioecològica.

Figura 47. Piràmide de Maslow adaptada a la jerarquia de necessitats de les organitzacions d'emergències des de la visió de l'alternativa A.

Figura 48. Piràmide de Maslow adaptada a la jerarquia de necessitats de les organitzacions d'emergències des de la visió de l'alternativa B.

Figura 49. Mapa conceptual de la *piro-sostenibilitat*.

Figura 50. Captura pantalla arcGIS, consulta taula atributs *parcel·la* dins sector Bausen.

Figura 51. Mapa subzones homogènies de règim Val d'Aran.

Figura 52. Superfícies totals (ha) i relatives (%) de les subzones homogènies de règim VA.

Figura 53. Superfícies totals (ha) per sGIP dins la sZHR 01.

Figura 54. Superfícies totals (ha) per sGIP dins la sZHR 02.

Figura 55. Superfícies totals (ha) per sGIP dins la sZHR 03.

Figura 56. Superfícies totals (ha) per sGIP dins la sZHR 04.

Figura 57. Esquema vies compatibles per a la gestió amb foc prescrit Vall d'Aran.

Figura 58. Esquema seqüència operativa general (SOG) en una intervenció.

Figura 59. *Arbre de decisions* per sincronitzar la pre-planificació estratègica amb la planificació de l'emergència.

Figura 60. Informació pre-planificada disponible al PAI.

Figura 61. Ràtio entre àrea en alta intensitat evitada i inversió en cremes prescrites.

Figura 62. Percentatge d'incendis segons diferents mides d'incendi, per a cada escenari. CC= Canvi Climàtic. BAU = Business as usual. NFD = New Fire Deal.

Figura 63. Àrea cremada per mides d'incendi, per a cada escenari. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business as usual. NFD = New Fire Deal.

Figura 64. Mapa de la recurrència d'incendis amb escenari de canvi climàtic, sense gestió (BAU) i amb NFD (CEF de 300 ha/any).

Figura 65. Mapa de la probabilitat de cremar almenys una vegada en alta intensitat amb escenari de canvi climàtic, sense gestió (BAU) i amb NFD (CEF de 300 ha/any). Font: elaboració pròpia MEDFIRE Aran.

Figura 66. Superfície de cada una de les tipologies d'hàbitat classificats com a "Prats i herbassars", segons el Mapa d'hàbitats de Catalunya versió 2, dins àmbit de gestió del present pla.

Figura 67. Mapes de boscos protectors Aran i afectació per incendis.

Figura 68. Àrea total cremada en alta intensitat dels boscos protectors d'allaus per al període 2011-2050.



- Taula 1. Població Val d'Aran 2018.
- Taula 2. Evolució demogràfica Val d'Aran.
- Taula 3. Divisions climàtiques de Catalunya.
- Taula 4. Cobertes del Sòl per municipis a la Val d'Aran.
- Taula 5. Resum per municipis Aran: Existències, Àrea Basal, Espècies principals i Densitats.
- Taula 6. Àrea cremada (hectàrees) segons estacionalitat, Pirineu occidental període 1970-2015.
- Taula 7. Estadística bàsica d'incendis Pirineu occidental, període 1986-2015.
- Taula 8. Nombre incendis i percentatges relatius per mides d'incendi al Pirineu occidental, període 1986-2015.
- Taula 9. Àrea cremada per mides d'incendis i percentatges relatius al Pirineu occidental, període 1986-2015.
- Taula 10. Anàlisi distribucions probabilístiques àrea-freqüència (FSD) Pirineu occidental, període 1986-2015.
- Taula 11. Estadística bàsica d'incendis Aran, període 1990-2017.
- Taula 12. Nombre incendis i percentatges relatius per mides d'incendi, Aran període 1990-2017.
- Taula 13. Àrea cremada per mides d'incendi i percentatge relatiu, Aran període 1990-2017.
- Taula 14. Anàlisi distribucions probabilístiques àrea-freqüència Aran (FSD), període 1990-2017.
- Taula 15. DAFO *alternativa A* Val d'Aran.
- Taula 16. DAFO *alternativa B* Val d'Aran.
- Taula 17. Matriu de certesa / incertesa adaptada a les alternatives estratègiques A i B.
- Taula 18. Valoració qualitativa d'atributs clau segons alternatives.
- Taula 19. Canvi en les regles de joc lligades a l'evolució des organitzacions d'emergències.
- Taula 20. Lògica de les classes de CEF.
- Taula 21. Cabal ecològic de foc històric (CEFh) Val d'Aran, en base període 1990-2017.
- Taula 22. CEF prescrit a 10 anys, primer període (Val d'Aran).
- Taula 23. CEF prescrit a 10 anys, segon període (Val d'Aran).
- Taula 24. Resum general del CEFp a 20 anys.
- Taula 25. Hàbitats potencials de les espècies interès cinegètic, Aran.

# 1. OBJECTIUS I SINOPSI

L'activitat de foc a l'Aran no és un fenomen nou ni anecdòtic, sinó històric. En els darrers temps però, i en un context emergent de canvi climàtic amb repercussions directes i indirectes en tota la serralada pirinenca, s'ha posat de manifest la necessitat d'entendre, gestionar i planificar el rol del foc des d'un punt de vista més holístic, ecològic, integrador i multifuncional.

En matèria d'incendis, **la resiliència del sistema socioecològic de l'Aran en el transcurs dels propers 10-20 anys passa per emprendre polítiques i estratègies adaptatives que redueixin significativament la vulnerabilitat davant el canvi climàtic en general, i de l'escalada migratòria de les generacions d'incendis en particular.**

D'altra banda, aquesta **estratègia adaptativa** en matèria d'incendis cal que estimuli eficaçment la creació de sinèrgies positives des de la *cogestió*, **capacitant la selecció positiva del foc** amb altres aspectes clau del territori com la conservació de la biodiversitat, els serveis ecosistèmics de muntanya, l'activitat del sector primari i terciari, i en darrer terme, **permetent que aquest territori i la seva comunitat segueixin tenint opcions de present i de futur de forma coetània al canvi climàtic en curs.**

El present document és una demanda formal del *Conselh Generau d'Aran* que respon en bona mesura a la necessitat de gestionar l'actual conflicte local entre incendis i ús del foc. En concret, es pretén buscar una solució tècnica a mida de l'Aran que des de la prioritització del bé comú permeti trobar una conciliació d'interessos entre els diferents actors implicats.

Aquest conflicte, prou representatiu de la realitat aranesa de les darreres dues dècades, té una connotació predominantment social, podent afirmar però que avui per avui no hi ha un problema crític a nivell de severitat socioecològica i/o de protecció civil assimilable al de la realitat més típicament mediterrània.

No obstant, el conflicte existeix i es materialitza puntualment en forma d'ignicions descontrolades que acaben sent gestionades com a incendis. Això incrementa la vulnerabilitat de l'organització d'emergències ja que està més exposada a la simultaneïtat de serveis durant els pics del turisme d'hivern. Per altra banda, genera situacions contradictòries com la decisió d'haver de fer extinció d'un incendi que es comporta dins un rang de resultats compatible amb la prescripció de cremes controlades. D'aquesta manera, s'ha anat fent evident la necessitat de canviar el *business as usual* de l'extinció, ja sigui per tenir majors certeses en la capacitat de resposta a les emergències de cara a futur, com també per evitar contradiccions com la d'extingir avui un foc que està dins el rang de resultats previst en la planificació de cremes. Aquest tipus de contradiccions s'han succeït repetides vegades, amb els incendis de Garós 2017 i Arties 2019 com a exemples més recents. En aquest conflicte de base social coexisteixen diferents actors aparentment divergents. Entre aquests actors, destaquen:

- a) el gestor públic, que inclou l'organització que gestiona les emergències i l'organització que investiga les causes d'ignició i els presumptes autors.
- b) el gestor privat, que legítimament té uns interessos particulars o col·lectius específics que li motiven a utilitzar el foc controlat, però que sovint no té capacitat executiva donada la magnitud del repte.
- c) el piròman ocasional, que funciona pel seu propi interès particular de forma totalment irregular, que opera mitjançant ignicions descontrolades que acaben sent gestionades com a incendis.
- d) l'usuari passiu del paisatge, de perfil turístic, que simplement observa els episodis d'incendis i ha d'assumir algunes restriccions durant el procés d'extinció, i pel qual un

incendi comportarà una connotació negativa en la seva percepció del medi natural i del turisme que se'n deriva.

En el cas del gestor privat de l'Aran, l'ús del foc controlat s'ha utilitzat fonamentalment com una eina de gestió de l'hàbitat i més concretament, de manteniment i regeneració de pastures, exercint un control directe sobre les estructures llenyoses, principalment matollars, que dificulten el pasturatge. Per tant, l'ús del foc no respon a cremes de piles o restes, ni tampoc d'artigatge per obrir espais dins de masses arbrades per poder ser posteriorment cultivades. En la història recent de l'Aran i els Pirineus en general les cremes controlades s'han estat realitzant sobre estructures de vegetació d'herbàcies i matollars d'alta muntanya.

Existeixen factors ambientals i socials que han propiciat que progressivament s'hagi anat fent més incert i dificultós l'ús del foc controlat com a eina lligada a la gestió de pastures i/o la gestió d'hàbitat. A tall d'exemple, factors com la probabilitat i el potencial d'escapament, l'envelliment actual dels matollars que crea paisatges amb major càrrega de combustible mort i major continuïtat horitzontal, la magnitud de les superfícies naturalment confinables, el marc legal sinuós, etc. En general, la dificultat s'explica tant per factors biofísics de canvis en el paisatge com sobretot per factors socials associats a la pèrdua progressiva de l'ofici de pastor, al canvi generacional en la manera de gestionar els ramats i pastures, o fins i tot a la ceguesa de foc d'una societat cada cop més urbana que no és capaç de discriminar entre foc i incendis, contradictòriament a com si es fa amb altres vectors de naturalesa socioecològica com l'aigua versus les inundacions, o la neu versus les allaus.

Per altra banda, si al model socioeconòmic actual de l'Aran hi superposem l'efecte del canvi climàtic en curs, s'entra clarament en una dinàmica on l'escalada de generacions d'incendi esdevé un escenari altament probable. En qüestió de dècades l'herbivorisme dirigit ha perdut rellevància, i la petjada ecològica està més lligada al sector turístic que al sector agro-ramader.

Aquest conflicte però també pot generar sinèrgies positives, si bé per explotar aquesta complexitat en positiu cal dissenyar una estratègia territorial diferent a l'actual. Un canvi en aquesta direcció interpel·la ja no només als gestors públics, sinó que requereix de grans consensos com la socialització del risc, i alhora, de tot el coneixement actual disponible tant d'experts com de la comunitat científica (consciència global en matèria d'incendis, canvi climàtic, piro-ecologia, modelització dinàmica del paisatge segons estratègies, etc.).

En termes de reptes pels dispositius d'emergències la situació de l'Aran se situa en un escenari entre la 1a i 2a generació d'incendis, que traduït a comportament de foc es caracteritza per la continuïtat horitzontal del combustible i per la velocitat de propagació. Són comportaments dins capacitat d'extinció, sense oblidar però que l'orografia del Pirineu és un factor limitant rellevant per qualsevol dispositiu d'extinció basat en l'atac directe amb aigua. A l'hora de contenir els incendis, la penetrabilitat del foc al subsòl acaba sent un factor clau que marca la diferència pel que fa al remat i extinció definitiva. Si sobre aquesta singularitat orogràfica hi superposem el context de canvi climàtic actual, la situació de l'Aran passa de l'escenari històric de 1a i 2a generació d'incendis a un de més complex, on el comportament de foc extrem (3a/6a generació d'incendis) en una escala d'anys-dècades entra clarament dins la graella probabilística (basat en opinió d'experts).

El projecte del *Pla Estratègic 2010-2020 per a la gestió sostenible del règim de foc de l'Aran* té els següents **OBJECTIUS**:

1. Abordar i gestionar creativament el conflicte actual entre ignicions d'origen antròpic descontrolades i causalitat d'incendis.
2. Abordar i gestionar el conflicte actual entre demanda de cremes i incapacitat d'execució de forma segura i controlable.
3. Proposar un **marc de treball transversal i de gran consens** a nivell de territori **en relació a l'ús del foc**.
4. Proposar una **estratègia a 10-20 anys** a mida de l'Aran **que permeti gestionar l'emergència climàtica i adaptar-se proactivament a l'escalada migratòria de generacions d'incendi**.
5. Facilitar una metodologia pionera per **crear oportunitats que promoguin la resiliència sistèmica**, amb la gestió d'aspectes clau com la conservació de la biodiversitat, gestió de pastures per al sector ramader, l'activitat cinegètica, serveis ecosistèmics de muntanya, prevenció del risc de grans esllavissades, entre altres.
6. Proposar una metodologia efectiva per **socialitzar el risc d'incendis** des de la participació ciutadana durant el procés de disseny del projecte, més enllà de la consulta pública lligada al procés tècnic-administratiu d'aprovació del projecte.
7. **Empoderar la xarxa d'organitzacions d'emergències i gestió del bé comú** de l'Aran

Es vol recordar la importància del punt de partida d'aquest projecte i sense el qual l'objectiu que persegueix no seria ni creïble ni viable:

- a) Experiència acumulada en el disseny i implementació de cremes prescrites (1999-2020), liderada pel grup d'especialistes GRAF del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya.
- b) Experiència formativa nacional i internacional en equips d'intervenció d'emergències així com de gestors d'espais naturals, per a la implementació de cremes prescrites. Això és possible en gran mesura gràcies a la comunió entre el Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya, la Fundació Pau Costa i l'Institut de Seguretat Pública de Catalunya (ISPC).
- c) Experiència acumulada en operacions d'extinció amb foc tècnic (2000-2020), liderada pel grup d'especialistes GRAF del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya.
- d) Experiència acumulada com organització de gestió d'emergències en situacions fora de capacitat d'extinció i/o de simultaneïtat de serveis, on des de la visió estratègica es respon eficaçment evitant el col·lapse (La Jonquera 2012, Òdena 2015, Ribera d'Ebre 2019). Aquesta capacitat de resiliència és una aspiració sistèmica a l'organització del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya, ja que ateny diferents estrats de presa de decisions (estratègica i tàctica) així com d'habilitat executiva (operacions complexes amb ús de foc tècnic).

Aquesta experiència ha permès créixer al Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya des de la conciliació d'interessos i buscant de manera transversal una planificació que integri la prevenció dels grans incendis forestal. Això implica tenir desenvolupats diferents nivells formatius que van des d'aspectes tècnics d'elaboració de plans de crema, coneixements pràctics d'ecologia del foc, passant per cadascuna de les competències necessàries per desenvolupar de forma segura els diferents rols implícits tant en operacions d'emergències com dels equips de crema convencionals. Aquesta experiència ha estat compartida a escala europea, no només a efectes de gestió del risc incendis sinó com a resposta a un interès creixent i transversal estretament vinculat a la gestió del medi natural; millora i conservació d'hàbitats de fauna concrets, promoció de la

biodiversitat en boscos madurs i/o matius de paisatge altament homogènies, eliminació controlada in situ de restes de treballs silvícoles, gestió de recursos cinegètics, entre altres.

### **SINOPSI**

El present projecte és el document de referència del pla estratègic i respon a la necessitat de plasmar i concretar l'estratègia abans de passar a una fase posterior d'implementació. En primera instància el document de referència respon a un requisit vinculat a la tramitació tècnica-administrativa. Paral·lelament, el document de referència ha de servir per facilitar la socialització del risc mitjançant la participació ciutadana en el disseny final del projecte, al marge de la consulta pública requerida durant el procés de legalització del mateix.

L'apartat 2 recull una contextualització biofísica i social on s'introdueixen aspectes ambientals generals, i posteriorment, una descripció detallada del règim d'incendis de l'Aran. La contextualització del règim de foc es fa en dues escales d'anàlisi, la *zona homogènia* de l'Aran i un agregat de *zones homogènies de règim* que s'ha denominat Pirineu occidental.

L'apartat 3 fa un esforç de síntesi per situar-se en la complexitat inherent als règims d'incendis. Aspectes com l'abandonament rural, la capacitat d'extinció, el canvi climàtic, la severitat, entre altres, queden entrelligats en relacions directes i indirectes. Aquest esforç de síntesi queda il·lustrat amb el mapa conceptual de generacions d'incendi i vulnerabilitat socioecològica (figura 3.1). Es justifica l'ús de la *modelització* com a eina científica i es presenta un model a mida que s'ha realitzat en col·laboració amb la comunitat científica amb l'objectiu de recolzar la valoració experta implícita a les alternatives del projecte. L'arquitectura del model i els resultats més significatius estan recollits a l'annex.

L'apartat 3 tanca amb la definició de les 2 alternatives estratègiques plantejades, i es presenta un anàlisi de les debilitats, amenaces, febleses i oportunitats associades a cadascuna (DAFO).

L'apartat 4 és la part nuclear del projecte. Primerament es proposa un nou marc mental i de treball, la piro-sostenibilitat, i posteriorment es concreta el disseny estructural de l'alternativa estratègica així com la dinàmica de funcionament. Finalment, es defineix com atribuir capacitat adaptativa dins d'aquesta finestra de planificació de 10-20 anys.

L'apartat 5 explica les fases requerides per a completar el procés d'implementació amb certesa. Es fa un èmfasi especial en la necessitat d'impulsar la transferència de coneixement entre experts així com de promoure habilitacions professionals en els diferents rols vinculats a les cremes prescrites, d'anàlisi del risc, d'ecologia del foc, de foc tècnic, de comandament en la intervenció, entre altres.

El projecte també té en compte aspectes col·laterals relacionats amb la implementació d'un pla estratègic d'aquestes característiques. L'apartat 6 exposa els efectes clau en relació a les dues alternatives estratègiques plantejades.

L'annex conté un gruix d'informació excessiu per anar dins el document principal però que sí és rellevant a mode de consulta. De l'annex cal destacar-ne les fitxes de cada *sector de gestió amb foc prescrit*, un paquet d'informació pensat per facilitar la presa de decisions operativa relativa a la via d'implementació de foc prescrit des de la gestió d'incendis i la pre-planificació de l'emergència.

## 1. Objectius i sinopsi

Per últim, el projecte té vida pròpia en format digital i online a través de la plataforma de treball de l'Arcgis online. Aquest format permet gestionar la informació de forma dinàmica, fent consultes, modificant dades, etc. En definitiva, la seva finalitat última és aportar una eina de suport a la gestió del projecte aprofitant les avantatges dels sistemes d'informació geogràfica. Els usuaris d'aquesta plataforma de treball seran els gestors responsables d'implementar el pla estratègic.

## 2. CONTEXT GEOGRÀFIC

Es comença amb una breu descripció dels aspectes biofísics i socials representatius de l'Aran, a tall merament de situar-nos en el context geogràfic (apartat 2.1). No s'entra a fons en la matèria perquè s'escapa clarament de l'objectiu del document.

A continuació es fa una caracterització de la singularitat del règim de foc dels Pirineus, incloent una descripció més detallada a l'escala de la Val d'Aran (apartat 2.2). Hi queda recollit el registre del passat més recent, així com tipologies d'incendis del present i de futur a escala Pirineus.

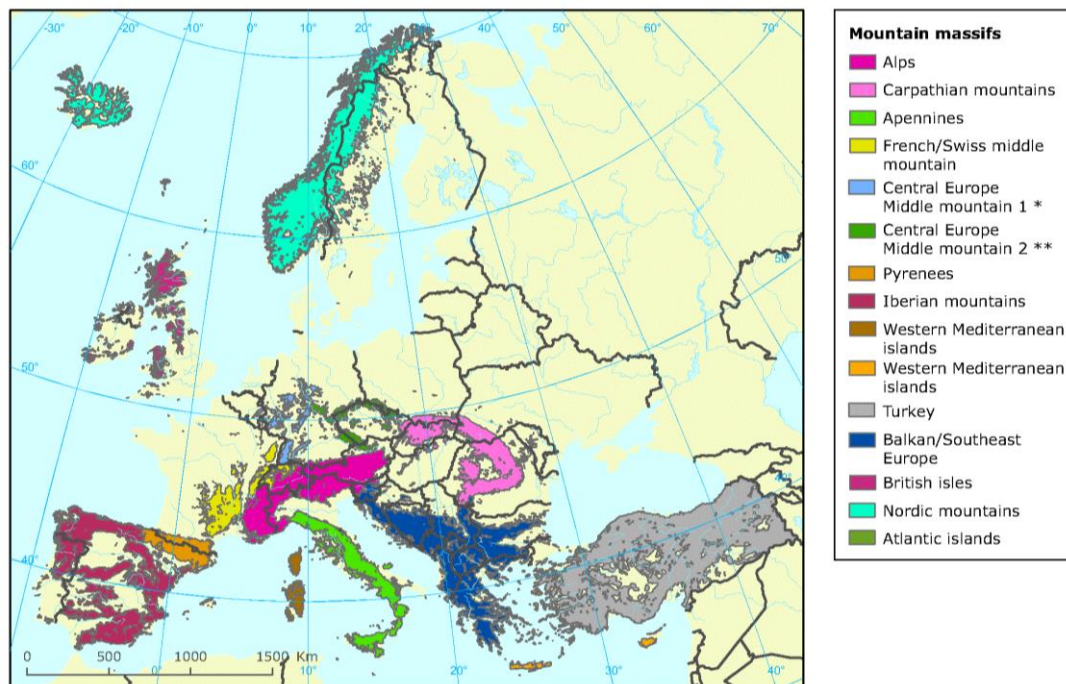
### 2.1 GENERALITATS

#### 2.1.1 Geografia física

A escala continental els Pirineus queden identificats de forma diferencial dins el que s'ha denominat com a massissos de muntanya.

La figura 2.1 il·lustra aquesta singularitat, i la posa en perspectiva a la resta de massissos classificats.

Figura 1. Massissos de muntanya, Europa. Font: European Environmental Agency



Els Pirineus són un conjunt de serres situades al nord de la península ibèrica que recorren tot l'istme que l'uneix a Europa; separa la península ibèrica de la resta del continent europeu, formant una serralada d'aspecte rectilini amb una superfície total d'uns 19000 km<sup>2</sup>, bastant estreta i que s'estén des del Mar Mediterrani a l'est, fins al mar Cantàbric a l'oest; al sud hi tenen la depressió de l'Ebre, i al nord la de la Garona. En el seu conjunt formen una serralada de 450 km de longitud i 150 km d'amplitud, que s'entén del golf de Biscaia fins el cap de Creus.

A Catalunya els Pirineus representen el 27,9% del territori. En la zona axial s'hi localitzen les màximes altituds, Pica d'Estats (3143 m). Totes les muntanyes dels Pirineus axial foren modelades pel glacialisme quaternari. A la zona més elevada aflora el sòcol format per materials paleozoics, en aquest cas granits, gneis i pissarres. A banda i banda dels Pirineus centrals afloren els materials mesozoics i terciaris, majoritàriament calcaris, que donen lloc a les serres del Prepirineu, com la del Montsec d'Ares (1678 m) o la de Sant Gervàs (1887 m). La delimitació occidental és difícil de

## 2. Context geogràfic

fixar amb exactitud perquè els Pirineus es fonen progressivament amb el conjunt de les muntanyes basques entre Àlaba i Biscaia que enllacen a l'oest amb les Muntanyes Cantàbriques, el qual crea un eix pirinenc-cantàbric de 1000 km.

Les valls pirinenques s'orienten típicament de nord a sud, llevat dels extrems marítics i d'alguna vall notable com ara la d'Ordesa, la de la Cerdanya i de l'Aragó. Això explica l'escassa accessibilitat entre les distintes valls (els eixos Jaca - Pamplona, Puigcerdà - la Seu d'Urgell són dues excepcions).

Malgrat la seua unitat com a massís, sovint s'escau dividir la serralada en zones diferenciades segons el context. Segons la vessant; vessant nord o vessant sud del Pirineu. Per territori; el Pirineu català, occità, aragonès i basc. Per alçada; Alt i Baix Pirineu, del Prepirineu (les serres més baixes al voltant del massís mateix), o més arbitràriament del Pirineu oriental; Pirineu central i Pirineu occidental. Finalment es distingeix entre les zones climàtiques del Pirineu atlàntic i el Pirineu mediterrani.

La frontera entre Espanya i França segueix aproximadament la línia dels cims més elevats com a regla, amb la notable excepció precisament de la Val d'Aran, que se situa al vessant septentrional. Una altra "anomalia" és la gran plana de la Cerdanya, que és al vessant meridional però tanmateix està dividida entre els dos estats. Per tal de fixar una amplària aproximada del massís, es pot acceptar que el Prepirineu i peu de muntanya pirinenca es dissolen al sud a les conques de l'Ebre, i al nord en el Garona i l'Aude.



Figura 2. Ubicació Val d'Aran en la Serralada Pirinenca. Font: Viquipèdia

La Val d'Aran és una vall pirinenca que pertany en gran part a la conca fluvial atlàntica. La seva superfície s'estima en 633,6 km<sup>2</sup> (63360 hectàrees) i limita amb les comarques catalanes de l'Alta Ribagorça i el Pallars Sobirà, i amb la comarca aragonesa de la Ribagorça.



## 2. Context geogràfic

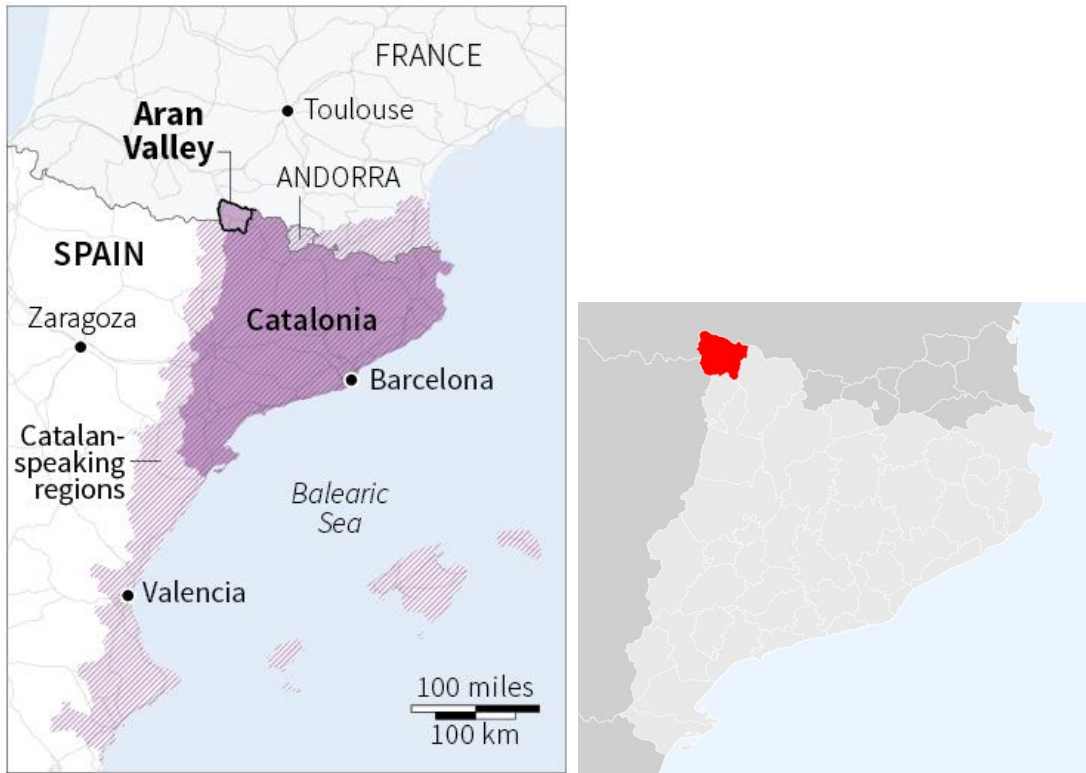


Figura 3. Comarca Val d'Aran, Catalunya. Font: Viquipèdia

### 2.1.2 Població

Els Pirineus constitueixen una àrea clarament rural i de muntanya, segons classificació de l'Agència Europea del Medi Ambient.

## 2. Context geogràfic

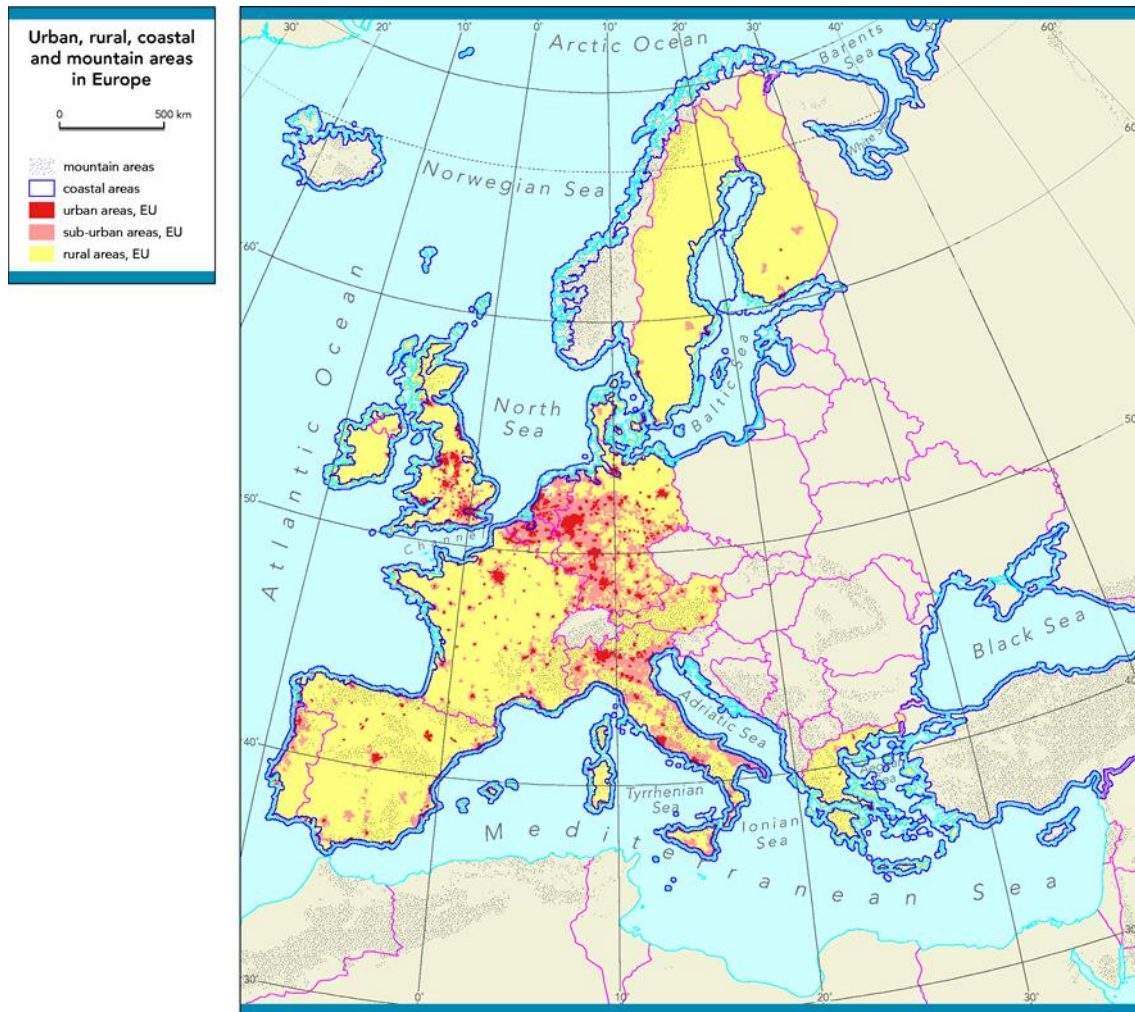


Figura 4. Àrees urbanes, rurals, costaneres i de muntanya a Europa. Font: European Environmental Agency.

Entre les diferents àrees de muntanya d'Europa els Pirineus se situen en la franja baixa de població; per sota els 100.000 habitants per la vessant nord francesa, i per sota els 500.000 habitants en la vessant sud que abraça Catalunya, Aragó, Navarra i País Basc (figura 2.5).

## 2. Context geogràfic

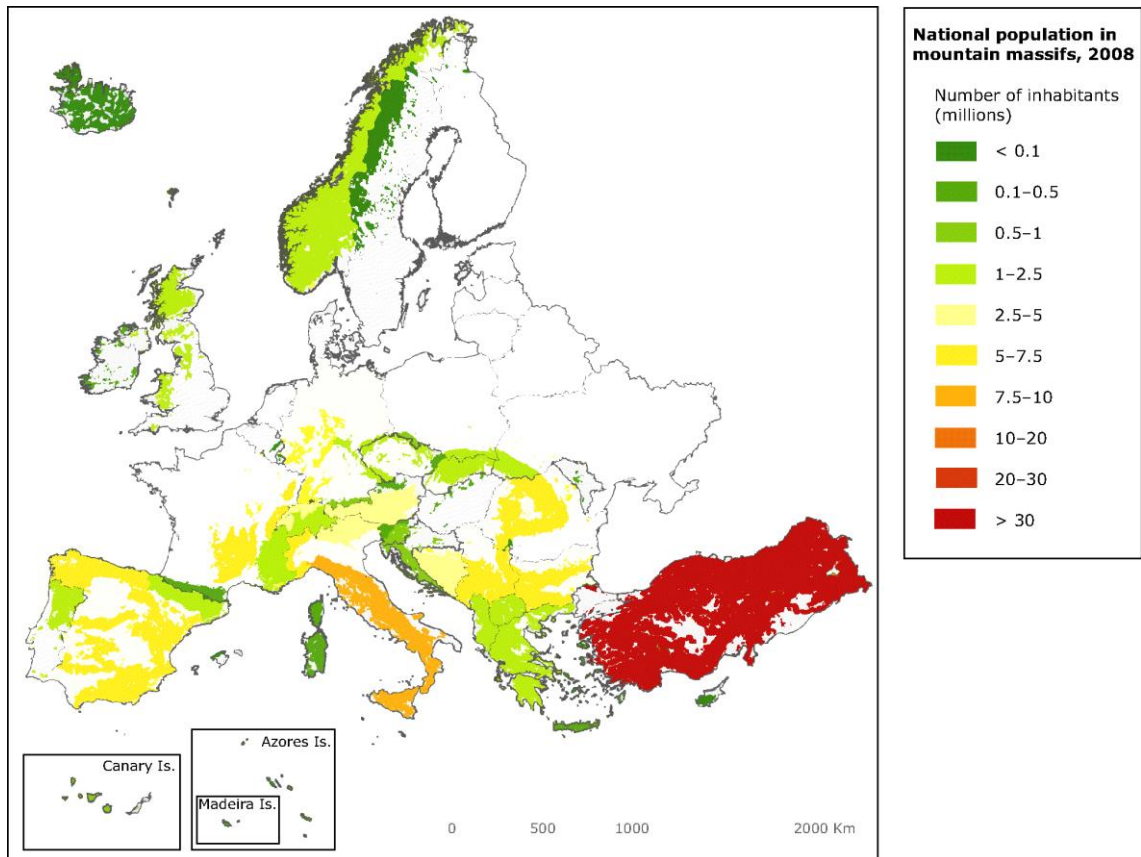


Figura 5. Població nacional per massissos de muntanya europeus. Font: European Environmental Agency, 2008

L'Aran queda administrativament estructurada amb 9 municipis:

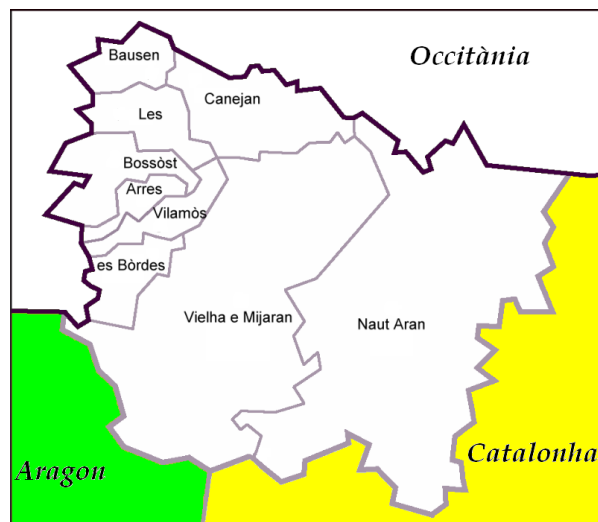


Figura 6. Mapa municipis Aran. Font: Viquipèdia

## 2. Context geogràfic

La població 2018 supera els 10.000 habitants, quedant distribuïda en els diferents municipis tal i com recull la taula següent:

Municipi	Habitants
Vielha e Mijaran	5.454
Naut Aran	1.758
Bossòst	1.179
Les	1.012
Bòrdes	238
Vilamòs	180
Canejan	109
Arres	65
Bausen	61
<b>Total Vall d'Aran</b>	<b>10.056</b>

Taula 1. Població Aran 2018. Font: IDESCAT

1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1992	1994
6.608	6.182	4.681	6.555	6.525	5.055	5.923	6.531	6.553	6.975
1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014
7.130	7.425	7.779	8.087	8.832	9.554	10.194	10.206	10.056	9.993
2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034
9.930	9.983	-	-	-	-	-	-	-	-

Taula 2. Evolució demogràfica Vall d'Aran. Font: IDESCAT

### 2.1.3 Climatologia i patrons meteorològics

Tot seguit es fa una descripció del clima a una escala temporal que cobreix passat, present i futur, i alhora, amb una escala d'espai que va més enllà de l'Aran i que cal situar-la a nivell de Pirineus. Les referències en aquest cas provenen de l'Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic, en endavant OPCC.

L'OPCC és una iniciativa transfronterera de cooperació territorial de la *Comunitat de Treball dels Pirineus* (CTP) que té com a objectiu realitzar el seguiment i comprendre el fenomen del canvi climàtic als Pirineus, i per ajudar el territori a adaptar-se als seus impactes. La seva visió és la de ser una plataforma de referència sobre el coneixement de l'adaptació al canvi climàtic en ecosistemes de muntanya.

En la part de clima present es fa una breu comparativa a partir de climogrames per entendre la singularitat de l'Aran en relació a altres valls limítrofes dels Pirineus.

#### Clima passat, Pirineus:

Per entendre el canvi climàtic actual i posar-lo en un context global és imprescindible conèixer l'evolució del clima en el passat. Les interaccions entre l'atmosfera, la hidrosfera, la criosfera, la pedosfera, la biosfera i la xarxa d'aquests subsistemes interconnectats que determina el clima, operen a una escala de temps més gran que la dels mesuraments instrumentals. No obstant, gràcies a l'estudi de dipòsits glacials, fluvials i lacustres, entre d'altres, s'han reconstruït els principals canvis climàtics als Pirineus del passat més immediat, l'holocè, així com del quaternari (últims 2,6 milions d'anys).

Durant el quaternari la successió de períodes glacials i interglacials ha modelat el paisatge dels Pirineus i ha determinat l'evolució dels seus ecosistemes i, recentment, de les comunitats humanes. Tot i que la successió d'aquests períodes freds i càlids és sincrònica a escala planetària, la màxima

extensió de les glaceres pirinenques va succeir fa 60.000 anys, i no fa 20.000 com a la resta d'Europa, amb lleugeres variacions entre valls. Aquesta peculiaritat és deguda a la posició meridional de les glaceres pirinenques i a la interacció entre els processos atmosfèrics i oceànics de l'Atlàntic Nord i els subtropicals.

Durant l'última desglaciació, els canvis en la temperatura mitjana van ser de fins a 6 °C, amb períodes de canvi climàtic ràpid de més d'1 °C en unes quantes dècades. Durant l'holocè (últims 11.700 anys), els canvis en temperatura van ser menors, però s'han registrat nombroses fases humides/seques. L'últim mil·lenni es va produir una fase particularment seca i càlida (anomalia climàtica medieval, 900 - 1300 CE) que es podria considerar com el període amb més similituds amb l'actual pel que fa al canvi climàtic. A aquest període li va seguir la petita edat de gel, última fase freda (1300 - 1850 CE) abans de l'escalfament global en què vivim.

La variabilitat climàtica durant els últims dos mil anys està controlada principalment per les interaccions entre els processos atmosfèrics (NAO, Oscil·lació de l'Atlàntic Nord i EA, Atlàntic Est, Oscil·lació de l'Atlàntic Oriental i SCAN, Oscil·lació d'Escandinàvia), els canvis en els corrents oceànics, la insolació i el vulcanisme. Aquestes interaccions poden explicar, a més, els gradients regionals i temporals d'humitat i temperatura.

**La taxa d'augment de temperatura durant l'escalfament global del segle XX és superior a la de les transicions glacial/interglacial i als canvis viscuts durant l'holocè.** Dit d'una altra manera, la Terra mai no ha experimentat canvis climàtics tan ràpids com els d'ara.

#### Clima actual, Pirineus:

Entre el 1949 i el 2010 la temperatura mitjana als Pirineus ha experimentat un clar augment, tot i que l'escalfament no ha estat ni constant ni regular. Fins al 1980 han predominat les anomalies negatives, amb una tendència al descens de les temperatures. A partir dels anys 80 aquesta tendència es va invertir, amb anomalies positives sistemàticament ascendents fins a l'actualitat. La tendència de l'indicador d'augment de temperatura mitjana anual per al conjunt del període analitzat és positiva i estadísticament significativa, i el seu valor és de prop de 0,2 °C per dècada (figura ).

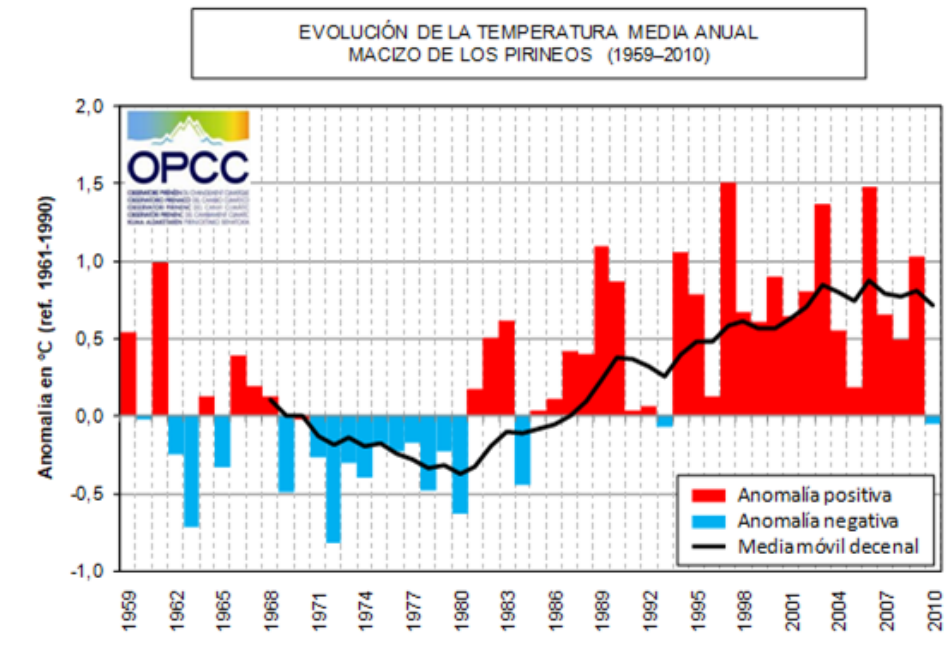


Figura 7.

Evolució de la temperatura mitjana anual al conjunt dels Pirineus durant el període 1959-2010. Es mostra l'anomalia anual respecte al valor mitjà del període de referència 1961-1990 (en vermell, positiva; en blau, negativa) i l'evolució de la mitjana mòbil per a un període de deu anys (línia negra).  
Font: Projecte OPCC1.

## 2. Context geogràfic

Aquest augment de la temperatura durant els 50 darrers anys (1949-2010) ha estat general a tota la serralada pirinenca, amb poques diferències entre el vessant nord i el vessant sud, i més marcat durant l'estació estival (juny, juliol i agost).

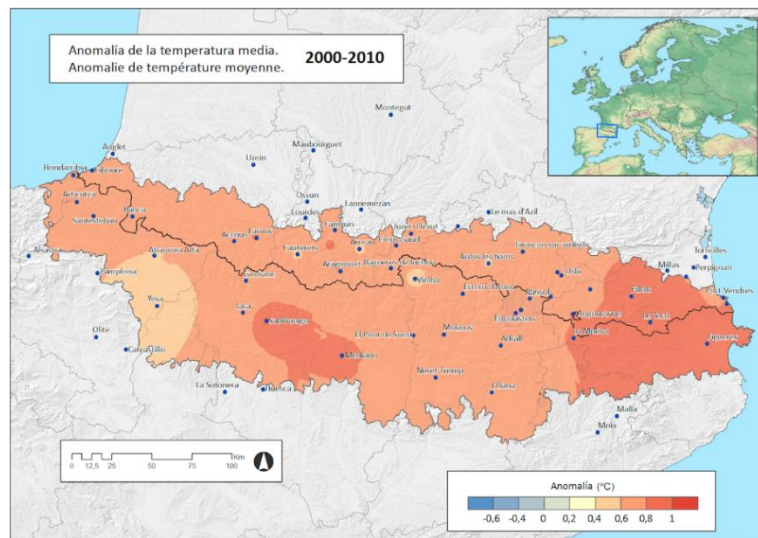


Figura 8. Anomalia de temperatures, sèrie 2000-2010. Font: OPPC

Pel que fa les precipitacions, s'observa un predomini cap al descens dels volums anuals, sobretot atès el descens durant hivern i estiu. L'indicador climàtic per a la precipitació mostra una tendència a la disminució de les precipitacions de prop del 2,5 % per dècada durant els 50 darrers anys (segons dades de 1949-2010).

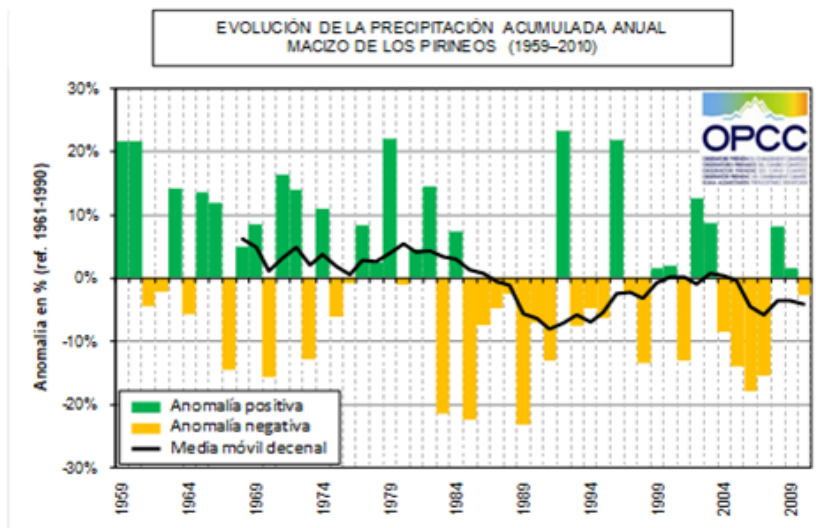


Figura 9. Evolució de la precipitació anual al conjunt dels Pirineus

durant el període 1959-2010. Es mostra l'anomalia anual respecte al valor mitjà del període de referència 1961-1990 (en verd si és positiva, en groc si és negativa) i l'evolució de la mitjana mòbil per a un període de deu anys (línia negra). Font: Projecte OPCC1.

## 2. Context geogràfic

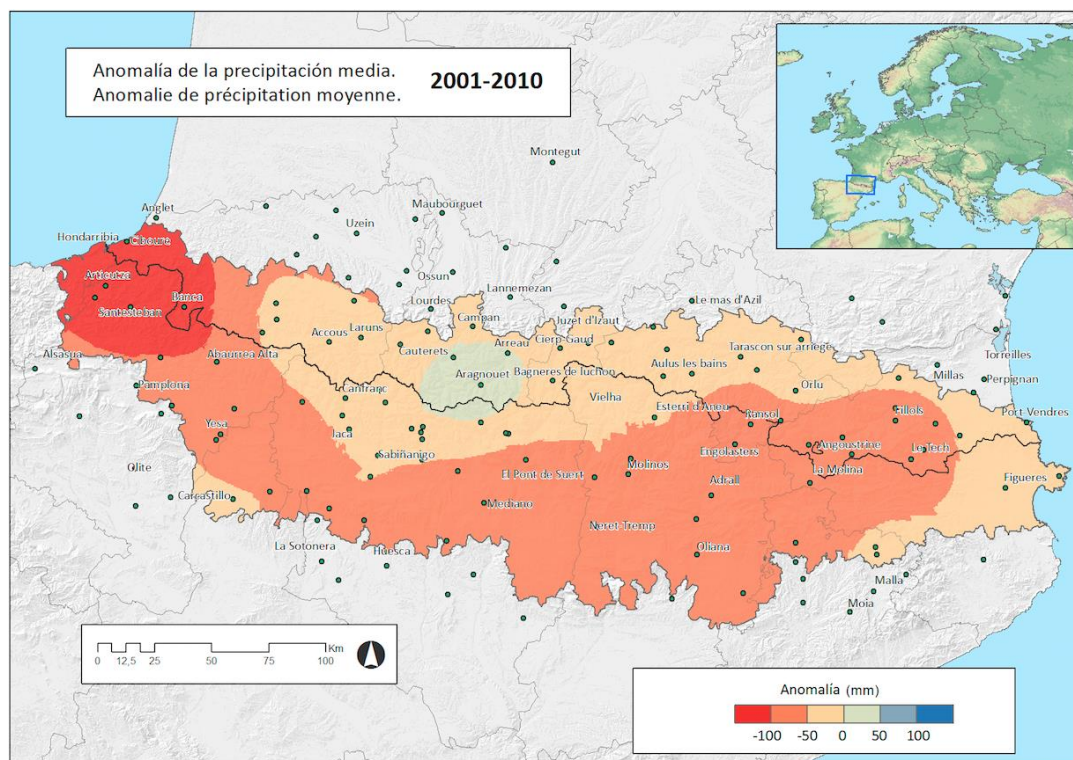


Figura 10. Anomalia precipitació mitjana, sèrie 2001-2010. Font: OPPC

El valor d'aquesta tendència presenta una gran variabilitat d'any en any, i fins i tot entre dècades. En general, durant les darreres dècades han predominat els anys secs, amb quantitats anuals de precipitació bastant inferiors a la mitjana del període de referència, però amb intermitència d'alguns anys molt plujosos, amb precipitacions, en canvi, per sobre de la mitjana del període. Quant a les diferències territorials, la disminució de la precipitació anual ha estat més gran al vessant sud que al vessant nord, encara que els contrastos no són importants. Tot i que la tendència a la disminució de les precipitacions no presenta un comportament estacional clar ni significatiu en l'àmbit estadístic, sí que resulta lleugerament més marcada a l'hivern i a l'estiu.

L'anàlisi de l'evolució de la capa de neu durant l'últim mig segle presenta complicacions, ja que no existeix una sèrie temporal de dades històriques prou contínua i robusta. Això és perquè la instal·lació i el manteniment instrumental per realitzar els mesuraments necessaris es complica a mesura que s'ascendeix en altura. No obstant això, a partir de les sèrie de dades provinents de la xarxa de balises del vessant sud, s'ha identificat un descens estadísticament significatiu de la capa de neu en aquest sector des del 1950 fins als nostres dies (figura 2.11).

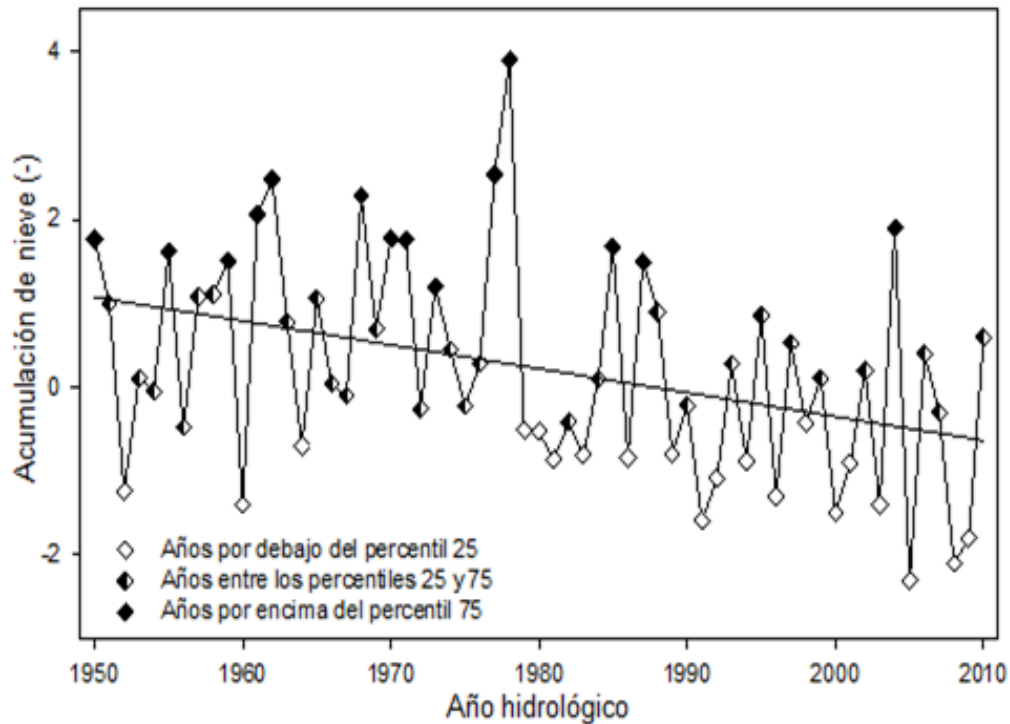


Figura 11. Evolució de la capa de neu el mes d'abril, entre el 1949 i el 2010, simulada a partir de la relació entre temperatura i precipitació hivernal i l'acumulació de neu en una xarxa de balises del vessant sud dels Pirineus. Font: Projecte OPCC1

A nivell de clima i en el seu context geogràfic de Catalunya, els Pirineus continuen formant part en general del domini climàtic mediterrani però dins d'una franja de transició climàtica cap als trets oceànics. La complexa orografia d'aquest sector determina que les temperatures oscil·lin força entre punts propers.

En els cims més elevats del Principat la temperatura encara descendeix més i els valor mitjans anuals s'acosten als 0 °C. És precisament en aquests sectors d'elevada altitud on s'assoleixen les temperatures més baixes de tot el país amb valors mitjans durant el mes de gener que s'apropen als -3 °C o -4 °C tan sols. Les precipitacions són abundants amb valors compresos entre els 900 i 1200 mm anuals (Camprodon 1120 mm), si bé les zones afectades per ombres pluviomètriques les quantitats són força més modestes (Llívia 705 mm, Sort 766 mm).

Els màxims de precipitació s'enregistren en general durant l'estiu, fet que inverteix les pautes pluviomètriques essencialment mediterrànies i que és conseqüència de la notable activitat tempestuosa que es desenvolupa sobretot durant els mesos de juny, juliol i agost.

Finalment, cal destacar el clima de la Val d'Aran que a causa de la seva orientació oberta al nord-oest és l'única comarca que presenta un clima atlàntic. Es caracteritza per gaudir de temperatures més suaus que a d'altres indrets dels Pirineus catalans, però sobretot perquè té una distribució regular de la precipitació al llarg de tot l'any.



## 2. Context geogràfic

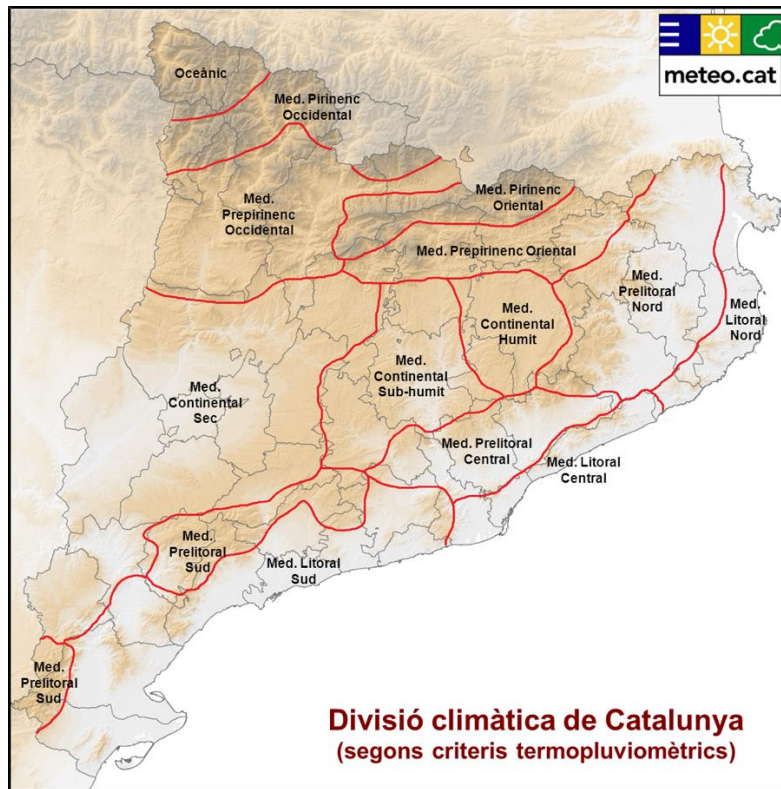


Figura 12. Divisió climàtica de Catalunya. Font: Servei Meteorològic de Catalunya

## 2. Context geogràfic

Grup/tipus		Subtipus	P (mm)	Règim Pluviomètric Estacional (RPE)	T(°C)	Δ T (°C)
<b>OCEÀNIC</b>		Val d'Aran	900-1.100	Equilibrat	6-10	13-15
<b>M E D I T E R R A N I</b>	<b>Pirinenc</b>	Oriental	1.000-1.200	Màxima a l'estiu i mínim a l'hivern	3-9	13-16
		Occidental	1.000-1.300		2-9	
	<b>Prepirinenc</b>	Oriental	850-1.100	Màxim a l'estiu o a la primavera i mínim a l'hivern	9-12	16-19
		Central	750-1.000			
		Occidental	650-900			
	<b>Continental</b>	Humit o Oriental	700-850	Mínim a l'hivern	11-13	17-20
		Subhumit o Central	550-700		12-14	
		Sec o Occidental	350-550	Màxims equinoccials		
	<b>Prelitoral</b>	Nord	750-1.000	Màxims equinoccials	14-15	15-18
		Central	600-900	Màxim a la tardor	11-15	
		Sud/	600-800	Màxims equinoccials	12-14	
	<b>Litoral</b>	Nord	550-750	Màxim a la tardor	14,5-16	14-15
Central		550-700	14,5-16,5			
Sud		500-600	15,5-17			

Taula 3. Divisions climàtiques de Catalunya. Font: Servei Meteorològic de Catalunya

En aquesta línia també resulta il·lustratiu l'observació dels climogrames, on en el cas de la Val d'Aran queda reflectida la seva diferenciació en relació les comarques veïnes de l'Alt Pirineu (figures 2.14, 2.15, 2.16 i 2.17).

## 2. Context geogràfic

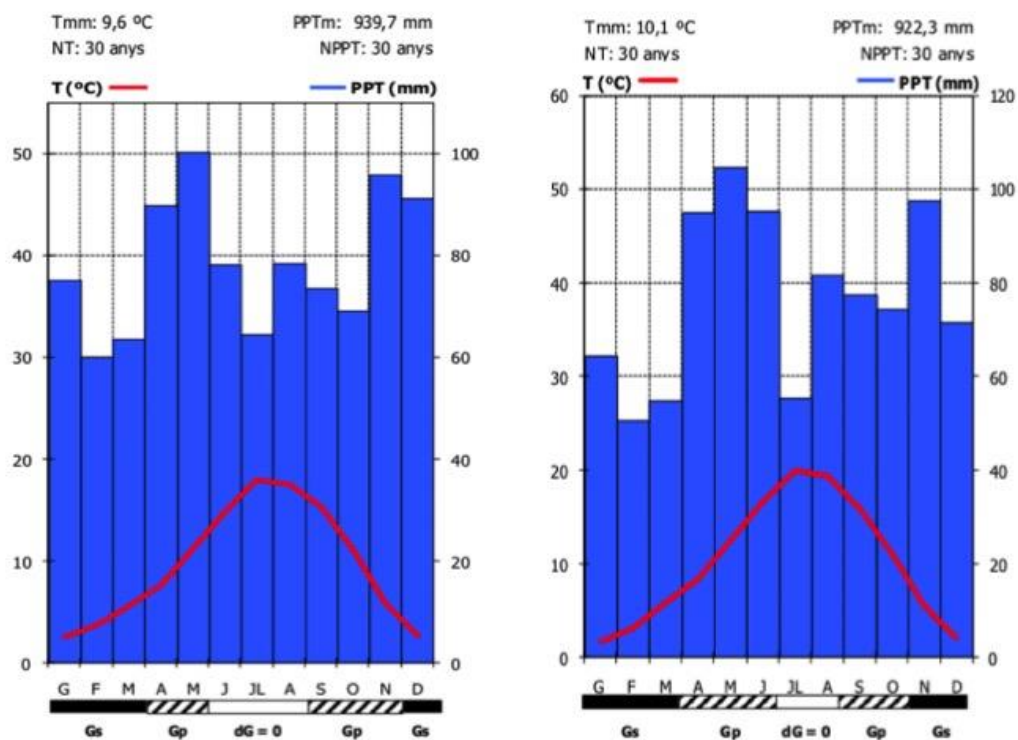


Figura 13. Climogrames comparats Val d'Aran-Alta Ribagorça, període 1961-1990.  
 Font: Servei Meteorològic de Catalunya

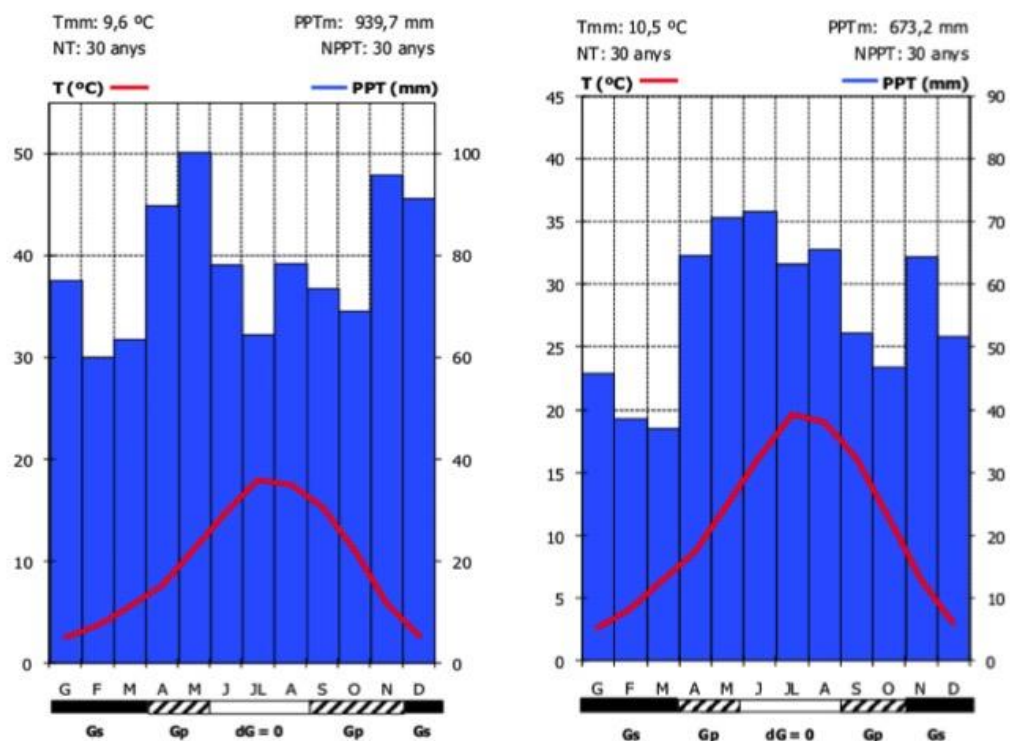


Figura 14. Climogrames comparats Val d'Aran-Pallars Sobirà, període 1961-1990.  
 Font: Servei Meteorològic de Catalunya

## 2. Context geogràfic

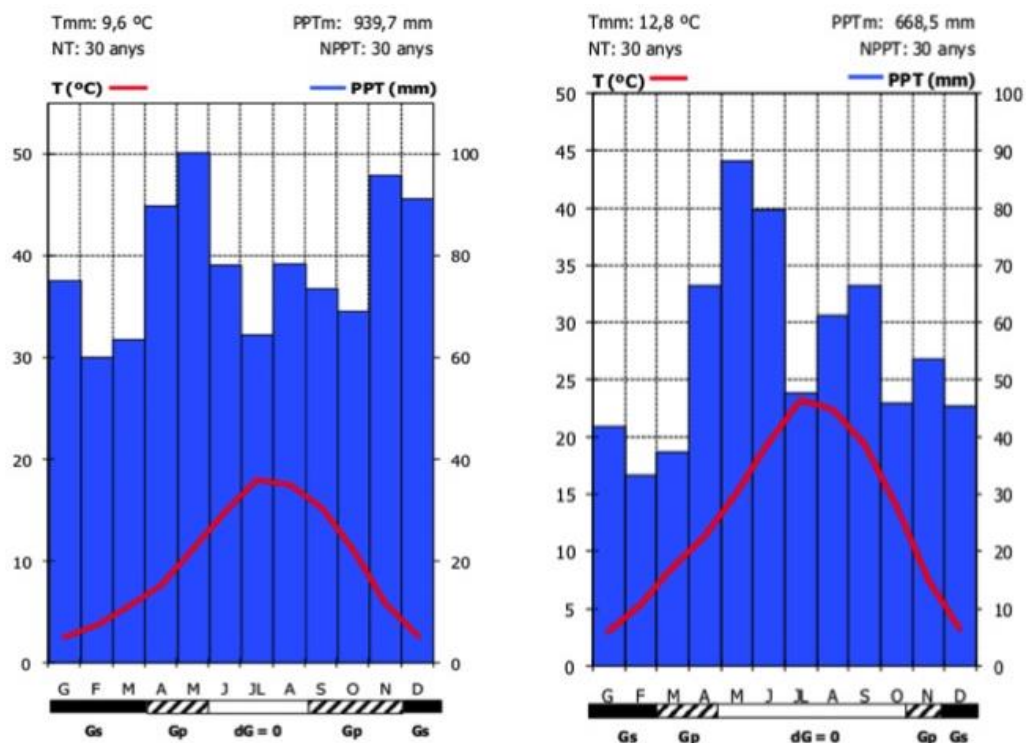


Figura 15. Climogrames comparats Val d'Aran-Pallars Jussà, període 1961-1990. Font: SMC

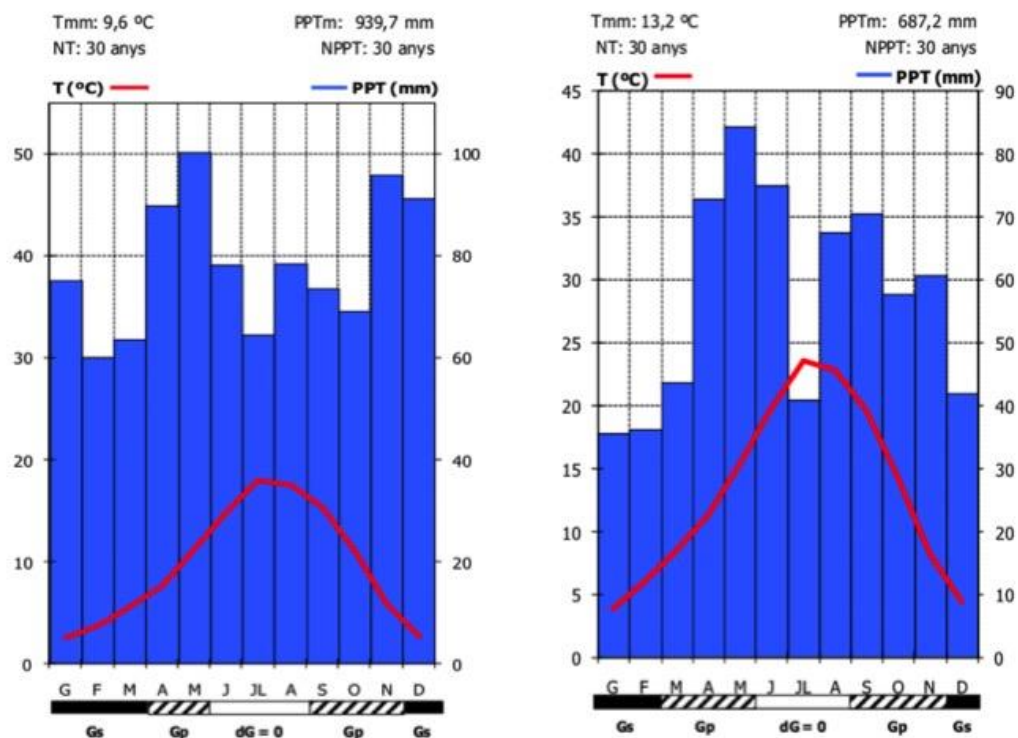


Figura 16. Climogrames comparats Val d'Aran-Alt Urgell, període 1961-1990. Font: SMC  
 A nivell de patrons de vent en superfície destaquen els vents de S, de NO i NE, de forma similar a com funcionen valls veïnes del Pirineu. La variabilitat en els patrons de vent és significativa en tot el Pirineu i s'explica en primer terme per la magnitud del relleu i el gradient altitudinal. Aquesta

## 2. Context geogràfic

dinàmica queda ben representada amb les roses del vent de 3 estacions meteorològiques que s'han agafat de referència vinculades al Servei Meteorològic de Catalunya. En les roses del vent seleccionades es pot observar la variabilitat anual, i els patrons d'estiu i d'hivern dominants. Aquest tipus d'informació és d'interès per la comunitat d'incendis en la mesura que ajuda a entendre part dels patrons de propagació dels incendis, tal i com es detalla més endavant en l'apartat 2.2.

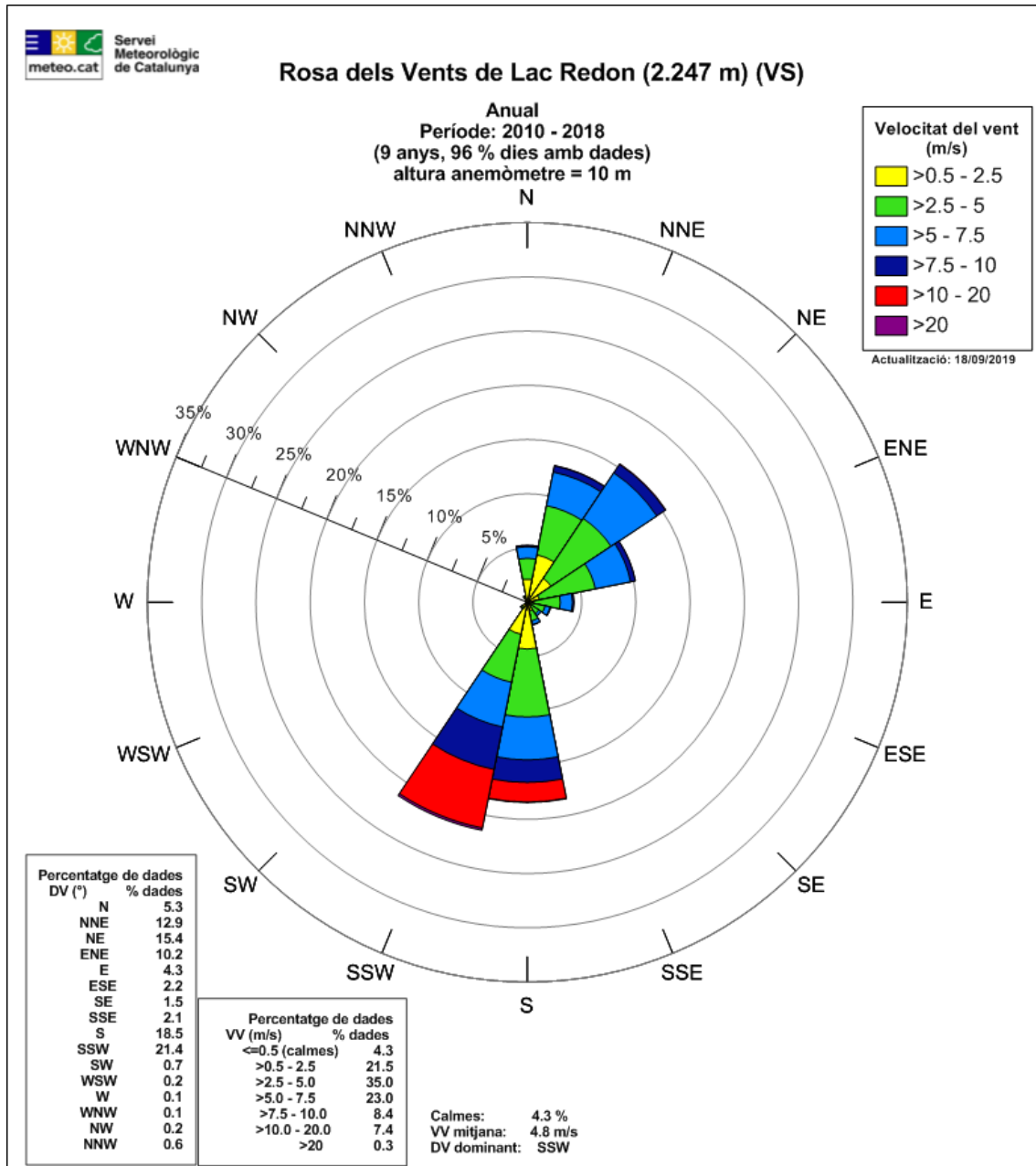


Figura 17. Rosa dels vents Lac Redon, cicle anual. Font: SMC

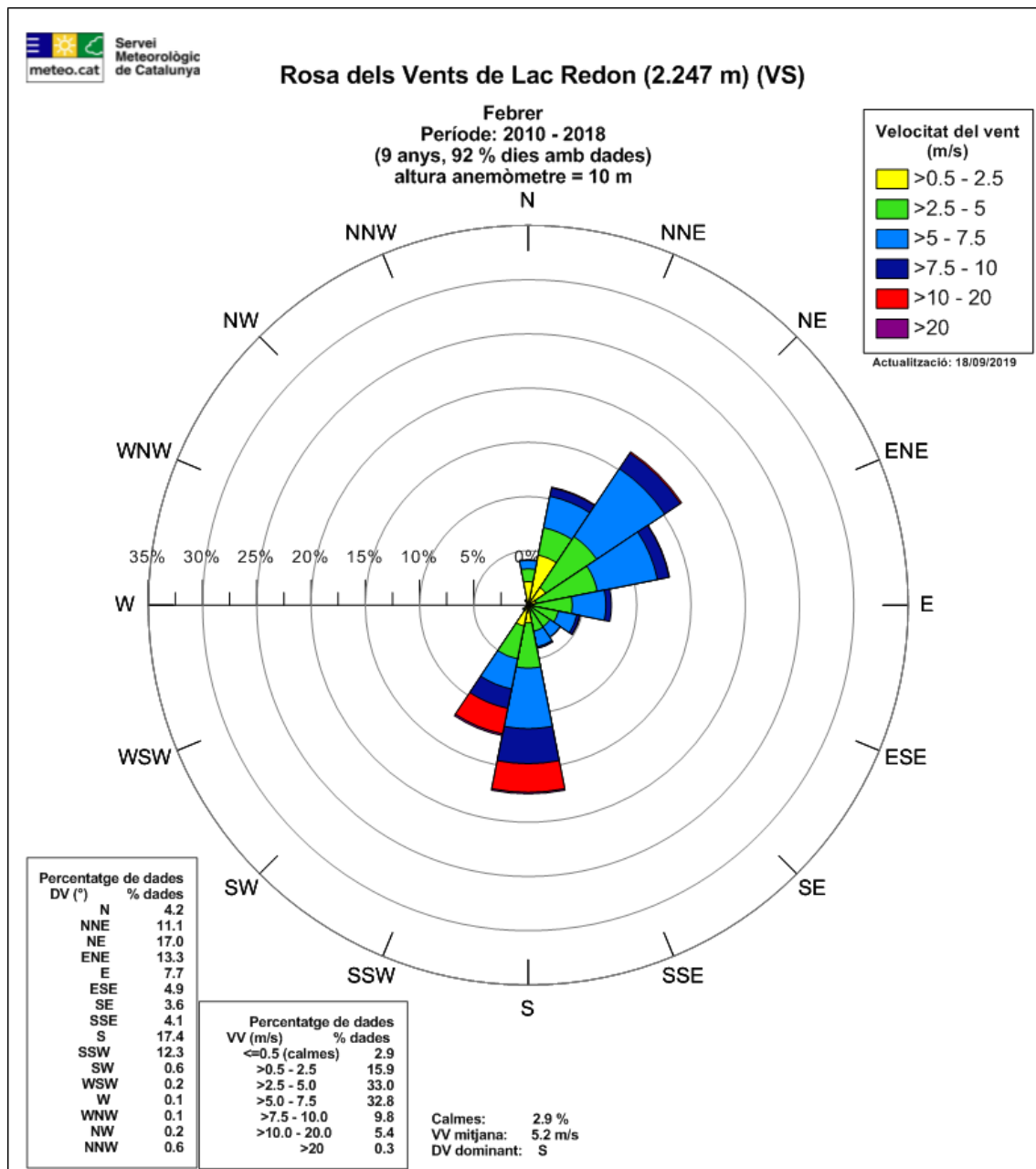


Figura 18. Rosa dels vents Lac Redon, febrer. Font: SMC

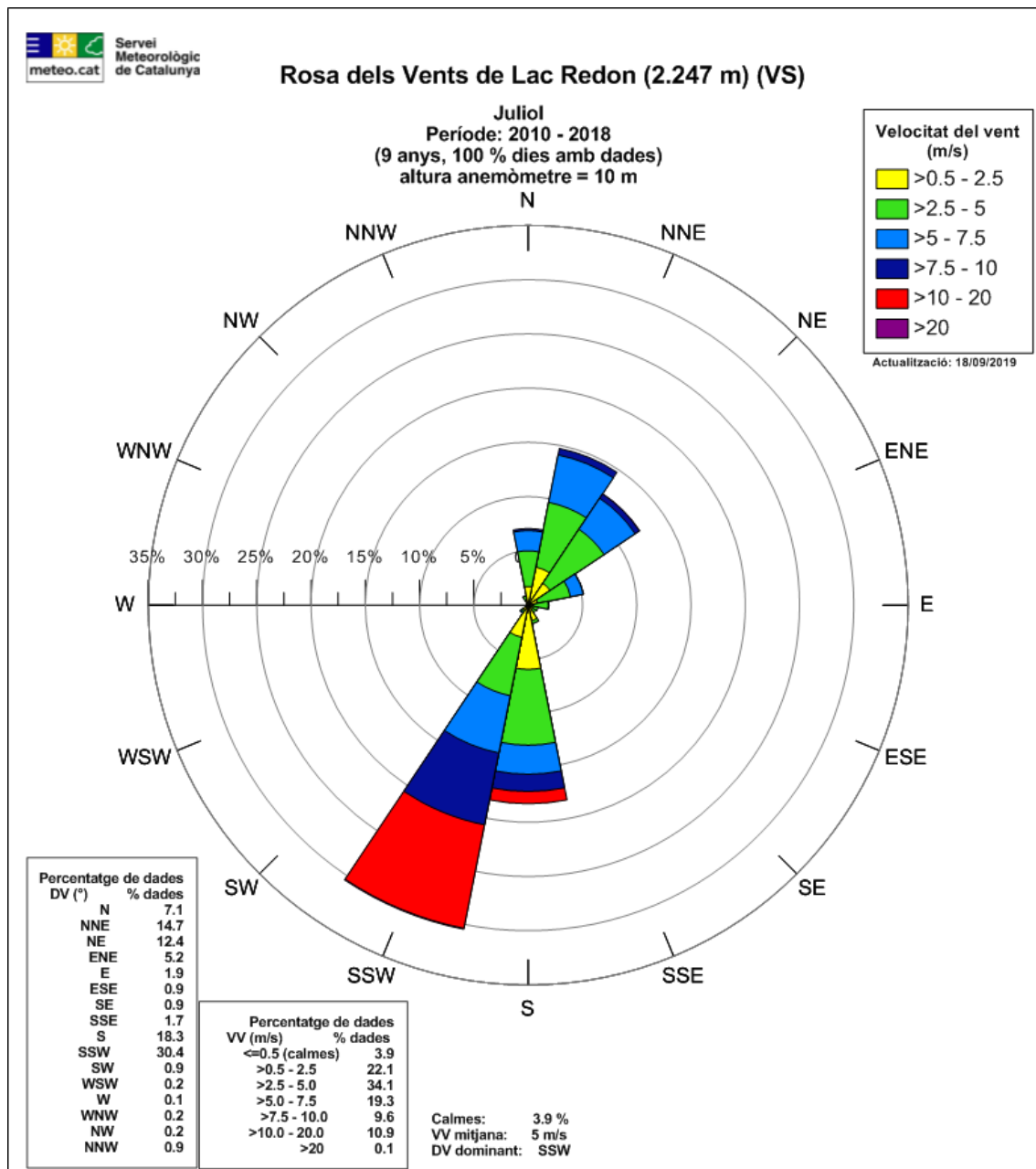


Figura 19. Rosa dels vents Lac Redon, juliol. Font: SMC

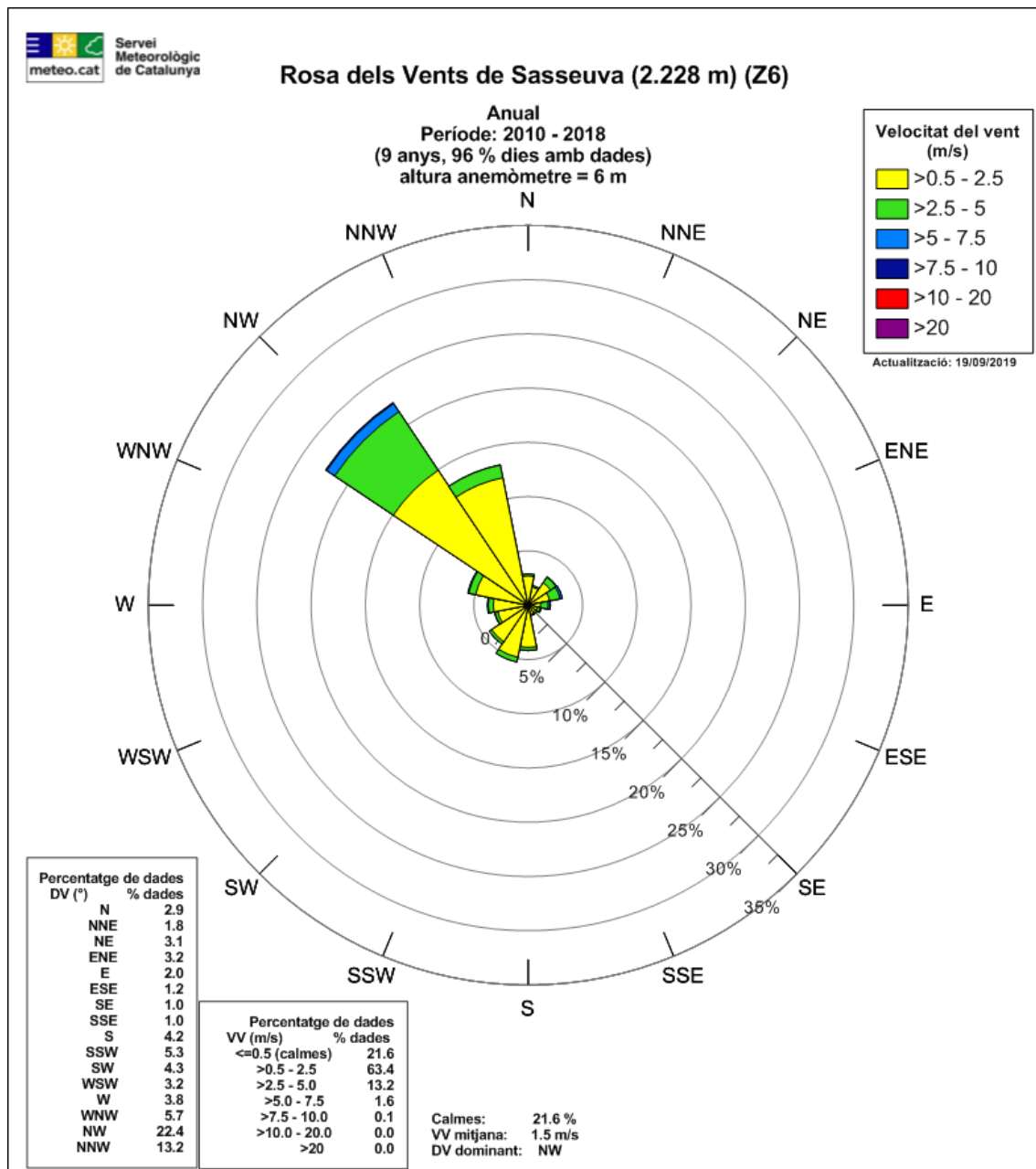


Figura 20. Rosa dels vents Sasseuva, cicle anual. Font: SMC



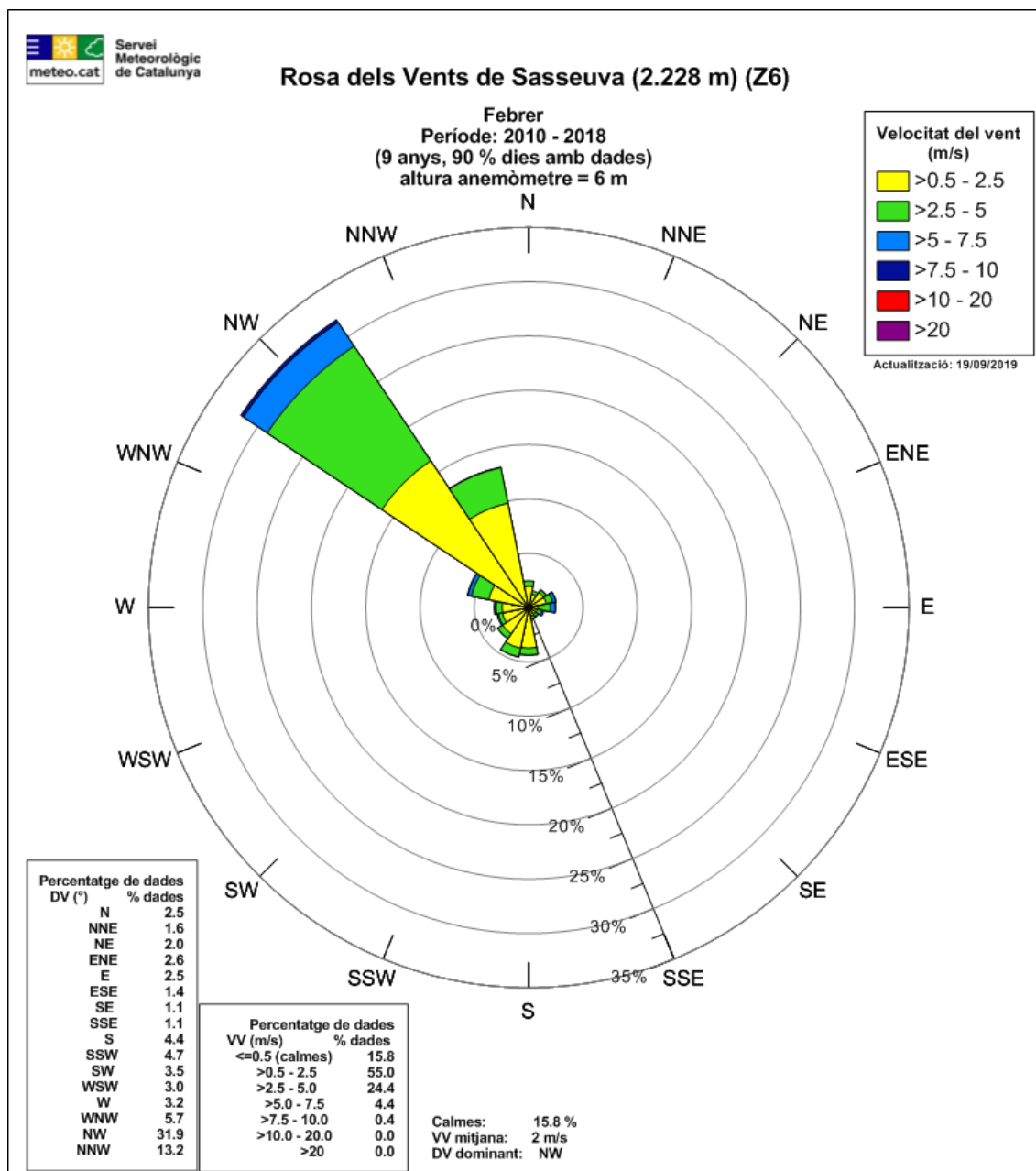


Figura 21. Rosa dels vents Sasseuva, febrer. Font: SMC

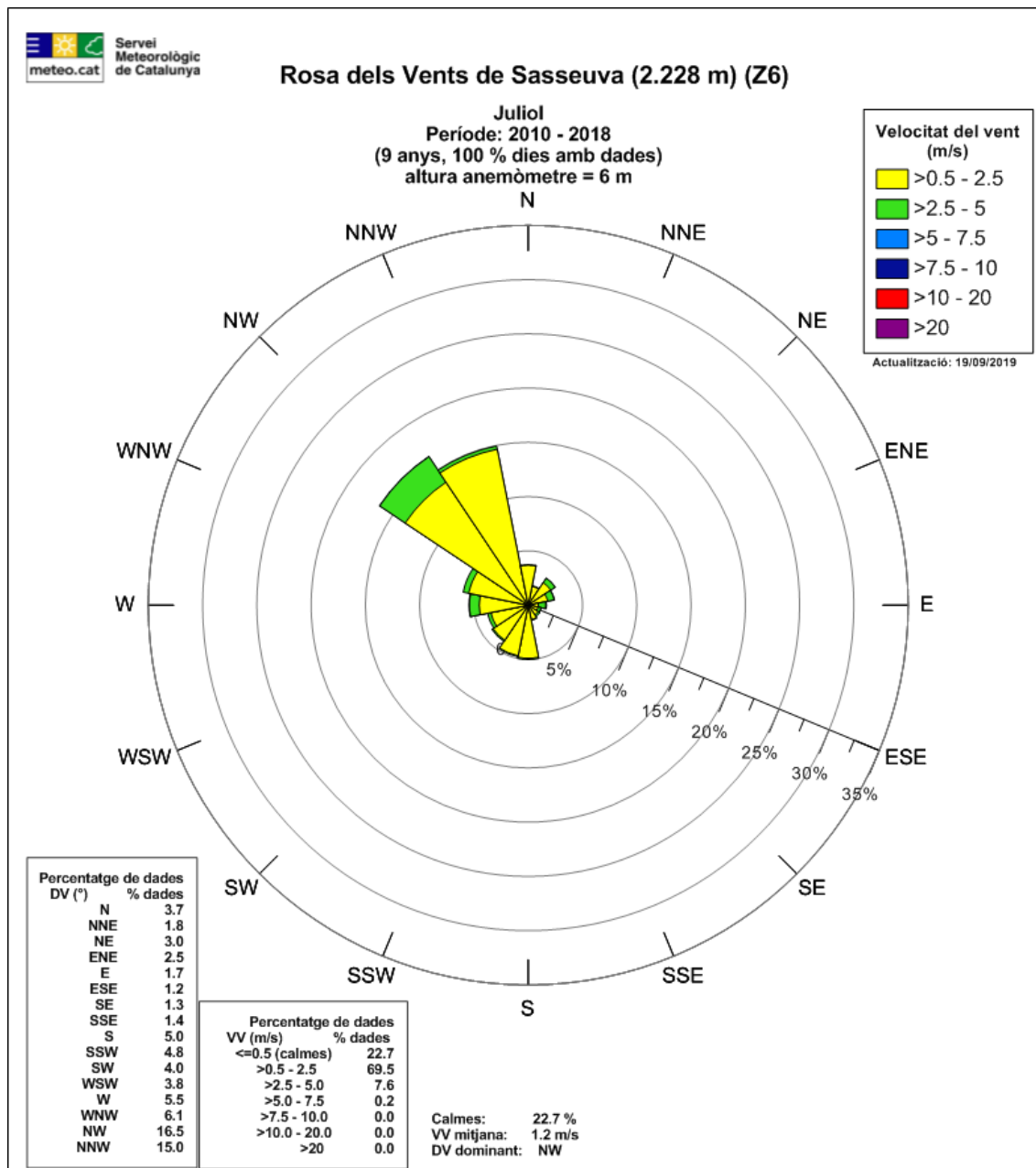


Figura 22. Rosa dels vents Sasseuva, juliol. Font: SMC

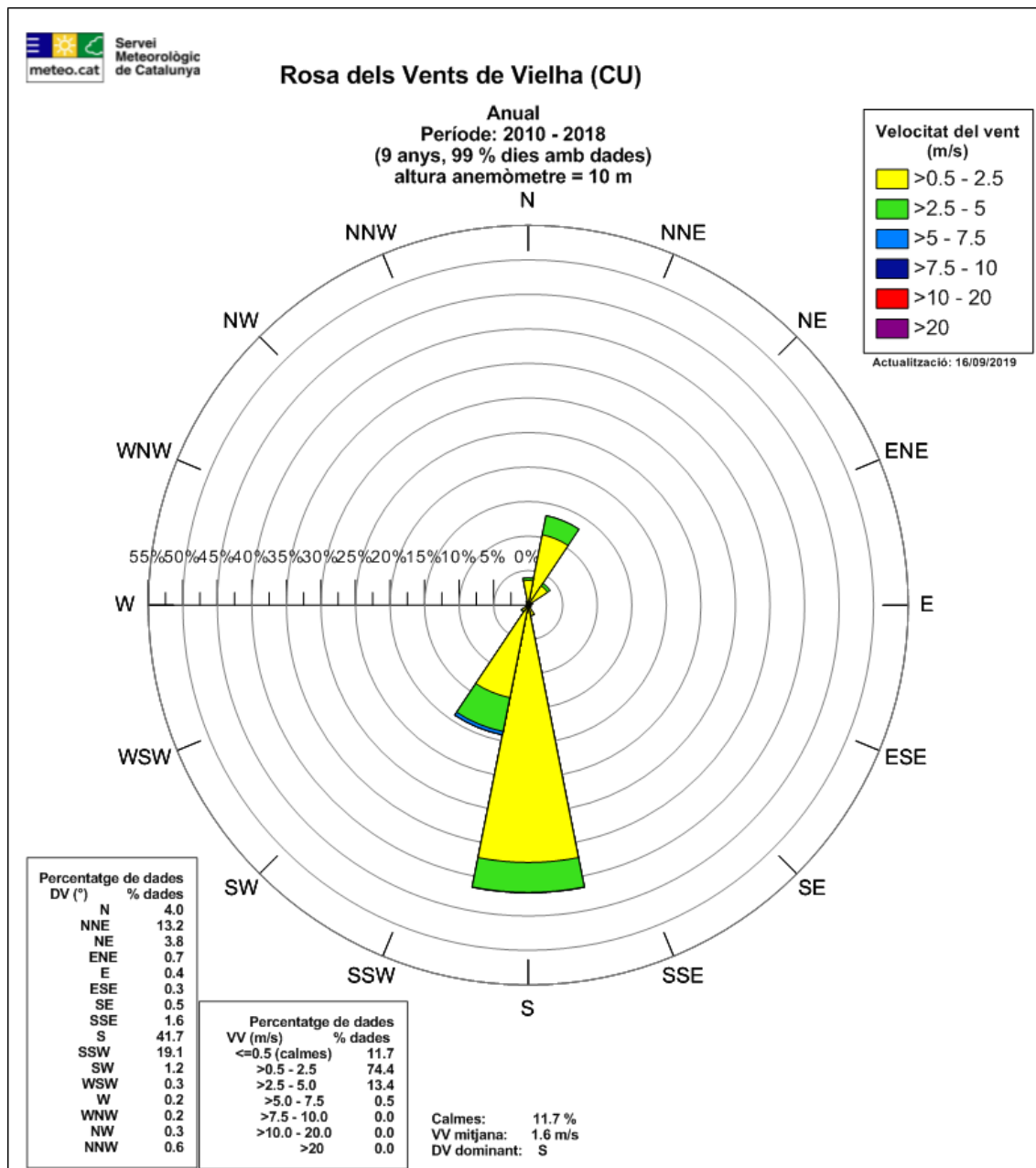


Figura 23. Rosa dels vents Vielha, cicle anual. Font: SMC

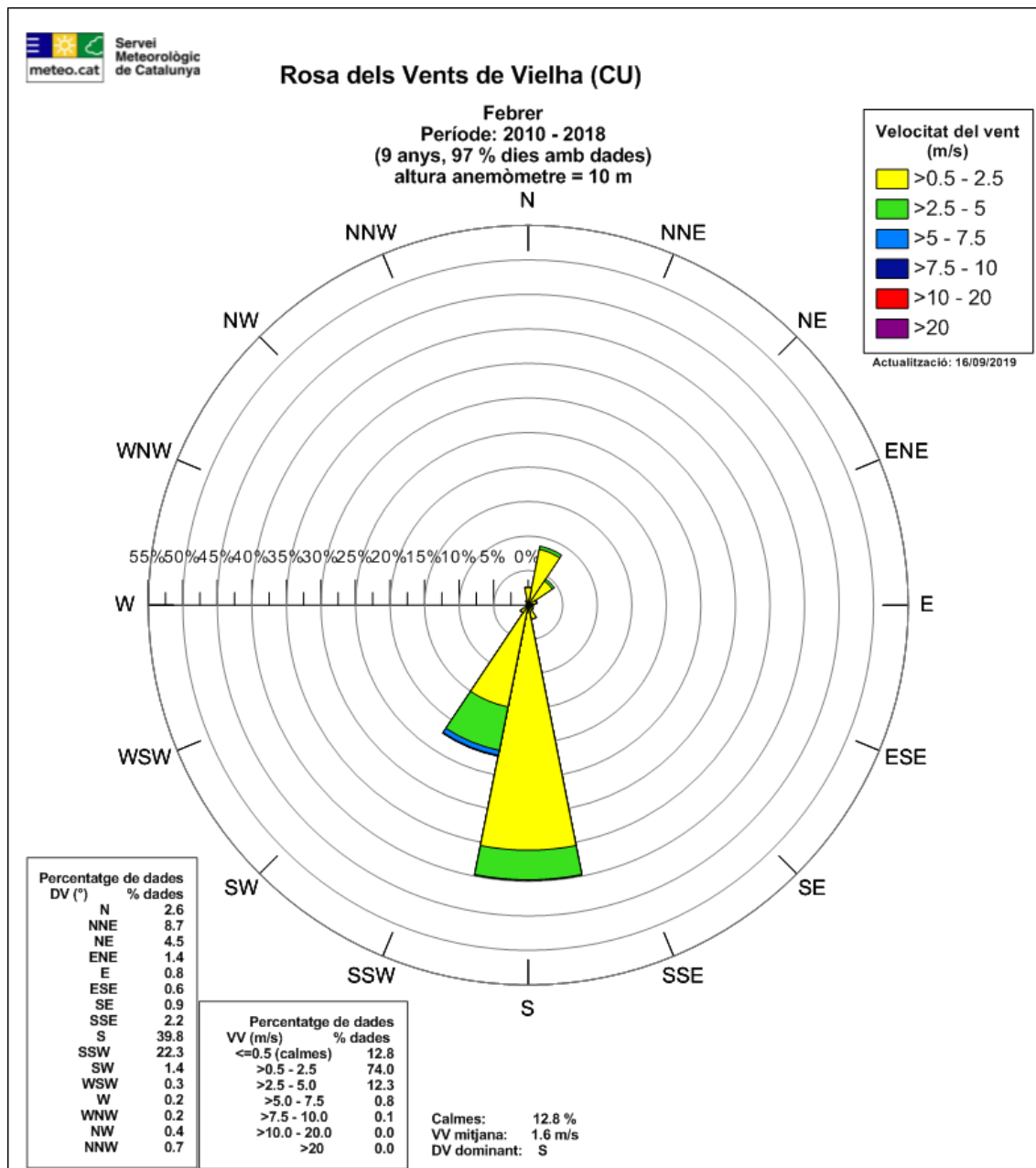


Figura 24. Rosa dels vents Vielha, febrer. Font: SMC

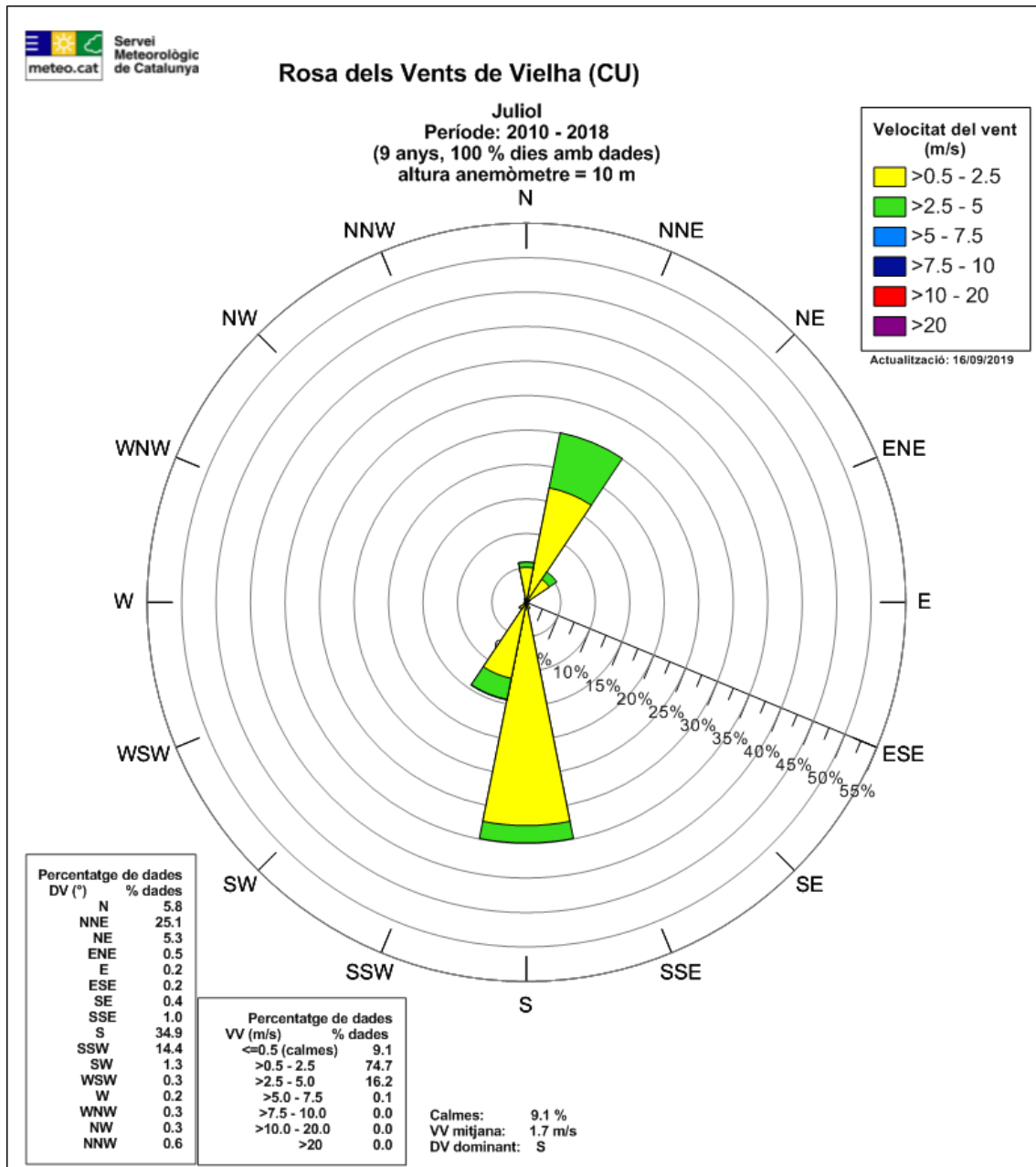


Figura 25. Rosa dels vents Vielha, juliol. Font: SMC

**Projeccions clima futur, Pirineus:**

Malgrat les incerteses relacionades amb els escenaris socioeconòmics futurs i les limitacions dels models numèrics ocupats per obtenir les projeccions del clima, els principals models climàtics coincideixen en una intensificació de l'escalfament global les pròximes dècades i de manera especial a les zones de muntanya.

Això podria suposar una intensificació de la variabilitat climàtica i de les tendències fins ara identificades en l'evolució de les principals variables climàtiques. Si aquestes projeccions es confirmen, podrien induir efectes significatius en les característiques climàtiques, hidrològiques, ambientals i paisatgístiques de la bioregió pirinenca.

Dels resultats preliminars de les projeccions climàtiques realitzades en el context del projecte CLIMPY (a partir de les dades d'un conjunt de models climàtics globals i combinacions de models

## 2. Context geogràfic

climàtics regionals) i considerant els quatre escenaris d'emissions globals (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5; RCP per les seves sigles en anglès, "Representative Concentration Pathways", en què l'RCP2.6 és l'escenari més optimista i l'RCP8.5, el més pessimista), s'ha dut a terme una primera aproximació probabilística de predicció de clima futur. Segons les projeccions realitzades, sota els tres escenaris emissius analitzats RCP4.5, RCP6.0 i RCP8.5 s'espera un augment significatiu de les temperatures màximes i mínimes diàries al llarg del segle XXI, en totes les estacions de l'any i a tota la zona pirinenca (figura 2.27). Aquest augment seria més ràpid per a l'RCP8.5, en relació amb un escenari emissiu més intens. Les incerteses associades als escenaris RCP i als models climàtics globals van augmentant al llarg del segle.

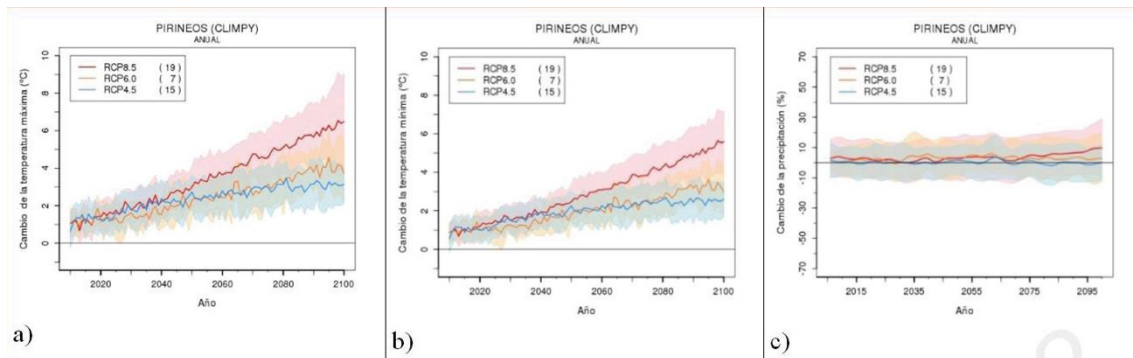


Figura 26. (a) Evolució de l'anomalia mitjana anual de la temperatura màxima; (b) temperatura mínima; (c) Evolució de l'anomalia mitjana de les precipitacions. Font: Projecte CLIMPY

Per a l'horitzó 2030, el canvi del valor mitjà anual de les temperatures màximes respecte al període de referència (1961-1990) podria estar, de mitjana per a tota la zona pirinenca, entre 1°C i 2,7°C per a l'RCP8.5. Augments semblants o lleugerament més baixos s'obtenen per a les temperatures mínimes (entre 0,9°C i 2,2°C per a l'RCP8.5).

Per a l'horitzó 2050 l'escalfament seria una mica més alt. Per a la temperatura màxima, els intervals anirien de 2,0 a 4,0°C i d'1 a 3,3°C per a les RCP8.5 i 4.5 respectivament, mentre que per a la temperatura mínima serien d'1,7 a 3,3°C i de 1,2 a 2,8°C.

Per a la darreria de segle, els rangs de valors s'amplien encara més, així com la magnitud dels canvis, i també la separació entre les evolucions associades a les RCP és més clara. Per a la temperatura màxima i per a l'RCP8.5, de mitjana, el seu canvi anual seria d'entre 4,3 i 7,1°C, mentre que per a l'RCP4.5 oscil·laria entre 1,9 i 4,2°C. Per a la temperatura mínima, els intervals corresponents se situarien entre 3,6 i 6,0°C, en el primer cas, i 1,6 i 3,5°C en el segon.

Quant a l'evolució de les precipitacions futures, no s'obtenen canvis significatius al llarg del segle XXI, i se n'aprecia poca influència sobre la seva evolució, almenys respecte als valors mitjans. El nombre de models que indiquen augments en les precipitacions mitjanes és similar al nombre de models que en mostren un descens. Les incerteses augmenten a mesura que ens apropem a finals de segle, sobretot en el cas de l'RCP 8.5.

Els primers resultats respecte a l'evolució de l'espessor mitjana de la neu als Pirineus assenyalen un descens significatiu de l'espessor de neu malgrat la forta variabilitat interanual. Així doncs, al Pirineu central, a l'altura de 1.800 m, l'espessor mitjana de neu podria disminuir a la meitat en l'horitzó del 2050 segons la referència actual, mentre que el període de permanència de la neu a terra es reduiria en més d'un mes.

### 2.1.4 Hidrologia i Altimetria

El terme de torres d'aigua fa referència a una àrea elevada de terra que proveeix d'aigua desproporcionadament en relació a les àrees adjacents més baixes (Viviroli et al., 2007). Els Pirineus són en aquest sentit les torres d'aigua del sud-oest de França i del nord d'Espanya, particularment de les conques de l'Ebre i del Garona. La part oest i central del massís rep força més quantitat de precipitació que la part est, degut principalment a la humitat de l'aire que arriba des de l'Atlàntic.

La regió està dividida en 3 zones climàtiques: l'Atlàntica (o oest); la Central; i l'Est dels Pirineus. La precipitació cau principalment durant l'hivern en les àrees adjacents a l'Atlàntic, i durant la primavera i la tardor en les regions Mediterrànies, amb una extensa i gruixuda coberta de neu a les altituds més elevades i en les àrees més obagues (García-Ruiz et al., 1986; López-Moreno, Nogués-Bravo, 2005).

La fosa de la neu resulta vital tant pels valors ecològics com socioeconòmics de la regió, sent un gran contribuïdor de la quantitat d'escorrentia i de la seva distribució estacional, jugant un rol clau en la gestió de la conca semiàrida i altament poblada de l'Ebre (López-Moreno, García-Ruiz 2004; López i Justribó, 2010). L'Ebre rep el 50-60% de la descàrrega dels Pirineus, si bé només un 30% de la seva captació prové de les zones de muntanya (López i Justribó, 2010).

Actualment hi ha 41 glaceres als Pirineus, situades en una ubicació cèntrica a 100 km de la franja i amb una superfície total d'aproximadament 8,1 km<sup>2</sup> (Serrat i Ventura, 1993). Aquests glaciers són petits si els comparem amb els glaciers europeus; el més gran, Glaciari de l'Aneto, té 1,32 km<sup>2</sup>, mentre que la meitat tenen una àrea de 0,1 km<sup>2</sup> o menys. Tots els pics glacials superen els 3000 metres, però no tots els pics que superen els 3000 metres tenen glaciers. Per altra banda, els glaciers dels Pirineus no baixen tant endins de les valls com als Alps (Serrat i Ventura, 1993), i alhora, la seva fusió està més avançada als Pirineus.

Els Pirineus no disposen de grans llacs com altres regions d'Europa, però si disposen d'una nombrosa xarxa de petits llacs, com la paradigmàtica d'Aigüestortes de la regió central.

En l'àmbit concret de la Val d'Aran cal dir que és l'única comarca de Catalunya que pertany en gran mesura a la conca atlàntica. El Garona, que neix a la vall i la travessa, desemboca a l'oceà Atlàntic després de travessar tota la Gascunya. També té una petita part de conca mediterrània, ja que el riu Noguera Pallaresa neix a un centenar de metres del Garona, però inicia el seu curs en direcció sud.

Des del format de projecte de la plataforma d'ArcGIS online es poden carregar mapes base que permeten entrar de forma dinàmica al detall de l'altimetria i la hidrologia local.

### 2.1.5 Biodiversitat ecològica

Una manera ràpida de copsar la riquesa ecològica del Pirineu en general i de la Val d'Aran en particular és a través de l'inventari ecològic forestal de Catalunya (IEFC).

A continuació es presenten algunes dades representatives d'aquest inventari forestal ecològic corresponents a l'Aran:

Municipi	Bosc		Matollars	Prats	Altres	Improductiu		Conreus	Total (ha)
	dens	clar				natural	artificial		
Arres	61,99	0,08	12,41	18,15	0	0,62	0,98	5,78	1.153
Bausen	40,47	0,22	24,06	28,85	0	0,25	0,63	5,51	1.762
es Bòrdes	51,31	0,06	16,69	25,58	0	1,12	1,21	4,04	2.155
Canejan	66,00	0,03	14,24	11,70	0	0,72	1,20	6,11	4.831
Bossòst	44,62	0,11	26,11	22,32	0	4,92	0,13	1,79	2.815
Les	62,33	0,01	20,45	10,00	0	0,67	1,39	5,15	2.329
Naut Aran	21,94	0,70	16,15	41,01	0,21	16,95	1,11	1,94	24.889
Vielha e Mijaran	28,44	0,19	15,35	39,48	0,11	12,83	0,97	2,63	20.574
Vilamòs	49,36	0,28	18,95	24,90	0	0,67	1,30	4,55	1.539
Val d'Aran	32,20	0,37	16,96	34,98	0,12	11,61	0,99	2,77	62.047

Taula 4. Cobertes del Sòl per municipis a la Val d'Aran. Els valors es donen en percentatge respecte a la superfície del municipi (última columna de la taula). Font: MCSC.

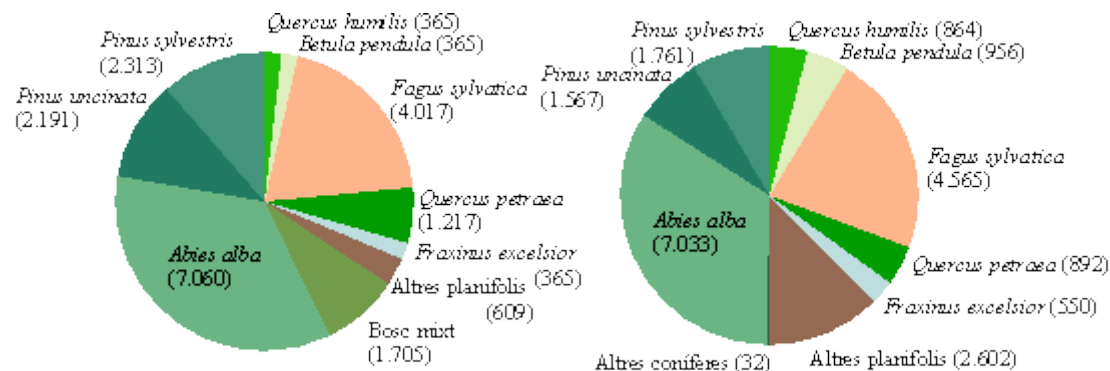


Figura 27. Esquerra: distribució de la superfície arbrada comarcal ocupada per les diferents espècies arbrades. La superfície corresponent a cada espècie s'ha determinat a partir del nombre d'estacions on l'espècie és dominant. Dreta: Nombre de peus (en milers) de les diferents espècies.



## 2. Context geogràfic

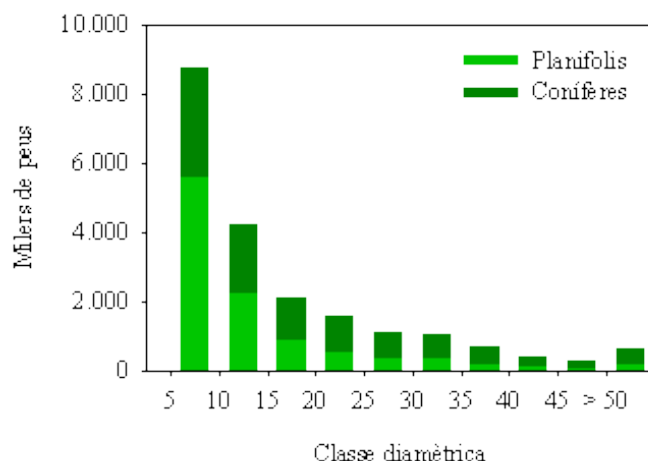


Figura 28. Distribució de les existències per classe diamètrica a la Val d'Aran. Es donen els valors, en milers de peus, distingint entre planifolis i coníferes. Aquesta és la comarca de Catalunya amb una major proporció d'arbres de diàmetre normal gran i fins i tot molt gran (superior als 50 cm). És l'única comarca de la Regió Forestal I on hi ha un nombre molt semblant de planifolis i coníferes.

Municipi	Existències	AB	Espècie(s) principal(s)	Dens sppal	n
	(milers de peus)	(m <sup>2</sup> /ha)		(peus/ha)	
Arres	819	52,3	<i>Pinus sylvestris</i> / <i>Abies alba</i>	585 / 539	8
es Bòrdes	1.052	29,2	<i>Abies alba</i> / <i>Betula pendula</i>	761 / 557	6
Bossóst	2.384	30,1	<i>Abies alba</i>	787	17
Canejàn	2.624	37,3	<i>Fagus sylvatica</i>	543	21
Les	1.945	37,1	<i>Fagus sylvatica</i> / <i>Q. petraea</i>	643 / 423	17
Naut Aran	3.573	37,4	<i>Pinus uncinata</i> / <i>Abies alba</i>	664 / 976	36
Vielha e Mijaran	7.374	36,8	<i>Abies alba</i> / <i>Fagus sylvatica</i>	751 / 1.187	52
Vilamòs	661	39,0	<i>Pinus sylvestris</i>	956	5
Val d'Aran	20.819	37,5	<i>Abies alba</i> / <i>Fagus sylvatica</i>	791 / 806	166

Taula 5. Resum per municipis a la Val d'Aran: Existències és el nombre absolut de peus independentment de l'espècie. AB és el valor mitjà de l'àrea basal de totes les espècies presents. Espècie(s) principal(s) fa referència a l'espècie o les espècies dominant(s) més abundants al municipi i Dens sp ppal és la seva densitat; en el cas que n'hi hagi més d'una, els valors se separen amb un "/" i l'ordre indica la importància de cadascuna. "n" és el nombre d'estacions mostrejades al municipi, si és inferior a 5, no es donen els valors.

Per últim, i a tall simplement il·lustratiu de la riquesa biològica de l'Aran, s'exposa un llistat dels vertebrats. Taxons com flora, invertebrats, líquens, algues, fongs, briòfits, entre altres, s'obvien perquè s'escapen clarament dels objectius del present projecte.

VERTEBRATS ARAN (quadrícula CH14), segons Banc de Dades de Biodiversitat de Catalunya (BDBC).

---

- 1) *Accipiter gentilis* subsp. *gentilis*
- 2) *Accipiter nisus* subsp. *nisus*
- 3) *Actitis hypoleucos*
- 4) *Aegithalos caudatus* subsp. *taiti*
- 5) *Aegolius funereus* subsp. *funereus*
- 6) *Alauda arvensis*
- 7) *Alcedo atthis*
- 8) *Alectoris rufa* subsp. *intercedens*
- 9) *Alytes obstetricans* subsp. *almogavari*
- 10) *Anas platyrhynchos* subsp. *platyrhynchos*
- 11) *Anguis fragilis*
- 12) *Anthus spinoletta* subsp. *spinoletta*
- 13) *Anthus trivialis* subsp. *trivialis*
- 14) *Apodemus sylvaticus*
- 15) *Apus apus* subsp. *apus*
- 16) *Apus melba* subsp. *melba*
- 17) *Aquila chrysaetos*
- 18) *Arvicola terrestris*
- 19) *Buteo buteo* subsp. *buteo*
- 20) *Buteo lagopus* subsp. *lagopus*
- 21) *Canis lupus*
- 22) *Capreolus capreolus*
- 23) *Carduelis carduelis*
- 24) *Carduelis chloris*
- 25) *Certhia brachydactyla* subsp. *brachydactyla*
- 26) *Certhia familiaris* subsp. *macroductyla*
- 27) *Cervus elaphus*
- 28) *Cinclus cinclus*
- 29) *Circaetus gallicus*
- 30) *Clethrionomys glareolus*
- 31) *Coccothraustes coccothraustes* subsp. *coccothraustes*
- 32) *Columba livia* subsp. *livia*
- 33) *Columba palumbus* subsp. *palumbus*
- 34) *Coronella austriaca*
- 35) *Corvus corax*
- 36) *Corvus corone*
- 37) *Cottus hispaniolensis*
- 38) *Coturnix coturnix* subsp. *coturnix*
- 39) *Crocidura russula*
- 40) *Cuculus canorus*
- 41) *Cyanistes caeruleus* subsp. *caeruleus*
- 42) *Dama dama*
- 43) *Delichon urbicum* subsp. *urbicum*
- 44) *Dendrocopos major* subsp. *hispanus*
- 45) *Dendrocopos medius* subsp. *medius*
- 46) *Dendrocopos minor* subsp. *buturlini*
- 47) *Dryocopus martius* subsp. *martius*

## 2. Context geogràfic

- 48) *Eliomys quercinus*
- 49) *Emberiza cia* subsp. *cia*
- 50) *Emberiza cirulus*
- 51) *Emberiza citrinella* subsp. *citrinella*
- 52) *Eptesicus serotinus*
- 53) *Erinaceus europaeus*
- 54) *Erithacus rubecula* subsp. *rubecula*
- 55) *Falco peregrinus*
- 56) *Falco subbuteo* subsp. *subbuteo*
- 57) *Falco tinnunculus* subsp. *tinnunculus*
- 58) *Felis silvestris*
- 59) *Fringilla coelebs*
- 60) *Galemys pyrenaicus*
- 61) *Garrulus glandarius*
- 62) *Genetta genetta*
- 63) *Glis glis*
- 64) *Gypaetus barbatus* subsp. *aureus*
- 65) *Hierophis viridiflavus*
- 66) *Hirundo rustica* subsp. *rustica*
- 67) *Iberolacerta aranica*
- 68) *Jynx torquilla* subsp. *torquilla*
- 69) *Lacerta bilineata*
- 70) *Lagopus mutus* subsp. *pyrenaicus*
- 71) *Lanius collurio* subsp. *collurio*
- 72) *Lepus europaeus*
- 73) *Linaria cannabina* subsp. *ssp.*
- 74) *Lissotriton helveticus*
- 75) *Lophophanes cristatus* subsp. *mitratus*
- 76) *Loxia curvirostra* subsp. *curvirostra*
- 77) *Lullula arborea*
- 78) *Luscinia megarhynchos* subsp. *megarhynchos*
- 79) *Lutra lutra*
- 80) *Martes foina*
- 81) *Martes martes*
- 82) *Meles meles*
- 83) *Microtus agrestis*
- 84) *Microtus arvalis*
- 85) *Microtus gerbei*
- 86) *Microtus nivalis*
- 87) *Milvus migrans* subsp. *migrans*
- 88) *Milvus milvus* subsp. *milvus*
- 89) *Miniopterus schreibersii*
- 90) *Motacilla alba*
- 91) *Motacilla cinerea* subsp. *cinerea*
- 92) *Mustela erminea*
- 93) *Mustela nivalis*
- 94) *Myocastor coypus*
- 95) *Myotis blythii*
- 96) *Myotis daubentoni*
- 97) *Myotis escalerai*

## 2. Context geogràfic

- 98) *Natrix maura*
- 99) *Neomys fodiens*
- 100) *Nyctalus lasiopterus*
- 101) *Oenanthe oenanthe*
- 102) *Ovis gmelini*
- 103) *Parus major* subsp. *major*
- 104) *Passer domesticus* subsp. *balearoibericus*
- 105) *Passer montanus* subsp. *montanus*
- 106) *Perdix perdix* subsp. *hispaniensis*
- 107) *Periparus ater*
- 108) *Pernis apivorus*
- 109) *Phoenicurus ochruros* subsp. *gibraltariensis*
- 110) *Phylloscopus collybita* subsp. *collybita*
- 111) *Pica pica* subsp. *melanotos*
- 112) *Picus viridis* subsp. *sharpei*
- 113) *Pipistrellus kuhlii*
- 114) *Pipistrellus pipistrellus*
- 115) *Pipistrellus pygmaeus*
- 116) *Pipistrellus savii*
- 117) *Podarcis muralis*
- 118) *Poecile palustris*
- 119) *Prunella modularis*
- 120) *Ptyonoprogne rupestris*
- 121) *Pyrrhocorax graculus* subsp. *graculus*
- 122) *Pyrrhocorax pyrrhocorax* subsp. *erythrorhamphus*
- 123) *Pyrrhula pyrrhula*
- 124) *Rana temporaria*
- 125) *Rattus norvegicus*
- 126) *Regulus ignicapilla* subsp. *ignicapilla*
- 127) *Regulus regulus* subsp. *regulus*
- 128) *Rhinolophus euryale*
- 129) *Rhinolophus ferrumequinum*
- 130) *Rhinolophus hipposideros*
- 131) *Rupicapra pyrenaica*
- 132) *Salamandra salamandra*
- 133) *Salmo trutta* subsp. *fario*
- 134) *Saxicola rubetra*
- 135) *Saxicola torquata*
- 136) *Sciurus vulgaris*
- 137) *Scolopax rusticola*
- 138) *Serinus citrinella* subsp. *citrinella*
- 139) *Serinus serinus*
- 140) *Sitta europaea*
- 141) *Sorex coronatus*
- 142) *Sorex minutus*
- 143) *Spinus spinus*
- 144) *Stercorarius longicaudus* subsp. *longicaudus*
- 145) *Streptopelia decaocto* subsp. *decaocto*
- 146) *Strix aluco* subsp. *sylvatica*
- 147) *Sturnus vulgaris* subsp. *vulgaris*

## 2. Context geogràfic

- 148) *Sus scrofa*
  - 149) *Sylvia atricapilla*
  - 150) *Sylvia borin* subsp. *borin*
  - 151) *Tachybaptus ruficollis* subsp. *ruficollis*
  - 152) - *Tadarida teniotis*
  - 153) *Tetrao urogallus* subsp. *aquitanicus*
  - 154) *Troglodytes troglodytes*
  - 155) *Turdus merula* subsp. *merula*
  - 156) *Turdus philomelos*
  - 157) *Turdus torquatus*
  - 158) *Turdus viscivorus* subsp. *viscivorus*
  - 159) *Upupa epops* subsp. *epops*
  - 160) *Ursus arctos*
  - 161) *Vipera aspis*
  - 162) *Vulpes vulpes*
  - 163) *Zamenis longissimus*
  - 164) *Zootoca vivipara*
- 

### 2.1.6 Riscos naturals i canvi climàtic

Segons informes del OPCC és altament probable que els Pirineus pateixin un augment dels fenòmens meteorològics extrems. Tot i que l'evolució més ben documentada és la de les onades de calor, és molt probable que les sequeres, les pluges intenses i les onades de fred també augmentin la freqüència i intensitat durant les pròximes dècades, mentre que les calamarsades augmentin només la intensitat.

El risc ambiental però on hi ha una interacció històrica més clara a nivell de vulnerabilitat és amb el vector geològic. El canvi en el règim de les precipitacions, juntament amb l'avançament en el calendari del desglaç primaveral, podrien provocar tant un augment del nombre d'inundacions com un increment de la seva intensitat. Si bé és cert que no hi ha una tendència clara per a tot el territori atesa la quantitat de factors en joc, en particular l'augment de la massa forestal i els canvis en els usos del sòl podrien estar emmascarant aquesta tendència.

Les últimes dècades, les inundacions de caràcter "extraordinari" han estat més freqüents en bona part dels Pirineus, tot i que els danys provocats per aquestes han estat menors gràcies als esforços realitzats en la disminució dels nivells d'exposició. L'episodi del juny del 2013 de la Val d'Aran n'és un bon exemple.



Figura 29. Inundacions Bossòst, riu Garona, juny 2013. Font: Conselh Generau d'Aran.

## 2. Context geogràfic

És previsible que esdeveniments naturals generalment detonats per factors meteo-climàtics (altes temperatures, precipitacions intenses) siguin més freqüents en el futur. L'increment de les temperatures i les onades de calor han provocat un augment de fenòmens com ara lliscaments de roques, allaus i corriments de terra. En algunes zones dels Pirineus hi ha hagut un increment del nombre d'allaus de gran magnitud els darrers anys. Tanmateix, encara resulta complicat definir amb exactitud la relació entre la intensitat de les precipitacions o l'augment de les temperatures amb l'increment d'esdeveniments com caigudes de pedra, lliscaments o ensorraments.



*Figura 30. Esllavissada a la Ribera de Valarties, maig 2018. Font: Conselh Generau d'Aran.*

És probable que l'escalfament global alteri la dinàmica de les zones gelades i glaceres dels Pirineus i, per tant, la seva estabilitat. Això podria augmentar el risc que es produeixin més episodis potencialment perillosos, com ara caigudes de roca o desprendiments de materials, especialment en zones amb pendents pronunciats.

Com a riscos geològics purament d'hivern, cal dir que la Val d'Aran ha estat pionera en l'anàlisi, seguiment i prevenció del risc d'allaus. Destaca en aquest sentit la cartografia relativa a la classificació del terreny d'allaus en base Avalanche Terrain Exposure Scale (ATES). La ATES és una cartografia que té per finalitat ajudar a tots els usuaris de muntanya hivernal a avaluar la severitat del terreny d'allaus en la fase de planificació de la sortida. Les tres classes de terreny – simple, exigent i complex – descriuen el grau d'exposició a les allaus i a les seves conseqüències.

## 2. Context geogràfic

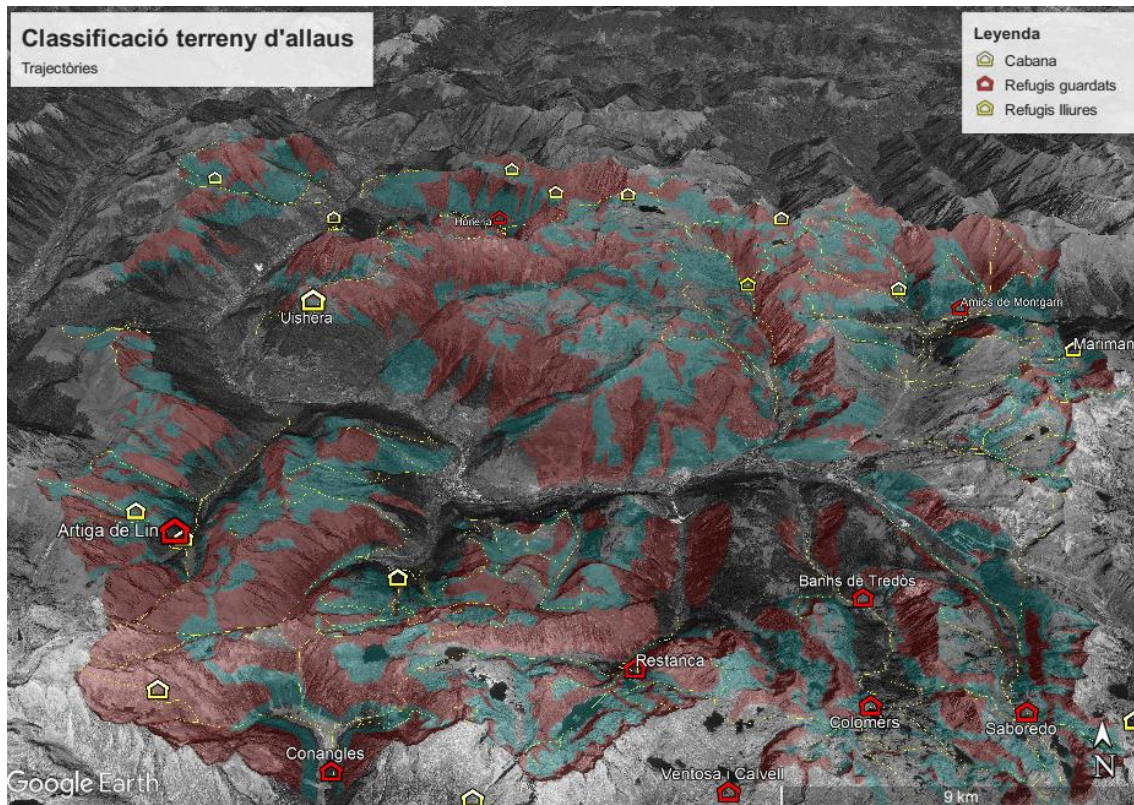


Figura 31. Classificació terreny allaus (ATES) Val d'Aran. Font: Centre Lauegi Aran.

En la majoria de la documentació de referència científico-tècnica dels Pirineus en relació al canvi climàtic, es detecta una manca de consciència en matèria de risc d'incendis forestals. En part és comprensible, ja que històricament els incendis no han estat un fenomen crític a nivell de seguretat ni tampoc ecològic. A nivell de percepció i de consciència del risc forestal s'obvia l'increment no-lineal de comportament de foc que es preveu lligat a una previsible transició i canvi dels nínxols piro-climàtics del Pirineu durant la primera meitat del s.XXI.

No obstant, quan es fa un zoom a nivell de tota la serralada dels Pirineus en ambdues vessants incloses des de l'Atlàntic fins al Mediterrani, i més encara, quan es fa un anàlisi comparada amb altres regions boreoalpines del planeta, la conclusió és que el risc d'incendis forestals amb comportament extrem de foc és altament probable a mig-llarg termini en les condicions de paisatge actual i canvi climàtic. Aquest feedback global té una traçabilitat a base d'episodis recents, darrers 5 anys, en boscos boreals de la península escandinava, o en serralades com Alps i Andes, entre altres.

Tenint en compte les condicions climàtiques pròpies de mitjans muntanyosos, els Pirineus han estat històricament afectats per incendis forestals de primera i segona generació. No obstant, l'augment de les temperatures, la colonització de bosc en zones obertes i l'augment de la presència humana en mitjans forestals poden modificar aquest estat. Actualment, als Pirineus, la gran majoria d'incendis forestals tenen lloc en el període hivernal (causats per una vegetació seca provocada pel fred hivernal). Aquest tret hivernal és especialment plausible en el cas de la Vall d'Aran. El risc estival d'incendis forestals afecta principalment la franja est de la serralada. Aquesta estacionalitat d'incendis tant acusada a l'hivern coincideix amb la gestió de pastures i particularment amb l'execució de cremes controlades, accions amb una llarga tradició que s'han donat i es donen en ambdues vessants de la serralada.

La tendència del clima al Pirineu, i per se també a l'Aran, marca una continentalització (o una mediterraneïtzació) de certs sectors, que conjugada a una disminució de la coberta de neu, un augment de la disponibilitat i de la continuïtat de combustible (degut principalment a la disminució

## 2. Context geogràfic

de l'activitat pastoral) fa que augmentin els riscos d'ocurrència i de propagació dels grans incendis, ja siguin hivernals o estivals segons els sectors.

La gestió dels mitjans (forestals i agro-pastorals), la vigilància, la previsió del risc adaptat al context pirinenc i el reforç d'una cultura del risc pel conjunt dels actors del Pirineu són elements essencials per evitar l'aparició i la propagació de possibles grans incendis forestals futurs, garantint limitar els impactes dels mitjans naturals i els factors socio-econòmics dels nostres territoris.

### **Recomanacions de la OPCC en matèria de riscos naturals**

1. Potenciar estudis de caracterització local dels riscos naturals incorporant, en la mesura del possible, les projeccions futures del clima (p. ex. substituir els valors de referència actuals per altres que incorporin la possible evolució climàtica en els models de càlcul de riscos).

2. Prioritzar la selecció de mesures “robustes” que resultin eficaces per a la reducció de la vulnerabilitat als riscos naturals, amb uns resultats positius independentment de l'evolució del clima i de les incerteses (p. ex. combinar solucions basades en la naturalesa amb mesures estructurals i mesures de gestió).

3. Millorar el coneixement de l'impacte del canvi climàtic sobre els desastres naturals i, en particular, dur a terme un inventari de les mesures existents per a la prevenció d'inundacions; elaborar mapes de riscos naturals; crear eines d'ajuda a la decisió i, alhora, integrar les projeccions climàtiques.

4. Mantenir i optimitzar els actuals sistemes de seguiment dels diferents perills naturals de manera que permetin un millor monitoratge a les zones ubicades en altura i/o de difícil accés, i a més potenciar la cooperació transfronterera per mutualitzar esforços en l'obtenció de dades i en el seu processament.



## **2.2 RÈGIM D'INCENDIS**

En la present secció es fa una descripció holística del règim d'incendis de la Vall d'Aran. Es fa un zoom més gran i es contextualitza el règim dins de la finestra 'Pirineu occidental', a més de la mateixa Val d'Aran, per poder donar una aproximació més completa. S'han exclòs els incendis del Pirineu oriental perquè tenen unes característiques sensiblement diferenciades al Pirineu occidental (criteri expert).

La delimitació de les zones s'ha fet en base al treball de Piqué et al 2014, en què es presenta les zones *homogènies de règim*, que són zones delimitades per orografia en què el règim d'incendi es considera constant. La Val d'Aran correspon a la zona 1, mentre que el Pirineu occidental engloba les zones 1,2,3,4,5,6,12 i 13.

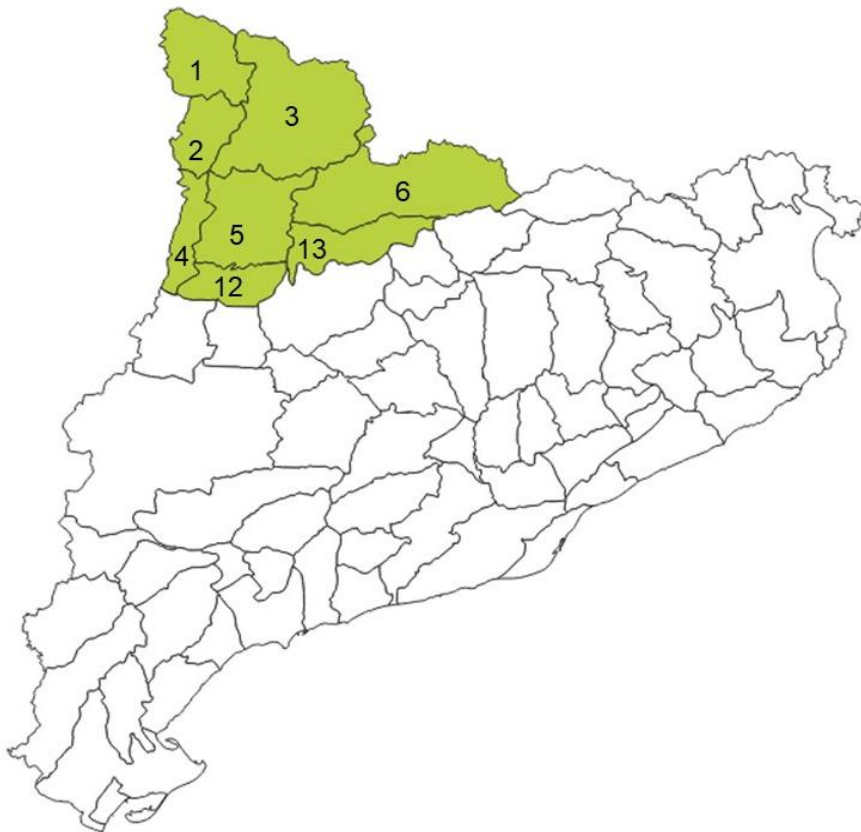


Figura 32. Àrea del Pirineu occidental al qual fa referència la present caracterització del règim, juntament amb la Val d'Aran. Font: elaboració pròpia.

### **2.2.1 Aproximació al Pirineu occidental i la Val d'Aran**

El règim de foc de la Val d'Aran (VA) així com dels Pirineus en general cal entendre'l com una singularitat diferenciada dins del context mediterrani del NE de la península ibèrica. Aquest fet condiciona l'estudi i la consciència de foc relativa a l'àmbit geogràfic del Pirineu en general, i de la VA en particular. De fet, la base de dades oficials de la Generalitat de Catalunya del Servei de Prevenció d'Incendis Forestals (SPIF), que ha jugat un paper cabdal en termes estadístics a l'hora de caracteritzar la història de foc més recent de Catalunya, presenta un forat estadístic important al Pirineu occidental comparativament a la resta del territori català. A grans trets, això respon a dos fets:

- (a) Una part de la base de dades oficial d'incendis de la província de Lleida es va perdre en la migració administrativa del paper al món digital. La disponibilitat de dades va quedar diluïda,

provocant que prèviament a l'any 1986 les dades siguin inexistentes o en el millor dels casos, de baixa fiabilitat.

- (b) Les cremes controlades del Pirineu, amb una petjada de foc notablement més elevada que a altres indrets del país, ja sigui per quantitat de superfície gestionada o per recurrència, no estaven contemplades en la base de dades. Això s'explica en part perquè fins fa relativament pocs anys les cremes no tenien un registre propi ni una estadística de superfície associada. Alhora, els incendis on la causa d'ignició era una crema fora de control sovint no quedaven integrats en l'estadística d'incendis.

Les cremes controlades juntament amb les "cremes escapades" suposen una petjada de foc molt significativa tant a la VA com al Pirineu occidental. El fet de no comptabilitzar les cremes a la base de dades i ometre la petjada de foc en un món que ha cremat i crema molt estretament relacionat a aquesta pràctica, explica en part algunes de les singularitats del règim dels Pirineus.

### **Incendis, dinàmica del paisatge i perspectiva social**

En el context de la conca mediterrània hi ha múltiples evidències sobre la interacció del foc en la dinàmica del paisatge, amb una tendència a l'alça de la severitat socioecològica durant les darreres dècades. En el cas dels Pirineus, el fet que no existeixi una densitat de població tant quantiosa i/o exposada als incendis com a en la majoria de zones d'interior, pre-litoral i/o litoral de Catalunya, explica en part que l'interès i publicacions al Pirineu en aquesta matèria siguin més escasses.

El Pirineu té una diferenciació biogeogràfica i cultural pròpia, i en això rau també la seva singularitat a nivell de règim d'incendis. Se'n destaca la diferenciació en l'estacionalitat, on tant en nombre d'incendis com de superfície cremada existeix una major petjada de foc durant l'estació hivernal (veure taula 6). Aquest fet està íntimament lligat amb la fenologia i cicles vitals de les comunitats vegetals que hi habiten, unes comunitats vegetals per altra banda que donada l'amplitud de condicions ambientals pautades per la seva topografia alberguen la major biodiversitat arbrada del país (Inventari Ecològic Forestal de Catalunya, Regió Forestal I).

Aquesta diferenciació en l'estacionalitat i especialment de les comunitats vegetals presenta similituds amb zones remotes a la península ibèrica, més típicament lligades a regions boreoalpines i eurosiberianes. Els sòls profunds amb una elevada concentració de carboni típicament representats amb les torberes dels boscos boreals i de la gran plana europea també es donen al Pirineu en extensions molt més modestes. Al Pirineu, si bé als estius hi ha incendis i petjada de foc, és a l'hivern quan les condicions amb capacitat de propagació a escala paisatge es donen amb major freqüència. Els estius del Pirineu, i més acusadament a la Val d'Aran, propicien les condicions òptimes per l'activitat i creixement vegetatiu. Curt i ras, a l'estiu normalment el paisatge està verd, i per contra, a l'hivern les baixes temperatures inhibeixen l'activitat vegetativa i molta de la vegetació queda en un estat dorment. Els prats, constituïts per herbàcies i matollars d'alta muntanya, per sota la cota de neu, queden ressecats generant unes condicions facilitadores per a la propagació d'una ignició puntual.

Aquest tipus de finestra d'incendi és molt més reduïda al llarg de l'any en boscos boreals del nord d'Europa, on l'hivern manté una capa de neu generalitzada i un permafrost estacional. En la transició de l'hivern (parada vegetativa) a l'estiu (activitat vegetativa màxima) és quan es donen unes condicions similars als boscos del Pirineu durant bona part de l'hivern, i coincideix amb el moment de l'any on els incendis tenen més espai per córrer i/o també on les cremes prescrites tenen finestres d'oportunitat. En condicions de canvi climàtic com les actuals, en aquests boscos boreals de la franja subàrtica l'estiu comença a generar situacions de major risc d'incendis i vulnerabilitat, en part pel forçament climàtic i més concretament pel fenomen d'*amplificació tèrmica* que es dona en aquelles latituds.

En termes de dinàmica de paisatge, les cremes controlades han tingut un rol reconegut en la cultura de la comunitat rural pirinenca, tot i que sense la base de dades oficial resulta més difícil de quantificar i valorar en primera instància. Resulta evident que les cremes controlades han ajudat a mantenir pastures extensives, fins al punt que la heterogeneïtat i la diversitat ecològica dels Pirineus s'explica entre molts altres condicionants ambientals per la història de foc. Això, que pot

semblar exagerat pel Pirineu, no només és evident en la història recent del segle XX sinó que s'ha pogut demostrar gràcies a estudis de paleoecologia que han anat apareixent gràcies a noves metodologies de recerca. En aquest sentit, destaquem l'extens treball del *Grup de Recerca en Àrees de Muntanya i Paisatge* (GRAMP) a la serralada del Pirineu i del Cantàbric, reconstruint la geohistòria ambiental durant l'Holocè i el Tardiglacial.

Des del punt de vista social més contemporani, existeix una incapacitat per reconèixer el rol ecològic que juga el foc en la majoria de regions forestals del planeta. L'expressió "fire blindness" en anglès, o "ceguesa de foc" en català, és una metàfora científica que posa nom a aquest desajust científico-cultural (Pausas, 2018). En general, la percepció sobre els incendis i el foc acostuma a ser diferent entre la societat més urbana i les comunitats rurals. Al Pirineu, i des de la percepció més urbana, és fàcil deixar-se confondre per la seva verdor durant l'estiu i les muntanyes nevades a l'hivern, fent que a ulls no experts el foc es percebi sovint com un fenomen rar. Hi ha dos aspectes culturals relacionats amb la percepció cultural i històrica del foc al Pirineu:

- Per una banda, les festes del foc del solstici d'estiu, les falles del Pirineu, amb una tradició mil·lenària mantinguda fins l'actualitat i que l'any 2015 van ser reconegudes per Nacions Unides com a Patrimoni Cultural Immaterial de la Humanitat. Les falles es baixen per la muntanya a principis d'estiu, just quan comença l'estació més crítica d'incendis al mediterrani però que al Pirineu coincideix amb l'època fenològicament més activa i de menor risc d'incendis de l'any.  
<https://youtu.be/PcUd9AShVyc>; <https://ich.unesco.org/es/RL/fiestas-del-fuego-del-solsticio-de-verano-en-los-pirineos-01073#identification>
- Per altra banda, referent a les etimologies tant controvertides com variades de Pirineu, volem destacar la que fa referència al foc. Un text de Diodor de Sicília (segle I aC) comenta que antany el Pirineu estava cobert de boscos que foren incendiats pels pastors. En relació a aquests fets, se'n deriva el nom Pirineu del grec antic *pir*, o foc (<https://ca.wikipedia.org/wiki/Pirineus>). Amb independència de la veracitat del seu origen etimològic, el fet irrefutable és l'existència de manuscrits on directa o indirectament al Pirineu es fa referència al foc i als incendis de forma similar a altres regions de la península ibèrica.

### **Ecologia del foc**

El foc es considera avui dia un vector de pressió selectiva que ha funcionat com a motor de biodiversitat a escala evolutiva amb un ampli consens dins la comunitat científica (L.T. Kelly, L. Brotons; 2017). Aquest tipus d'afirmacions científiques són plenament coherents amb els resultats i conclusions d'estudis paleo-ecològics que reconstrueixen la dinàmica del paisatge al Pirineu durant l'Holocè (Pelachs et al 2016, Pelachs et al 2008).

De manera similar i en analogia amb ecosistemes similars al Pirineu occidental, l'ecosistema de taigà compta amb una extensa producció científica relacionada amb el rol del foc en la biodiversitat (<http://lifetaiga.se/controlled-burning-in-woodlands/>). El foc en aquest tipus d'ecosistemes és clau per entendre la dinàmica i la biodiversitat associada, no només a nivell de diversitat d'arbres sinó en el conjunt de les xarxes tròfiques i cicles biogeoquímics que sostenen. En els boscos boreals del nord d'Europa, Finlàndia i Suècia principalment, s'ha reconegut un dèficit de foc en la història recent del segle XX, un dèficit que es tradueix en primera instància en homogeneïtzació del paisatge i posteriorment, en decaïment de la biodiversitat, simultàniament a la gestió econòmica i pressió selectiva pròpia de l'explotació forestal i de grans plantacions (Hyvarinen et al 2006).

Així doncs, amb prudència i sense perdre la perspectiva de la diferència entre ambdues geografies, una part d'aquest coneixement d'ecologia del foc dels boscos boreals resulta útil per al coneixement de l'ecologia del foc del Pirineu. A grans trets, el foc quan es dona al llarg del temps amb un rang de comportament divers sobre el paisatge (baixa, mitja i alta intensitat), genera un gradient de severitats. L'existència d'un gradient de severitats facilita diferents respostes ecològiques, propiciant finalment una dinàmica de pressió selectiva que reforça la

resiliència de tot l'ecosistema implicat. Aquesta pressió selectiva promou oportunitats a espècies dorments presents en l'ecosistema, i re-organitza el mateix a partir de la memòria acumulada.

L'ecologia del pi roig (*Pinus silvestris*), per exemple, està àmpliament estudiada tant al nord d'Europa com a la península ibèrica. A la península ibèrica destaca el coneixement científic en relació a l'estrès hídric imposat pel forçament del canvi climàtic i com això impacta en l'estat de les seves poblacions. Als països escandinaus per contra, han avançat més en entendre el rol del foc en la biodiversitat dels seus boscos, altament homogenis, mentre que tenen un dèficit a l'hora d'avaluar el risc d'incendi. Compartir aquest tipus d'informació i coneixement és fonamental per millorar la presa de decisions en ambdues geografies.

Per espècies com el bedoll (*Betula pendula*), els roures (*Quercus*) o les fagedes (*Fagus sylvatica*), entre d'altres, aquest tipus d'informació creuada també resulta útil. En altres casos però no es poden comparar les mateixes espècies vegetals, si bé també es troben similituds que permeten fer analogies útils per la gestió. És el cas de l'avet (*Abies alba*), típic al Pirineu i la Val d'Aran en particular, amb el fals avet o avet roig (*Picea abies*) dels boscos boreals del centre i nord d'Europa. Partint de la base que els règims d'incendis tant dels boscos boreals com dels boscos mediterranis han estat i són d'interès per la comunitat científica, dins l'àmbit mediterrani es troba un gran buit en quant a l'ecologia del foc de les avetoses, probablement per la baixa representativitat en l'arc mediterrani. Les poblacions de pícees del nord d'Europa però sí s'han estudiat en detall, i el foc en aquestes masses homogènies i tancades es manifesta majoritàriament a través de pertorbacions de renovació (<https://globalforestatlas.yale.edu/boreal-forest/boreal-ecoregions-ecology/fire-boreal>). Com a règims d'incendis d'alta severitat i amb períodes de rotació superiors als 100 anys, les masses de pícees evolucionen amb una petjada de foc on l'alta intensitat supera amb escreix la baixa i mitja intensitat. Si això es contrasta a la península ibèrica, malgrat tenir un àmbit d'estudi reduït pel que fa a incendis en avetoses, el feedback del nord d'Europa és coherent amb els incendis que s'han anat donant a Catalunya. Un exemple és l'incendi d'Àreu al Pallars Sobirà, del 23 de març del 2002, en un episodi de vent de nord i baixes humitats, on el foc propaga al contravent amb carreres de capçades en un bosc d'avet (*Abies alba*) i pi negre (*Pinus uncinata*).

### 2.2.2. Règim d'incendis

Un règim d'incendis és una descripció generalitzada dels patrons espai-temporals dels incendis i dels seus impactes sobre un ecosistema. Generalment es descriu com un concepte estadístic i es caracteritza paral·lelament a través de paràmetres com la intensitat, l'extensió, la freqüència (o recurrència), la severitat i l'estacionalitat (Agee, 1993).

A continuació es fa un recull a diferents escales d'espai i temps, anant més enllà de la delimitació estrictament administrativa pròpia a l'Aran per poder tenir una perspectiva formalment més representativa del règim. Es presenta així un recull estadístic i bibliogràfic sobre cada un dels atributs del règim d'incendis (intensitat, etc.) per al Pirineu Occidental i la Val d'Aran.

#### Comportament de foc i incendis tipus

Per entendre el comportament de foc i la propagació dels incendis es fa especial èmfasi en el concepte d'*incendis tipus*, que permet caracteritzar el règim en varis eixos. Atribuir un *incendi tipus* a un foc permet predir els moviments del foc sobre el territori i anticipar els canvis de paisatge que permetran una oportunitat d'extinció. Aquesta és la raó per la qual els cossos d'extinció usen sovint aquesta terminologia. A més, de manera sinèrgica, la gestió del paisatge també permet usar el concepte d'*incendis tipus* per aplicar accions efectives en *punts estratègics de gestió* que puguin suposar un canvi en la propagació de diferents tipus d'incendis. De fet, els *incendis tipus* proveeixen una manera fiable d'entendre les dinàmiques d'incendis sense dependre de modelització complexa del comportament de les flames. Les mides que els incendis poden aconseguir difereixen segons tipologia d'incendis i permeten caracteritzar el règim d'incendis. Per a més informació sobre cada tipologia d'incendi cal referir-se a la guia Costa et al 2012.

L'incendi tipus més representatiu al Pirineu occidental és el *topogràfic estàndard*. Són incendis que es poden donar durant tot l'any, que segueixen la màxima pendent de dia en les vessants insolades, i on la forma dels perímetres segueix vessants i conques hidrogràfiques. Els punts crítics són barrancs, nusos de barrancs i el posicionament de la cua o flanc. De nit la dinàmica de vents topogràfics s'inverteix, provocant que la cua propagui fàcilment en alineació al vent descendent, convertint la cua amb cap de l'incendi i alhora seguint preferiblement les zones més exposades com carenes. El *topogràfic estàndard* és també l'incendi tipus més representatiu dins l'àmbit geogràfic de la Val d'Aran.

En el límit sud del que s'ha considerat Pirineu occidental també trobem els incendis topogràfics de valls principals. És una variant del *topogràfic estàndard* que es caracteritza per una succió de l'incendi cap a la vall principal per efecte venturi, amb una dinàmica ascendent de dia i descendent de nit. La direcció principal dels perímetres és cap a la vall principal. Aquesta tipologia d'incendi topogràfic amb succió de la vall principal no està identificat dins l'àmbit de la Val d'Aran, i seria en aquest sentit un tret diferencial en relació la resta del Pirineu occidental (vall del Segre). El topogràfic amb succió de la vall principal es dona durant els mesos de més calor, on la inèrcia tèrmica genera major capacitat de convecció pel fons de vall, i en definitiva, vents topogràfics més potents que no pas en altres èpoques de l'any.

Pel que fa als *incendis tipus de vent*, dins l'àmbit del Pirineu occidental destaca el de *vent amb relleu*. Segueix crestes en serres alineades amb la direcció del vent, i en serres perpendiculars a la direcció del vent apareixen forts contravents. Aquests contravents faciliten la propagació ascendent degut a la turbulència mecànica en la vessant no exposada al vent en efecte directe (sotavent). Altres subfamílies d'incendis tipus de vent, com *vent a les planes i/o vent amb subsidència*, es donen en espais concrets de l'àmbit del Pirineu occidental, com per exemple a la plana de la conca de Tremp. No obstant, obviant aquestes excepcions, i tenint en compte la petjada de foc en superfície acumulada dins el règim d'incendis, els *incendis de vent amb relleu* són els més característics. Pel que fa a incendis tipus *convectius* no existeix cap evidència dins el registre de la Generalitat de Catalunya sobre activitat de piro-cumulonimbus (PyroCu i PyroCb) en l'àmbit estrictament considerat com a Pirineu occidental, i per defecte, tampoc dins la Val d'Aran.

En quant a comportament de foc i cenyint-se estrictament a la informació de la base de dades oficial, els *incendis de vent amb relleu* a la Val d'Aran s'han donat en carenes i parts altes que coincideixen amb models de combustible de pastures i matollars. No s'obvia la possibilitat que s'hagin donat incendis en masses arbrades amb comportament de capçades, però el fet és que per tenir evidències d'això cal anar més enllà de la base de dades oficial, que ateny un període 30 anys. Per contra, a la resta del Pirineu occidental, dins d'aquest mateix rang d'anys, els incendis de vent amb relleu també han afectat històricament matollars i pastures però de forma significativa també a masses arbrades (Àreu març 2002; Viu de Llevata març 2012).

La tipologia d'incendis, tant topogràfics com de vent amb relleu, malgrat es manifesten amb comportament de capçades, queden limitats pels accidents orogràfics i en general per la magnitud de la topografia. A més, els grans fons de vall, corredors i punts crítics en relació la propagació d'incendis topogràfics, coincideixen sovint amb les zones més antropitzades, actuant com a discontinuïtats i barreres pel contagi del foc entre vessants.

Cal tenir presents també el rol dels *incendis tipus de tempesta*. A Catalunya s'han identificat diferents patrons d'incendis relacionats amb l'activitat de llamps i tempestes. L'activitat de llamps és una normalitat de la nostra meteorologia arreu del país, i donat que la formació de núvols també està directament vinculada a la interacció amb la topografia, és en les diferents serralades del país on les tempestes cobren més protagonisme. A Catalunya s'han identificat 3 tipologies d'incendis entrelligades amb el fenomen de tempestes. *Llamps amb inestabilitat no sinòptica*, *llamps amb pas de front posterior* i *focs amb tempesta propera*. Sense entrar als detalls de cadascuna d'aquestes casuístiques, totes 3 tipologies es donen arreu del país i especialment a tota la serralada pirinenca. La formació de núvols de convecció és un fenomen quotidià de moltes tardes d'estiu en el terç nord del país, i els conats d'incendis per tempestes seques són una part intrínseca del règim d'incendis. En quant a petjada de foc en superfície, aquestes situacions històricament probablement podien explicar una part important del règim d'incendis. Sense anar més lluny, en

ple naixement i desenvolupament del Cos de Bombers de la Generalitat a les dècades dels 70's i 80's, es troben múltiples incendis que responen a aquests patrons i que van deixar una petjada en superfície significativa en el context del Pirineu i Prepirineu (bosc de Pentina, Baix Pallars).

En l'àmbit concret de la Vall d'Aran, amb un clima atlàntic com a tret diferenciador de la resta de comarques del Pirineu occidental, la interacció de tempestes seques i ignicions genera menys activitat d'incendis i menys petjada en superfície. Part d'això s'explica directament perquè moltes d'aquestes ignicions es donen en l'alta muntanya, on en ple estiu sovint no es donen les condicions ambientals ni fenològiques perquè les ignicions de llamp propaguin lliurement més enllà de la zona de caiguda. En aquest sentit, els conats de llamp no queden registrats perquè succeeixen en zones remotes del Pirineu. Aquesta inhibició natural dels conats d'incendis de llamp és comuna arreu del Pirineu, si bé es reforça notòriament a la Val d'Aran degut a l'altimetria de les seves fronteres naturals, al seu clima atlàntic i a la fenologia de les seves comunitats vegetals. És per això que no es troben incendis d'estiu amb una petjada de foc significativa com si es dona a la resta del Pirineu occidental.

### **Intensitat i Severitat**

A Catalunya en general les dades històriques referents a la severitat i intensitat dels incendis són força escasses, mentre que la disponibilitat d'informació sobre el nombre d'incendis i la seva extensió és molt més generosa. En aquest apartat es fa una descripció de la intensitat i la severitat, però la valoració és simplement qualitativa. A nivell històric no es disposen de dades quantitatives, sent aquest tipus d'informació recollida més recentment per alguns incendis concrets gràcies a la tecnologia de satèl·lit disponible. En l'àmbit del Pirineu, aquest tipus de treball no s'ha desenvolupat encara, però seria d'interès per mirar d'entendre millor algunes de les seves especificitats, com per exemple considerar l'alta intensitat i la severitat en relació al mantell orgànic del sòl, un sòl orgànic que és substancialment més generós que a la resta del país i que alhora interactua de forma no-lineal sobre alguns aspectes com el risc de grans esllavissades o bé de balanç de carboni.

Seguint criteri expert i en base a ecosistemes similars, en el present estudi s'associa l'alta intensitat (en matollars) i l'alta severitat (en matollars) de forma íntimament lligada a la disponibilitat i afectació del subsol orgànic. És una consideració matisada als models de combustible de matollars i pastures d'alta muntanya, diferent a la que s'utilitza per la resta de la geografia del país on l'alta intensitat fa referència exclusivament al comportament de capçades.

El pendent, igual que el vent, alimenta de forma notable la velocitat de propagació. En aquest tipus de matollars de muntanya ubicats en pendents pronunciats, quan el foc propaga amb més longitud de flama consumeix més ràpidament el matollar, però sense que això impliqui major afectació al subsol o major severitat en el matollar.

### **Pirineu Occidental (=> intensitat i severitat)**

Al Pirineu occidental es donen habitualment incendis de superfície en grans extensions de matollars i pastures de l'alta muntanya (Cerbi 2016, Unarre 2019). Alhora, també hi juga un paper important el comportament de foc d'alta intensitat en masses arbrades, una casuística d'alta severitat que actua com a pertorbació de renovació. És un patró de comportament que es manifesta en masses arbrades de pinassa (Esplà 1979), pi roig (Calbinyà 2012, Viu de Llevata 2012), pi negre (Cabdella 2012, Ger 2012), avetoses (Àreu 2002). Les pertorbacions de fons en masses arbrades, aquelles que propaguen de superfície sense capacitat d'antorxeig ni severitat sobre l'arbrat, també entren a la graella de comportaments del Pirineu occidental, sent un comportament especialment comú en rouredes (Viu de Llevata 2012, Gerri de la Sal 2012) i de forma més excepcional, en fagedes (Viu de Llevata 2012).

## 2. Context geogràfic



*Figura 33. Exemples d'alta severitat en masses de pi roig (A) i pi negre (B), al Pirineu aragonès i a la Cerdanya, respectivament. Font: Cos de Bombers de la Generalitat.*



Figura 34. Exemple comportament de superfície baixa intensitat en una roureda del Baix Pallars (C). Consumeix el mantell de fullaraca i el combustible de 10h i 100h, foc amb baixa severitat que actua com a pertorbació de fons facilitant la regeneració d'herbàcies i pastures arbrades (D). Font: Cos de Bombers de la Generalitat.

Pel que fa a la resposta dels sistemes vegetals al foc, al Pirineu occidental la petjada en superfície queda parcialment modulada amb incendis d'estiu, en clar contrast a la Vall d'Aran on el règim està totalment decantat fora l'estació d'estiu. Això vol dir que si bé a l'Aran l'efecte del foc afecta a vegetació dorment, en el cas dels incendis d'estiu del Pirineu occidental la resposta és sensiblement diferent en la mesura que la vegetació està activada i en època de creixement.

L'afectació del banc de llavors d'algunes de les espècies de matollars més comunes, i més concretament, la resposta ecològica post-foc d'aquestes poblacions, la seva perpetuïtat o desaparició en àrees cremades està més condicionada al factor recurrència que al factor intensitat, de forma similar a com passa en moltes altres comunitats de matollars típicament mediterrànies.

#### **Val d'Aran (=> intensitat i severitat)**

Pel que fa a intensitat de foc, la Val d'Aran es caracteritza històricament per incendis sobre models de combustible de matollars i pastures. Aquesta realitat és diferenciadora a la resta de zones homogènies de règim del Pirineu occidental, on el règim avarca un ventall més ampli de models de combustible i comportaments de foc (intensitats), així com de tipus de pertorbació associada (severitats). El règim de l'Aran en la història recent ha estat clarament associat a *pertorbacions de manteniment*, cremes controlades o incendis que propaguen a l'hivern, sobre un combustible viu en parada vegetativa, que elimina temporalment l'estrat de matollar (anys) i que alhora facilita la regeneració de pastures. La intensitat és típicament la dels models de matollar, però sent el pendent un superlatiu de l'alta muntanya, sovint les longituds de flama són més elevades que en models similars d'altres indrets de la geografia de Catalunya.





*Figura 35. Crema de balegars en alta intensitat, solana Gessa 2017. Font: Cos de Bombers de la Generalitat.*

Pel que fa a la resposta dels sistemes vegetals al foc, a la Vall d'Aran el règim està totalment decantat en la campanya d'hivern, i això vol dir que el foc afecta a vegetació dorment. Si bé els detalls fenològics i de resposta ecològica post-foc queden fora de l'objectiu d'aquest treball, des del present projecte es considera important tenir en ment algunes premisses generals de cara als gestors de les forests públiques de la Val d'Aran, especialment pel que fa a les avetoses, que són forestalment el tret diferenciador de la comarca.

Les masses homogènies d'avet es desenvolupen i es mantenen sota unes condicions ambientals on les finestres de gran incendi, sequera acumulada, es donen amb menor probabilitat. Aquestes condicions de sequera acumulada severa, si bé són escasses, entren dins la normalitat en intervals de temps de l'ordre de dècades i/o centenars d'anys, deixant la possibilitat d'episodis d'alta severitat que es caracteritzen per una petjada de foc on la *pertorbació de renovació* esdevé dominant en relació a la *pertorbació de fons* (baixa intensitat sota arbrat). Aquesta dinàmica, típica dels boscos boreals i extensament documentada globalment, es dona de forma similar a tot el Pirineu occidental creant situacions clarament fora de capacitat d'extinció (La Tor de Querol, setembre 2011).

### **Estacionalitat**

A grans trets, per la regió biogeogràfica dels Pirineus, el final de primavera i tots els mesos d'estiu s'associen a època de creixement, mentre que les estacions de tardor i hivern la vegetació entra en parada vegetativa degut principalment a les baixes temperatures. Traduït a incendis, l'hivern, sota la cota de neu, facilita la disponibilitat del combustible.

A criteri expert, per la descripció del règim de l'Aran s'ha determinat que els incendis ocorreguts entre maig i setembre corresponen a incendis d'estiu, mentre que d'octubre a abril corresponen a mesos d'hivern. El fet de computar el mesos de abril com a "hivern" i no com a primavera respon

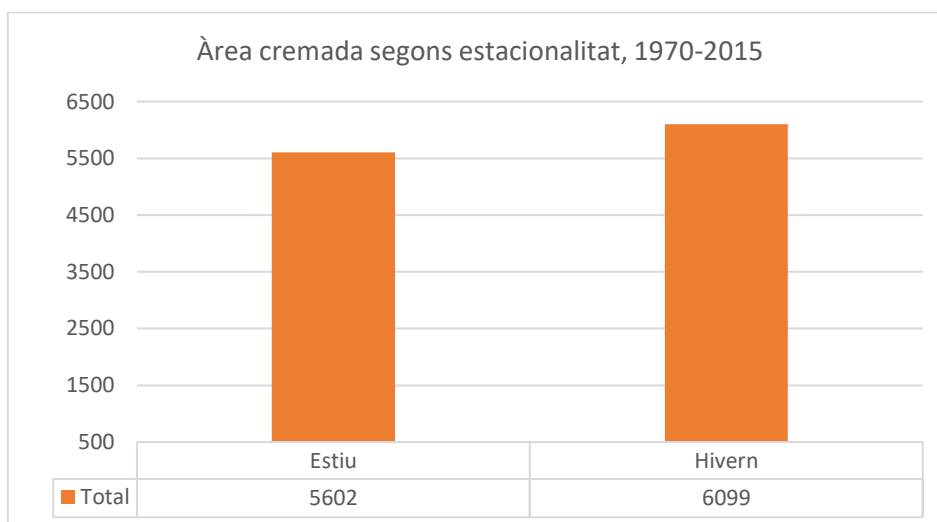
## 2. Context geogràfic

al fet que a efectes fenològics és a finals d'hivern quan el registre històric ocasiona major superfície cremada. Són els hiverns típics amb alta severitat d'incendis al Pirineu (Taula 6). D'altra banda, març i abril també coincideixen amb les nevades de primavera, que històricament deixen neu a les parts elevades de les vessants limitant la propagació d'incendis temporalment. Són els hiverns amb baixa severitat incendis.



Figura 36. Exemple de la disponibilitat dels balegars (*Genista balansae*) en alta muntanya en l'estació hivernal (Solana de Vielha). Font: Bombers de la Generalitat de Catalunya.

### Pirineu Occidental i Aran (=> estacionalitat)



Taula 6. Àrea cremada (hectàrees) segons estacionalitat, Pirineu occidental període 1970-2015. “L'estiu” correspon als mesos de maig a setembre (ambdós inclosos) i Hivern amb els mesos d'Octubre a Abril (ambdós inclosos). Font: elaboració pròpia.

## 2. Context geogràfic

En l'àrea compresa dins del Pirineu occidental la superfície cremada en incendis d'hivern (octubre-abril) representa el 52% de la superfície cremada total del període considerat. Aquest fet posa de manifest, una vegada més, la singularitat del règim de foc i la diferenciació d'aquesta geografia dins l'arc mediterrani. Quan es compara amb la resta de Catalunya, aquesta diferenciació dels Pirineus es fa encara més plausible ja que l'estació d'estiu a la resta del país si ha estat històricament l'estació més severa durant els darrers 40 anys. Aquest anàlisi estacional, elaborat a mida del projecte, és coherent amb les escasses però ben vingudes publicacions científiques que han anat apareixent els darrers anys. Badia et al 2014 fa un anàlisi d'aquesta temporalitat sobre les comarques de l'Alt Pirineu i Aran.

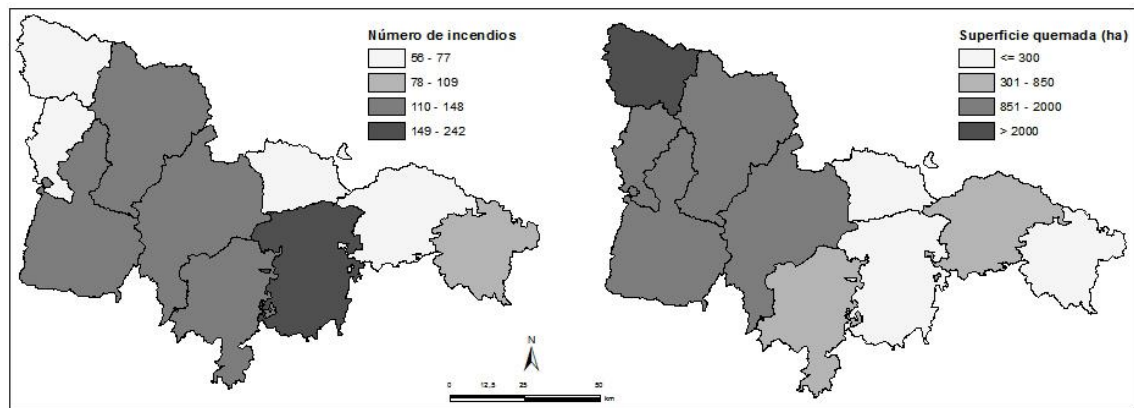


Figura 37. Distribució dels incendis i superfície cremada a les comarques de muntanya (1995-2008). Font: Canvis en els usos i cobertes de sòl, i els efectes sobre la vulnerabilitat en les comarques de muntanya de Catalunya. Del rol del foc com eina de gestió als incendis com amenaça. Badia et al 2014.

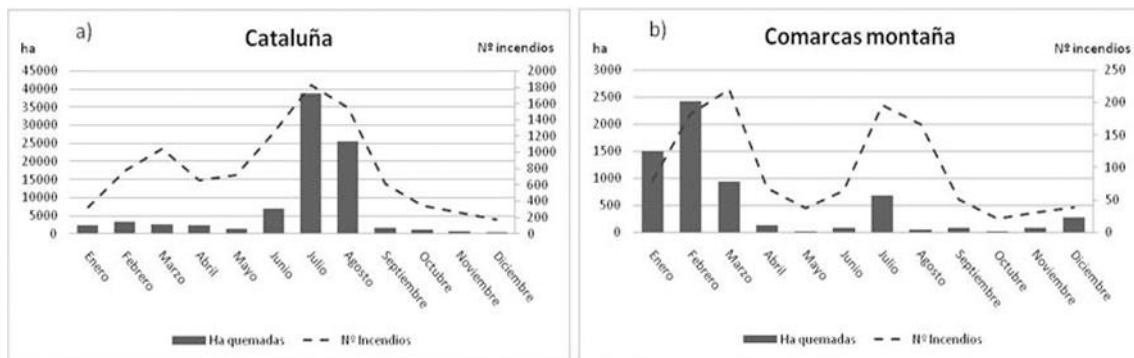


Figura 38. Nombre i superfície cremada a Catalunya i al Pirineu per mesos de l'any. Font: Canvis en els usos i cobertes de sòl, i els efectes sobre la vulnerabilitat en les comarques de muntanya de Catalunya. Del rol del foc com eina de gestió als incendis com amenaça. Badia et al 2014.

L'estudi de Badia et al 2014 demostra que els canvis en les cobertes i usos del sòl descriuen un paisatge més homogeni, fet que interpreta amb un augment de la vulnerabilitat del territori als grans incendis forestals. El mosaic agro-silvo-pastoral afavoreix la discontinuïtat de les masses forestals i afirma, literalment, suposa línies de ruptura en casos d'incendi. Des del criteri d'experts, coincidim amb l'afirmació de l'estudi tot i que cal tenir present que la fragmentació és efectiva en funció del comportament de foc, i en el cas de l'Aran, l'afirmació és coherent amb els incendis de 1a i 2a generació.

## 2. Context geogràfic

L'estudi també demostra que la superfície cremada es dona majoritàriament al matollar i bosc aclarit, amb la qual cosa s'alenteix la transició a bosc dens. Això casa especialment bé amb la realitat de la comarca de l'Aran, tal i com queda palès a través de la capa d'incendis creada a mida d'aquest projecte que reconstrueix un període de 28 anys, ni més ni menys que el doble que el període analitzat a Badia et al 2014.

Fent èmfasi en l'estacionalitat, l'estudi de Badia et al 2014 a grans trets confirma allò que s'ha anat apuntant fins ara; la superfície cremada total en els mesos d'hivern és significativament superior a la d'estiu. Aquest tret estadístic és superlatiu en la comarca de la Val d'Aran, que es desmarca clarament de la resta de comarques de muntanya, així com de la resta de zones *homogènies de règim* considerades com a Pirineu occidental (Figura 32). Dels 66 incendis de la base de dades validada de l'Aran només 1 incendi s'ha donat fora de l'estació de tardor-hivern. D'altra banda, a camp es poden trobar marques de llamps en arbrat lligades a tempestes típicament d'estiu que han generat conats d'incendi. El seu efecte acumulatiu en termes de petjada de foc històrica es considera estadísticament irrellevant.

No obstant, probablement degut a les notables diferències d'amplitud dels períodes analitzats, des del present estudi volem remarcar que la petjada de foc al Pirineu occidental en estació estival ha estat major a la que s'extreu de l'estudi de Badia et al, 2014.

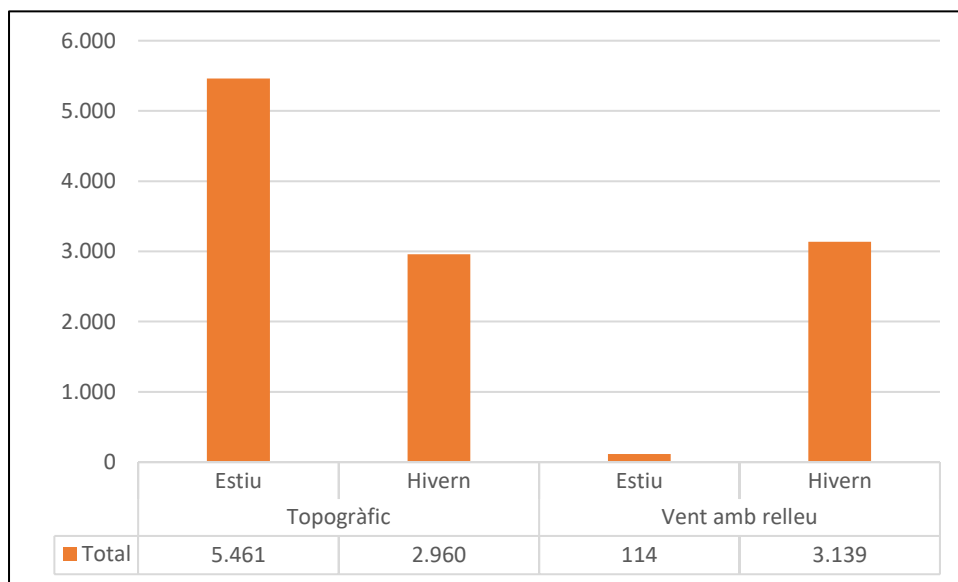


Figura 39. Àrea cremada segons patrons de propagació i estacionalitat, Pirineu occidental període 1970-2015. "Estiu" correspon als mesos de Maig a Setembre (ambdós inclosos) i "Hivern" amb els mesos d' Octubre a Abril (ambdós inclosos). Font: elaboració pròpia.

Pel que fa a patrons de propagació dels incendis i estacionalitat, la petjada de foc amb incendis topogràfics representa un 72% de la superfície total cremada durant el període, i alhora, la petjada dels topogràfics domina especialment dins l'estació d'estiu, representant el 98% de la superfície cremada en aquesta estació.

D'altra banda, la petjada de foc dels incendis de vent guanya protagonisme dins l'estació d'hivern, representant el 51% del total de la superfície cremada del període considerat.

### Àrea cremada i freqüència

Per estudiar la freqüència areal s'ha realitzat el càlcul del *període de rotació de foc* de la l'Aran (NFR). Aquest càlcul ja existeix en la classificació de zones homogènies de Catalunya tot i que difereixen significativament; 585 anys (Piqué et al 2014) versus 350 anys (proposta A.Duane i J.Oliveres)

Aquesta diferència no respon al mètode utilitzat sinó a les diferències de la base de dades utilitzada, ja que en el present treball s'han revisat i fusionat les dues bases de dades preexistents (Pericat Bombers i la d'Agents Rurals), havent fet una comprovació minuciosa amb validacions i desestimacions d'incendis, que en última instància ha aconseguit disposar d'una base de dades més robusta i sensiblement més àmplia en relació a les dues preexistents. Això també ha estat possible gràcies a fer aflorar la petjada de foc relativa a les cremes controlades, cremes que quan s'escapaven de control no es consideraven com a incendis, i per tant, ja bé per recurrència o per superfície acumulada, quedaven sistemàticament fora del registre.

El resultat és una base de dades de 65 incendis validats a la Val d'Aran, on s'han pogut acotar les situacions sinòptiques, patrons de propagació i estacionalitat, i paral·lelament, una base de dades amb 721 incendis validats a escala Pirineus occidentals.

L'anàlisi estadístic aquí present avalua els següents indicadors per a les dues regions per a comprovar l'evolució del règim:

- Àrea cremada total i nombre d'incendis
- Nombre d'incendis segons mida de l'incendi
- Àrea cremada segons mida de l'incendi.
- Relació àrea-freqüència. Aquest anàlisi ajusta una distribució *power law* al nombre d'incendis que ocorren respecte les seves mides. En concret, aquesta distribució *power-law* relaciona linealment en l'escala logarítmica el nombre d'incendis (eix de les Y) que hi ha per sobre de cada mida analitzada (eix de les X). La relació sempre és negativa, i el pendent mostra el pes dels incendis grans sobre els petits. Com més pronunciada sigui la pendent (propera a 2), significa que hi ha molts pocs petits i molts de grans. En canvi, com més aplanada es mostri, els incendis grans són menors en comparació als petits.

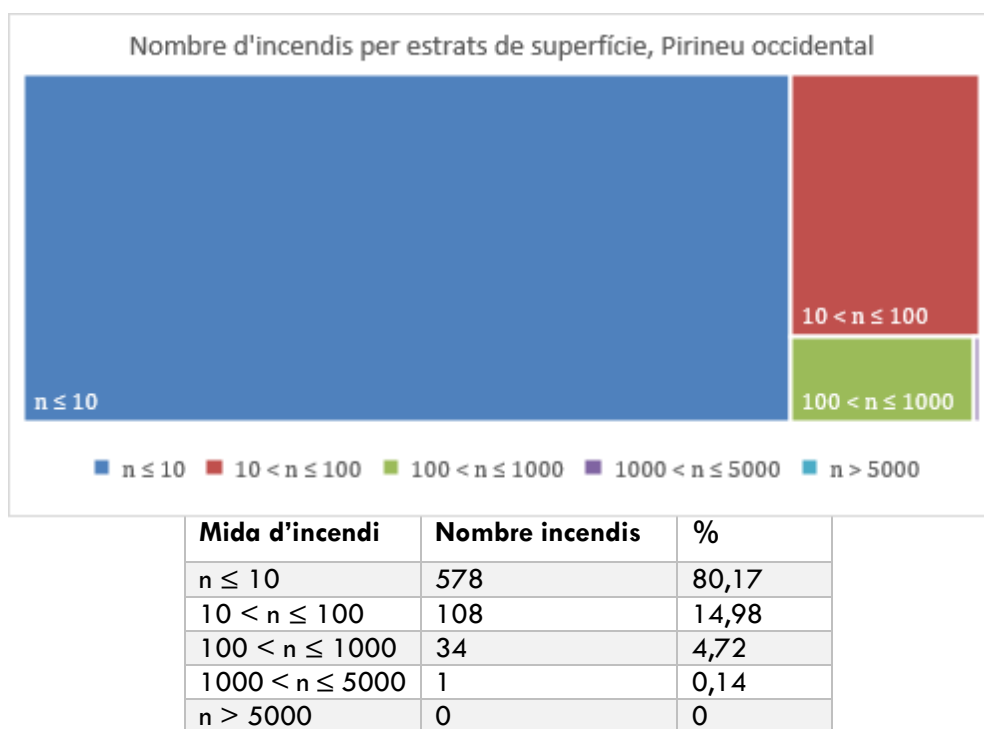
- **Pirineu occidental (=> freqüència areal)**

La taula 6 mostra el nombre d'incendis i l'àrea cremada per períodes al Pirineu occidental, amb una petjada total de 721 incendis cremant 15.800 hectàrees. També s'analitza segons diferents períodes (1986-2000 i 2001-2015). Hi ha una major incidència dels incendis en el període anterior a l'any 2000, que coincideix amb l'inici d'una major pressió d'extinció amb el naixement de la unitat GRAF. La major part d'incendis són menors de 10 hectàrees, n'hi ha alguns entre 1000 i 5000 hectàrees però no n'hi ha cap de més de 5000 hectàrees. La major part de l'àrea cremada és per incendis d'entre 100 i 1000 hectàrees (Taula 8).

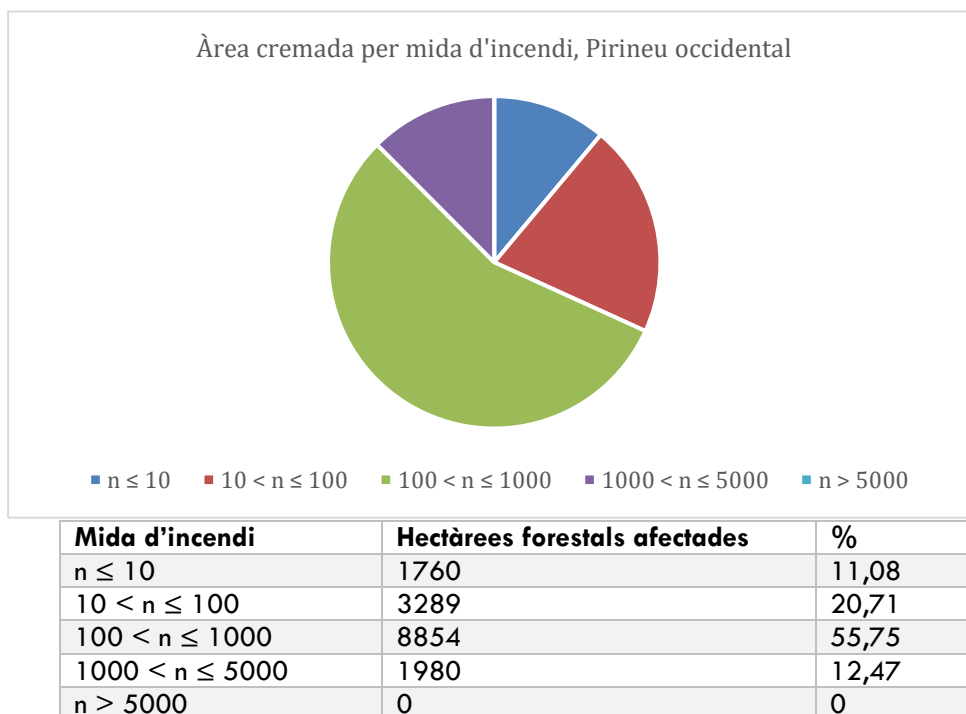
<b>Període 1986-2015</b>	<b>Àrea cremada (ha)</b>	<b>Nombre incendis</b>	<b>Mitjana (ha)</b>	<b>Mediana (ha)</b>	<b>Desviació est. (ha)</b>	<b>Xmax (ha)</b>
POc 1986_2015	15884	721	22	3	101	1980
POc 1986_2000	11489	507	23	3	116	1980
POc 2001_2015	4395	214	21	3	52	364

Taula 7. Estadística bàsica d'incendis Pirineu occidental, període 1986-2015. Per Pirineu s'entén el conjunt de zones homogènies de règim del Pirineu occidental més Pirineu oriental. Font: adaptat tesi doctoral Jordi Oliveres.

## 2. Context geogràfic



Taula 8. Nombre incendis i percentatges relatius per mides d'incendi al Pirineu occidental, període 1986-2015. Font: elaboració pròpia.



Taula 9. Àrea cremada per mides d'incendis i percentatges relatius al Pirineu occidental, període 1986-2015. Font: elaboració pròpia.

L'anàlisi estadístic d'àrea-freqüència al Pirineu occidental per als dos períodes comentats mostra que durant el període 1986-2000 hi ha més incendis grans que per al període més recent (Taula 9).

Anàlisi àrea-freqüència Pirineu occidental			
Període 1986-2015	$x_{min}$	$\alpha$	$n$ -tail
POc 1986_2000	12.0	1.79	93
POc 2001_2015	1.8	1.70	163

Taula 10. Anàlisi distribucions probabilístiques àrea-freqüència (FSD) Pirineu occidental, període 1986-2015. Font: adaptació tesi doctoral Jordi Oliveres.

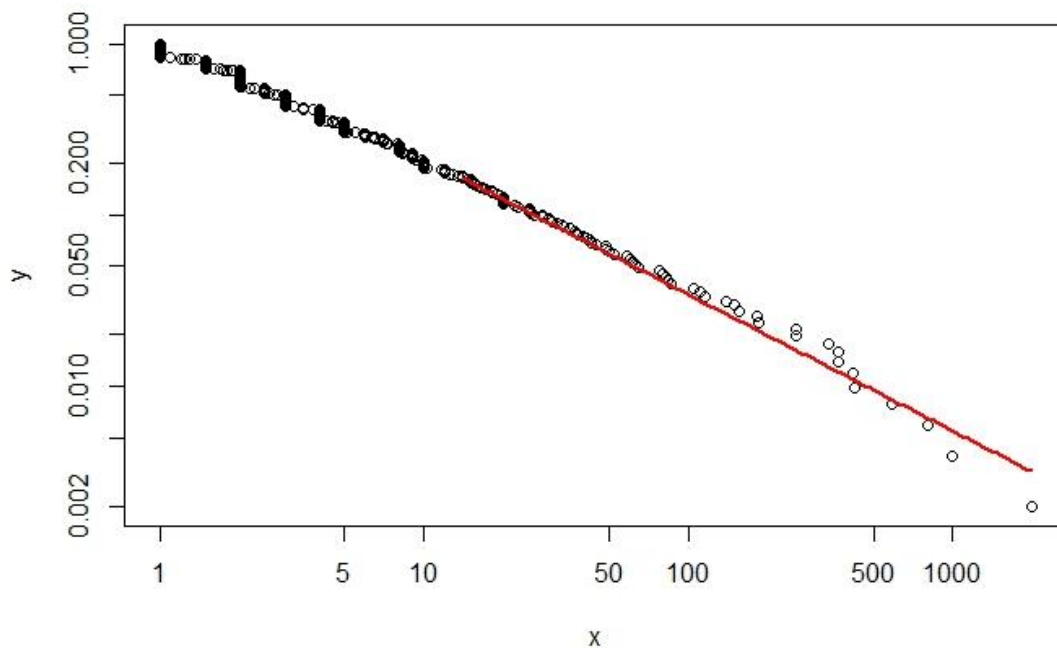


Figura 40. Distribució probabilística àrea-freqüència històrica (punts en negre) i distribució power law teòrica (línia vermella), pel Pirineu occidental durant el període 1986-2000. Font: adaptació tesi doctoral Jordi Oliveres.

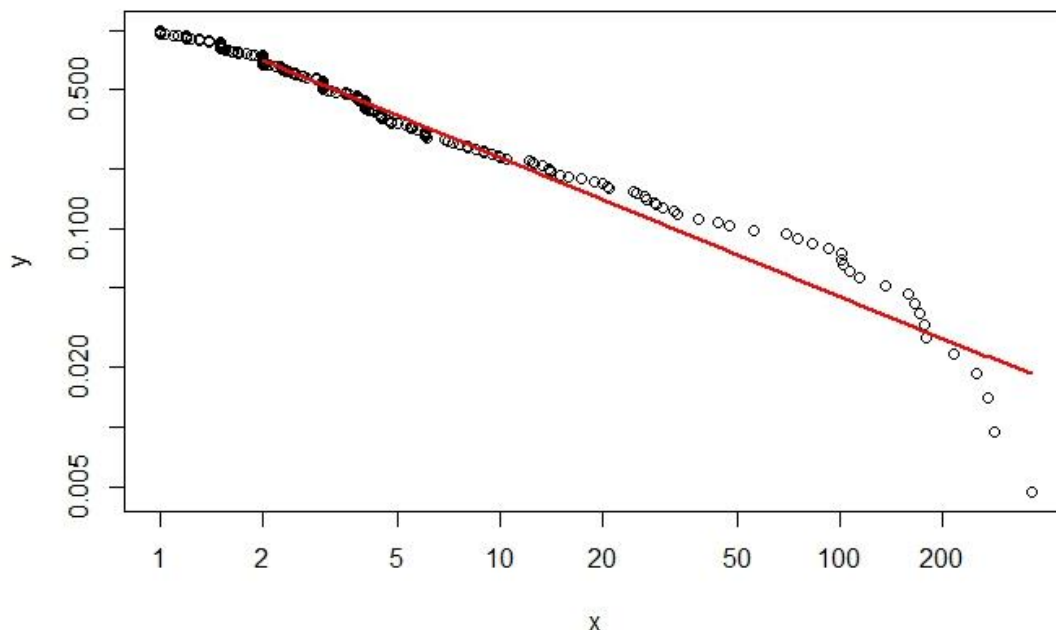


Figura 41. Distribució probabilística àrea-freqüència històrica (punts en negre) i distribució power law teòrica (línia vermella), pel Pirineu occidental durant el període 2001-2015. Font: adaptació tesi doctoral Jordi Oliveres.

En el període 2001-2015 (Figura 42) es pot apreciar que hi ha un decaïment de la probabilitat a la cua llarga per sobre les 200ha aproximadament, mentre que hi ha un augment de la probabilitat d'incendis en el rang superior a les 10 ha i inferior a les 200 ha. Aquest fet, segons criteri expert, es pot explicar en part a la magnitud de la topografia del territori considerat i a la relativa baixa freqüència de canvis d'alineacions que es donen en comparació a altres regions dels país. Aquesta característica de la topografia, així com de l'accessibilitat, limita des dels moments inicials de l'incendi les oportunitats a l'extinció convencional d'atac directe amb aigua per part de les unitats terrestres.

D'altra banda, les 200 ha són una escala de conca suficientment gran perquè apareguin límits geogràfics que com a canvis d'alineació, o bé es comporten com a barreres físiques a la propagació (barrancs, crestes, etc.), i/o possibiliten els esforços dels treballs d'extinció. En altres casos, 200 ha, i en patrons de propagació topogràfica i comportament de foc coherent als models de combustible de matollar i pastures, és una escala suficientment gran com per rastrejar, validar i/o crear oportunitats per l'extinció amb maniobres de foc tècnic per part dels equips d'intervenció amb ancoratges de fortuna; línies de defensa amb eines manuals i/o maquinària pesada, línies de contenció amb descàrregues dels mitjans aeris, etc.



## 2. Context geogràfic



Figura 42. Exemple maniobra amb foc tècnic al coll de Cerbi (2017), per evitar entrada del incendi al bosc d'Isil. Font: Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya.

En la distribució de 30 anys, en el cas del tot el Pirineu català, la caiguda de la cua llarga (mides més grans d'incendi) se situa clarament molt per sota de la caiguda que es dona a la resta del país en el període considerat.

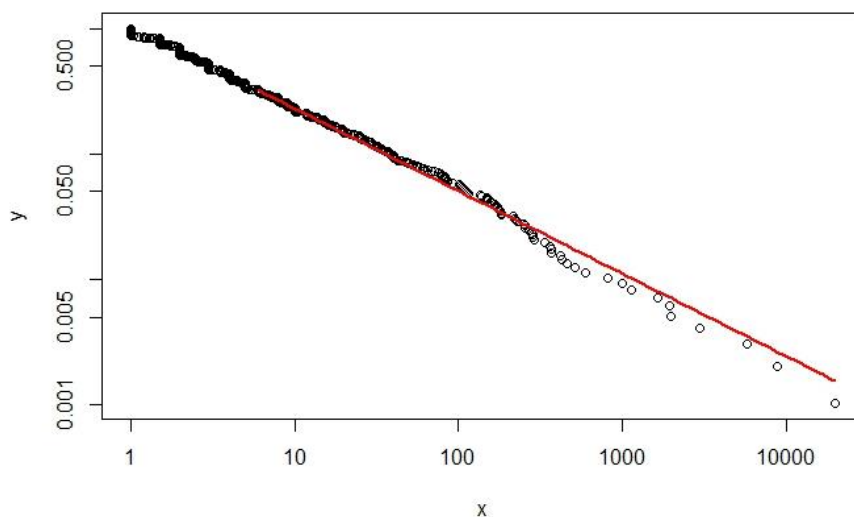


Figura 43. Distribució probabilística àrea-freqüència històrica (punts en negre) i distribució power law teòrica (línia vermella), per tot el Pirineu català durant el període 1986-2015. Font: adaptació tesi doctoral Jordi Oliveres.

Això, segons criteri expert, no s'explica per una major eficàcia d'extinció en aquests paratges sinó en bona mesura per les característiques tant del comportament de foc (no-extrem) com de l'altimetria. Concretament, la probabilitat de percolació entre conques hidrogràfiques i/o entre valls, tant secundàries com principals, és més baixa al Pirineu que en altres zones de la geografia catalana, com per exemple la Catalunya central, on els incendis forestals disposen de corredors de propagació que en condicions adverses actuen com a facilitadors del gran incendi (homogeneïtzació del paisatge tant en cobertes forestals com topografia).

## 2. Context geogràfic



Figura 44. Comportament de foc de 1a i 2a generació, incloent carreres puntuals de capçades, amb probabilitat baixa de contagi fora de la pròpia conca hidrogràfica (fletxa vermella comportament de capçades al contravent, incendi Cabdella 2012, vall subsidiària a la Noguera Pallaresa, Vall Fosca). Font: Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya.

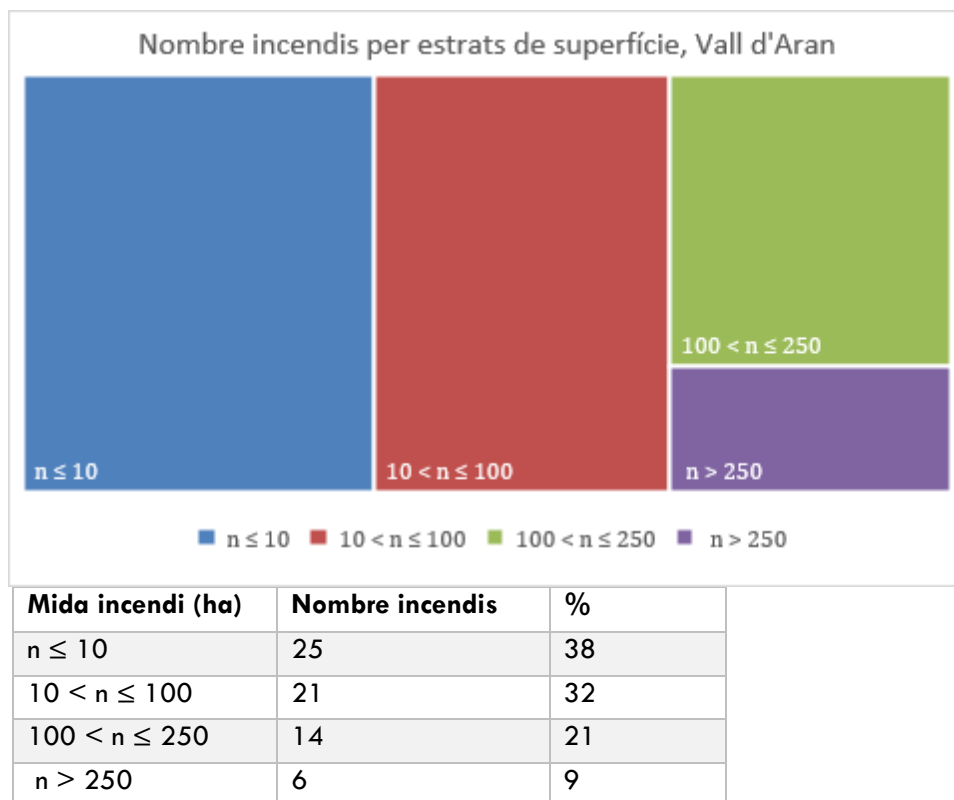
### La Val d'Aran (=> freqüència areal)

A la Val d'Aran el període amb dades fiables és més curt que a la resta del Pirineu occidental, i l'anàlisi del règim s'ha realitzat amb dades de 1990 a 2017. En aquest període existeix un registre de 66 incendis que cremen una àrea total de 5062 hectàrees, amb una mida màxima d'incendi de 432 hectàrees (Taula 11). La major part dels incendis són menors de 10 hectàrees (Taula 12).

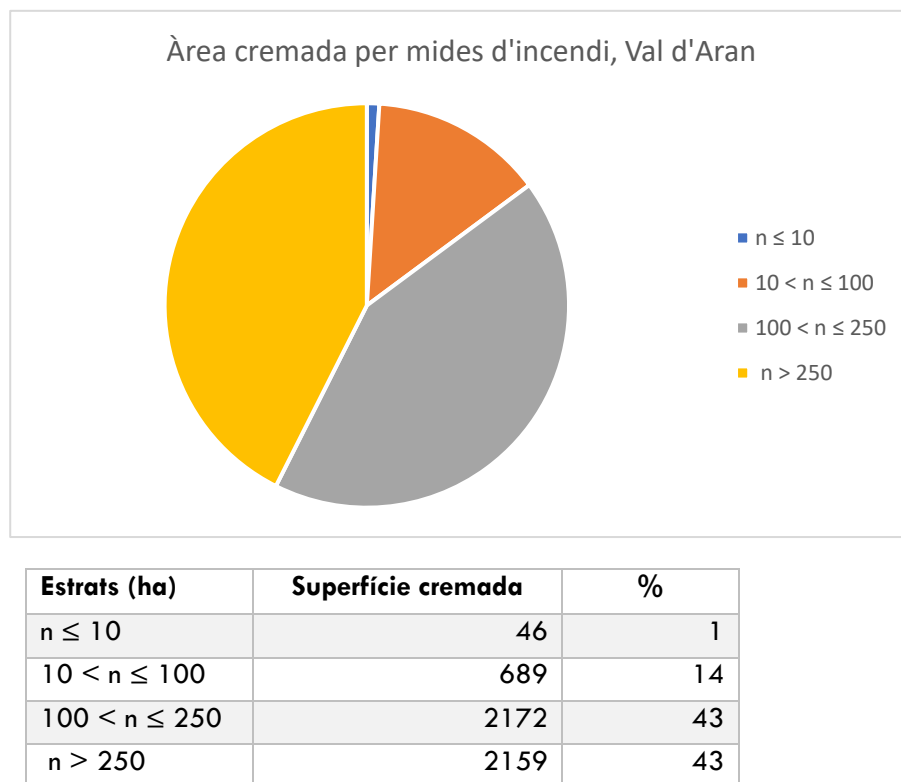
Període 1990-2017	Àrea cremada (ha)	Nombre Incendis	Mitjana (ha)	Mediana (ha)	Desviació estàndard (ha)	Xmàx (ha)
Incendis	5062	66	77	25	111	432

Taula 11. Estadística bàsica d'incendis Val d'Aran, període 1990-2017. Font: elaboració pròpia.

## 2. Context geogràfic



Taula 12. Nombre incendis i percentatges relatius per mides d'incendi, Aran període 1990-2017. Font: elaboració pròpia.



Taula 13. Àrea cremada per mides d'incendi i percentatge relatiu, Aran període 1990-2017. Font: elaboració pròpia.

Atenent a aquests resultats, es pot observar que el 30% dels incendis de mides superiors a les 100ha (Taula 12) representen el 86% de la superfície cremada total (Taula 13).

Per la mida d'incendis superior a les 250ha, un 9% dels incendis de tot el període (Taula 12), representa una petjada de foc de l'ordre del 43% de la superfície total cremada (Taula 13).

L'anàlisi de la distribució probabilística àrea-freqüència de la Val d'Aran (FSD) queda resumit en la taula següent:

Anàlisi àrea-freqüència Val d'Aran			
Període 1986-2015	$x_{min}$	$alpha$	$n-tail$
Incendis	100	2.53	20

Taula 14. Anàlisi distribucions probabilístiques àrea-freqüència Val d'Aran (FSD), període 1990-2017. Font: adaptat tesi doctoral Jordi Oliveres.

El coeficient alfa superior a 2 mostra una clara prevalença dels incendis grans a la Val d'Aran. Un valor tant alt és poc comú dins la bibliografia publicada per altres regions anàlogues, però això no implica que el resultat sigui erroni, ja que el mètode estadístic és robust i la plausibilitat de la power law també (J.Oliveres, treball tesi doctoral). Aquest valor excepcionalment alt més aviat suggereix l'alta antropització del règim de l'Aran en relació a les causes d'ignició així com la compartimentació orogràfica de les solanes on històricament s'han donat els incendis de forma freqüent.

En casos així, on el coeficient alfa és anormalment alt, una opció prudent és acceptar que la zona homogènia no disposa d'una base prou robusta com per caracteritzar-la estadísticament en termes de distribucions probabilístiques àrea-freqüència. Així doncs, per tenir una caracterització de les distribucions probabilístiques àrea-freqüència robusta l'opció d'ampliar la base de dades està justificada. D'altra banda, si bé la power law és una signatura estadística plausible atenent als resultats del test estadístic, el valor  $ntail$  20 ens indica que la power law és representativa per un 30% dels incendis disponibles, fet que confirma una vegada més la feblesa de la base de dades (65 incendis).

**Com a conclusió, la caracterització de la distribució probabilística àrea-freqüència de la Vall d'Aran cobra sentit valorar-la en la seva pròpia escala de zona homogènia de règim. No obstant, ampliar l'escala d'anàlisi per obtenir una base de dades més robusta ajuda significativament a identificar patrons regionals del Pirineu occidental així com també apreciar les pròpies singularitats de la Val d'Aran.**

Per últim, entre les diferents correlacions que s'han buscat per adaptar el model MEDFIRE, l'efecte de la climatologia sobre el règim d'incendis val la pena ressenyar-lo. No només com a tret estadístic significatiu per entendre millor el règim, sinó sobretot perquè pot tenir implicacions operatives en l'anàlisi i la predicció del risc forestal de l'Aran.

La tipologia d'incendis d'alta muntanya són especialment dificultosos pels equips d'intervenció quan el sòl orgànic està disponible i forma part del combustible implicat. Si bé són comportaments de foc de baixa intensitat que propaguen lentament i acostumen a ser estabilitzats més o menys ràpidament, són incendis lents en el seu remat quan les condicions del subsol són desfavorables. Això provoca que en comportament nocturn i amb vents topogràfics descendents, comencin a propagar en sentit contrari al patró diürn, fent que finalment avancin igual o més de nit que de dia (Cerbi 2016). D'altra banda, quan no entra en joc el combustible del subsol, de l'estabilització

## 2. Context geogràfic

de les flames al remat, no hi ha massa diferències. Això, a similar resposta dels equips d'intervenció, explica en part la mida final del incendi.

La Figura 46 mostra l'àrea cremada total per any (eix de les Y) en funció de la temperatura mitjana a la Val d'Aran entre gener i març. La temperatura de l'Aran s'ha extret de les dades de reanàlisis del MESCAN-SURFEX anàlisis (del model UERRA), disponible a la *Copernicus Data Score*. Les dades estan disponibles a 5.5 kilòmetres, i per aquest treball s'ha seleccionat els 4 píxels que cobreixen la zona de la Val d'Aran. S'ha seleccionat la temperatura a les 12:00 del migdia.

Un cop localitzada l'àrea cremada anual en funció de la temperatura, es calcula l'estadístic PetitTest, que calcula estadísticament un valor de canvi entre anys 'severs' i anys 'no-severs'. Aquest estadístic ha resultat ser significatiu per a una temperatura de 0.4 graus positius (es considera tota l'àrea de la Val d'Aran). Amb altres paraules, si la temperatura mitjana de tota la Vall d'Aran entre gener i març és superior a 0.4°C, l'àrea cremada aquell any correspon a un règim més sever que si no supera aquest llindar.

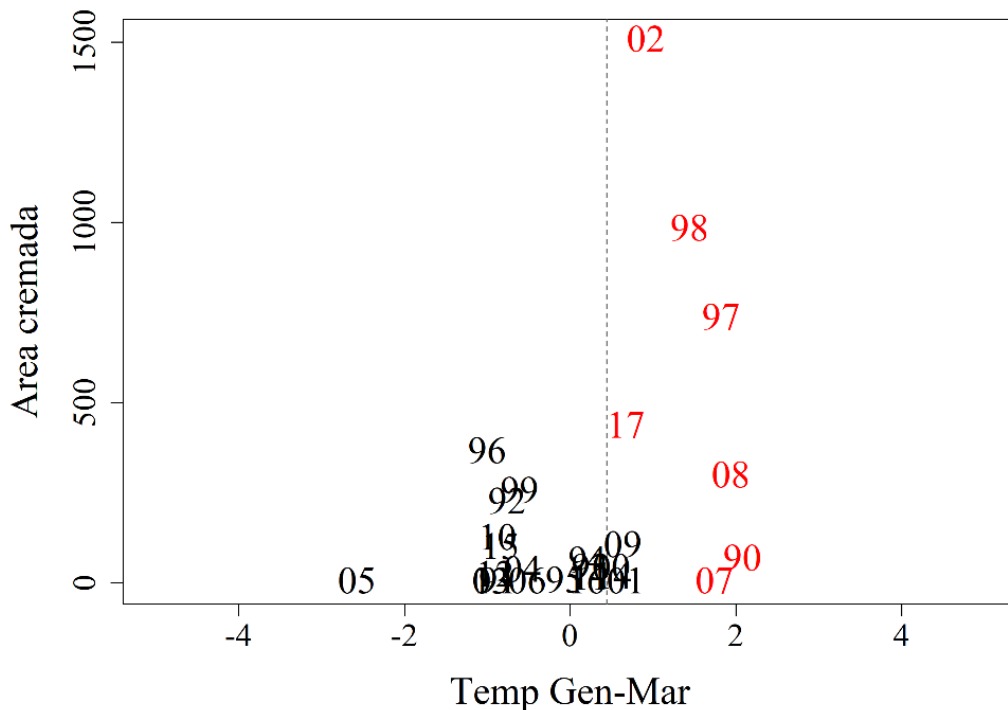


Figura 45. Àrea cremada anual per a cada any (els números dins la gràfica són les dues darreres xifres dels anys 1990-2017) en funció de la temperatura mitjana al gener-març a la Val d'Aran. La línia vertical mostra el llindar que difereix els anys severos (vermells) dels no-severs (negres). Font: elaboració pròpia.

## 3. JUSTIFICACIÓ

L'apartat 3.1 descriu d'una forma sintètica el context socioecològic vinculat als incendis. L'argumentació que se'n deriva és plenament representativa de tota la conca mediterrània, incloent dins d'aquesta singularitats de massissos de muntanya com per exemple els Pirineus.

L'apartat 3.2 justifica la necessitat d'incorporar la modelització com a eina de suport per a la fase de projecte actual relativa al disseny de la pre-planificació de l'emergència. Es fa una descripció bàsica de l'arquitectura del model que s'ha creat a mida, i el detall del model Medfire adaptat al projecte de l'Aran, dels seus resultats i conclusions concretes aplicades al projecte estaran disponibles com a referència tècnica a una plataforma web del centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC) i del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya (veure apartat 7 de referències).

Finalment, l'apartat 3.3 identifica les dues alternatives considerades, la resposta a l'emergència convencional i la nova proposta estratègica. S'acompanya amb un anàlisi comparat sobre les debilitats, amenaces, febleses i oportunitats lligades a cada alternativa, i amb una aplicació de la matriu de certesa/incertesa. Aquesta matriu és una metodologia pròpia del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya que s'utilitza per a la presa de decisions estratègica durant la gestió d'emergències. En aquest projecte, fent-ne una simplificació notable de la mateixa, s'ha aplicat per comparar ambdues alternatives a nivell de certesa d'escenari i seguretat.

### **3.1 SISTEMA SOCIOECOLÒGIC I INCENDIS**

En els darrers anys el comportament extrem dels incendis forestals en l'Europa mediterrània ha excedit la capacitat d'extinció dels serveis d'emergències. En conseqüència, els serveis d'emergències han adoptat estratègies defensives i han centrat la seva resposta en els riscos coneguts, allò que es coneix com *la trampa de la por*. En l'Europa mediterrània els incendis poden canviar ràpidament i impactar des del seu inici en la societat, augmentant així la incertesa i provocant escenaris operatius d'alta complexitat (Castellnou et al. 2019).

En aquest apartat es fa una reflexió del context socioecològic de forma relacional amb l'objectiu de crear un marc mental comú suficientment rigorós, transversal i prou flexible per entendre i interpretar la proposta estratègica que es presenta més endavant (figura 46). Per facilitar-ne la comprensió, es pot consultar terminologia a l'apartat C, Glossari, del present document de projecte.

Poder visualitzar d'una forma esquemàtica la complexitat inherent als sistemes socioecològics i els règims de foc és un pas necessari per poder agafar perspectiva des de múltiples camps i inquietuds pròpies a l'àmbit geogràfic de la Val d'Aran; emergències, protecció civil, gestió forestal, biodiversitat, economia, mitigació i adaptació al canvi climàtic, etc.

Entre els diferents conceptes que inclou l'esquema de la figura 46 es vol destacar aquí el de *Generacions d'incendis*. Aquest concepte ens ajuda a situar-nos en la dinàmica i en l'evolució dels paisatges a una escala de temps de dècades, permetent comparar així escenaris d'incendis i emergències entre diferents regions. El concepte aporta visió sobre possibles bifurcacions de paisatges, camins d'evolució, com a resultat de diferents dinàmiques de règims de foc.

La interpretació del mapa conceptual no depèn tant de les definicions dels conceptes (nodes) sinó que es fonamenta sobretot en definir les relacions (connectors), és a dir en argumentar el tipus de retroalimentacions que s'estableixen entre aquests nodes.

Les retroalimentacions positives representen una relació on si A augmenta, B també augmenta, i a l'inrevés, si A disminueix, B també disminueix.

En la mateixa lògica, les retroalimentacions negatives representen una relació on si A augmenta, B disminueix, i a l'inrevés, si A disminueix, B augmenta.

### 3. Justificació

Per últim, la fletxa del connector pauta simplement el sentit de la lectura per tal de facilitar l'argumentació que es presenta.

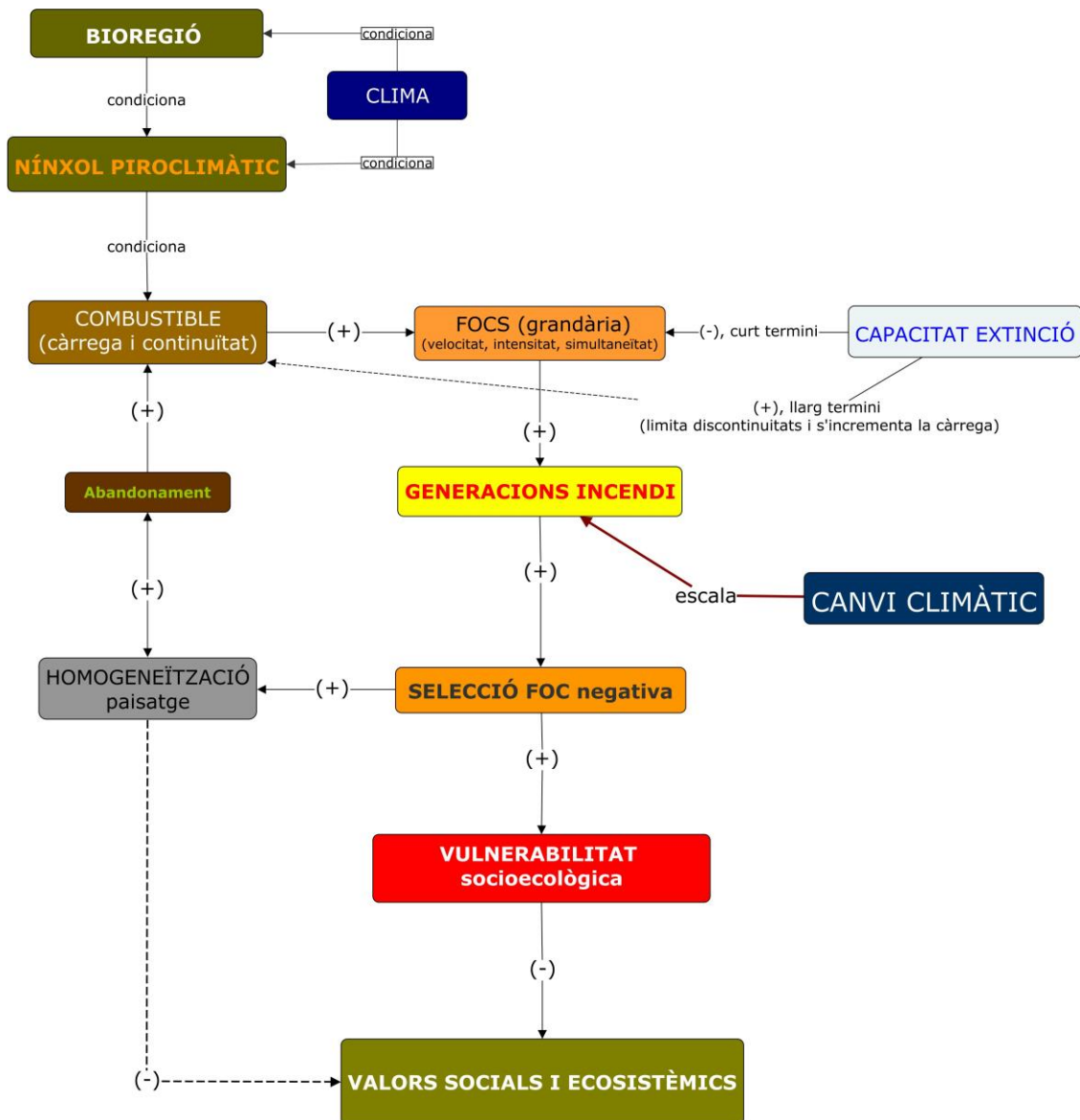


Figura 46. Mapa conceptual generacions d'incendis i vulnerabilitat socioecològica. Font: adaptat tesi doctoral Jordi Oliveres

La bio-regió i el clima predeterminen el nínxol piro-climàtic dels seus paisatges, i aquests alhora condicionen la composició i configuració del combustible en la matriu forestal.

A major grau d'abandonament, major càrrega i continuïtat del combustible. Més combustible implica més potencial de foc, ja sigui per continuïtat, velocitat, intensitat i/o simultaneïtat.

Per altra banda, més capacitat d'extinció a curt i mig termini implica menys superfície cremada, però a llarg termini genera un efecte col·lateral sobre la càrrega i continuïtat del combustible. La paradoxa de l'extinció s'explica precisament a través d'aquest efecte col·lateral, i és en bona mesura causa de les generacions d'incendi, juntament a altres factors socio-econòmics lligats al paisatge, o de forçament ambiental a una escala global com actualment passa amb el canvi climàtic.

### 3. Justificació

Cada salt de generació reorganitza el sistema creant una conca de perturbació amb propietats úniques que progressivament segueixen recarregant-se de combustible, forçat en bona mesura per l'extinció sistemàtica, fins a un nou estat crític. Cada salt endavant de generació implica superar les millores establertes pels sistemes d'extinció, i el resultat d'això és un efecte acumulatiu superior d'energia en els nostres paisatges que acaben desencadenant incendis de major potència energètica.

El *canvi climàtic* actual està en l'arrel del canvi dels nínxols piro-climàtics a nivell global, per tant, actua com un catalitzador en l'escalada de generacions d'incendis.

El canvi climàtic, com a fenomen d'abast global, ens ajuda a agafar consciència de la complexitat entre fenòmens interconnectats que operen de forma simultània a diferents escales espai-temps. Interrelacionar els incendis, fenòmens localitzats en l'espai i el temps, amb un fenomen d'abast global i més dilatat en el temps com és el canvi climàtic no és pas però un exercici evident. Allò que es coneix avui com incendis de 6a generació i com a *comportament extrem de foc*, entès com activitat convectiva amb capacitat de generar *PyroCu* i *PyroCb*, és un coneixement relativament recent i del qual encara hi ha més preguntes que respostes. Entre aquest coneixement més fresc en matèria d'incendis una certesa que s'ha fet evident és que el paisatge i més concretament, la càrrega de combustible forestal, ja no és el factor ambiental més rellevant per entendre el comportament de foc extrem. De forma similar, la meteorologia local i concretament, aquella que es manifesta dins les capes baixes de la columna de la troposfera, sota els 1500m aproximadament, tampoc és suficient per entendre el comportament de foc observat en els incendis que generen activitat convectiva de *PyroCu* i *PyroCb*.

Per altra banda, la *homogeneïtzació* opera a través d'un mecanisme de retroalimentació positiva amb la *selecció de foc negativa*, és a dir, quant major és la petjada en superfície en alta intensitat més es consolida la homogeneïtzació del paisatge. Al mateix temps, aquests paisatges homogenis actuen com a facilitadors de la migració i expansió dels grans incendis. Des de la perspectiva ecològica això no és ni bo ni dolent, senzillament és un mecanisme que tenen els sistemes naturals al seu abast per permetre la migració de les comunitats vegetals i reorganitzar l'estructura dels ecosistemes davant canvis de règims i/o forçament ambientals disruptius com en el cas del canvi climàtic.

La relació entre la selecció de foc negativa i la vulnerabilitat dels sistemes socioecològics també es dona a través d'un mecanisme de retroalimentació positiva similar a la homogeneïtzació. Quants més incendis de baixa i mitja intensitat és capaç de filtrar el sistema d'extinció, més augmenta a mig llarg termini la vulnerabilitat dels sistemes socioecològics.

Per últim, els valors del paisatge s'expressen tant en connotació social com ecològica, és a dir, els paisatges s'entenen com a sistemes socioecològics de naturalesa complexa. Quant major és la vulnerabilitat, més amenaçats estan els valors del paisatge.



## **3.2 MODELITZACIÓ**

### **3.2.1 Recomanacions Observatori Pirinenc Canvi Climàtic (OPCC)**

El OPCC fa un seguit de recomanacions en matèria de riscos naturals dins l'àmbit dels Pirineus que cal tenir-les en consideració en l'elaboració del Pla estratègic. En cursiva es presenten les recomanacions del OPCC, seguides d'una valoració concreta en relació a la proposta que emana del Pla estratègic.

*1. Potenciar estudis de caracterització local dels riscos naturals incorporant, en la mesura del possible, les projeccions futures del clima (p. ex. substituir els valors de referència actuals per altres que incorporin la possible evolució climàtica en els models de càlcul de riscos).*

El present Pla Estratègic es fonamenta en un model vàlid per la presa de decisions estratègica, el Medfire, que entre altres prestacions permet projectar el canvi de règim de foc en el context de canvi climàtic. Aquest model s'ha adaptat a la casuística concreta de l'Aran, i permet posar en valor un treball de recerca fet en el marc de la tesi doctoral de Jordi Oliveres, recolzat per la Doctora Andrea Duane i el Doctor Lluís Brotons, investigadors del CTFC. Aquest treball de modelització inclou una caracterització del règim de foc de Pirineus i de la seva singularitat dins la península ibèrica.

*2. Prioritzar la selecció de mesures "robustes" que resultin eficaces per a la reducció de la vulnerabilitat als riscos naturals, amb uns resultats positius independentment de l'evolució del clima i de les incerteses (p. ex. combinar solucions basades en la naturalesa amb mesures estructurals i mesures de gestió).*

El Pla Estratègic s'emmarca precisament sota aquesta premissa de reducció de la vulnerabilitat i incertesa lligada al canvi climàtic. Proposa un marc d'actuació transversal, la piro-sostenibilitat, i fa un pas endavant definint i proposant la pre-planificació de l'emergència com una eina d'eco-innovació estratègica. Amb ajuda de la modelització és possible valorar quantitativament el cost-benefici del *business as usual* actual (alternativa A) i el *new fire deal* (alternativa B). L'apartat 4 del present document desenvolupa de forma extensiva i concisa el disseny i la dinàmica de funcionament d'aquesta proposta d'eco-innovació.

*3. Millorar el coneixement de l'impacte del canvi climàtic sobre els desastres naturals i, en particular, dur a terme un inventari de les mesures existents per a la prevenció d'inundacions; elaborar mapes de riscos naturals; crear eines d'ajuda a la decisió i, alhora, integrar les projeccions climàtiques.*

El pla estratègic representa precisament una eina d'ajuda a la presa de decisions que integra de soca-rel les projeccions climàtiques sobre el risc d'incendis forestals al context de la Val d'Aran. Aporta informació nova i esdevé una eina original de gestió en matèria de riscos naturals i impactes potencials en la mesura que planteja i emfatitza en el fet que existeix una nova realitat lligada a la probabilitat de *PyroCu* i *PyroCb* als Pirineus. Una nova realitat en la història geològica recent (Holocè), que es preveu més probable als Pirineus que a la resta de Catalunya donada una concatenació de singularitats associables al massís dels Pirineus; càrrega i continuïtat de combustible, topografia, tipus de vegetació i magnitud dels impactes potencials derivats del forçament climàtic, entre altres. En argot expert, s'espera una onada de canvis disruptius i profunds del paisatge fruit d'un procés global de migració de generacions d'incendis.

*4. Mantenir i optimitzar els actuals sistemes de seguiment dels diferents perills naturals de manera que permetin un millor monitoratge a les zones ubicades en altura i/o de difícil accés, i a més potenciar la cooperació transfronterera per mutualitzar esforços en l'obtenció de dades i en el seu processament.*

El Pla Estratègic contempla i incorpora la transferència de coneixement i la cooperació transfronterera tant des del punt de vista de la resposta operativa com des de la vessant tècnica i científica. Aquests aspectes es detallen als apartats 5.2 i 5.3 del present document. Són un pilar bàsic per cultivar i escalar la resiliència entre pobles i regions.

En aquest sentit, el Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya ha estat fortament proactiu en la promoció i participació d'intercanvis professionals a nivell internacional, incloent també

l'àmbit transfronterer dels Pirineus. En matèria d'incendis forestals i liderat pel grup GRAF, els intercanvis han estat un actiu des dels seus orígens l'any 1999. Això explica que la cooperació transfronterera s'hagi anat normalitzant com una dinàmica crítica per escalar l'aprenentatge col·lectiu, així com per acumular experiència efectiva més ràpidament per part dels professionals involucrats.

L'emergència climàtica i la progressiva escalada d'episodis amb tempestes de foc en zones altament poblades, amb múltiples víctimes i amb un impacte econòmic de primer ordre de magnitud (Global Forum Economic Reports; Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy) han canviat les regles del joc tradicionals. Són fenòmens extrems amb una elevada severitat que s'han viscut en la darrera dècada a diferents continents, i que han fet més evident que mai la necessitat que aquests episodis extrems puguin ser monitoritzats i recolzats (assessorats) per la comunitat d'experts internacional, amb un patró d'aprenentatge similar a com la medicina i altres disciplines han globalitzat el coneixement i la cooperació transfronterera entre organitzacions i professionals acreditats.

#### 3.2.2 MEDFIRE Aran

El MEDFIRE Aran és un model dissenyat per a reproduir el règim d'incendis (patrons espacio-temporals de foc) a la Val d'Aran que està basat en la relació dels incendis amb el clima i el paisatge (ignicions, vegetació, edat de la vegetació i gestió [cremes prescrites i extinció]). **L'objectiu del model és poder analitzar les interaccions espacials que determinen l'activitat dels incendis sota escenaris canviants que inclouen tant variacions climàtiques com d'estratègia d'organitzacions d'emergències.**

Per conèixer els detalls de l'arquitectura del model i com s'ha adaptat a l'Aran, així com dels resultats i conclusions de l'experimentació virtual, es podrà consultar des de la web del CTFC i del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya, un cop s'hagi formalitzat la protecció de les dades d'autor. Aquesta informació quedarà publicada com a document tècnic (veure apartat referències).

El MEDFIRE Aran és un model que s'ha fet a mida del present projecte gràcies a una producció científica preexistent liderada per la recercadora post doctoral Andrea Duane i l'investigador Lluís Brotons, entre altres (Brotons et al., 2013; Duane et al., 2019). En el marc del present projecte, el model permet avaluar a futur la implementació de diferents estratègies de gestió sobre atributs del règim d'incendis que serien impossibles de quantificar sense l'ajut dels models, com per exemple la probabilitat de focs futurs, l'àrea cremada total, el paper de la dinàmica de la vegetació sobre incendis del futur, etcètera.

A partir d'aquest treball previ, i de nou gràcies al recolzament científic dels recercadors citats, s'ha pogut adaptar el model a les singularitats del Pirineu en general i de la Val d'Aran en particular. Aquesta adaptació ha requerit canvis en el propi model, tant estructurals com de calibratge, i ha requerit alhora d'un treball previ de recollida de dades i anàlisi de les mateixes per poder caracteritzar el règim de foc de la Val d'Aran i del seu àmbit geogràfic, els Pirineus occidentals.

Si bé la VA està identificada com una *zona homogènia de règim de foc pròpia* (Castellnou et al., 2009), el fet és que de forma similar a la resta de zones homogènies relatives al Pirineu, la seva caracterització presenta punts febles significatius. Això s'explica entre altres motius per les incoherències existents en les bases de dades disponibles del Pirineu, així com també pels seus atributs geogràfics de *rara avis* en relació a la resta de la Catalunya central i mediterrània.

El treball de caracterització del règim de foc dels Pirineus així com d'adaptació del model MEDFIRE a la Val d'Aran, s'han desenvolupat en el marc del treball de tesi doctoral del bomber del GRAF Jordi Oliveres a l'Institut universitari de recerca en Ciències i Tecnologies de la Sostenibilitat (ISST.UPC), un treball que només ha estat possible gràcies al tutoratge i recolzament científic de la Doctora Andrea Duane i Doctor Lluís Brotons recercadors del Centre Tecnològic i Forestal de Catalunya (CTFC) i al Centre de Recerca Ecològica i Forestal (CREAF).

### **3.3 Alternatives**

#### **3.3.1 Introducció**

Els objectius estratègics de la intervenció en incendis forestals s'emmarquen dins quatre tipus d'actuació operativa diferents, en funció de les característiques de l'escenari d'incendi:

- **Atac;** és la intervenció destinada a minimitzar la superfície afectada pel foc, fent ús dels recursos d'extinció per apagar el front de foc allà on estigui cremant. Es despleguen maniobres principalment d'atac directe, però també d'atac indirecte com cremes d'eixamplament i fins i tot en casos excepcionals de contrafoc.
- **Defensa;** és la intervenció destinada a protegir les persones i bens que es puguin veure afectats per la propagació del foc forestal. Es fan servir els recursos d'extinció per desplegar maniobres de protecció a la població, habitatges, càmpings, granges, indústries i d'altres elements vulnerables des d'emplaçaments segurs.
- **Confinament;** és la intervenció destinada a delimitar la superfície màxima que assolirà l'incendi forestal en un espai concret i conegut. S'accepten costos d'oportunitat, és a dir, per protegir i/o minimitzar la superfície total cremada o per motius estrictament d'autoprotecció, és necessari assumir la pèrdua d'una quantitat superior a la del moment en qüestió en que es planteja l'estratègia de resposta. Es pot desplegar qualsevol tipus de maniobra, però principalment destaquen les maniobres amb foc tècnic des d'eixos de confinament rastrejats i validats prèviament.
- **Gestió del foc;** és la intervenció destinada al seguiment de l'evolució de l'incendi (monitorització) amb la finalitat de minimitzar les seves conseqüències negatives o bé fins i tot de potenciar-ne els efectes positius del foc que hagin estat prèviament aprovats des de la pre-planificació de l'emergència. Es poden desplegar maniobres d'estabilització i acompanyament del foc fins a ancoratges definitius fins l'extinció final, i en general, qualsevol de les maniobres disponibles que en darrer terme serveixin per garantir el control de l'escenari pre-planificat.

En altres termes, donat un inici de foc, aquest pot evolucionar segons 3 escenaris estratègics generals diferents:

- A. Serà considerat un incendi convencional que caldrà extingir amb les metodologies habituals. A aquesta situació l'anomenarem: **INCENDI A EXTINGIR**
- B. Serà considerat un incendi, però està consensuat el seu avanç fins a uns punts preestablerts d'ancoratge. A aquesta situació l'anomenarem: **INCENDI CONFINABLE**
- C. Formarà part d'una crema prescrita aprovada per l'organisme competent. A aquesta situació l'anomenarem: **FOC GESTIONABLE**

D'altra banda, la valoració de l'escenari i la decisió dels objectius de la intervenció els decideix el Comandament de l'Incident (veure apartat 4.3).

L'extinció i el confinament d'incendis estan desenvolupats i normalitzats per part de gran part de les organitzacions d'emergències amb més o menys èxit, en funció fonamentalment del nivell de desenvolupament de la seva capacitat d'anàlisi tàctica i estratègica.

L'extinció acostuma a implementar-se amb èxit sempre que la capacitat d'extinció del dispositiu supera la velocitat i intensitat en la que propaga el front d'incendi. Això pot donar-se simplement per la capacitat de maniobra, o bé en organitzacions més madures, per la capacitat tàctica que permet escalar la capacitat d'extinció de forma significativa. Atenent a criteri expert i en termes generals, s'accepta que la capacitat de maniobra en atac ampliat té un llindar de 300-500 m/h, mentre que amb una planificació tàctica de l'emergència pot arribar fins als 500-1000 m/h.

Per contra, el confinament acostuma a implementar-se quan la capacitat d'atac directe queda superada per l'incendi, ja sigui per intensitat, velocitat o una combinació de factors físics i humans. En aquests supòsits i segons criteri expert, la capacitat estratègica en la planificació de l'emergència permet escalar la capacitat d'extinció i contenció de l'incendi fins uns 5 km/h.

### 3. Justificació

Per últim, amb una planificació de l'emergència que operi amb estratègia i amb plena capacitat organitzativa, és a dir amb una idea de resolució final estructurada i viable així com optimitzada a nivell d'operacions, coordinació i logística, el sostre d'extinció i contenció d'un incendi s'accepta que pot arribar fins als 5-10 km/h. Al Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya aquestes diferents aproximacions tenen una traçabilitat consultable gràcies a l'existència d'informes de retorn d'experiències que s'elaboren des de fa anys (veure referències).

En altres geografies com EUA o Canadà, si bé no és una pràctica generalitzada, ja tenen una llarga experiència en gestió de focs. És una realitat sensiblement diferent, molt acotada a espais remots dins de grans espais naturals protegits. En general, la gestió dels focs en aquests espais s'ha traduït operativament en monitoritzar l'evolució dins uns límits de confinament previstos, superats els quals l'extinció entra en joc (veure apartat 4.2, del "*let it burn al cabal ecològic de foc*").

A l'àmbit geogràfic de Catalunya i a escala europea en general, la gestió de focs no s'ha aplicat mai de manera formal. Primer, per la resistència al canvi, tant política, cultural o des de les pròpies organitzacions que gestionen les emergències. Una resistència que implica no reconèixer límits en la capacitat d'extinció, o ometre el rol del foc com procés ecològic. Però la raó fonamental darrere el fet que no es faci gestió de focs és principalment la seva complexitat a l'hora de plantejar-la i implementar-la; incertesa en la seva concreció pràctica, manca de consensos amplis entre propietaris i gestors forestals públics i privats, etc.

A criteri dels autors d'aquest projecte, i fent especial esment a la diferència radical en quant a resolució tàctica entre la casuística de països com EUA i Canadà i la que es planteja en l'àmbit de la Val d'Aran (veure apartat 4.3), podem afirmar que la diferència entre una *crema prescrita* convencional i l'escenari de *gestió de focs prescrits* passa fonamentalment per la seva dinàmica inicial. En aquest sentit, una crema prescrita comença de forma proactiva per part de l'equip de crema, mentre que un *incendi gestionable* o millor dit, la *gestió de focs prescrits*, comença a propagar per una causa inicialment desconeguda. La resta de diferències, notables en la presa de decisions i en els lideratges, queden recollides i descrites en l'apartat 4.3 del present document.

En aquest marc mental, l'*incendi gestionable* o la *gestió d'un foc prescrit* pot entendre's com una oportunitat per sincronitzar el treball dels equips d'intervenció de forma radicalment més eficient i efectiva, trencant la contradicció que es genera quan es fa extinció d'un incendi que propaga dins un espai on s'han planificat cremes, amb un comportament de foc i uns efectes compatibles amb la prescripció. Una referència recent i concreta en aquest sentit és l'incendi d'Arties del 6 de gener del 2019.

Per situar-nos de ple en la presa de decisions operativa, en l'annex es facilita un llistat de factors clau que cal tenir presents per part del cap d'intervenció de forma *sine quan non* a l'hora de valorar, en darrera instància, la viabilitat operativa i tàctica d'aquella finestra de treball concreta relativa a un escenari de treball d'*incendi gestionable*.

### 3.3.2 Definició d'alternatives

Gràcies al salt que ha implicat incorporar visió tàctica i estratègica en la presa de decisions de les organitzacions d'emergències, la capacitat de gestionar escenaris d'alta complexitat i incertesa està avançant de forma significativa. A tall d'exemple, La Jonquera 2012, Òdena 2015, Tivissa 2016, Cerbi 2016, Arties 2019 o la Torre de l'Espanyol 2019, entre altres, s'han plantejat noves estratègies de gestió de l'emergència respecte escenaris més estàtics anteriors.

No obstant, davant certs episodis d'incendis les organitzacions d'emergències no només queden fora capacitat sinó que són altament vulnerables a l'hora de garantir la protecció civil, o fins i tot la pròpia seguretat. Si prenem en consideració l'evidència que hi ha un sostre en la capacitat d'extinció i contenció, o fins i tot de probabilitat de col·lapse socioecològic puntual, es fa palesa la necessitat d'abordar la problemàtica des d'una visió diferent a la convencional.

Si el sostre en la capacitat extinció i contenció se situa en intensitats de front de l'ordre dels 10.000kW/ml, què es pot fer davant aquells episodis d'incendis on la potència dissipativa supera amb escreix aquest llindar sabent que impliquen un peatge d'alta severitat socioecològica?

Alguns exemples recents on s'ha superat clarament aquest llindar són Austràlia 2019-2020, Califòrnia 2018, Portugal 2017, entre altres. Lluny d'intentar pensar en extinció i contenció d'aquests fenòmens extrems de foc i/o simultaneïtat, com es pot reduir la severitat en termes socioecològics? A escala de l'Aran, es pot evitar el col·lapse a mig llarg termini en un escenari emergent de canvi climàtic? Tenim eines que ens permetin anar més enllà de la mitigació dels efectes negatius o de la planificació de la contenció?

Des d'aquest marc mental i de diagnosi davant els reptes transversals presents i de futur en el context d'emergència climàtica, el present treball planteja dues alternatives de resposta organitzativa clarament diferenciades:

**Alternativa A ( o Business As Usual)**

**Alternativa B ( o New Fire Deal)**

#### **Alternativa A (Business As Usual)**

És l'alternativa estratègica que descriu l'arquitectura i funcionament dels serveis d'emergències actuals de la Val d'Aran en matèria d'incendis forestals. Inclou la planificació de l'emergència de forma modulable des de la visió de la capacitat tàctica i de maniobra convencional (SISCOM). No inclou intrínsecament la visió i capacitat estratègica dins de la planificació de l'emergència, ni tampoc la implementació de cremes prescrites de forma sistemàtica.

Capacitat estratègica i programa de cremes prescrites són dos atributs que sí que estan desenvolupats actualment dins el Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya. En el cas de l'Aran aquests dos atributs són inexistents i estan actualment supeditats al recolzament puntual de les unitats GRAF del Cos de Bombers de la Generalitat, un recolzament operatiu d'altra banda que se sustenta en un dèbil equilibri (simultaneïtat de serveis) entre la demanda de l'Aran i l'oferta disponible de recursos GRAF de la Generalitat de Catalunya.

L'*alternativa A* aconsegueix magnificar un patró que en estadística es coneix com a distribucions de probabilitat de cua llarga, i que expliquen allò que en argot expert s'ha reconegut globalment com la *paradoxa de l'extinció*. Traduït a incendis, un percentatge elevat de les intervencions són exitoses en les primeres hores, però les poques que no ho són en les primeres hores acaben sent les que deixen la petjada d'alta intensitat i de major superfície cremada anualment (veure estadística apartat 2.2.3). Aquesta realitat és representativa a tota Catalunya, si bé la capacitat estratègica del Cos de Bombers així com una expertesa en l'ús del foc tècnic han permès reduir significativament la petjada dels grans incendis en el transcurs de la darrera dècada, juntament amb les millores aconseguides des de la prevenció i predicció del risc per part del Cos d'Agents

Rurals. No és però un escenari garant a mig-llarg termini, en absolut; la tendència d'homogeneïtzació actual del paisatge i el canvi climàtic emergent juguen clarament a la contra.

L'alternativa A implica reconèixer i acceptar que un percentatge menor dels incendis que superen la capacitat de contenció de les organitzacions de gestió d'emergències (OGE) deixaran una petjada d'alta severitat al sistema socioecològic. Això inclou també acceptar la probabilitat de col·lapse puntual de les OGE a mig llarg termini, l'increment sistèmic del risc, la vulnerabilitat a nivell de protecció civil i autoprotecció, entre altres derivades crítiques de connotació ecològica i econòmica. És l'alternativa que progressivament erosiona la capacitat de defensar el bé comú present i futur, i que genera paral·lelament un sentiment de frustració col·lectiva.

#### **Alternativa B (New Fire Deal)**

Aquesta alternativa estratègica implica empoderar l'organització d'emergències d'una comunitat amb una sèrie d'atribucions funcionals que promouen la resiliència del sistema socioecològic. Aquestes atribucions són:

1. **Capacitat sistèmica per planificar l'emergència de forma adaptativa.** Això es concreta amb una SISCOM reforçat des de la **capacitat estratègica** de l'organització.
2. Capacitat sistèmica per implementar un **programa de cremes.**
3. I per últim i de forma innovadora des dels Pirineus i des de la Val d'Aran en concret, la **capacitat sistèmica per implementar i normalitzar la GESTIÓ DE FOCS PRESCRITS des de la pre-planificació de l'emergència.**

En primer terme, la visió i capacitat estratègica de l'organització és un tret diferenciador de l'alternativa B. Paral·lelament al tipus de resposta a l'emergència, la implementació d'un programa de cremes prescrites representa també un atribut funcional propi d'aquesta alternativa. Els programes de cremes prescrites com a Catalunya no canvien el risc estructural dels nostres paisatges en termes quantitius de superfície gestionada, però si es pot afirmar amb rotunditat que han tingut i tenen un impacte qualitatiu positiu que ha permès desenvolupar un llarg procés d'aprenentatge col·lectiu. Això explica en bona mesura que Catalunya lideri l'ús del foc tècnic a nivell europeu, tant en la seva aplicació en operacions d'extinció com en la seva vessant demostrativa com a eina de gestió multifuncional del paisatge.

Cal dir però que l'alternativa B proposada a l'Aran no és una rèplica exacta al canvi de paradigma que s'ha donat (i s'està donant) al Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya durant els darrers 2-4 anys. La volta de rosca a l'Aran consisteix en dissenyar la manera d'implementar formalment la GESTIÓ de FOCS PRESCRITS com un objectiu estratègic més dins la graella d'alternatives actualment disponibles.

La GESTIÓ de FOCS PRESCRITS implica una tasca prèvia de *pre-planificació de l'emergència*, que cobra vida amb l'aprovació d'un pla estratègic consensuat pels diferents actors entrelligats directa i indirectament a l'àmbit d'actuació, en aquest cas tota la comunitat de la Val d'Aran. Aquest nou mecanisme de gestió del paisatge des de la resposta a l'emergència ha de ser en tot moment una via d'implementació coherent amb la prescripció, i per tant el seguiment de resultats durant tot el període de vigència del pla juga un aspecte clau (veure detall en l'apartat 4.4).

Aquesta alternativa, a criteri dels autors, cal entendre-la com una eco-innovació dins la funció pública de caràcter transdisciplinar. En altres paraules, alinea els reptes de futur i la capacitat interdisciplinar actual al servei del bé comú, en aquest cas, de la comunitat de l'Aran. Aquesta eco-innovació s'estima que ha de permetre fer un salt quantitativament significatiu en relació a l'escenari A, una millora de l'ordre x10 en quan a superfície gestionada (capacitat de selecció positiva del foc). Això, tal i com s'argumenta en més detall a l'apartat 6, reporta una sèrie de beneficis a curt, mig i llarg termini per la defensa del bé comú davant la dinàmica emergent de canvi climàtic.

El disseny i el funcionament d'aquesta alternativa B queden recollits en l'apartat 4 del present document.

### 3.3.3 DAFO

A continuació es presenta una anàlisi de les debilitats, amenaces, fortaleces i oportunitats (DAFO) lligades a les alternatives A i B plantejades en el subapartat anterior (taules 15 i 16).

Posteriorment es presenta una adaptació a mida del projecte de la matriu de certesa / incertesa que s'aplica a nivell de Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya per valorar la seguretat i escenaris de treball en incendis forestals, una metodologia que si bé cal seguir madurant s'ha consolidat per part de les posicions de GRAF 00 en escenaris d'alta complexitat (taules 17 i 18).

**En termes sistèmics i organitzatius, el canvi de visió de l'alternativa A => alternativa B implica un canvi qualitatiu i quantitatiu significatiu.**

El salt quantitatiu traduït a capacitat de gestió amb foc prescrit s'estima que millori x10 la capacitat actual. Per això es parla **d'innovació radical** i no simplement de millores estructurals (veure glossari, *innovació radical*)

### 3. Justificació

<b>Alternativa A =&gt;</b> (1) planificació de l'emergència modulable des de la visió tàctica i de capacitat de maniobra, i (2) incipient implementació de cremes prescrites amb lideratge extern a l'organització	
FORTALESES (internes)	DEBILITATS (internes)
Cultura multi-emergències robusta gràcies a l'experiència acumulada	Experiència limitada a escenaris de 1a i 2a generació d'incendis forestals
Consciència de singularitat pròpia en el context de Catalunya	"Fire blindness" o ceguesa de foc. Incapacitat per reconèixer el rol del foc en l'ecologia dels seus boscos i paisatges, així com dels impactes potencials lligats a l'onada migratòria de generacions d'incendis
Consciència de col·lapse puntual davant simultaneïtat de serveis	Consciència de col·lapse limitada a escenaris de simultaneïtat però no per intensitat de foc, velocitat de propagació o d'afectació amb zones d'interfase urbano-forestal
Consciència del conflicte social cremes-incendis	Lideratge dèbil per dissenyar i implementar un programa de cremes prescrites
Capacitat d'auto-organització i resiliència davant desastres naturals com inundacions, acompanyada de mesures correctives i compensatòries	Lideratge dèbil en matèria de disseny i implementació de mesures preventives més coherents a l'enginyeria ecològica
Lideratge i capacitat d'innovació en l'anàlisi del risc d'allaus, la comunicació del risc a la ciutadania i la prevenció d'accidents a l'alta muntanya	Dificultats per traslladar lideratge en allaus cap a altres àmbits de cultura del risc
Consciència de les virtuts d'articular un sistema integral multi-emergències (emergències mèdiques, rescats, incendis, protecció civil)	Resistència i/o por davant iniciatives que proposin un canvi estructural profund en les funcions i posicions dins els diferents col·lectius vinculats a les emergències
Cultura formativa dins dels dispositius de resposta a les emergències, amb una saludable tolerància a les especialitzacions	Dèficit estructural d'experiència acumulada en incendis de 3a, 4a i 5a generació
Flexibilitat i capacitat adaptativa a nivell tant de projectes com d'estructura organitzativa (exemple del projecte en curs)	Necessitat d'acumular experiència operativa dins i sobretot fora de les seves fronteres administratives
Acceptació cultural de l'ús del foc com a eina de control a la proliferació de matollars en zones tradicionalment destinades a l'aprofitament extensiu de pastures	Desconeixement de l'ecologia del foc lligada a masses arbrades així com del paper que juga la homogeneïtzació del paisatge en la intensitat de foc, la velocitat de propagació i/o l'impacte en zones d'interfície urbana
Capacitat de coordinació i capacitat logística per integrar dispositius d'altres organitzacions d'emergències en el seu operatiu de resposta	Limitacions operatives en les posicions i funcions vinculades a l'especialitat d'incendis forestals dins l'estructura de la guàrdia
OPORTUNITATS (externes)	AMENAÇES (externes)
Potenciació de polítiques sectorials de forma proporcional a la constatació dels limitants operatius a l'hora de resoldre el conflicte cremes-incendis	Trampa de la por en un escenari previsiblement advers (homogeneïtzació del paisatge, canvi climàtic i onada migratòria de generacions d'incendi), juntament amb la incapacitat per implementar un cabal ecològic de foc (selecció positiva)
Adveniment d'altres actors locals o externs a la Val d'Aran dins el panorama d'emergències	Pèrdua de lideratge en matèria d'emergències i protecció civil

Taula 15. DAFO alternativa A Val d'Aran. Font: elaboració pròpia



### 3. Justificació

<p><b>Alternativa B =&gt;</b> (1) planificació de l'emergència des de la capacitat estratègica, (2) capacitat sistèmica per implementar un programa de cremes, i (3) capacitat sistèmica per implementar i normalitzar la GESTIÓ de focs prescrits des de la pre-planificació de l'emergència</p>	
FORTALESES (internes)	DEBILITATS (internes)
Visió estratègica i certesa d'escenari	Processos lents per habilitar i desplegar les posicions i funcions de la guàrdia pròpies a l'especialització
Cultura formativa com a motor d'aprenentatge	Subcultura meritocràtica i individualista
	Permeabilitat lenta del coneixement, en la mesura que és efectiva quan es naturalitza amb l'experiència acumulada
	Incoherència entre la cultura formativa i el reconeixement i potenciació al rol de la innovació
Lideratge en el coneixement del risc i la gestió d'incendis d'alta muntanya	Experiència domèstica escassa en escenaris amb comportament extrem de foc
Capacitat d'escalar experiència dins la pròpia organització a través dels intercanvis i la cooperació	Subcultura cost-benefici individual en la promoció dels intercanvis
OPORTUNITATS (externes)	AMENACES (externes)
Coincidir interessos amb agents de la comunitat alineats amb la defensa i promoció del bé comú (protecció civil, agents rurals, medi ambient, etc.)	Desconeixement i baixa empatia amb els interessos aliens
Economia d'escala en la gestió pública (foment de la biodiversitat forestal, foment de la productivitat ecològica, prevenció de riscos geològics, etc.)	Dificultat per construir aliances i projectes de col·laboració

Taula 16. DAFO alternativa B Val d'Aran. Font: elaboració pròpia

### 3. Justificació

Alternativa A (business as usual)		ESCENARI	
		Conegut	Desconegut
RESPOSTA SISTEMA EMERGÈNCIES	Coneguda	ESCENARI DESITJABLE solvència a nivell maniobra	INCERTESA "fear trap" requereix canvis estratègics, suport científic i social
	Desconeguda	INCERTESA "fear trap" requereix canvis tàctics	INCERTESA "black swan"
Alternativa B (new fire deal)		ESCENARI	
		Conegut	Desconegut
RESPOSTA SISTEMA EMERGÈNCIES	Coneguda	ESCENARI DESITJABLE solvència a nivell maniobra	CERTESA (feedback transdisciplinar) (modelització, simulació, pre-planificació de l'emergència i socialització del risc)
	Desconeguda	CERTESA (capacitat adaptativa) solvència a nivell tàctic	INCERTESA "black swan"

Taula 17. Matriu de certesa / incertesa adaptada a nivell de valoració de les alternatives estratègiques A i B. Font: elaboració pròpia

	Desitjable
	Crític
	Imprevisible

Alternativa	A (business as usual)	B (new fire deal)
Rang de Certesa operativa (%)	25/50	75
Externalitats ecològiques	impactes - >> impactes +	impactes + >> impactes -
Socialització del risc	inviàble	adaptativa i viable (complexitat +)
Coinciliació interessos	complicada (complexitat -)	adaptativa i viable (complexitat +)
VUCA	anacronisme (complexitat -)	coherència (complexitat +)
Selecció positiva foc	acotada a la planificació de cremes prescrites	adaptativa i viable (complexitat +)
Factor clau (anàlisi, foc tècnic i equips de cremes)	extern a l'organització	intern a l'organització
Rendiment foc prescrit	limitada a la planificació cremes prescrites (complexitat -)	x 10 (complexitat +)

Taula 18. Valoració qualitativa d'atributs clau segons alternatives. Font: adaptat treball tesi doctoral Jordi Oliveres

## 4. PROPOSTA ESTRATÈGICA

### 4.1 Piro-sostenibilitat

“La política de foc focalitzada únicament en l’extinció d’incendis només posposa allò inevitable”.  
Science (Octubre, 2013)

És una afirmació contundent però que en el context actual de canvi climàtic la seva semàntica va sent cada cop més avalada per la comunitat d’experts i investigadors d’arreu del món vinculats en la gestió forestal i/o la gestió d’emergències.

Allò inevitable en argot d’experts ho podríem resumir amb una escalada de les generacions d’incendis, concepte que sintetitza molt bé la complexa dinàmica dels règims de foc (veure figura 46, apartat 3.1)

En una lògica convergent, el terme “*fire blindness*” o “ceguesa de foc”, és un concepte proposat per part d’alguns investigadors per referir-se a la incapacitat col·lectiva per reconèixer el rol ecològic i evolutiu prominent que ha jugat i juga el foc en la majoria de les regions forestals del planeta (Pausas & Lamont 2018). Aquesta idea queda ben il·lustrada i demostrada des de la comunitat científica, on el foc com a fenomen físic ha deixat més o menys empremta als sistemes naturals com a mínim des del Silúric (250 Ma). A aquesta escala geològica i evolutiva, el foc ha operat com un vector de pressió selectiva sobre els ecosistemes jugant un rol com a motor de biodiversitat.

Des de la comunitat d’experts, algunes veus ben acreditades també fa anys que apunten en aquest sentit. Marc Castellnou, analista en cap al Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya i assessor de l’ONU en matèria d’incendis forestals, és una d’aquestes persones. Una metàfora del mateix Marc Castellnou il·lustra força bé la visió a futur sobre com resoldre el conflicte actual; “sembla por i recolliràs incendis, planta incendis i creixeran boscos”. El discurs va en la línia de la creativitat i l’adaptabilitat, “allò que no coneixem ens espanta i en resposta ens posem a la defensiva..., però per crear un futur millor necessitem transformar l’enemic en una nova capacitat de gestió” (Castellnou 2016, TEDx talks).

Les tendències i projeccions del clima i les pertinents respostes dels règims de foc (canvis en els nínxols *piro-climàtics*), suggereixen que es necessiten noves estratègies per mitigar i adaptar-nos a la previsible escalada de severitat dels incendis durant almenys la primera meitat del segle XXI (Regos et al. 2014; Andrea et al. 2019)

En el transcurs de l’evolució de les organitzacions d’emergències les estratègies en matèria d’incendis forestals s’han polaritzat clarament cap a la defensa dels valors en risc; persones, béns i medi natural. Això però ens ha portat a una situació insostenible en tant que les xarxes d’emergències col·lapsen amb la simultaneïtat, o simplement queden fora de joc quan un sol incendi supera la capacitat d’extinció i contenció del dispositiu. Incrementar els dispositius de resposta als incendis forestals, més enllà de les connotacions econòmiques evidents, té un límit físic clar que queda especialment palès amb el comportament extrem. Un exemple paradigmàtic de casa nostra és l’episodi d’incendis del Bages 1994, Solsonès 1998 o la Jonquera 2012, entre altres, en què el sistema d’extinció no va poder fer front a unes velocitats de propagació molt per sobre de la seva capacitat, cremant grans extensions en alta intensitat i afectant a persones i béns. Així doncs, incrementar els dispositius de forma sistemàtica davant de fenòmens d’abast global com l’alteració dels nínxols *piro-climàtics* té un límit d’eficàcia finit, de forma similar a com un tsunami o un terratrèmol o qualsevol fenomen natural extrem ho posa ràpidament de manifest.

El límit físic en la capacitat d’extinció oscil·la al voltant dels 10.000 kW/ml, categoria 4, o en altres termes, en els incendis de 3a, 4a, 5a i 6a generació. Així doncs, tots els incendis de categories 5, 6 i 7 estan molt per sobre de la capacitat d’extinció, fins a 10-12 vegades per sobre per exemple en l’episodi de Portugal 2017. Ni tan sols cal anar tant als extrems, la simultaneïtat en si mateixa ja és un escenari on les organitzacions són especialment vulnerables i on corren el risc de col·lapsar.

La gestió de l'emergència en sí mateixa és part de la resposta lògica i desitjable, però en alguns casos això s'acaba traduint en "gestionar els impactes immediats", havent d'assumir i lamentar l'existència de víctimes tant civils com de professionals d'emergències. Aquest nou escenari de severitat ascendent s'ha fet extensible a diferents llocs del planeta; Amèrica del nord (EUA i Canadà) i del sud (Xile, Bolívia, Brasil), Sudàfrica, nord d'Àsia (Rússia), Austràlia, i més recentment també al centre i nord d'Europa, a més de l'arc mediterrani on amb els episodis de Grècia 2018 i Portugal 2017 s'ha evidenciat un comportament extrem de foc sense precedents en la geohistòria recent del continent (Holocè).

És per això que la proposta d'aquest projecte es fonamenta en la necessitat d'adaptar-se al nou escenari emergent de *canvi climàtic* i d'escalada en les *generacions d'incendi* previst en el transcurs de la primera meitat de segle; un pas ferm per empoderar les organitzacions d'emergències i trencar amb allò que en argot expert s'ha denominat com "*la trampa de la por*" (Castellnou et al. 2019)

Des del punt de vista de les organitzacions d'emergències existeix una jerarquia de valors fruit en bona mesura de les lliçons apreses en el procés evolutiu de les mateixes. Amb l'objectiu d'il·lustrar aquesta jerarquia de valors, es presenta per primera vegada la piràmide de Maslow adaptada a les emergències:

- (a) La piràmide des de la visió convencional de les organitzacions d'emergències, basada en la defensa dels valors en risc; persones, béns, infraestructures i medi ambient (Figura 47), i que es correspon amb l'alternativa A
- (b) La piràmide des de la visió estratègica de la *piro-sostenibilitat* en les organitzacions d'emergències, que es correspon amb l'alternativa B (Figura 48).



Figura 47. Piràmide de Maslow adaptada a la jerarquia de necessitats de les organitzacions d'emergències des de la visió de l'alternativa A. Font: adaptat tesi doctoral J. Oliveres.



Figura 48. Piràmide de Maslow adaptada a la jerarquia de necessitats de les organitzacions d'emergències des de la visió de l'alternativa B. Font: adaptat tesi doctoral J.Oliveres.

La piràmide de Maslow adaptada a la gestió de les emergències és una manera d'explicar i entendre l'ordre de prioritats arrelat dins les organitzacions que hi donen resposta. La prioritització implica que hi ha una piràmide de valors on el bauló inferior sustenta els valors per sobre seu, i així fins arribar al bauló de dalt de tot. La piràmide corresponent a l'alternativa A se sosté amb la capacitat de maniobra. Tot allò que superi a la capacitat de maniobra entra en un escenari d'incertesa on la vulnerabilitat augmenta caòticament. La immensa majoria dels serveis en emergències responen eficaçment des d'aquesta visió, i entren en col·lapse quan la simultaneïtat o la magnitud de l'emergència supera la capacitat d'extinció.

Per altra banda, sabent d'entrada que els dispositius d'extinció en ple desplegament de mitjans tenen un sostre físic en l'extinció, què es pot fer davant aquells incendis que propaguen amb potències molt superiors? Què es pot fer davant incendis que avancen puntualment a més de 5 km/h quan el sostre dels dispositius d'extinció convencionals està sensiblement per sota aquest llindar?

Davant aquesta nova realitat lligada al comportament extrem de foc els dispositius de resposta es troben atrapats en una mena de teranyina on ni la protecció civil ni la seguretat dels propis actuants està garantida. És en aquesta mena de trampa on un nou paradigma esdevé una necessitat, un paradigma amb una jerarquia de valors per part de les organitzacions d'emergències evolucionada (figura 48), en la línia estratègica que es descriu a Castellnou et al. 2019.

Establir una idea de resolució final viable amb capacitat adaptativa des del triatge, aporta certesa d'escenari i permet ampliar i garantir la resposta a l'emergència. Això permet evitar el col·lapse en aquells casos on els dispositius de resposta es troben temporalment fora de capacitat d'extinció i/o contenció. Paral·lelament, es marquen objectius estratègics en base al bé comú que siguin viables des del punt de vista tàctic. L'estratègia i els objectius tàctics són dinàmics segons l'evolució de la pròpia emergència, per això s'acoten per períodes operacionals concrets. Seguint aquesta dinàmica s'aconsegueix donar una resposta segura i viable inclús en aquelles situacions fora de capacitat d'extinció.

La resposta convencional a l'emergència (figura 47) és vàlida en tots aquells casos on la tàctica i la maniobra són efectives. En serveis més rars però probables a mig termini, és a dir, en casos on cal donar resposta tot i estar fora de capacitat d'extinció, casos on la vulnerabilitat del sistema

#### 4. Proposta estratègica

socioecològic és elevada i l'atzar funciona com un atractor de severitat i accidents, la possibilitat d'adaptar la resposta des de l'estratègia assumint costos d'oportunitat permet garantir que l'organització d'emergències no col·lapsi i que la resposta dels dispositius d'emergència es mantingui alineada amb la defensa del bé comú.

Fent un exercici de perspectiva del propi Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya, aquest canvi de paradigma es pot entendre millor. L'evolució es podria resumir en tres etapes vitals, cadascuna d'elles superades per una concatenació de fets acumulats així com d'episodis concrets de naturalesa disruptiva. La taula 19 sintetitza aquesta evolució des de l'inici de la seva professionalització l'any 1986 fins a dia d'avui (2020).

<b>Tipus de sistema (OGE)</b>	<b>Simple (1986-1999)</b>	<b>Complicada (2000-2009)</b>	<b>Complexa/VUCA <sup>(1)</sup> (2009-2019)</b>
Resposta primària	Força Coerció	Contingència Planificació	Adaptabilitat Resiliència
Ciència prevalent	Empirisme	Sistemes formals (estadística, computació, lògica matemàtica, etc.) Genètica determinista	Quàntica (assumpció de la no-linealitat) Física estadística (teoria de la probabilitat) Epigenètica (comportament agregat, auto-organització, emergència, histèresi, etc.)
Bases competitives	Accés als recursos materials i humans	Especialització Divisió del treball Eficiència	Innovació basada en l'aprenentatge adaptatiu
Límits operatius	Capacitat tàctica	Capacitat estratègica	Capacitat organitzativa (operativa, de suport i de coordinació)
Tipus de lideratge	1 to 1 Apadrinament Jerarquia up-down	1 to Many Command & Control, centralitzat Preses de decisions up-down	Many to Many Mission & Command, descentralitzat i escalable Preses de decisions transversal amb planificació i coordinació up-down
Atributs funcionals	Contundència i velocitat maniobra	Anàlisi Foc tècnic	Proveïdora de seguretat i resiliència Capacitat d'auto-gestió Tria davant la simultaneïtat Reforça la connectivitat (transversalitat) Facilitadora de l'aprenentatge i l'adaptació Estimula la innovació radical <sup>(2)</sup>

Taula 19. Canvi en les regles de joc lligades a l'evolució des organitzacions d'emergències. Font: adaptat tesi doctoral J.Oliveres

<sup>(1)</sup>VUCA respon a l'acrònim Volatility, Uncertainty, Complexity, Adaptability. L'argumentació lligada a aquest concepte queda recollida i aplicada per diferents autors/es, entre aquests destaquem com a referència Tovar 2016.

(2) La innovació entesa com a resposta creativa exitosa davant un repte concret es pot considerar radical quan la millora en rendiment aconseguida respecte la situació original és de l'ordre de 10 vegades superior (Giles, 2018).

De forma genèrica, la *piro-sostenibilitat* es podria concebre com la capacitat de resiliència d'una comunitat i del sistema ecològic que la sustenta en relació al règim de foc i tipologia d'incendis als quals està exposada.

Amb una naturalesa instrumental, la *piro-sostenibilitat* es proposa com un marc d'actuació estratègic i tangible que promou paisatges de baixa vulnerabilitat socioecològica, on es treballa de forma creativa, transversal i proactiva perquè l'empremta de foc generi fortaleses i oportunitats en benefici del bé comú.

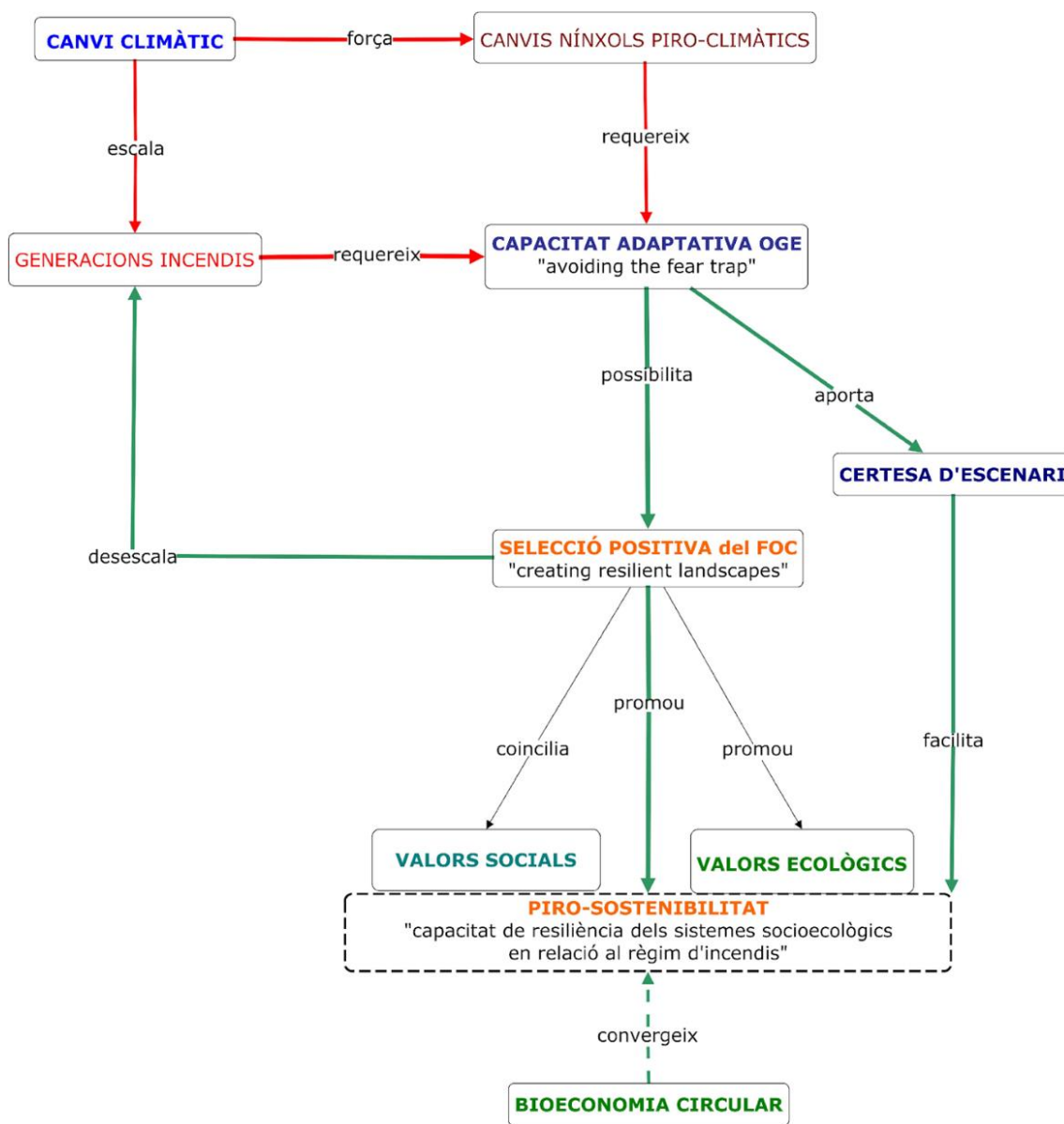


Figura 49. Mapa conceptual de la piro-sostenibilitat. Font: adaptat tesi doctoral J.Oliveres

D'aquesta manera, el marc d'actuació lligat a la *piro-sostenibilitat* no només respon a una necessitat d'evitar quedar atrapats per la teranyina dels fenòmens extrems o de simultaneïtat, sinó que també té una connotació d'oportunitat en la mesura que permet treballar proactivament des de la *pre-planificació de l'emergència* i la selecció positiva del foc, tal i com es proposa des d'aquest projecte en el conjunt de l'Aran.

Aquest nou marc d'actuació implica un canvi en les regles d'arranjament en relació a la resposta convencional a les perturbacions naturals. L'estratègia ja no s'encapsula per defecte dins una cultura de força, coerció i/o contingència, sinó que emergeix una cultura creativa, d'adaptabilitat i d'inversió que reconeix l'ecologia del foc i els costos d'oportunitat sobre el paisatge d'avui a favor del bé comú present i de futur. Es trenca amb *la trampa de la por* en la mesura que crea un horitzó més diversificat, amb la gestió de focs *prescrits* entrant en joc juntament amb l'extinció (*selecció positiva del foc*).

Aquest salt qualitatiu redueix notablement la incertesa en la mesura que aïlla i exclou gran part de la *complexitat negativa*. La complexitat negativa en emergències es pot interpretar com l'escenari de resposta simple davant un fenomen de naturalesa complexa, com és plausible en l'escalada de les *generacions d'incendis*, i que en darrer terme facilita la proliferació d'efectes en cascada amb impactes d'alta severitat sovint irreversibles. Aquesta complexitat negativa en situacions adverses deixa les organitzacions d'emergències en un espai fàsic on el caos governa les accions. Aquest escenari que permet que l'emergència evolucioni caòticament obra la finestra tant als accidents múltiples com al col·lapse.

Per contra, quan es reconeix la complexitat de les *generacions d'incendis* i s'internalitza a través de la presa de decisions, en la graella probabilística no només hi ha la gestió del risc imminent sinó que també hi afloren oportunitats a mig i llarg termini. Ampliar la caixa d'eines estratègica capacita a les organitzacions d'emergències per poder explotar la *complexitat en positiu*.

En l'àmbit de Catalunya i del Pirineu en concret, el procés que està permetent passar d'un ideari intangible de focs *gestionables* fins a un projecte concret de *pre-planificació de l'emergència* no és fortuït ni sobtat. Si avui és concebible és en bona part gràcies als 20 anys d'experiència en l'ús del foc tècnic i d'implementació de cremes prescrites. El fulcre de palanca però són les lliçons apreses dels darrers anys forjades des de la realitat emergent a escala peninsular, continental i global, un aprenentatge que respon avui amb creativitat a partir d'explorar la complexitat en positiu davant l'amenaça que representa l'escalada migratòria de *generacions d'incendis* al Pirineu (*selecció positiva del foc*).

Identificar i implementar respostes apropiades no és en cap dels casos un camí fàcil, entre altres coses perquè la dinàmica d'accions locals-regionals crea polítiques mal sincronitzades que fàcilment acaben sent poc efectives en el seu conjunt, i que a més generen frustració col·lectiva.

Per altra banda, resulta especialment difícil motivar respostes socials i polítiques de llarg termini abans d'experimentar els impactes dels conflictes presents. En aquesta espiral, quan els impactes més severs es fan evidents, ja acostuma a ser massa tard per esmenar-los donat el caràcter sovint irreversible dels mateixos.

Els arguments lligats a la *piro-sostenibilitat* queden parcialment recollits a l'article "*Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape*" (Castellnou et al. *Fire Ecology*). En aquest sentit, **la proposta del Pla estratègic per a la gestió sostenible del règim de foc de la Val d'Aran** és un pas ferm en aquesta direcció de treball, amb el valor afegit que **s'aporta una metodologia per projectar la pre-planificació de l'emergència**.

Avancem així en un canvi de paradigma més transversal i democràtic, un canvi que en la seva metodologia inclou la incertesa de les decisions i els costos d'oportunitat en el procés de presa de decisions, que té en compte valors com la seguretat dels operatius, la resiliència de l'organització, la resiliència del paisatge i els valors de la societat.



#### 4. Proposta estratègica

La metodologia desenvolupada en l'apartat 4 del document és tant propera a l'enginyeria civil com a l'enginyeria ecològica. Es beneficia de la recerca transdisciplinària creant models a mida per donar suport a la *pre-planificació de l'emergència*, i compta de partida amb l'adveniment de la tecnologia geogràfica.

En conclusió, un canvi de paradigma més coetani als reptes socioecològics del segle XXI, que passen en bona mesura per donar respostes més intel·ligents als conflictes i reptes de naturalesa complexa als quals estem encarrilats en les properes dècades com a civilització.

## **4.2 DISSENY ESTRUCTURAL**

El disseny estructural consisteix en crear, organitzar i etiquetar la informació que ha de vertebrar la proposta estratègica (alternativa B) de manera que respongui a les característiques i necessitats de l'usuari final (Conselh Generau d'Aran).

Entès com a fase de projecte, el disseny estructural és el procés creatiu necessari per generar el nucli d'informació de la idea de resolució final (estratègia alternativa B). Alhora, respon a una naturalesa instrumental, és a dir, ha de facilitar la implementació pràctica de forma àgil i adaptativa.

Volem ressenyar la importància del punt de partida del present projecte, sense el qual l'alternativa B no seria ni creïble ni viable:

- e) Experiència acumulada en el disseny i implementació de cremes prescrites (1999-2020).
- f) Experiència acumulada en operacions d'extinció amb foc tècnic (2000-2020).
- g) Experiència acumulada en episodis d'incendis forestals fora de capacitat extinció, on des de la visió estratègica, la capacitat tàctica i l'aplicació de maniobres complexes es respon eficaçment (evitant el col·lapse) com a organització de gestió d'emergències (La Jonquera 2012, Òdena 2015, Ribera d'Ebre 2019).
- h) Recerca transdisciplinària fruit de la col·laboració i participació activa del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya amb diferents centres de recerca científica del país així com d'organitzacions i plataformes internacionals (CREAF, UdL, CTEC, ICTA, UPC, Fundació Pau Costa, entre altres).

### **4.2.1 Àmbit d'actuació i període planificat**

L'àmbit d'actuació del pla estratègic comprèn **la totalitat de la comarca de la Val d'Aran**, Inclou els **sectors susceptibles de gestió amb foc prescrit** (sGIP), i en conseqüència, queda definida tota la **zona d'exclusió de foc prescrit** de la comarca (treballs d'extinció convencionals de forma sistemàtica).

El període planificat és de **10 anys**, a partir de la data que es declari favorable el tràmit tècnic-administratiu pertinent.

No obstant, per definir el cabal de foc prescrit a 10 anys s'ha tingut en consideració una escala de temps superior, 10 anys més, per tal de buscar major consens i coherència entre el criteri expert i les conclusions del model de règim d'incendis *Medfire Aran* (veure arguments a l'apartat 4.2.2)

Dins d'aquesta finestra estratègica de 10 anys s'ha estipulat la necessitat de fer-ne un **seguiment i revisió anual**. Això respon bàsicament a garantir la **capacitat adaptativa** segons vagi evolucionant la migració i l'escalada de generacions d'incendi prevista al Pirineu en les properes dècades.

La unitat mínima d'anàlisi temporal del model *Medfire* és anual, i si bé el model computa sèries anuals durant el segle XXI, la planificació territorial requereix uns terminis coherents amb les dinàmiques de governança política. Seguint aquesta lògica de trobar un equilibri viable i creïble entre l'escala temporal de la planificació territorial i l'escala temporal del règim d'incendis d'un territori, es proposa una finestra estratègica d'actuació de 10 anys.

La informació relativa a l'àmbit d'actuació es pot visualitzar en dos formats:

- **Mapa web** del projecte (generat a partir del *arcGIS online*)
- **Fitxes dels sectors de gestió d'incendis prescrits**, que s'adjunten en l'annex del present document.

L'àmbit d'actuació que possibilita la gestió amb foc prescrit ateny espais oberts de pastures i matollars de mitja i alta muntanya, a excepció d'algunes tessel·les de bosc conformades per diferents espècies, segons es pot apreciar amb la capa de cobertes consultable des del mapa web. En qualsevol dels casos, són rodals arbrats ubicats sempre dins una matriu d'espais oberts.

L'objectiu principal és en tots els casos la regeneració de pastures i el control de les poblacions de matollar per tal d'evitar una homogeneïtzació total amb implicacions a mig i llarg termini pel que fa als potencials (extensió) i comportament de foc dels incendis forestals. En context de canvi climàtic i de serralada del Pirineu, la gestió amb foc prescrit a escala paisatge cobra especial sentit ja que limita notablement la vulnerabilitat en l'escalada de generacions d'incendis.

Degut a la capacitat d'acumular combustible mort en la seva estructura interior (exemple *Genista balansae*), la homogeneïtzació i consolidació de grans extensions de matollars en aquests espais implica un salt crític en el comportament de foc dels incendis amb independència de la causa d'ignició que les generi (antròpica, infraestructures o de llamps), un escenari que potencia la capacitat de percolació dels incendis i el contagi a grans espais forestals arbrats on la petjada de foc no ha estat significativa en el registre històric recent d'aquest territori.

Tots els sectors proposats responen majoritàriament a espais que tradicionalment han estat gestionats i mantinguts per l'activitat humana a través de la ramaderia extensiva/dirigida amb ajuda de cremes (foc) durant l'estació de tardor-hivern. Simultàniament a les dinàmiques històriques en l'ús i abús de l'economia dels recursos naturals, la pressió herbívora de la fauna salvatge i les ignicions naturals (règim de llamps) han jugat un paper important de pressió selectiva en les oscil·lacions de la matollarització. Lògicament, altres elements lligats als cicles naturals han modelat el paisatge típic de l'alta i mitja muntanya de la comarca, destacant en aquest sentit la riquesa, magnitud i capacitat de l'aigua durant el seu cicle anual (esllavissades i allaus).

#### 4.2.2 Cabal ecològic de foc (CEFh i CEFp)

##### Del "LET IT BURN" al CABAL ECOLÒGIC DE FOC

De la idea genèrica de deixar cremar, "Let it burn", a definir una idea de resolució concreta, viable i segura, hi ha una diferència més que notable. En aquest salt estratègic cobra especial rellevància la capacitat tàctica, és a dir, la concreció de l'ON, el QUAN, el QUANT i el QUI.

El *cabal de foc* (CEF) és una simple analogia del concepte de cabal ecològic d'aigua utilitzat i evolucionat al món de la gestió de l'aigua des de fa dècades. Alguns autors han utilitzat la idea de *cabal de foc* per argumentar part de la complexitat intrínseca a l'ecologia de perturbacions. Des del món de la gestió d'espais naturals, en països amb una envejable cultura de recerca bàsica i d'investigació aplicada, s'ha anat més enllà, havent normalitzat la política del "Let it burn" o "deixar cremar". La justificació arrela d'acceptar que la memòria i l'evolució del paisatge estan íntimament lligades a l'ecologia de les perturbacions. En altres paraules, interpretar que el foc de llamps dins un gran espai natural protegit actua com una acció clau de la seva auto-organització i en definitiva, i a la pràctica, assumir que no es farà extinció de les ignicions de llamps quan no representin una amenaça per la població o per la propietat privada.

Un exemple paradigmàtic i pioner en la implementació d'aquesta política del "let it burn" és la del Parc Nacional de Yellowstone, als Estats Units d'Amèrica, des de l'any 1969. Aquest tipus de política parteix d'un profund coneixement científic del règim d'incendis històric, reconeixent la paradoxa de l'extinció lligada a la política d'exclusió total decretada l'any 1935 fins aleshores, juntament amb una llarga tradició i vocació per la gestió de grans reserves naturals públiques (*Evolution of Federal Wildland Fire Management Policy, 2007*). Des d'aquest punt de partida, l'any 1969 s'aprova una política transversal de tolerància al foc que ateny temes de biodiversitat, gestió de conques hidrogràfiques, reserves d'aigua dolça, de productivitat forestal, etc. on els processos naturals com el foc hi queden integrats.

Des del punt de vista de la gestió d'emergències d'una organització com el Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya, l'aproximació clàssica del "Let it burn té forats de certesa rellevants. Com raonem una afirmació així? En molts casos, les ignicions naturals aporten més beneficis ecològics que perjudicis, com per exemple focs de llamp dins una finestra marc apropiada. No obstant, quan les condicions són favorables però el foc se situa a prop dels límits de confinament, ja sigui perquè les previsions canvien a pitjor, o bé perquè la magnitud de l'incendi (interacció entre diferents incendis de llamp) supera la capacitat de control/contenció, l'escenari planificat de prescripció es converteix en un escenari d'extinció incert, on la vulnerabilitat, incidents, accidents i la severitat en general es disparen a l'alça. Existeix una extensa bibliografia d'incidents, accidents i fins i tot catàstrofes, que il·lustren aquesta casuística (*Wildland Fire Lessons Learned Center*). Gràcies a una cultura de lliçons apreses, al propi Parc de Yellowstone s'han fet notables millores estratègiques i tecnològiques per seguir tolerant els focs de llamps sempre que no representin una amenaça per les persones o la propietat. Es monitoritzen les ignicions naturals, i es reporta la informació als dispositius d'emergències perquè valorin l'escenari i la idoneïtat o no d'extinció.

A criteri d'una organització com la nostra, condicionada per la nostra experiència local, la realitat és que parlar i tolerar focs prescrits és percep, encara avui entrats al 2020, com una excentricitat d'especialistes. D'altra banda, condicionats també per la riquesa de la nostra evolució com a organització d'emergències, on destaca la capacitat d'anàlisi i la velocitat de resposta per la notòria proporció d'interfase urbana-forestal, remarcuem de nou el fet que la política del "Let it burn" adoptada de manera pionera als EUA, malgrat haver incorporat millores significatives en la presa de decisions, segueix tenint un punt feble crític. La resposta davant un canvi d'escenari a pitjor és reactiva, amb l'atzar i la incertesa com a companys de viatge. La nostra particular visió de la proposta per normalitzar els focs prescrits a la Val d'Aran neix des d'una profunda consciència estratègica i tàctica. NO es posa en dubte el QUÈ, al contrari; defensem la necessitat de "tolerar el foc sota determinades condicions pre-consensuades i pre-planificades". En canvi, en aquesta estratègia SÍ es considera necessari posar-hi un contrafort amb ajuda de l'anàlisi tàctic. En altres paraules, el COM esdevé el fulcre de palanca per tenir CERTESA d'escenari en la seva implementació real. Traduït a la pràctica, l'estratègia implica definir objectius tàctics i períodes operacionals lligats a l'oportunitat de gestió, i la tàctica implica planificar maniobres dins una finestra d'actuació espai-temps coherents amb els aspectes de seguretat i el comportament de foc.

Des d'aquest marc mental, la GESTIÓ de focs prescrits cal planificar-la seguint la lògica i metodologia que es fa servir quan es planifica l'extinció d'un incendi forestal; valorar la viabilitat de la idea de resolució pre-planificada (arbre de decisions i check list cap d'intervenció), definir objectius tàctics, sectoritzar, definir les maniobres associades a cada objectiu tàctic, establir els canals de comunicació pertinents, identificar els responsables de cada sector i cada maniobra, operar amb quadres de comandament, etc.

Atenent a això, el fet d'innovar amb la GESTIÓ de focs prescrits no passa per innovar amb la capacitat tàctica i/o de maniobres, sinó que expressat de forma planera la capacitat tàctica i de maniobres actuals es posen al servei d'un objectiu estratègic fins avui desconegut en el nostre àmbit geogràfic; la gestió.

Per portar-ho a exemples, en aquest nou marc d'actuació s'executaran maniobres de monitorització de forma parcial o en la totalitat del incendi, maniobres amb foc tècnic dins de prescripció per ampliar els eixos de confinament previstos (cremes d'eixamplament) amb l'objectiu de reduir la incertesa en punts crítics, maniobres amb foc tècnic dins de prescripció per accelerar i conduir l'incendi fins als eixos de confinament previstos en un escenari de simultaneïtat, etc. Això inclou accions com que el cap d'intervenció disposi d'un arbre de decisions i un check list per valorar la finestra d'oportunitat; eixos de confinament pre-planificats validats, finestra marc compatible, recursos disponibles, entre altres. **En definitiva, un "Let it burn" gestionat activament i conduit dins una idea de resolució pre-planificada, capaç d'aportar CERTESA d'escenari i credibilitat tàctica.**

Des del present projecte de la Val d'Aran s'ha volgut recuperar part d'aquest argumentari clàssic del "Let it burn", utilitzant-lo com a punt de partida fins a proposar i concretar el concepte de **cabal ecològic de foc (CEF)**. Avançant-nos a les legítimes crítiques que pot suscitar, volem emfatitzar que l'objectiu d'aquest concepte no és fer-ne ciència, sinó que respon a una naturalesa fàctica que recolzi les fases de disseny i d'implementació del present *Pla Estratègic*.

### **DEFINICIÓ CABAL ECOLÒGIC DE FOC**

Feta aquesta introducció des del "Let it burn", i de forma innovadora per part d'una organització d'emergències, es proposa el concepte de *cabal ecològic de foc* (CEF) com **la QUANTITAT, el MOMENT i la QUALITAT de cabal de foc requerit per sostenir el bé comú vinculat a un sistema socioecològic concret**.

Amb la implementació de CEF els gestors tenen l'oportunitat d'aconseguir un règim o un patró de petjada de foc que manté processos essencials en l'auto-organització i la resiliència de l'ecosistema forestal, i paral·lelament, reduir la vulnerabilitat al col·lapse del sistema socioecològic trencant la teranyina de *la trampa de la por* (veure apartat 4.1).

El CEF no passa necessàriament per restaurar els patrons naturals en el sentit prísti que es produiria en absència de la intervenció humana, però si està pensat per protegir el bé comú, és a dir, el conjunt de valors i serveis ecosistèmics, juntament amb altres valors i principis de connotació social com la seguretat i resiliència dels equips d'intervenció o la protecció civil de la comunitat exposada.

El CEF com a concepte abstracte casa bé dins el marc de treball de la piro-sostenibilitat proposat en l'apartat 4.1. Però per poder ser aplicable al món de la PRESA de DECISIONS en EMERGÈNCIES cal que sigui traduïble a accions concretes, i a poder ser, un concepte **traçable i quantificable**. Resseguint aquesta lògica i fent un exercici de concreció, el concepte CEF es proposa com un paràmetre de cabal de foc que depèn de 5 variables bàsiques: Capacitat, Potència, Comportament, Estacionalitat i Recurrència.

#### **1) La QUANTITAT es pot representar formalment amb la superfície**

Les hectàrees com a unitat de mesura són una escala apropiada als incendis. Alhora, proposem dos paràmetres útils de cara a la implementació; **la capacitat (CA) i la potència (P)**.

**La capacitat (CA) és un proxy al potencial de propagació del foc, mesurat en hectàrees, amb matisos d'interpretació segons l'escala d'actuació.**

Quan la variable està escalada a una ZHR, la CA fa referència a la superfície total cremada durant el període considerat. Té una connotació històrica.

Quan la variable està escalada a una sZHR, la CA fa referència a la superfície màxima que pot desenvolupar un incendi dins d'aquell espai concret, en condicions adverses i en la hipòtesi de no-actuació per part dels dispositius d'extinció. És una dada coherent amb l'escenari del *incendi de disseny* d'un massís concret. Té una connotació de planificació.

Quan la variable està escalada dins un sector susceptible de gestió (sGIP), fa referència a la superfície total del sector. Té una connotació de prescripció. Dins de l'escala d'actuació del sGIP, quan fem zoom i consulta sobre el CEF a escala de *parcel·la* dins un sector, la CA no fa referència a la superfície de la *parcel·la* sinó a la superfície total del sector on queda inclosa la *parcel·la*.

**La potència (P) és un proxy a la superfície màxima que pot ser gestionada en un sol episodi, mesurada en hectàrees.**

Quan la variable està escalada a una ZHR, la P fa referència a la superfície màxima cremada en un sol episodi que s'ha donat durant el període considerat. Té una connotació històrica.

Quan està escalada dins un sector de gestió amb foc prescrit (sGIP), fa referència a la superfície màxima que pot ser gestionada amb foc en un sol episodi.

El seu objectiu és acotar un rang de treball que doni garanties suficients a nivell de capacitat de control, i col·lateralment, promoure la heterogeneïtat a escala de sector sGIP, fent que cada parcel·la tingui edats de regeneració diferents en relació al foc.

1) La **QUALITAT** es pot representar formalment a través del **comportament de foc (CO)**, **l'estacionalitat (E)** i **la recurrència (R)**.

Tenint en compte que les variables responen a una demanda d'informació orientada a la presa de decisions per aprovar o desaprovar la finestra d'oportunitat d'un incendi eventual, s'accepta en part la simplificació.

Aquest fet és especialment plausible amb la variable de **Comportament (CO)**, on l'observació directa segons estrats de propagació, descripció de la columna de fum i activitat o no activitat de focus secundaris són prou solvents per a les característiques de la presa de decisions. És a dir, en un escenari potencial de GESTIÓ no cal saber la intensitat de foc del front en kW/ml però en canvi sí que és útil contrastar la capacitat de llançament de focus secundaris del front. En qualsevol dels casos, l'anàlisi del risc diari ja ens aporta una informació sinòptica molt útil, que reforçarà i condicionarà sens dubte la presa de decisions en múltiples aspectes (potencial convectiu de la massa d'aire, previsió meteorològica a 12h-48h, etc.).

És per això que acceptem la simplificació del comportament de foc als estrats de propagació. Pel que fa al CO, existeix una graella de comportaments que en el cas de la Vall d'Aran es concreten en foc de subsol, superfície baixa, mitja i alta intensitat, antorxeig puntual i sostingut, capçades passiu i capçades actiu. En queda exclòs el comportament de foc extrem.

El límit inferior i superior d'aquesta graella de comportament són especialment representatius del règim del Pirineu:

(a) El foc de subsol per la quantitat de matèria orgànica disponible, sent la gleva el factor clau (terminologia d'experts).

Els focs de pastures i matollars de l'alta muntanya es consideren d'alta intensitat en relació a l'afectació al subsol. Quan la gleva no entra en joc, no està disponible, la severitat és baixa perquè no consumeix aquesta capa orgànica. Les pastures i el matollar cremen amb poc temps de residència, ràpidament. Són incendis on de l'atac al remat no hi ha massa diferència (Garós, gener 2017). Per contra, quan la gleva està disponible el foc penetra i es manté latent sense flama, fent que la fase de remat sigui molt penosa i lenta (treballs amb eines manuals fins a sol mineral). Aquesta casuística es considera d'alta severitat ja que consumeix el sol orgànic que si bé és un recurs renovable a molt llarg termini es regenera a una escala temporal molt superior a la que regeneren les comunitats vegetals. Alhora, la casuística de la gleva disponible facilita que el perímetre d'incendi que no està rematat evolucioni a pitjor durant la nit, sent capaç de créixer tant o més que en el comportament diürn (Cerbi, octubre 2016).

(b) A l'altre extrem de la graella de comportament tenim el foc de capçades actiu, representatiu en aquest cas de les perturbacions de renovació de masses arbrades denses i homogènies del Pirineu. El comportament actiu se sustenta gràcies a la interacció de la topografia, amb pendents notablement més pronunciats i sostinguts que a la resta del país, amb els vents directes i/o indirectes típics de les situacions de nord (Àreu\_març 2002, Cabdella\_gener 2012, Viu de Llevata\_març 2012).

**L'estacionalitat (E)** fa referència a com es distribueix la petjada de foc al llarg de l'any. L'estació de l'any (tardor-hivern-primavera-estiu) és una unitat de mesura vàlida pel règim d'incendis del Pirineu i de l'arc mediterrani en general. En argot expert de cremes prescrites, es parla de "growing season fire" ("foc que coincideix amb la vegetació activada, hidratada i en creixement) i de "dormant season fire" (foc que coincideix amb parada vegetativa i ressecament generalitzat per les baixes temperatures). En el cas de la Val d'Aran la prescripció de foc es concentra en l'estació de tardor-hivern, quan bona part de la comunitat vegetal està en parada vegetativa.

L'objectiu principal en aquests casos és reduir la càrrega de matollar, facilitar la regeneració de pastures i col·lateralment, reduir la probabilitat de comportaments de foc més intensos a curt i mig termini (gestió del risc estructural).

**Recurrència (R)** fa referència al temps transcorregut entre pertorbació i pertorbació, i es comptabilitza en anys. És la inversa de la freqüència.

Quan s'utilitza dins l'escala de subzones homogènies de règim, o de la totalitat de la Val d'Aran, s'utilitza el paràmetre de *Natural Fire Rotation*, ja que descriu millor les característiques del règim en quant a activitat de foc al llarg del temps considerat.

Quan s'utilitza dins l'escala de sectors de gestió de focs prescrits (sGIP), la recurrència fa referència al temps que ha de passar entre una oportunitat i una altra.

En tots els sectors de la Val d'Aran s'ha prescrit una recurrència de 10 anys, que coincideix amb el període operacional del Pla Estratègic. És a dir, que en la finestra temporal del present Pla Estratègic les parcel·les dels sGIP a priori només poden cremar-se un cop, subjecte però a la valoració del gabinet tècnic que es faci en la revisió anual. Els 10 anys de recurrència és un valor coherent amb el model MEDFIRE, que malgrat considera els 7 anys com el límit d'efectivitat de les cremes, 10 anys segueix sent un període efectiu en termes de cost-benefici de la gestió amb foc prescrit en matollars d'alta muntanya.

2) **EI MOMENT** al que es fa referència al concepte de CEF queda reflectit dins de QUALITAT, a través de l'estacionalitat (E).

3) Relatiu al **QUI** (veure apartat 5).

Abans d'entrar al detall dels tipus de CEF i dimensionaments del mateixos, es vol aclarir dos aspectes:

(a) **Les variables intrínseques al paràmetre de CEF no són noves** sinó que responen als pilars de coneixement que s'han anat consolidant fins a dia d'avui en relació als règims de foc, tant del món científic com des del món expert, on variables com la recurrència, l'estacionalitat i la intensitat s'usen amb normalitat.

(b) **Cabal de foc i cabal ecològic de foc tenen matisos notablement diferents.** Des de la perspectiva de la modelització s'ha utilitzat *cabal de foc* a l'hora de representar formalment les dinàmiques de contagi o percolació d'incendis, o bé a escala temporal de règims en relació diferents petjades de foc (Piñol et al. 2007). Per tant, *cabal de foc* té una connotació que queda reduïda a la superfície cremada, a la distribució probabilística d'àrea-freqüència i a la severitat. No obstant, en el cas que ens ocupa, la proposta de *cabal ecològic de foc* permet integrar dins la modelització aquells principis fonamentals que des del món expert i des de l'ecologia més descriptiva i aplicada ja s'han vingut utilitzant des de fa temps (Agee 1993, Piqué et al. 2014). En aquest sentit, el model *MEDFIRE Aran* ha permès inferir variables d'espai (sectors de gestió), d'intensitat, de recurrència i d'estacionalitat, a banda de les citades anteriorment. Aquest pas és significatiu perquè és la base per casar la modelització amb objectius de gestió tangibles, concrets i útils a efectes d'implementació real.

La proposta de CEF va en la línia de treball de Piñol et al. 2007, Regos et al. 2014, Duane et al. 2019. Els fets diferencials aquí són principalment que la modelització integra més variables bàsiques de descripció del règim, que l'experimentació virtual es baixa a un nivell de concreció de projecte, i tercer, que s'aplica en un àmbit geogràfic que funciona sensiblement diferent a la resta del país. El valor afegit d'això és que permet integrar el retorn de la modelització d'una forma genuïna, és a dir, en la presa de decisions estratègica d'un projecte real, fent que el disseny de l'alternativa de gestió proposada sigui coherent amb els resultats de l'exercici de modelització. Aquesta fórmula "model + expertesa pràctica" aporta robustesa al disseny de la proposta estratègica i en darrer terme, serveix per tenir millor visió davant el repte d'abordar una gestió sostenible del règim d'incendis de l'Aran en un context complex de canvi climàtic i canvi global.

**CLASSES de CEF i DIMENSIONAMENT****Les classes responen fonamentalment al subjecte que fa referència el CEF:**

- . Quan el subjecte és el règim històric (o l'incendi), es proposa el concepte CEF històric.
- . Quan el subjecte és l'organització (dispositiu d'intervenció), i s'està modelitzant a futur, es proposa el CEF prescrit. En aquest segon cas, les projeccions a futur tenen integrades l'escenari de canvi climàtic (base IPCC).

	respon a ...	subjecte
<b>CEF històric</b>	QUÈ VOL, QUÈ POT	règim d'incendis
<b>CEF prescrit</b>	QUÈ VULL, QUÈ PUC	dispositiu d'intervenció

Taula 20. Lògica de les classes de CEF. Font: elaboració pròpia.

**1) CEF històric (CEFH)**

Describeix les característiques de la base de dades històrica disponible, a partir de les mateixes variables mencionades de Capacitat, Potència, Estacionalitat, Comportament i Recurrència. Els acrònims d'aquestes variables van acompanyades de la lletra h; CAh, Ph, Eh, COh i Rh. En el cas que ens ocupa el CEFh fa referència a la ZHR de la Val d'Aran.

<b>CEF històric Vall d'Aran</b>					
Conca de pertorbació (ha)	CAh (ha)	Ph (ha)	Qualitat		
			COh	Eh	NFR (anys)
63360	5062	432	S+Moss	Hivern	350

Taula 21. Cabal ecològic de foc històric (CEFH) Val d'Aran, en base període 1990-2017. Font: elaboració pròpia.

La **conca de pertorbació** fa referència a tot l'espai geogràfic on pot incidir el foc forestal, en aquest cas equival a la superfície de la comarca de la Val d'Aran.

La **CAh** fa referència a la superfície total cremada en el període considerat.

La **Ph** fa referència a la superfície total cremada en un sol episodi, durant el període considerat. Equival per tant a l'incendi més gran del període, que en el cas que ens ocupa és l'incendi d'Arties del gener 2019, amb 432 ha.

El **COh** fa referència al comportament de foc més intens durant el període considerat. En aquest cas cal argumentar el valor especificat en la Taula 21, superfície i matèria orgànica subsol. A l'Alt Pirineu (comarques de muntanya del Pirineu occidental), el comportament més intens és el de capçades actiu, facilitat pel fort pendent i per situacions sinòptiques amb vents de nord. En clau de resposta ecològica, equival a la pertorbació de renovació de masses arbrades. Per contra, si bé a la Val d'Aran es donen condicions orogràfiques i ambientals similars, la petjada d'aquest comportament de capçades dins el registre històric recent no és tant representatiu. Això reforça la consideració feta en el procés d'adaptació del model *Medfire* en relació a l'alta intensitat en models de matollars i pastures d'alta muntanya, on la capacitat de penetrar, consumir i propagar des del subsol marca la diferència.

La **Eh** fa referència a l'època de l'any que representa millor la petjada de foc històrica durant el període considerat. En el cas de l'Aran la petjada queda clarament ubicada en l'estació de tardor-hivern, mentre que a la resta del Pirineu occidental existeix una relació més equilibrada entre tardor-hivern i l'estiu (veure apartat 2.2). És un tret diferenciador del règim de l'Aran respecte la resta de l'Alt Pirineu.



La **Rh** en aquest cas s'expressa millor a través dels **períodes de rotació de foc (NFR)**. Fruit d'aquest mateix projecte, el treball de revisió i ampliació de la base de dades d'incendis pre-existent ha fet aflorar el pes específic de les cremes escapades, que si bé s'han treballat per part dels equips d'intervenció com incendis forestals no quedaven registrats en l'estadística d'incendis quan la causa d'ignició anava associada a una crema controlada (veure apartat 2.2). Això explica que el NFR quedi reduït notablement en relació al NFR prèviament proposat en la literatura publicada; 350 anys (veure apartat 2.2) vs 585 anys (Piqué et al. 2014).

## 2) CEF prescrit (CEFp)

Describeix les característiques de la prescripció d'una manera sintètica, pensada per facilitar la seva implementació pràctica. Les variables intrínseques a la prescripció del CEF segueixen sent les mateixes però amb matisos d'interpretació. Els acrònims implícits al CEFp van acompanyats de la lletra p; CAp, Pp, Ep, COp i Rp.

El CEFp respon a un objectiu de màxims, obrint-se una finestra d'oportunitat espai-temps que possibilita aquest canvi de paradigma; de l'extinció sistemàtica a la diversificació de l'estratègia. Posar un objectiu de màxims (CEFp) no és sinònim de sumar fites per arribar als 10 anys amb aquesta superfície gestionada amb foc tècnic. Està pensat per obrir un rang de possibilitats que fixa un màxim de gestió amb foc prescrit, una alternativa que fins a dia d'avui és inexistent.

Es vol recordar el fet que el CEFp no és genèric per tota la conca de pertorbació de la Val d'Aran. La conca de prescripció, l'oportunitat de gestió amb foc, està acotada als sectors de gestió pre-planificats (sGIP). Seguint aquesta lògica, cada sGIP té el seu propi CEFp, consultable des del mapa web del projecte (veure subapartat 4.2.5), i en format paper, en les fitxes dels sectors de gestió (veure Annex).

El fet de dirigir el foc prescrit en sectors pre-determinats redueix l'eficàcia de la prescripció, és a dir, si es cremessin aquestes hectàrees aleatòriament en tota la VA el benefici a mig-llarg termini seria major. NO SERÀ EL CAS, és a dir, s'està prescrivint en espais concrets seguint criteri expert, tal i com s'argumenta més endavant en aquest mateix punt. Els sectors de gestió proposats en la majoria dels casos responen o bé a zones conflictives on les ignicions descontrolades han provocat incendis de forma recurrent, o bé a zones demandades els darrers anys per cremes controlades però que no s'han pogut executar per manca d'expertesa.

El marc de treball proposat a l'Aran a l'hora de gestionar amb foc prescrit s'ha pre-planificat amb dues casuístiques diferents: **cremes prescrites i gestió de focs prescrits**.

Les *cremes prescrites* són un objectiu de planificació al marge de l'emergència. La *gestió de focs prescrits* és una finestra d'oportunitat que està dins de la pre-planificació estratègica de l'emergència i que s'executa integrant-se a la planificació de l'emergència (veure més detall en l'apartat 4.3, i a través de les fitxes dels sectors disponibles a l'annex).

Alguns sectors i algunes parcel·les responen millor a un escenari de treball de cremes prescrites. Són escenaris propers a nuclis urbans, com el sector de Montcorbau, o que tenen elements vulnerables (refugis guardats, titularitat terrenys privada, etc.) o bé que responen a punts crítics a nivell de propagació d'incendis (potencial de piro-escapament elevat amb afectació a zones d'exclusió del foc prescrit).

En altres sectors es pot compaginar tant les cremes prescrites com la gestió de focs prescrits. Per últim, alguns sectors de pastures d'alta muntanya com la Serra d'Auba estan proposats des de la lògica d'incendis de llamp, on si es donen les condicions de prescripció permeten ser gestionats amb pocs recursos, dotant al sistema d'emergències de major resiliència a l'hora d'atendre episodis de simultaneïtat. En les fitxes dels sectors de gestió es pot reconèixer ràpidament aquest tipus de matisos, ja que hi ha una casella que especifica si és escenari de treball de crema prescrita i/o de foc gestionable.

**El CEFp té dos períodes diferenciats, a mig i llarg termini (10 i 20 anys respectivament).** El mig termini fa referència als primers 10 anys d'implementació, i el llarg termini correspon a 10 anys més a posteriori del primer període. Aquest criteri s'ha seguit per dos motius principals; el primer període, perquè és una escala de temps compatible amb un pla estratègic territorial, i el segon

període, perquè és una escala de temps més coherent amb el *Medfire* i els règims d'incendis en general. En aquest sentit, el model ha simulat múltiples escenaris en una finestra temporal de 40 anys, del 2010 al 2050.

A banda del criteri expert, el model *Medfire* juga un paper fonamental en el dimensionament del CEFp. El llindar d'eficiència que ens marca el model de cost-benefici oscil·la entre les 250-400 ha anuals (veure apartat 6.1). En aquest rang, **per cada hectàrea cremada en baixa intensitat (inversió en foc prescrit) hi ha un retorn de 0.75 hectàrees no cremades en alta intensitat.** Si s'amplia l'àrea gestionada amb foc de baixa intensitat el ratio cost-benefici cau al 0.5, tot i que en valor absolut la superfície no cremada en alta intensitat lògicament seria major.

En els primers 10 anys el CEFp és més intens en superfície, amb un total de 5918 hectàrees. L'escenari de màxims és de l'ordre de les 590 ha/any. Aparentment és un cabal menys favorable a nivell de cost-benefici, però si es fa la projecció a 20 anys atenent el CEFp del segon període, el resultat del CEFp a 20 anys ja se situa en unes 400 ha/any.

Cal tenir present que el fet de prescriure durant el primer període un CEFp sensiblement per sobre del cabal òptim que proposa el model respon fonamentalment a què cal ajustar-se a la capacitat operativa, posant finestres de treball creïbles tàcticament. **Per tenir CERTESA d'ESCENARI resulta clau definir eixos de confinament coherents amb els accidents orogràfics i/o ancoratges naturals. Això NO implica que s'hagi de gestionar amb foc prescrit tota aquesta superfície, sinó que és un escenari de màxims on s'acota un sostre de conca de prescripció creïble operativament a efectes de límits de contenció.** És un criteri conservador en quan a credibilitat tàctica de contenció per un escenari de plena disponibilitat i continuïtat horitzontal dels combustibles vegetals implicats, i que a la pràctica pot ser gestionat atenent a la variabilitat de les condicions ambientals d'aquests sectors. És a dir, aquesta conca de prescripció de màxims pot ser proactivament gestionada en moments on oscil·lacions de la cota de neu deixin la superfície executada en un 30-50% de la superfície planificada. En aquesta lògica, un 40% menys de superfície executada en relació a la planificada implica un salt significatiu, on el CEFp se re-situa de ple en la graella de cabal de foc òptim que proposa la modelització (350 ha/any en el primer període de 10 anys, i projectat al segon període de 10 anys, de l'ordre de les 250 ha/any). Per tant, l'estat de la cota de neu, la disponibilitat del combustible fi (pastures principalment), entre altres factors ambientals, determinaran la superfície realment executada, que en la immensa majoria dels casos serà, molt probablement, sensiblement inferior a la potència prescrita implícita a cada parcel·la.

Aquesta argumentació cal tenir-la present perquè evita caure en sobre-simplificacions del CEFp, i interpretar-lo en relació al CEFh en tota la riquesa i matisos que es contemplen en el disseny i dinàmica de la proposta estratègica (apartat 4). És per això, per exemple, que en la gestió lligada a la implementació del Pla està previst generar de forma contínua una *capa de cremes executades* que correspongui fidelment a la superfície realment executada. Per tant, una capa d'informació del projecte serà la gestió amb foc prescrit planificada, i l'altra serà la capa de foc prescrit executada, facilitant així la interpretació, re-valoració i adaptació si s'escau del CEFp de forma anual.

A continuació s'exposen les taules 22 i 23 com a síntesi del CEFp de cada sector de gestió:

<b>CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFp), a 10 anys</b>					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP02	1974	746	S	tardor-hivern	10
sGIP04	302	106	S	tardor-hivern	10
sGIP06	519	519	S	tardor-hivern	10
sGIP07	818	417	S	tardor-hivern	10
sGIP09	350	350	S	tardor-hivern	10
sGIP10	447	447	S	tardor-hivern	10
sGIP11	702	305	S	tardor-hivern	10
sGIP12	806	346	S	tardor-hivern	10

Taula 22. CEF prescrit a 10 anys, primer període (Val d'Aran). Font: elaboració pròpia

<b>CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFp), a 10 anys</b>					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (20)
sGIP01	463	183	S	tardor-hivern	10
sGIP03	1043	460	S	tardor-hivern	10
sGIP05	382	382	S	tardor-hivern	10
sGIP08	552	552	S	tardor-hivern	10

Taula 23. CEF prescrit a 10 anys, segon període (Val d'Aran). Font: elaboració pròpia

En la perspectiva temporal de 20 anys, s'està tolerant un escenari de "màxims de prescripció" de l'ordre de les 8000 hectàrees, o en termes anuals, de 400 hectàrees. (Taula 24).

CAp_VA (20 anys)	8358
CAp_VA anual	418
CAp_VA (% període)	13%
CAp_VA (% anual)	0,66%

Taula 24. Resum general del CEFp a 20 anys

En 20 anys es pot arribar a gestionar prescritament una superfície equivalent al 13% de la VA, el 0.66% de la VA anualment. Cal recalcar de nou que això NO implica que s'hagi de gestionar amb foc prescrit tota aquesta superfície, sinó que és un escenari de màxims on s'acota un sostre creïble operativament a efectes de límits de contenció. L'estat de la cota de neu, la disponibilitat del combustible fi (pastures principalment), entre altres factors, determinarà la superfície realment executada, que en la immensa majoria dels casos serà, molt probablement, sensiblement inferior a la potència prescrita implícita a cada parcel·la.

## **CONSIDERACIONS al CEFp**

A continuació es fa esment d'algunes consideracions a tall d'aclariments:

**1. Donat que el foc actua com una acció ecològica de primer ordre en la dinàmica de l'ecosistema, existeixen una sèrie d'efectes col·laterals dins i fora dels sGIP.**

Aquests efectes col·laterals si bé NO són directament l'objectiu principal, Sí són motivacions que apunten aquest canvi de paradigma per part de les organitzacions de gestió d'emergències, i que en resum, justifiquen en bona mesura la necessitat de coexistir i tolerar un CEF. En l'apartat 6 es valoren de forma més concisa diferents efectes col·laterals vinculables a la implementació d'un CEFp; grans incendis forestals, resiliència organització, protecció civil, biodiversitat, entre altres.

**2. En la proposta de CEFp per la Val d'Aran no es contempla la gestió dins de masses arbrades, a excepció de les tessel·les de bosc ubicades dins la matriu de matollars i pastures.**

Incloure la prescripció de foc dins d'aquests rodals de bosc intrínsecs a la matriu de matollars i pastures es tradueix a la pràctica tant a l'execució de cremes prescrites com especialment a la lògica de les operacions d'extinció. Els treballs d'extinció poden incidir sobre el comportament de foc dins un rang de resultats que beneficiï la biodiversitat del conjunt de la massa afectada. Això a la pràctica concreta es tradueix en tolerar el pas de foc de superfície mitja intensitat, sense penetració al sòl orgànic en la mesura del possible, així com tolerar l'antorxeig puntual. Per altra banda, s'exclou l'antorxeig sostingut i el comportament de capçades en qualsevol dels casos. El rang de resultats queda acotat parcel·la a parcel·la, i es pot consultar en les fitxes de cada sector de gestió (veure Annex).

El pas del foc en superfície dins dels rodals arbrats dificulta la capacitat d'antorxeig sostingut i comportament de capçades posterior, és a dir, la petjada del foc de superfície present redueix la vulnerabilitat als incendis de capçades a mig llarg termini. Això permet modular la petjada de les perturbacions de renovació d'aquestes masses arbrades denses i homogènies (plaques, ventades i incendis de capçades), facilitant un règim de foc on la severitat de la baixa i mitja intensitat contrabalanquen una part de la petjada de l'alta intensitat.

Cal dir però que en masses arbrades envellides o en un estat generalitzat de decaïment irreversible, l'alta severitat acostuma a jugar un paper positiu de renovació i resiliència de l'ecosistema.

El canvi climàtic està forçant aquestes situacions límit, especialment en els ecotons d'escala continental, degut fonamentalment a que les espècies dominants van quedant progressivament fora de rang climàtic. L'antorxeig puntual obra petits espais de llum que dinamitzen la diversitat del rodal, i en casos de repoblacions forestals poden reduir la sobre-densificació de peus. Fins i tot cal acceptar que des de la perspectiva ecològica, el rol de les perturbacions de renovació és clau en l'adaptació dels sistemes forestals, especialment als canvis de naturalesa climàtica. Aquest darrer cas però, perturbacions de renovació associades a comportament de foc de capçades, s'escapa de ple als objectius i característiques del CEFp que aquí es proposa.

**3. El CEFp és coherent amb les conclusions del model MEDFIRE adaptat l'Aran.**

En primer lloc, perquè el CEFp és representatiu del règim històric, un règim que situa a l'Aran avui per avui encara dins l'escenari de primera i segona generació d'incendis.

En segon lloc, perquè el CEFp en relació al CEFh s'ha ajustat a l'alça. Això respon a la necessitat d'adaptar els impactes previstos del canvi climàtic sobre el règim d'incendis de referència al Pirineu. Aquest tipus de valoracions són possibles gràcies a la modelització, i més concretament, a l'experimentació virtual de diferents alternatives estratègiques juntament amb diferents escenaris de canvi climàtic. Les conclusions del model expliquen que a efectes de projecte el CEFp proposat sigui més elevat que el CEFh de referència.

Més enllà de l'experimentació que permet el MEDFIRE, per fer projeccions de futur només ens queda l'anàlisi comparat en relació a altres geografies. Així doncs, malgrat les avantatges de

disposar d'un model vàlid a mida del projecte, cal assumir que NO sabem amb certesa ni a quina velocitat canviarà el règim ni amb quina magnitud canviarà el règim d'incendis històric de la VA a mesura que avanci el canvi climàtic en curs.

A favor però, Sí tenim certesa sobre allò què es pot fer perquè el bé comú, el sistema socioecològic, sigui defensable i no col·lapsi a mesura que el forçament climàtic i canvi de règim vagi imposant-se.

Promoure el marc de treball de la piro-sostenibilitat amb plans estratègics transversals com aquest, sens dubte ha d'ajudar significativament en clau de resiliència a escenaris de grans incendis/emergències. Paral·lelament, la promoció de polítiques de bio-economia circular que connectin amb el paisatge rural de forma positiva també són indispensables a llarg termini (segle XXI), si bé des de la perspectiva d'emergències no canvien el panorama actual ni a curt ni a mig termini (10-20 anys).

#### 4.2.3 Sectors de GESTIÓ de FOCS PRESCRITS (sGIP)

Els sectors susceptibles de gestió amb foc prescrit, amb l'acrònim sGIP en endavant, **són les zones de la Val d'Aran on la gestió amb foc prescrit agafa la seva concreció geogràfica**, ja sigui en format de cremes prescrites o bé en format de gestió d'incendis.

Per tota la Val d'Aran s'han definit 12 sectors de gestió amb foc prescrit, amb una informació associada consultable i facilitadora per a la seva implementació pràctica (veure llegenda *mapa web*).

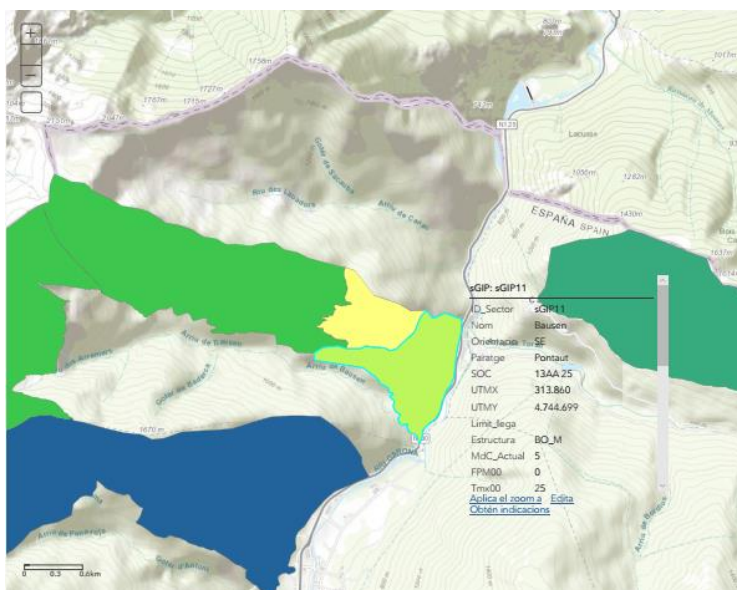


Figura 50. Captura pantalla arcGIS. Consulta taula atributs "parcel·la" dins sector Bausen. Font: elaboració pròpia

Cal fer especial esment a la capa web d'eixos de confinament dels sectors, que inclou diferents tipologies (veure llegenda arcGIS); pista forestal/carretera asfaltada, corriols, carenes, barrancs, tarteres, camps i línies de defensa.

Per la interpretació d'aquests eixos de confinament cal una expertesa pròpia als equips d'intervenció que treballen amb foc tècnic, ja que són eixos dinàmics que segons condicionants lligats a l'entorn i l'estacionalitat podran ser o no ser vàlids per cada casuística. A tall d'exemple, la presència o no d'aigua dins els barrancs, cota de neu en la solana i en l'obaga, línies de defensa pre-executades i/o factibles, les característiques del comportament de foc, del combustible viu i mort implicat, entre altres.

Tota la informació relativa als sectors de gestió amb foc prescrit (sGIP) està disponible en dos formats:

- Arxiu geodatabase i al **mapa web** del projecte (generat a partir del *arcGIS online*)
- **Fitxes de cada sector de gestió de focs prescrits**, que s'adjunten en l'annex del present document.

#### 4.2.4 Subzones homogènies de règim (sZHR)

Les zones homogènies de règim (ZHR) comprenen territoris on els atributs caracteritzables d'un règim són homogenis. Els atributs són típicament l'estacionalitat, la intensitat, la severitat, el període de rotació de foc, la signatura estadística de la distribució de probabilitat àrea-freqüència, entre altres. Dins d'una ZHR es poden concretar els incendis tipus descrits per Castellnou (2009), els incendis de disseny (incendis de referència per a la planificació) i les situacions sinòptiques que es preveuen com a més problemàtiques per al massís (Lloret 2003). En la classificació de ZHR de Catalunya la comarca de la Val d'Aran queda inclosa dins la ZHR 01 (Piqué et al. 2014).

Partint de la definició de ZHR, i a mida d'aquest projecte, es proposa el concepte de *subzones homogènies de règim* (sZHR), que és simplement el resultat d'interpretar els incendis històrics amb els principals trets geo-biofísics de la Val Aran. Aquesta subdivisió s'ha fet per tant segons criteri expert, i s'ha concretat amb la definició de 5 subzones homogènies de règim (Figura 51). Alguns espais de la ZHR 01 han quedat voluntàriament al marge de la classificació de sZHR. Aquests forats es corresponen en general a les cotes més elevades del paisatge d'alta muntanya i que en l'escenari de generacions d'incendi de l'Aran actuen com a grans barreres naturals de contagi. En l'Aran, les barreres naturals més evidents són les que configuren bona part dels espais limítrofs amb el Parc Nacional d'Aigüestortes i Estanys de Sant Maurici, i amb el Massís de la Maladeta.

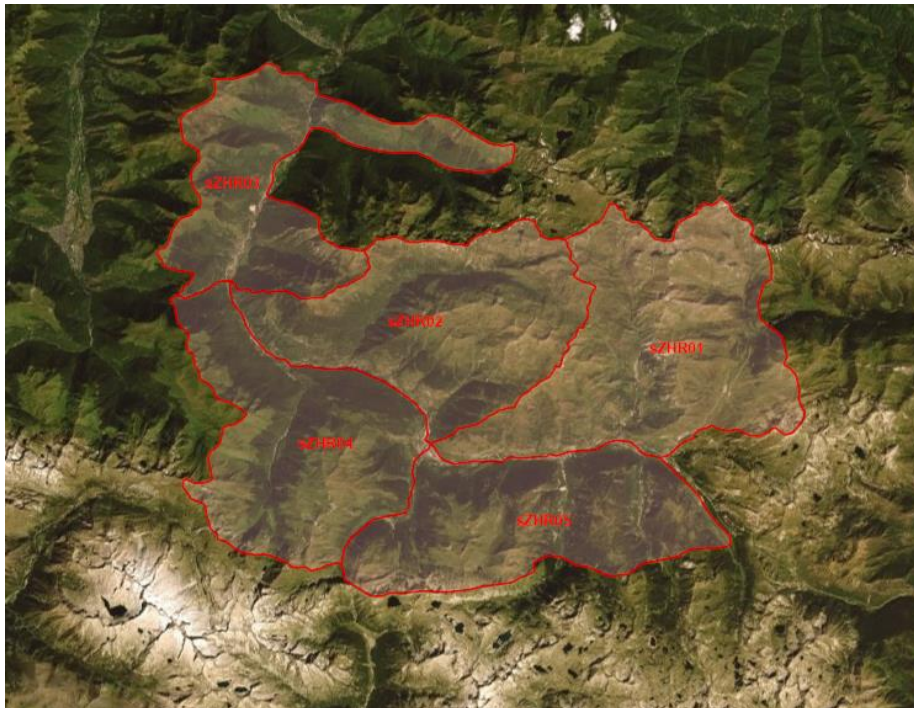


Figura 51. Mapa subzones homogènies de règim Val d'Aran. Font: elaboració pròpia

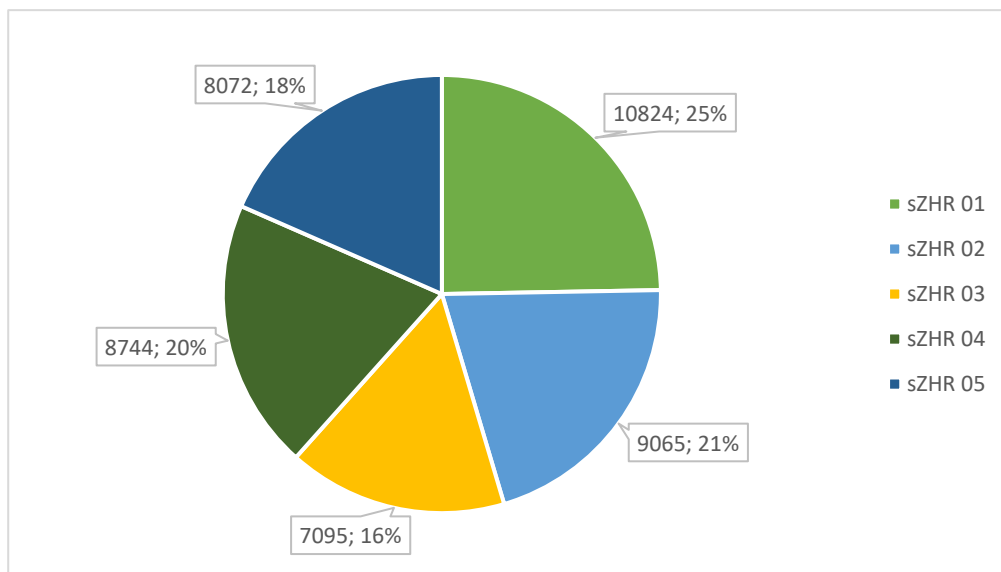


Figura 52. Superfícies totals (ha) i relatives (%) de les subzones homogènies de règim de la Vall d'Aran. Font: elaboració pròpia

A efectes pràctics, la informació de subzones homogènies de règim ens mostra com queda subdividida l'Aran a nivell de compartimentació natural d'incendis. Aquests trets geo-biofísics històricament s'han comportat com a barreres naturals, sent remota la possibilitat que un incendi les sobrepassi. Aquestes barreres de propagació cal matisar que responen a comportaments de foc del règim històric i que per tant no són homologables per incendis amb comportament de foc extrem, on el contagi entre vessants oposades de valls principals o entre solanes i obagues esdevé un escenari probable.

La informació relativa a les sZHR forma part de l'arxiu geodatabase del projecte, i podrà visualitzar-se i consultar-se des de la plataforma de l'arcGIS.

Per últim, es presenten 4 gràfics on queden reflectides les superfícies totals (hectàrees) i les relatives (%) de cada sector de gestió. Cada sector susceptible de gestió amb foc es posa en perspectiva de la subzona homogènia de règim on queda inclosa. En altres paraules, es fan visibles les conques de prescripció amb foc prescrit i la seva inclusió dins de les 5 conques de perturbació d'incendis delimitades per la Val d'Aran (sZHR).

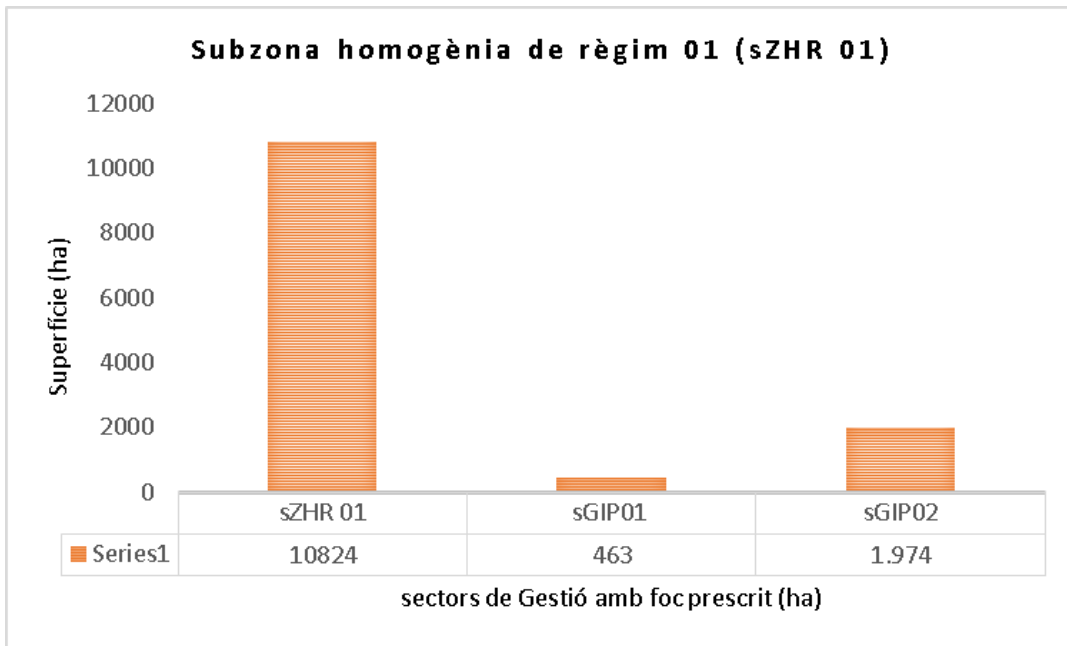


Figura 53. Superfícies totals (ha) per sGIP dins la sZHR 01. Font: elaboració pròpia

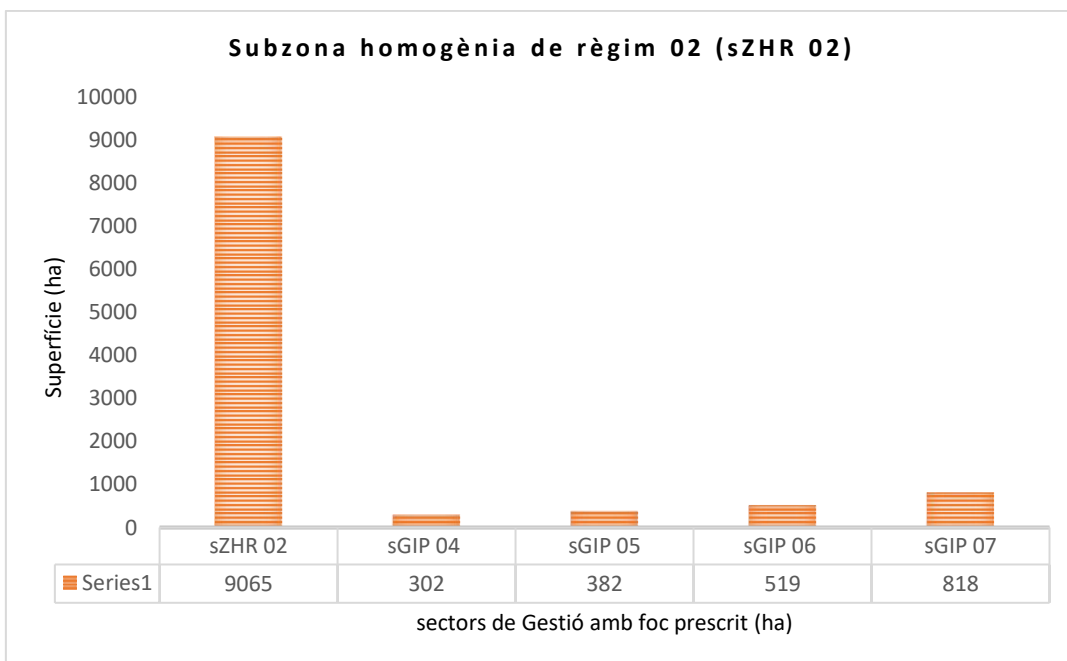


Figura 54. Superfícies totals (ha) per sGIP dins la sZHR 02. Font: elaboració pròpia



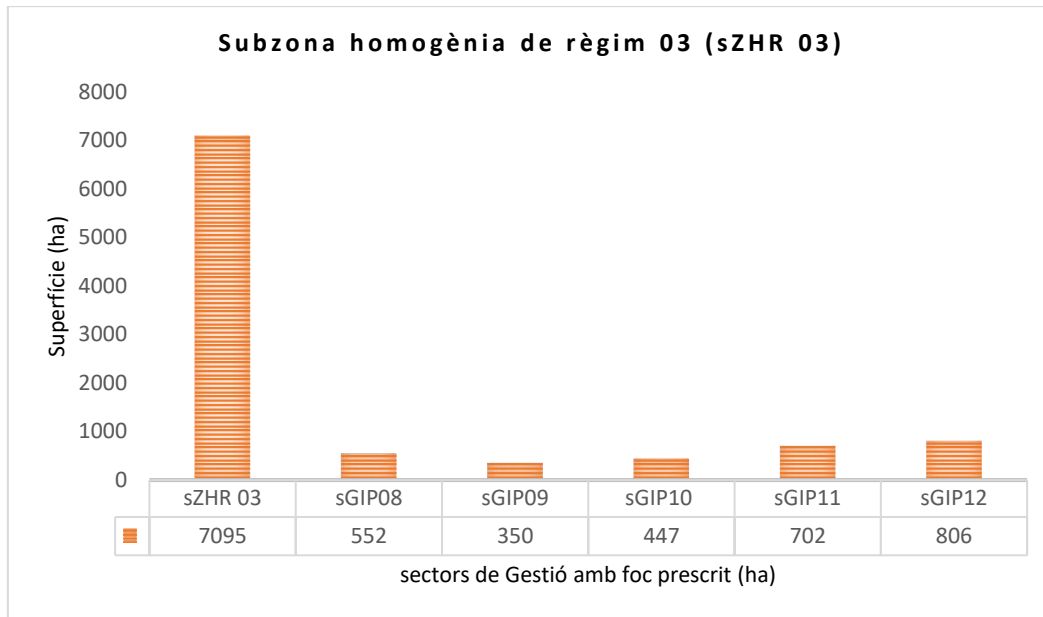


Figura 55. Superfícies totals (ha) per sGIP dins la sZHR 03. Font: elaboració pròpia

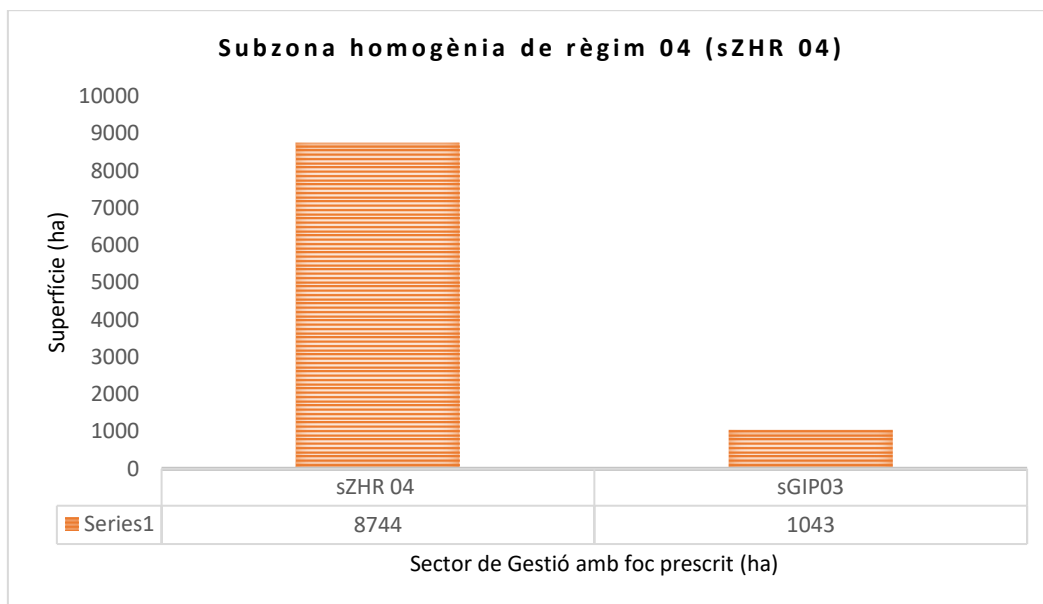


Figura 56. Superfícies totals (ha) per sGIP dins la sZHR 04. Font: elaboració pròpia

#### 4.2.5 Mapa web i capes web

El **mapa web** d'ArcGIS és una visualització interactiva de la informació geogràfica que en el nostre cas serveix literalment per donar vida virtual al projecte del Pla Estratègic de la Val d'Aran. El mapa web es comporta com una plataforma d'informació i comunicació, però sobretot, com una eina capaç de respondre a preguntes concretes sobre el projecte i amb la capacitat de poder ser dinàmic i adaptable. Per tant, és una eina que cobra especial notorietat en la implementació pràctica i més concretament, en l'actualització de la informació associada a mesura que es vagi executant el pla.

Conté un basemap, un conjunt de capes de dades (moltes de les quals inclouen finestres emergents interactives amb informació de dades), una extensió i eines de navegació per a la panoràmica i el zoom. Els basemaps i les capes es troben allotjades i compartides a través del ArcGIS online. No obstant això, els mapes també poden contenir capes afegides directament al mapa i capes i basemaps referenciats externament. El mapa web s'obra des de navegadors web estàndards, mecanismes mòbils i en visualitzadors de mapes d'escriptori. Es pot compartir a través d'enllaços, integrats en llocs web, i es pot utilitzar per crear aplicacions web basades en el mapa.

Les **capes web** són conjunts lògics de dades geogràfiques que s'utilitzen per crear mapes web i escenes. Algunes capes web permeten l'accés a les dades subjacents, mentre que altres són visualitzacions de les dades, optimitzades per a un ús determinat.

Les capes web són la base de l'anàlisi geogràfica, però les capes en si no són només dades. Una capa representa tant les dades com la visualització que s'hi aplica. La visualització pot incloure els símbols i els colors que s'utilitzen per mostrar les dades, així com la configuració de les finestres emergents, la transparència, els filtres i altres propietats de la capa.

Les capes web utilitzades per la creació del *mapa web* del projecte de la Val d'Aran estan llistades a l'annex d'aquest document (veure *Relació de capes web*).

#### 4.2.6 Taules d'atributs i camps d'informació associada

Les taules d'atributs i els camps d'informació associada fan referència simplement a tota la informació de projecte que pot ser consultada, revisada, editada i extreta de l'arxiu geodatabase del projecte.

Tota aquesta informació associada al projecte apareix únicament quan és consultada, fent que la visualització en pantalla a través dels dispositius tecnològics convencionals sigui més senzilla i fàcil d'interpretar (tablet, smartphone i/o PC).


De tota aquesta informació n'hi ha una que és clau per part dels dispositius d'intervenció:

- a) La taula d'atributs de la *capa web* dels sectors de gestió de focs prescrits (sGIP). Inclou diferents camps d'informació com coordenades, orientació, finestra marc, *cabal ecològic de foc*, pla de crema, vigència, etc.
- b) La informació associada a la capa web d'eixos de confinament.

La informació associada a les taules d'atributs generades estan disponibles a l'arxiu geodatabase del projecte, i són consultables alhora des del **mapa web** del projecte.

#### 4.2.7 Quadres de comandament (dashboards)

Un quadre de comandament és una visualització de la informació geogràfica que ajuda a supervisar esdeveniments o activitats. Els quadres de comandament estan dissenyats per mostrar diverses visualitzacions que funcionen juntes en una sola pantalla oferint una visió completa i atractiva de les dades.

Els quadres de comandament formen part del model de geo-informació ArcGIS. Són elements que es poden identificar amb la icona  en navegar i cercar contingut dins l'organització (arcGIS)

Aquestes són les característiques d'un quadre de comandament eficaç:

- Posa l'atenció on es necessita.
- Mostra la informació més important en una pantalla empaquetada de dades.
- Facilita la capacitat d'entendre el que està passant i respondre ràpidament.
- Indica les mesures de rendiment de manera clara, precisa, directa i sense distraccions.

Es construeixen a partir d'elements com ara mapes, llistes, gràfics, mesuradors i indicadors, i ocupen un 100% de la finestra del navegador de l'aplicació. Els elements es poden apilar o agrupar de diverses maneres.

La majoria dels elements són basats en dades. És a dir, representen la informació que vol presentar a l'usuari objectiu. Ofereixen capacitats de filtre robustes que permeten presentar un conjunt de dades de forma afinada. Aquests filtres poden ser aplicats pel creador en el moment del disseny o pels usuaris en temps d'execució.

Des del present *Pla Estratègic* es proposen 2 tipus de quadres de comandament (QC):

##### **(a) QC Incendis Forestals**

Els QC per incendis forestals amb arcGIS s'han començat a utilitzar a Catalunya l'any 2019 des del Cos de Bombers de la Generalitat. Són adaptables a cada usuari però en general tenen un disseny que és plenament homologable a les necessitats del dispositiu d'emergències de la Val d'Aran. Són de naturalesa operativa, és a dir serveixen per fer un seguiment de forma visual, directa i quantitativa, posant un èmfasi especial en l'evolució de les tasques planificades i executades. Inclou diferents carpetes que permeten visualitzar i seguir els diferents nivells d'escalatge de l'operatiu (Estratègia, Tàctica i Maniobres)

Paral·lelament i amb l'ajuda dels dispositius mòbils (tablets i smart phones) i aplicacions com el Collector de l'arcGIS, els equips d'intervenció aixequen geo-informació a camp d'una forma àgil, podent-se sincronitzar en temps real o en moments concrets de l'emergència amb el centre de comandament. Altres aplicacions mòbils com el Telegram permeten compartir en temps real i de forma més intuïtiva la informació de tipus audiovisual. Aquestes imatges, vídeos, dades meteorològiques de camp, etc., arriben de forma descentralitzada des de diferents llocs on actuen els equips d'intervenció, sent especialment representativa i útil la informació relativa al comportament de foc així com d'actualització de les maniobres executades.

Aquesta dinàmica de treball permet construir els fets en temps real aportant intel·ligència a tot el dispositiu de resposta. Compartir la informació i rebre-la descentralitzadament agilitza la presa de decisions, sent especialment rellevant a efectes de seguretat. En definitiva, el QC incendis forestals, juntament amb aplicacions com el Collector i el Telegram, empoderen de forma diferencial la presa de decisions dins i fora la zona d'operacions.

##### **(b) QC Cremes Prescrites**

El QC cremes prescrites en el moment de redacció d'aquest document està en fase d'elaboració per part del Cos de Bombers de la Generalitat i es preveu validar-lo i normalitzar-ne el seu ús durant el primer semestre del 2020.

El QC cremes prescrites no respondrà a les necessitats de gestió d'un servei d'emergència sinó a la necessitat de gestió d'un programa de cremes. En el cas de la Vall d'Aran, aquest QC es preveu plenament homologable al seu "programa de cremes". També té una naturalesa operativa, només que la gestió no ateny a la demanda d'un servei d'emergències sinó a la implementació d'un programa. Per tant, el QC cobra un sentit com a compte de resultats i com a eina d'informació quantitativa de l'estat d'implementació del programa.

Amb ajuda d'aplicacions com el Collector de l'arcGIS i del Telegram, el mapa web permet actualitzar dades de forma àgil, segons vagi evolucionant la implementació del programa ja sigui en format GESTIÓ incendis o en format cremes prescrites. A tall d'exemple, si es valida un corrial com a línia d'ancoratge d'una parcel·la de crema planificada, aquesta informació s'aixeca i queda actualitzada al mapa web a través de l'arcGIS online. Aquest tipus d'informació és crítica en la planificació de tasques prèvies a la crema. Un altre exemple, quan s'aixeca el perímetre d'una crema prescrita executada, es comparteix a través del Collector i s'actualitza la capa de cremes executades. Això permet diferenciar quantitativament la superfície executada (capa de cremes executades) en relació la planificada (capa de cremes planificades). En definitiva, permet organitzar la geo-informació de forma automàtica gràcies a l'arquitectura del mapa web (finestra marc, dades meteorològiques del dia de la crema, fotos del comportament de foc, vídeo del briefing, etc.)

### **4.3 DINÀMICA**

A continuació es presenta la manera d'engranar i posar en funcionament les peces del disseny estructural.

Primer s'acoten les vies d'implementació, que fan referència a les casuístiques de treball per normalitzar la pràctica de la *gestió amb foc prescrit* (4.3.1).

Posteriorment s'entra en el detall de la *gestió de focs prescrits* des de la pre-planificació de l'emergència (4.3.2). La complexitat intrínseca a un servei d'emergències requereix que aquest escenari de treball (GESTIÓ) estigui pre-planificat, i no només això sinó que ha de ser clar, concret i viable per part dels responsables de la seva implementació.

En el sentit operatiu, la finestra d'oportunitat de la *gestió de focs prescrits* l'identifiquem com un escenari de *complexitat positiva*. En primer lloc, és un escenari complex perquè no es limita a una dicotomia simple entre “deixar cremar” (let it burn) o extingir, sinó que requereix una resposta activa que queda formalitzada amb l'elaboració del PAI, i per tant, compta amb la riquesa de tenir uns objectius tàctics desplegats amb accions concretes, assignacions de responsables per cadascuna d'aquestes, capacitat de modular el comportament de foc, etc.

A efectes de tàctica i maniobra, la GESTIÓ pot ser tant rica com l'extinció, amb maniobres que poden anar des de la simple monitorització del foc fins a maniobres complexes amb foc tècnic de forma similar a com es desenvolupa una crema prescrita.

Per altra banda, la finestra d'oportunitat de la *GESTIÓ de focs prescrits* és complexa perquè acobla realitats que es donen a una escala de temps diferent; (a) la *pre-planificació de l'emergència i/o estratègica*, un procés lent i transversal que pren forma com a projecte, i (b) la *planificació de l'emergència*, un procés ràpid que s'elabora i s'executa durant la gestió de l'emergència.

Existeixen més elements que aporten complexitat en l'execució de cremes prescrites, i que justifiquen la finestra d'oportunitat de la gestió de focs prescrits. Sense perdre'ns en els factors limitants lligats a un programa de cremes, ens cenyirem simplement a algun exemple. La crema prescrita de Gessa l'hivern del 2017 executada conjuntament per Bombers i GRAF es dona unes setmanes més tard d'extingir l'incendi de gener en la mateixa conca de pertorbació. En aquest cas, el cost d'apagar-lo primer entra en contradicció amb el cost d'executar la crema setmanes més tard, però aquest no és l'aspecte que es vol destacar. Allò que sí és crònic com a factor limitant és la dificultat que representa haver de garantir la capacitat de resposta a un incendi forestal eventual de forma simultània al moment d'execució d'una crema prescrita. Aquesta situació és omnipresent en el Cos de Bombers de la Generalitat, i en el context geogràfic que ens situem, el Pirineu, executar cremes prescrites limita la capacitat de resposta dels especialistes GRAF a la resta del país. La conclusió és que existeix un factor limitant de recursos disponibles, i davant d'aquesta casuística, especialment quan hi ha un episodi de risc en alguna part del territori, la probabilitat d'executar la crema prescrita al Pirineu és baixa o nul·la. En aquesta mateixa direcció, existeix un triatge a l'hora de dirigir els recursos disponibles per cremes prescrites, ja que des de la perspectiva de país es determinen les accions prioritàries. Quan tot això se suma, el resultat és que es perden finestres vàlides per la gestió, sectors programats i amb autoritzacions de plans de crema que no s'executen, fins al punt de deixar en anecdotica la superfície total gestionada amb foc prescrit.

Quan del punt feble se'n fa una virtut i s'integra de forma creativa dins el servei d'emergències, és a dir, quan es resol un conflicte social lligat a la causalitat d'ignicions descontrolades, quan aflora la capacitat de gestió de focs prescrits, quan com a comunitat exposada a un risc forestal es guanya capacitat per ponderar els esforços entre extinció i gestió, allò que s'ha denominat metafòricament com a *selecció positiva de foc* en paraules de Marc Castellnou (veure 4.1), és llavors quan s'aconsegueix explotar la complexitat en positiu.

### 4.3.1 Vies d'implementació

La dinàmica de funcionament inclou dues casuístiques compatibles:

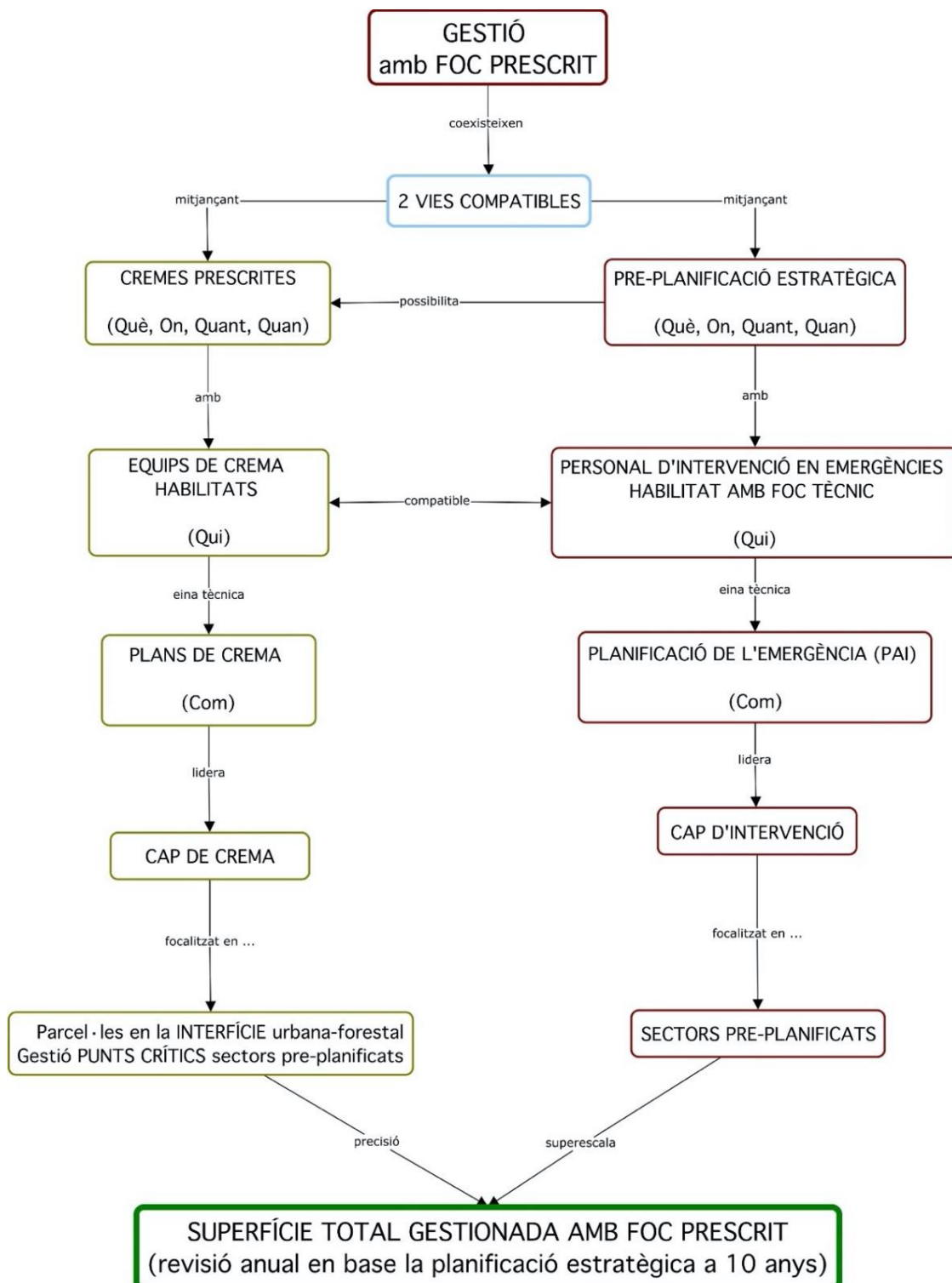


Figura 57. Esquema vies compatibles per a la gestió amb foc prescrit Vall d'Aran. Font: elaboració pròpia

Les dues vies s'entén que només poden ser viables en la mesura que existeixi una resolució favorable del present *Pla Estratègic*.

No només són vies compatibles sinó que es retro-alimenten positivament a través dels equips habilitats amb ús del foc. L'opció de crear equips mixtes entre diferents cossos vinculats amb l'àmbit forestal facilita la transversalitat i alhora reforça la capacitat executiva en ambdues casuístiques. És a dir, en una crema prescrita el personal d'intervenció habilitat per *foc tècnic* pot recolzar formant part de l'equip d'ignició, o assumint qualsevol dels rols d'una crema, i sobretot, liderant l'equip de control i el pla de contingència. Per altra banda, en incendi forestal el personal habilitat amb ús del foc en cremes prescrites pot recolzar les accions comandades pel **cap d'intervenció**.

Les cremes prescrites en el marc concret de la Val d'Aran cobren especial sentit en casos on la complexitat lligada a l'execució és elevada. En parcel·les d'*interfície urbana-forestal*, les mesures de control i contingència són sovint la clau per poder executar una crema amb garanties. Això implica no només més personal sinó la valoració prèvia de possibles sub-parcel·les així com la creació de *línies de defensa* (ancoratges).

Per altra banda, la gestió de *punts crítics* dins els sectors pre-planificats possibilita l'aprofitament de situacions favorables per poder gestionar algun punt de canvi desfavorable dels sectors i/o parcel·les pre-planificades. Per exemple, el detall de la presència de neu, aigua als barrancs, subsòl no disponible, etc. pot marcar les diferències en un incendi. En l'escenari de valoració d'un incendi dins una zona pre-planificada de gestió, alguns d'aquests condicionants ambientals poden ser la clau perquè el **cap d'intervenció** ho descarti o ho assumeixi. Donat que és previsible i probable que el dia del incendi aquests factors favorables no es donin, la possibilitat d'aprofitar finestres d'actuació prèvies al incendi on els factors ambientals siguin favorables (neu, aigua, etc.) amplia la certesa d'escenari lligada a l'oportunitat de gestió, ja que en molts casos es tradueix en tenir ampliat i gestionats els límits de confinament del sector pre-planificat (eliminació del combustible en el *punt crític*).

Aquestes dues vies d'actuació que possibiliten la gestió amb foc prescrit tenen diferents lideratges en la seva implementació pràctica. En relació a les cremes prescrites és la figura del **cap de crema**, que a grans trets és la persona que dirigeix l'execució d'un **pla de crema** prèviament aprovat.

En el format de treball implícit a una emergència, la posició del **cap d'intervenció** comanda les operacions. El lideratge recau en la seva posició tot i que la corresponsabilitat cal recordar que és orgànica i sistèmica, és a dir, arriba a cada persona implicada en l'organigrama de resolució desplegat en cada intervenció.

L'escenari de resposta a l'emergència és diferent i més complex al d'una crema prescrita, per això aquí no serveix la posició d'un **cap de crema** sinó que cal pensar estrictament en clau de gestió d'emergències. La posició del **cap d'intervenció** l'assumeix el màxim comandament de la guàrdia present al lloc de la intervenció, i determina i dirigeix les accions que s'han de seguir amb la finalitat de resoldre l'incident o minimitzar-ne les conseqüències.

Obrir la via estratègica de la *gestió de focs prescrits* a la pràctica implica que la gestió directa de l'emergència ha de tenir un nivell de comandament coherent amb el repte i l'exigència d'aquest objectiu. La determinació del nivell de comandament per la implementació d'aquest escenari/casuística queda subjecta a la valoració específica que faci Pompiers.

#### 4.3.2 Sincronització amb la gestió de l'emergència

Per portar a la pràctica la *pre-planificació estratègica de l'emergència* cal entrar dins la perspectiva del **cap d'intervenció** així com del modus operandi d'una organització d'emergències. Aquesta aproximació a la presa de decisions és la base per aconseguir que la idea de resolució pre-planificada se sincronitzi amb garanties dins la gestió de l'emergència.

Dels 3 períodes implícits a tota actuació d'emergències (figura 58), *alarma, intervenció i tancament*, la **GESTIÓ** de focs prescrits dins d'una actuació d'emergències ha de ser el més normalitzada possible en la lògica de treball que s'aplica avui dia.

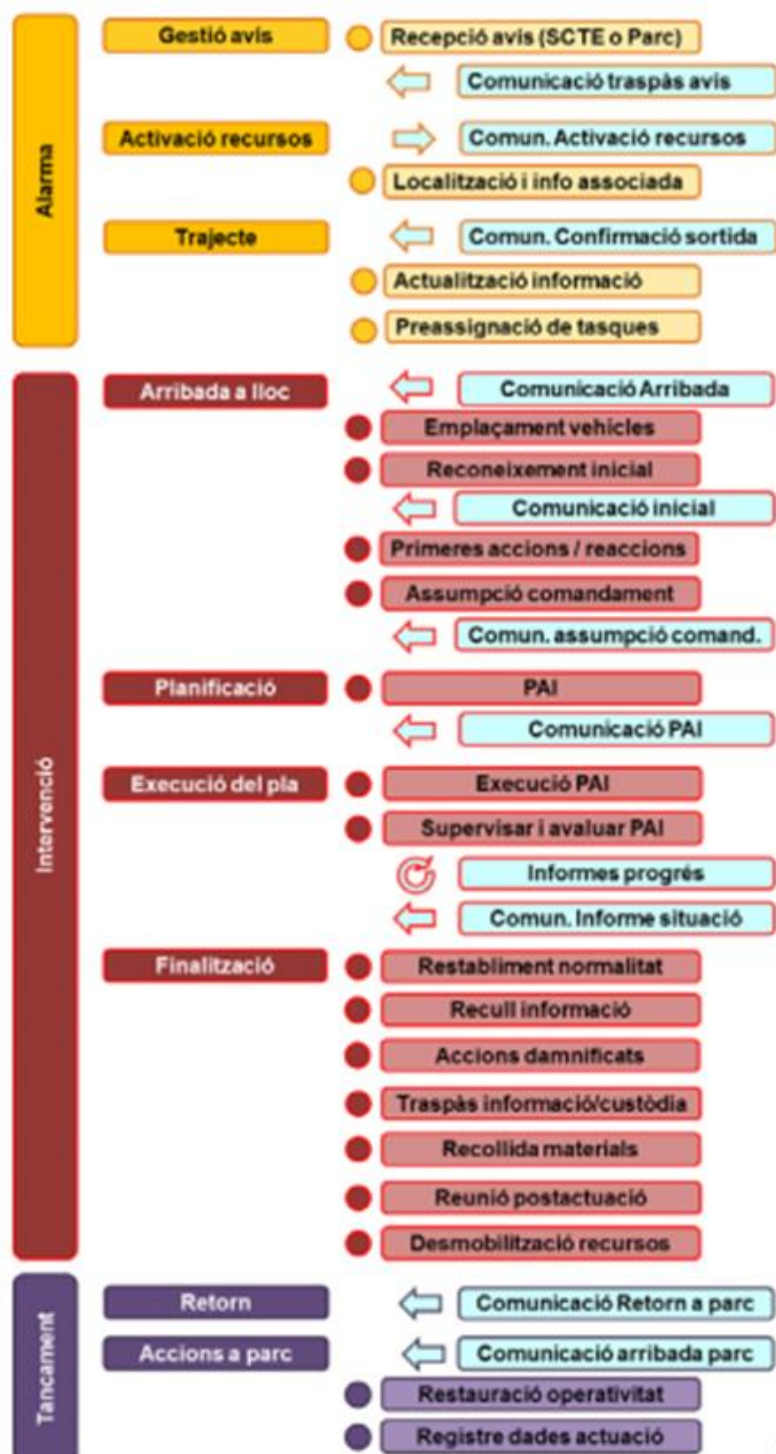


Figura 58. Esquema seqüència operativa general (SOG) en una intervenció. Font: Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya

En aquest sentit, les etapes relatives al període d'alarma i tancament de l'actuació són idèntiques, però la presa de decisions en l'etapa d'intervenció té un seqüència diferent. Dins de l'etapa d'intervenció, la diferència principal rau en el procés de la **planificació**.

Així doncs, la presa de decisions relativa a valorar la gestió de focs prescrits des de la sincronització amb la intervenció d'una emergència passa fonamentalment per 4 passos que queden recollits en l'**arbre de decisions** següent:

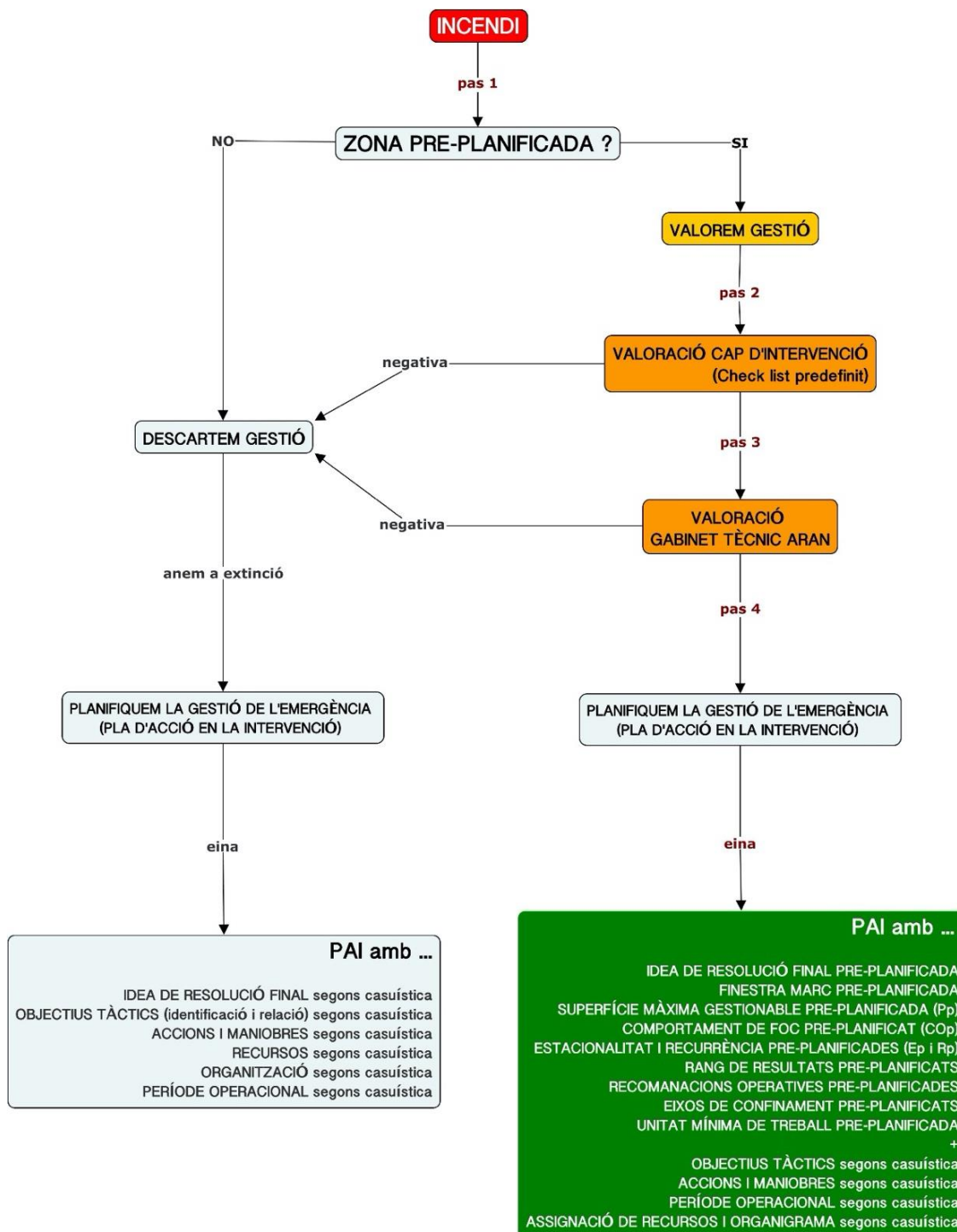


Figura 59. "Arbre de decisions" (4 passos) per sincronitzar la pre-planificació estratègica amb la planificació de l'emergència. Font: elaboració pròpia.



**PAS 1:** La ubicació i l'àmbit d'actuació concret dels diferents sectors de gestió pre-planificats són consultables al *mapa web* així com en les respectives fitxes de sectors (apartat 8.1 de l'Annex). Valorar si la ignició/incendi forestal està dins una zona pre-planificada de gestió és una acció ràpida i fiable. Les eines d'aixecament d'informació geogràfica i de comunicació telemàtica faciliten aquesta tasca, paral·lelament al coneixement del territori per part del personal d'intervenció. En el moment actual, l'eina utilitzada pel Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya és el *Collector*, com aplicació compatible amb l'arcGIS online, i que funciona tant des de tablets com smart phones.

**PAS 2:** La capacitat de presa de decisions és una competència intrínseca i necessària en la posició operativa que desenvolupa un *cap d'intervenció*. Més enllà de la formació, la capacitat de presa de decisions s'enriqueix sobretot a base d'experiència acumulada, i es recolza de totes aquelles eines disponibles al seu abast per garantir una resposta segura i eficaç. En aquest sentit, des del present projecte s'ha elaborat un *check list* pel *cap d'intervenció* específic d'aquesta casuística, amb l'objectiu de facilitar la valoració. El ***check list cap d'intervenció*** està disponible a la documentació de suport de l'Annex (apartat 8.3).

**PAS 3:** Una valoració del cap d'intervenció positiva no implica que es valida la finestra d'oportunitat sinó que es requereix d'una segona valoració favorable per part del ***gabinet tècnic*** creat a mida del projecte. Aquesta manera de procedir respon a la voluntat de crear grans consensos en una matèria tan sensible com l'ús del foc, així com de corresponsabilitzar i socialitzar la presa de decisions. La constitució i les funcions del *gabinet tècnic* queden descrites en el Glossari.

**PAS 4:** L'elaboració d'un PAI està àmpliament desglossada en la ***Guia de Comandament 002 v.1*** vigent al Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya (per més detall veure apartat 7 Referències). No només ateny als serveis d'incendis forestals, des d'on es va començar a implementar fa uns anys enrere, sinó que avui dia ja s'aplica de forma sistemàtica en la resta de serveis d'emergències del Cos de Bombers havent irromput positivament en el panorama de treball. Aporta certesa d'escenari, és dinàmic i adaptable, i responsabilitza de la intervenció a tot el sistema organitzatiu de resposta a l'emergència.

En la part de Glossari hi ha una definició i descripció detallada del PAI.

**El pas 4 coincideix amb el moment on tota la feina pre-planificada cobra sentit.** La finestra d'oportunitat validada pel *gabinet tècnic* implica posteriorment l'elaboració i execució del PAI. És en aquest exercici on la feina pre-planificada, la informació relativa a cada *sector de gestió de focs prescrits*, pot ser interpretada, bolcada i adaptada al pla d'acció de la intervenció (PAI).

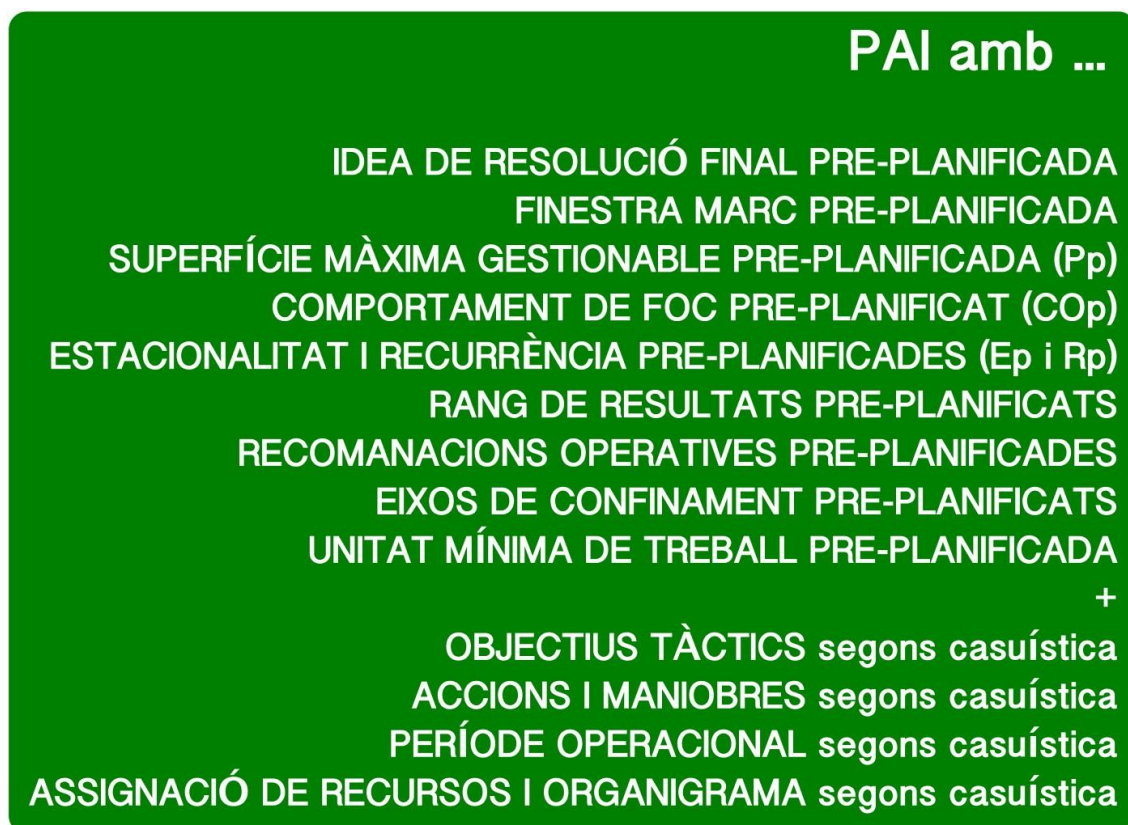


Figura 60. Informació pre-planificada disponible al PAI. Font: elaboració pròpia

Hi ha diverses avantatges de disposar d'aquesta informació pre-planificada, però volem destacar-ne el fet de poder ser una informació de gran consens territorial a través del procés de participació pública i socialització del risc paral·lel al projecte. Això permet integrar de forma transversal interessos i inquietuds de diferents actors del territori, dins la pròpia fase d'elaboració del projecte (document de referència).

Aquest consens es tradueix en una idea de resolució final pre-planificada que alhora i gràcies als experts, queda concretada amb diferents objectius tàctics.

Per tal de facilitar el procés de sincronització amb l'emergència s'ha fet l'exercici de desplegar part de la informació implícita en l'elaboració del PAI, havent-se definit a una escala de sectors de gestió pre-planificats. Això permet guanyar certesa d'escenari en la mesura que es poden traçabilitzar les operacions en base uns objectius concrets pre-definits.

ON, QUANT i QUAN són preguntes que queden resoltes amb els paràmetres intrínsecs al concepte de *cabal ecològic de foc prescrit* (CEFp). Són dades que recolzen la presa de decisions del cap d'intervenció i que són consultables a les fitxes de cada sector de gestió pre-planificat (i al mapa web).

El CEFp aporta informació relativa als espais pre-planificats compatibles amb la *gestió de focs prescrits*; el rang de comportament de foc tolerable (COp), la quantitat de superfície màxima prescrita dins tot el sector (CAp), la superfície màxima gestionable amb foc en un sol episodi (Pp), el moment de l'any fenològicament compatible amb l'objectiu de prescripció (Ep) i la recurrència d'entrada amb foc prescrit dins el període planificat (Rp). El concepte de CEFp està descrit amb tot el detall necessari en l'apartat 4.2.2 del present document.

**Tota aquesta informació disponible per elaborar i executar el PAI es pot consultar tant al mapa web com en format paper, i de forma sintètica en les fitxes de cada sector (veure annex).**

### 4.3.3 Seguiment del risc

Des de projecte es vol introduir la necessitat de fer un seguiment del risc forestal en una lògica similar a com l'Aran desenvolupa el seguiment i la previsió del risc d'allaus, liderat per un equip tècnic especialitzat que analitza dades de camp, episodis meteorològics, etc., i que acaba generant un butlletí de perill d'allaus que va actualitzant-se durant l'estació de neu.

A nivell de Catalunya, un fet destacable en positiu a nivell de prevenció i resposta a l'emergència és el seguiment del risc. L'anàlisi i previsió del risc, ja sigui diari, setmanal o per episodis de risc, segons època de l'any i segons criteri expert, així com la revisió continuada dels incendis que van succeint, permet estimar i preveure el comportament de foc esperat, un paràmetre que resulta clau per part dels dispositius de resposta.

L'anàlisi i previsió del risc té clares avantatges, com poder pre-definir, segons casuístiques de tipologies d'incendi i disponibilitat de combustible arreu del territori, unes recomanacions operatives tant tàctiques com de seguretat, de planificació de la guàrdia o d'activació d'accions preventives i/o vigilància en episodis crítics de forma coordinada amb els agents rurals.

El seguiment del risc té la seva metodologia de treball i en aquest sentit el coneixement és madur a nivell de tot el territori de Catalunya. L'Aran però, més enllà de la seva autonomia i capacitat d'autogestió d'emergències, a nivell de risc té unes singularitats pròpies que cal tenir present. Ambdues coses, metodologia i especificitats cal abordar-les i desenvolupar-les a través d'un procés formatiu que ajudi a gestionar la informació clau i interpretar-la adequadament. El procés formatiu és una part indispensable i orgànica per al desenvolupament d'aquest projecte en la seva implementació pràctica, tal i com s'apunta a l'apartat 5.2.

Disposar d'aquest butlletí de seguiment del risc cobra especial rellevància per la implementació pràctica del projecte. Primer, perquè en la via d'implementació relativa a les cremes prescrites aquesta informació permet calendaritzar les tasques i alhora valorar les finestres marc de prescripció. Paral·lelament, per la via de foc prescrit des de l'emergència, el butlletí aporta una informació clau al cap d'intervenció. Amb la informació del butlletí el cap d'intervenció ja pot saber en quin dia, setmana, episodi de risc forestal està, una informació clau a l'hora de valorar la viabilitat tècnica d'un escenari de foc potencialment gestionable. D'aquesta manera, la informació relativa al risc d'incendi forestal i comportament de foc esperat no queda subjecta únicament a l'anàlisi en calent del cap d'intervenció, sinó que pot fer-se proactivament des de despatx (butlletí) i de forma més acurada, facilitant la presa de decisions a camp del cap d'intervenció i en definitiva, aportant certesa d'escenari.

La metodologia per dissenyar i elaborar un butlletí d'aquestes característiques pot extrapolar-se de la que s'utilitza a la resta de Catalunya, via Cos de Bombers de la Generalitat, integrant-hi però les especificitats de l'Aran. Aquest butlletí cobra especial significat en l'estació d'hivern, segons conclusions de l'anàlisi del règim de foc de l'Aran (apartat 2.2), i en canvi durant l'estiu, l'estació típicament crítica a la resta de Catalunya, el risc queda desnaturalitzat. A tall d'exemple, les especificitats de l'Aran són la cota de neu per orientacions, cota de la capa activa del subsòl segons orientacions, la disponibilitat de la gleba, estat dels eixos de confinament pre-planificats, estat de les pistes forestals, entre altres.

Els continguts i metodologia per desenvolupar un butlletí de seguiment i previsió del risc d'incendi forestal per l'Aran, entès com a producte, queda al marge dels objectius d'aquest projecte i caldrà treballar-lo específicament. Paral·lelament, pel que fa la part de transferència de coneixement prevista a l'apartat 5.2, cal incloure formació específica en relació als continguts del butlletí, ja sigui per elaborar-lo o interpretar-lo, atenent a les necessitats i competències dels perfils professionals involucrats en aquesta matèria.

#### **4.4. Adaptabilitat**

La capacitat d'innovació d'una organització augmenta la resiliència dins l'ecosistema socioeconòmic que li dona vida. Dins d'una organització pública les decisions i accions estan alineades amb la visió de la governança política, però alhora, amb independència de l'equip de govern que hi hagi en cada moment, la implementació pràctica de les accions públiques queda protegida per un marc legislatiu i reglamentari que fonamenta l'estat de dret i dota de majors garanties al conjunt de la comunitat. En aquest ecosistema d'organitzacions públiques, pautades per reglaments i processos tècnic-administratius, la capacitat d'innovació estratègica sovint es percep més com una incomoditat que dificulta la interpretació dels reglaments i que posa en evidència la inevitable necessitat d'adaptar el marc legislatiu de forma coherent al ritme que evoluciona la nostra societat i entorn.

Un *pla estratègic* com el que es proposa, a criteri dels autors del projecte, és un pas ferm a favor de l'eco-innovació dins el sector públic. Una proposta d'aquestes característiques no és una simple millora al *business as usual* actual. És una eco-innovació que implica un canvi de paradigma, de l'extinció sistemàtica i persecutòria del foc, a una gestió de l'emergència que integra la complexitat del règim d'incendis, el canvi climàtic i l'ecologia com element bàsic de la seguretat de la societat que cohabita dins un entorn paisatgístic viu i dinàmic. Un nou marc estratègic, la piro-sostenibilitat, que és capaç d'aplicar una selecció positiva del foc; exclusió d'incendis ("focs descontrolats") i gestió de focs prescrits ("focs controlats amb objectius específics pre-planificats").

Aquest nou espai de treball, com a estratègia emmarcada a una escala d'anys-dècades, és bàsic que tingui **capacitat adaptativa** perquè allò que sabem i apliquem avui no ens limiti allò que siguem capaços d'aprendre i aplicar en el transcurs dels propers anys.

VUCA és l'acrònim anglès de Volatilitat, Incertesa, Complexitat i Adaptabilitat, un marc teòric que aporta visió en relació a la dinàmica socioeconòmica contemporània i els cicles de vida de les organitzacions. La ubiqüitat d'Internet, les xarxes socials, l'economia d'escala, l'anàlisi computacional del big data, són exemples dels factors disruptius que han provocat un canvi de paradigma dins les organitzacions. Aquest marc teòric té una naturalesa més instrumental que pròpiament descriptiva, orientada a mostrar una finestra d'actuació dirigida als lideratges i la presa de decisions estratègica (Tovar 2016, Giles 2018). Havent fet l'exercici intel·lectual de portar-ho a l'àmbit de l'emprenedoria pública i dels serveis de gestió d'emergències en particular (tesi doctoral J.Oliveres), el VUCA ens pot ajudar a re-interpretar el panorama i el paradigma que va aflorar amb la professionalització dels serveis d'emergències durant la segona meitat del segle XX. Aquell paradigma ha generat avenços remarcablement significatius en la gestió d'emergències, però no ha quedat al marge de contradiccions com la mateixa paradoxa de l'extinció. El vell paradigma del naixement dels cossos d'emergències professionals s'ha explotat amb èxit durant dècades a base de força (majors recursos materials i humans), capacitat tècnica i d'anàlisi (major intel·ligència) i l'adveniment de les noves tecnologies (GIS i TIC), però també s'han generat efectes col·laterals que han erosionat les virtuts del propi sistema. En conclusió, aquest exercici merament intel·lectual de portar el VUCA a l'àmbit de la gestió d'emergències, liderat a la pràctica i només possible gràcies a l'expertesa de la comunitat d'incendis i ecologia del foc, ens ha servit per re-interpretar el panorama de la gestió de les emergències i explorar nous nínxols com la *pre-planificació de l'emergència* i la *selecció positiva del foc* (Castellnou et al. 2019).

En primera instància, **la Volatilitat** es pot interpretar com un atribut sistèmic que posa en evidència el fet que allò urgent i prioritari en la gestió del dia a dia no és transcendent ni coherent amb allò prioritari a mig-llarg termini (informació i/o accions). En aquest sentit, el caràcter contra-intuïtiu és un tret intrínsec i indissociable a la dinàmica dels sistemes complexes, fet que sovint encripta el factor clau entremig de la lògica determinista de l'observació dels factors limitants. Això passa en l'àmbit dels incendis de forma plausible, a través de la paradoxa de l'extinció; si bé la capacitat d'extinció té un sostre físic, sovint la resposta de les organitzacions ha estat sistemàticament dirigida a augmentar el gruix del dispositiu d'intervenció. El caràcter contra-intuïtiu s'acostuma a manifestar com a font d'incertesa, però si aquest tret particular està identificat, és a dir, si

s'identifica el factor clau, el tret contra-intuïtiu també pot ser gestionat com una fortalesa estratègica i creativa que aportí certesa d'escenari. És el cas de la *selecció positiva del foc*. Com no podria ser d'una altra manera en sistemes complexos, entendre els efectes no-lineals i col·laterals, igual que tenir una perspectiva a diferents escales d'espai-temps, resulta bàsic per implementar estratègies que incideixen favorablement en la promoció i gestió del bé comú.

Per altra banda, **la Complexitat i la Incertesa** re-interpretada als règims d'incendis queda argumentada a l'apartat 3.1 (Figura 46) i a l'apartat 4.1 (Figura 49) del present document.

Per últim, **l'Adaptabilitat**, que ve a ser l'atribut sistèmic que permet ponderar favorablement l'estratègia de resiliència a la de resistència. Traslladat al projecte de l'Aran la lectura és senzilla; resulta tant necessari implementar amb rigor les accions planificades com garantir la capacitat d'adaptar-se durant el període planificat.

En els dos subapartats següents es presenten les dues maneres que s'han previst per dotar de capacitat adaptativa al projecte del *Pla Estratègic*.

#### 4.4.1 Revisió anual

La dinàmica intrínseca al règim de pertorbacions naturals té un rang de variabilitat suficient perquè les projeccions que es fan al projecte s'assumeixin amb prudència i consciència de la situació d'incertesa lligada al canvi climàtic. És més, les pròpies accions del projecte tenen una incidència sobre el règim, i les accions socioeconòmiques i polítiques interregionals també actuen en la dinàmica del conjunt de forma subtil i complexa (Figures 46 i 49). Els impactes lligats a les *alternatives A i B* en escenari de canvi climàtic s'han pogut valorar gràcies a l'ajuda de la modelització.

Per altra banda, més enllà de com evoluciona i millora l'arquitectura d'aquest tipus de models matemàtics, hi entren en joc la qualitat i quantitat de dades que s'utilitzen. En el cas que ens ocupa, això fa referència especialment a com evolucioni la base de dades d'incendis i cremes, on eines tecnològiques com el *Collector* i l'*Arcgis* marquen la diferència. Però hi ha altres dades que tenen més a veure amb el coneixement, en aquest cas especialment rellevant aquell que va madurant en relació al *comportament de foc extrem*. L'escalada migratòria de generacions d'incendis al Pirineu, Aran inclosa, és ara per ara una simple previsió d'experts que no pot demostrar-se sense fets consumats. Però és una hipòtesi basada en fets reals, basada en episodis que van aflorant cada cop de forma més freqüent i intensa arreu del planeta; Canadà 2016, incendi Ford McMurray, és un episodi extrem lligat al règim d'incendis de la majoria de boscos boreals d'Amèrica del Nord i Sibèria. Xile 2017 va despertar interès de la comunitat d'experts i científica internacional perquè amb un comportament de foc superior a incendi Ford McMurray va significar el primer registre formal d'episodi de *comportament extrem* en ecosistemes típicament mediterranis. Portugal 2017 va confirmar 2 vegades en un sol any aquest nou escenari, ampliant el registre l'episodi de Sudàfrica 2017, Califòrnia 2017, 2018 i 2019, i més recentment, Austràlia 2019. Però no cal anar tant lluny, tenim fenòmens recents de *PyroCb* registrats a la costa del mediterrani com l'incendi Llutxent agost 2018, que va implicar evacuacions massives de la població i alta severitat, sense haver de comptabilitzar sortosament víctimes.

La comunitat científica constata que els boscos del Pirineu en general ja estan sotmesos als impactes del forçament climàtic actual, i que això és previsible que vagi en augment segons projeccions OPCC i IPCC. **A ulls d'experts, això té una traducció directa en clau d'incendis, i fent l'anàlisi d'episodis de 6a generació globals, les similituds i potencialitats són suficients com perquè l'escenari de comportament extrem al Pirineu entri clarament dins la graella de possibilitats.**

Atenent a totes aquestes consideracions, es fa evident la necessitat que en una finestra estratègica de 10-20 anys, com és el cas, sigui convenient agafar-se la carta de l'adaptabilitat per tal de poder garantir que la planificació s'ajusti i/o pugui ser revisada en funció dels esdeveniments.

La proposta que es fa es concreta en fixar una **revisió anual del pla estratègic per part d'un gabinet tècnic**. Aquest comitè tècnic ha d'incloure la participació de tècnics i experts en la matèria, així com aportar un resum anual de l'evolució del pla estratègic perquè les diferents parts implicades puguin fer-ne les valoracions oportunes.

Els continguts del resum anual i la constitució dels membres del gabinet tècnic són competència i objecte del Conselh d'Aran, qui dictaminarà la forma d'implementar-ho.

El fet que la campanya d'incendis típica de l'Aran es dona a l'hivern, i que la finestra de cremes està prescrita en situacions típicament de tardor-hivern, es recomana que la revisió anual es calendaritzi fora d'aquests mesos de major activitat. Fer la revisió anual durant els mesos de primavera-estiu permet anticipar-se i guanyar temps a l'hora de matisar i ajustar la implementació dels propers mesos.

Per últim, el gabinet tècnic ha de poder ser convocat a petició del propi Conselh d'Aran de forma extraordinària davant de qualsevol episodi d'incendis i/o risc rellevant que es doni dins la comarca; tant a nivell de prevenció del risc d'incendis forestals com també per presa de decisions relativa a finestres d'oportunitat de cremes prescrites i/o focs gestionables.

#### 4.4.2 Pla de seguiment

Qualsevol programa que s'implementi a escala paisatge i territorial, degut a la seva complexitat, ha d'estar subjecte a seguiment. Això ha de permetre tenir un feedback tant de les accions implementades com de les no implementades (control).

Si a més les accions implementades no són puntuals sinó que el període operacional del *Pla Estratègic* és de l'ordre de 10-20 anys, incloure un monitoreig sistemàtic i transversal resulta fonamental per poder revisar i proposar millores.

L'estructura i organització d'aquest *pla de seguiment* queda al marge d'aquest projecte, però la responsabilitat d'elaborar-lo i implementar-lo recau al promotor del projecte, en aquest cas el mateix Conselh d'Aran. Part d'aquest seguiment pot ser assumit pel propi personal tècnic del Conselh, altres poden ser tasques delegables a tercers en col·laboració per exemple amb centres de recerca, o fins i tot alguns poden formar part de projectes curriculars de diferents nivells formatius.

Aquest Pla de seguiment quan més transversal sigui millor. A tall de recomanacions a continuació es mencionen els possibles camps susceptibles d'interès:

- 1) Resposta ecològica hàbitats.
- 2) Ecologia del foc a nivell d'espècies focals i/o d'interès de l'Aran.
- 3) Severitat i dinàmica del sòl orgànic en relació al foc.
- 4) Interacció matollars i ús del foc sobre el risc d'allaus.
- 5) Interacció foc i risc d'erosió.
- 6) Resposta ecològica post-foc en rodals arbrats dins sectors de gestió.
- 7) Evolució de la causalitat d'ignicions i conflictologia.
- 8) Percepció actors socials indirectament i directament involucrats.
- 9) Anàlisi multi-criteri (cost-benefici, productivitat, sinèrgies, etc.).
- 10) Registre dels intercanvis professionals durant el període de vigència del Pla.

## 5. FASES I PROCÉS D'IMPLEMENTACIÓ

Per aprovar el *Pla Estratègic* cal resoldre favorablement el procés tècnic-administratiu específic que paui el *Conselh General d'Aran* (apartat 5.1). El document tècnic de referència per al tràmit administratiu és el present document, el "Pla Estratègic per a la Gestió Sostenible del Règim de Foc de la Val d'Aran".

Una declaració favorable del projecte indica que té un balanç ambiental positiu en el seu conjunt. Això permet garantir que els impactes biofísics, socials i altres efectes rellevants sobre el medi natural de l'Aran han estat considerats en el disseny de la proposta, i alhora, permet garantir la compatibilitat amb els plans i programes vigents.

A nivell d'eficiència administrativa representa un avenç significatiu en la capacitat operativa dels recursos públics. No es tramita cada *crema prescrita* com un projecte aïllat sinó que la tramitació i aprovació del *Pla estratègic* implica la tramitació i aprovació d'un programa de cremes prescrites sencer. D'aquesta manera, en un sol tràmit s'aprova la planificació de 10 anys, incloent-hi tots els condicionants ecològics oportuns i garantint la participació dels agents socials de l'Aran.

Per altra banda, la implementació del pla va més enllà de la seva aprovació legal. El fulcre de palanca per poder implementar amb èxit una pla innovador com aquest passa en gran mesura per promoure diferents formats de transferència de coneixement per tal d'acumular experiència efectiva (apartat 5.2 i 5.3)

### 5.1 CONTEXT LEGAL I ADEQUACIÓ DEL MARC LEGISLATIU

L'ús del foc tècnic s'està aplicant a Catalunya des del 1999 de forma sistemàtica dins el Cos de Bombers de la Generalitat, en dos formats clarament diferenciats:

(A) Cremes prescrites, per objectius diversos relatius a la prevenció d'incendis en punts sensibles i estratègics del territori, així com diferents objectius de gestió multifuncional com per exemple la regeneració de pastures, entre altres.

(B) Ús del foc tècnic en maniobres d'extinció d'incendis (atac paral·lel i indirecte dins objectius tàctics de confinament en zones concretes dels incendis i/o alhora per motius de seguretat en les intervencions)

En aquest sentit d'ordenació d'usos del foc, a Catalunya existeix una regulació específica per a l'ús del foc tècnic des de l'any 2006: *Decret 312/2006, de 25 de juliol, pel qual es regula la gestió del foc tècnic per part del personal dels serveis de prevenció i extinció d'incendis de la Generalitat de Catalunya*.

En el cas de la Vall d'Aran (VA) l'ús del foc tècnic es concep en endavant en els mateixos formats situacionals mencionats, però alhora desenvolupant un tercer escenari:

(C) La Gestió del foc dins la planificació de l'emergència, sempre que sigui coherent amb la pre-planificació estratègica de cremes prescrites de la VA així com validada tècnica i operativament per part dels comandaments dels equips d'intervenció.

La idea de resolució segueix una lògica similar a altres d'ordenació territorial: disposar d'una planificació prèvia, consensuada amb el territori (amb els formats documentals ja realitzats anteriorment), que permeti declarar d'una manera automatitzada que donat un inici de foc, aquest:

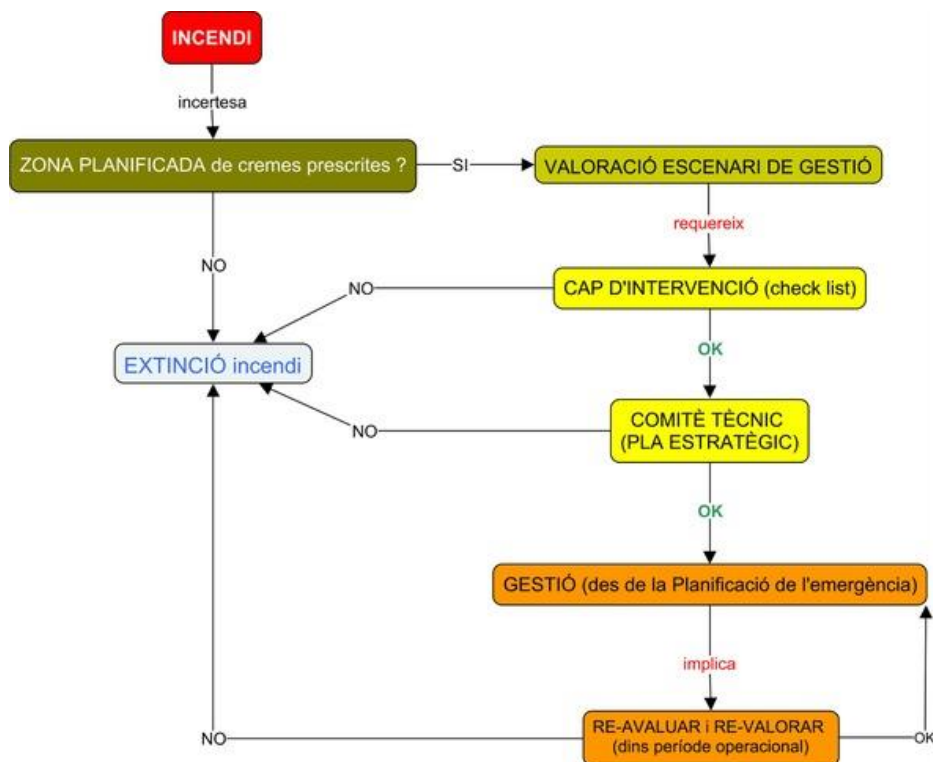
1. Formarà part d'una crema controlada ja planificada anteriorment. A aquesta situació l'anomenarem: **FOC GESTIONABLE**
2. Serà considerat un incendi, però en que està consensuat el seu avanç fins a uns punts preestablerts d'ancoratge. A aquesta situació l'anomenarem: **FOC CONFINABLE**
3. Serà considerat un incendi convencional que caldrà extingir amb les metodologies habituals. A aquesta situació l'anomenarem: **INCENDI**

Segons l'INFOCAT els objectius de la intervenció en incendis forestals es pot determinar quatre tipus d'actuació diferents, en funció de les característiques de l'escenari d'incendi:

- **Atac;** és la intervenció destinada a minimitzar la superfície afectada pel foc, fent ús dels recursos d'extinció per apagar el front de foc allà on estigui cremant. Es despleguen maniobres d'atac directe, paral·lel i indirecte.
- **Defensa;** és la intervenció destinada a protegir les persones i bens que es puguin veure afectats per la propagació del foc forestal. Es fan servir els recursos d'extinció per desplegar maniobres de protecció a la població, habitatges, càmpings, granges, indústries i d'altres elements vulnerables des d'emplaçaments segurs.
- **Confinament;** és la intervenció destinada a delimitar la superfície màxima que assolirà l'incendi forestal en un espai concret i conegut. Es despleguen maniobres d'atac paral·lel i indirecte.
- **Gestió del foc;** és la intervenció destinada al seguiment de l'evolució de l'incendi amb la finalitat de minimitzar les seves conseqüències negatives (**monitorització**). Es poden desplegar maniobres d'estabilització i acompanyament del foc fins a ancoratges definitius fins l'extinció final. Aquí és on, dins una finestra situacional pre-acordada i validada formalment (Plans de Crema aprovats i coherent amb el Pla Estratègic que estem redactant) tenim l'oportunitat de conciliar que un incendi eventual el convertim amb una crema prescrita.

L'INFOCAT indica que la valoració de l'escenari i la decisió dels objectius de la intervenció els decideix el Comandament de l'Incident. En el cas de la VA i de la Gestió dins la planificació de l'emergència, la valoració a fer pel cap d'intervenció queda recollida en forma de check list al Pla Estratègic que estem redactant.

Sense entrar aquí al detall del check list, la valoració està fonamentada en la lògica següent:



Finestra de prescripció marc: llistat de variables (meteorològiques, de comportament del foc o d'humitat de combustibles) que determina uns valors mínims, màxims i/o desitjables en els dies anteriors i posteriors de la crema de gestió, així com, els condicionants ecològics i biològics de l'execució que a la vegada poden limitar l'època de realització).



### **Adaptació legislativa al nou marc. Consulta i Participació del Territori**

---

Adaptació legislativa: El Conselh Generau d'Aran, a banda de la legislació espanyola i catalana en aquesta matèria disposa de la següent normativa:

- Decret 288/1997, de 31 d'octubre, de transferència de competències i serveis de la Generalitat de Catalunya al Conselh Generau d'Aran en matèria de caça, pesca i aprofitaments forestals, i per a la regulació de les autoritzacions per a encendre foc, i les actuacions per a la prevenció d'incendis forestals.
- Decret 150/1999, de 1 de juny, de transferència de competències i serveis de la Generalitat de Catalunya al Conselh Generau d'Aran en matèria de medi ambient.

Més recentment ratificat mitjançant:

- Articles 61 i 21 referents al Medi Ambient i el art. 54 d'Ordenació del territori i urbanisme de la Llei 1/2015, de 5 de febrer, del règim especial d'Aran (LREA).

I en l'àmbit concret que ens ocupa pel:

- Reglament per a la prevenció d'incendis forestals i per l'ús de les àrees de lleure a la Val d'Aran (BOP de 6 de març de 2007)

Això vol dir, que per tal d'adaptar tot al sistema a la LREA, i paral·lelament al tràmit de Consulta i Participació que cal realitzar, i adoptant les parts més significatives d'aquest procés, implicaria l'actualització del vigent "*Reglament per a la prevenció d'incendis forestals i per l'ús de les àrees de lleure a la Val d'Aran*", almenys en els seus primers apartats. El Pla Director podria incloure una primera proposta.

Consulta i Participació: El tràmit de Consulta i Participació en aquesta mena de documents són necessaris. Es convenient implicar a tots els agents del territori (propietaris públics i privats, associacions de caçadors, mediambientals etc...), almenys pels següents motius:

- Per imperatiu legal. Fins i tot la LREA té dedicat un article (el 19) al Foment de la participació on afirma que "*el CGA ha de promoure la participació social en l'elaboració, la prestació i l'avaluació de les polítiques públiques*". També el vigent Decret de cremes obliga al tràmit d'audiència a propietaris i administracions implicades.
- Perquè d'aquesta manera es validen los Plans de crema amb anterioritat, existint una autorització prèvia a l'inici i guanyant per tant efectivitat en el moment crític.
- Aporten valor afegit a les diferents propostes.

Es per això que el "Pla Director de Cremes Prescrites". Caldrà que comporti un procés de participació més enllà del purament formal (exposició pública en taulers i diaris i butlletins oficials) que signifiqui una autèntica eina pedagògica sobre els agents del territori.

## **5.2 TRANSFERÈNCIA DE CONEIXEMENT**

La implementació d'un programa de cremes prescrites, l'ús del foc tècnic en operacions d'extinció i/o gestió d'incendis, l'anàlisi i seguiment del risc d'incendis forestals, entre altres intrínseques a la implementació del pla estratègic, requereixen d'una expertesa pròpia que es retro-alimenta principalment a base de formació i experiència.

Si a més es tenen en compte les singularitats operatives i socioecològiques dels treballs en alta muntanya es fa evident la necessitat de promoure un procés de transferència de coneixement no només en una fase inicial sinó de forma sostinguda i estructurada durant la implementació del pla estratègic.

**L'estratègia de transferència de coneixement ha de ser desenvolupada de forma paral·lela i específica al marge del present pla estratègic.** El *Conselh Generau d'Aran*, com a promotor, dissenyarà la fórmula que consideri més oportuna.

Basant-nos en l'experiència dels equips GRAF del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya, i a mode de proposta des del present pla estratègic, es fan les següents recomanacions:

a) Creació i promoció d'una **formació professional** de qualitat, coherent amb les especificitats de l'Aran. Aquesta formació professional ha de ser homologable a nivell europeu, centrant-se en els cicles formatius de grau mig i grau superior, i podent arribar fins a perfils més científics-tècnics orientats al món de la gestió. En l'àmbit de la gestió la formació pot ser orientada als règims de foc i la relació amb la mitigació i adaptació al canvi climàtic, orientada al risc en zones d'interfase urbana-forestal, a la gestió forestal multifuncional, o qualsevol altra orientació vinculada amb el foc i la dinàmica de paisatges en regions de muntanya que es consideri d'interès col·lectiu.

b) Impulsar i consolidar **habilitacions professionals** específiques. Les habilitacions inclouen un ventall d'itineraris professionals que es fonamenten en l'acreditació d'una formació específica i alhora en la certificació d'experiència. L'experiència sovint es certifica a base d'un registre oficial individualitzat on s'especifiquen conceptes com els rols desenvolupats, les hores realitzades, entre altres.

c) Establir **convenis de cooperació interregional**. En el cas de l'Aran cobren especial sentit els convenis amb altres comunitats dels Pirineus. Aquest tipus de convenis tenen una doble funció; en primera instància permeten recolzar de forma estructurada a altres comunitats durant episodis d'incendis, ja sigui reforçant l'anàlisi estratègic i tàctic des de mitjans telemàtics, o bé desplaçant directament al terreny equips reduïts de personal operatiu altament especialitzat. En segona instància, la cooperació interregional permet escalar de forma significativa l'experiència acumulada del personal implicat, i en conseqüència, a base d'episodis d'emergències i retorns d'experiències es va enriquint el coneixement i la presa de decisions de tota l'organització.

d) Facilitar **intercanvis entre experts**. De forma semblant als convenis de cooperació interregional, els intercanvis entre experts permeten escalar el coneixement de les organitzacions que hi participen amb l'avantatge que no estan lligats directament a un episodi d'emergències. D'aquesta manera es poden compartir fortaleses, oportunitats, vulnerabilitats i amenaces relacionades amb l'ús del foc, els incendis forestals, la gestió del risc, la gestió forestal, etc. En alguns casos, com per exemple durant campanyes de cremes prescrites, els intercanvis resulten especialment interessants ja que s'alineen els objectius entre les organitzacions que hi participen. L'organització que planifica les cremes té major capacitat per executar la planificació, mentre que els equips especialitzats que es desplacen tenen una oportunitat a nivell d'experiència acumulada.

e) Crear, participar o promoure **projectes de seguiment del pla estratègic amb equips de treball transdisciplinars**. En altres paraules, crear i compartir objectius comuns a nivell de coneixement entre el món de la gestió, la comunitat científica i dels operatius d'emergències. Els

equips transdisciplinars permeten aflorar el coneixement encriptat entre disciplines i col·lectius professionals, creant sinèrgies i un feedback més productiu en termes de coneixement i presa de decisions. Això és possible perquè les preguntes i les respostes no es concatenen des de compartiments estancs sinó que les necessitats i les potencialitats de cada col·lectiu s'interrelacionen des de bon començament i tenen un cicle de retroalimentació mútua. Els operatius poden aportar certesa d'escenari, com per exemple en relació a les possibilitats tàctiques en l'ús del foc, el risc d'incendis, la presa de decisions en escenaris incerts, etc. Els gestors poden aportar els problemes amb que es troben el dia a dia, com per exemple conflictes d'interessos en relació a l'ús del foc, la manca estructural de recursos humans especialitzats, la manca de coneixement en relació als efectes del foc, etc. Els recercadors poden aportar rigor científic i eines útils per al món de la gestió, com per exemple la modelització, el feedback de coneixement científic en piroecologia, etc.

Per tal d'incentivar projectes de monitorització o seguiment, així com per mantenir un canal dinàmic d'intercanvis entre experts, resulten interessants les col·laboracions amb centres de recerca, universitats, fundacions especialitzades com la Pau Costa Foundation i en general, institucions de referència regional de la comunitat dels Pirineus. A continuació es mencionen algunes de les organitzacions de referència que podrien ser d'interès en primera instància:

- Pau Costa Foundation (<https://www.paucostafoundation.org/>)
- Centre Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (<http://www.ctfc.cat/>)
- Centre Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (<http://www.creaf.cat/ca>)
- Universitat de Lleida (<http://www.masterfuegoforestal.udl.cat/es>)
- Observatori Pirinenc Canvi Climàtic (<https://www.opcc-ctp.org/>)
- Comunitat de Treball Pirineus (<https://ctp.org/oc/>)

### **5.3 ESCOLA DE FORMACIÓ PROFESSIONAL**

Hi ha un dèficit històric en la formació específica de foc i alta muntanya que es pot transformar en una oportunitat formativa d'interès més enllà de la pròpia comunitat de l'Aran. Tant és així que el *Conselh Generau d'Aran* està estudiant aquesta possibilitat i ha manifestat la voluntat explícita de promoure formació professional especialitzada en foc i alta muntanya.

Hi ha una realitat que està en l'arrel d'aquesta motivació formativa. Primerament, la pròpia comunitat de treball dels Pirineus, repartida amb diferents nivells d'organització política, on ja s'aglutina una àmplia diversitat d'organitzacions d'emergències. En paral·lel i a una escala continental, existeixen altres regions boreoalpines com els Alps, Carpats, Alps Escandinaus, etc., que comparteixen unes especificitats biofísiques i de treball pròpies i on els treballs en incendis forestals i/o en cremes prescrites no estan tant normalitzats com en el cas de Catalunya. I tercer, també existeix una oportunitat per millorar la seguretat i l'eficàcia en treballs de gestió d'emergències en zones remotes i/o d'espais inaccessibles pels mitjans terrestres convencionals. La serralada Cantàbrica, la serralada Bètica, Còrsega, són alguns exemples d'espais on la transferència de coneixement en matèria d'ús del foc tècnic, treballs amb mitjans aeris, etc. poden reportar notables millores en clau de seguretat laboral i en general, obrir i escalar el marc de treball de la piro-sostenibilitat definit i proposat en el present pla estratègic de l'Aran.

En qualsevol dels casos, una escola de formació professional reforçaria l'estratègia de transferència de coneixement, de forma coherent amb les altres recomanacions que s'han exposat en l'apartat 5.2. El disseny formatiu i el pla de carrera professional d'una escola d'aquestes característiques requereix un tractament paral·lel i específic al marge del present pla estratègic.

## 6. APROXIMACIÓ A LA VALORACIÓ DELS IMPACTES CLAU

Des de la perspectiva tècnica i legal, la naturalesa d'un impacte ambiental és fruit del potencial d'interacció entre els factors ambientals i les accions plantejades en l'execució d'un projecte/pla/programa. En aquest sentit, cal tenir present que la valoració d'un impacte pot ser tant negativa com positiva, sent la viabilitat ambiental del projecte resultat de la valoració conjunta dels impactes. És més, la valoració dels impactes ha d'anar acompanyada de mesures correctores per tal de millorar la proposta de projecte/pla/programa, ja sigui fixant condicionants o altres mesures correctores. La valoració dels impactes requereix d'un estudi específic de caràcter multi-disciplinar en forma d'estudi d'impacte ambiental, que a trets generals, esdevé el document base lligat al procediment tècnic-administratiu d'avaluació d'impacte ambiental tant de projectes com de plans i programes.

Així doncs, aquest apartat ó cal interpretar-lo des de la lògica de facilitar el procés d'avaluació ambiental propi a la implementació de qualsevol pla i/o programa d'abast territorial. En conseqüència, **aquest apartat NO pretén abordar l'impacte ambiental de la proposta sinó que donada la novetat i el desconeixement local generalitzat en matèria d'ecologia del foc, simplement aportar dades, arguments i/o referències de rigor per tal que la eventual avaluació ambiental, si s'escau, tingui un punt de partida suficientment holístic en relació les dues alternatives plantejades;** l'alternativa A o BAU (hipòtesi nul·la), i l'alternativa B o NFD, que capacita la gestió amb foc prescrit.

En la tasca d'estudiar els impactes potencials d'ambdues alternatives cal fer èmfasi del valor afegit que aporta el fet d'haver creat un model complex de dinàmica de paisatge i règim d'incendis com el MEDFIRE Aran (veure apartat 3.2 i Annex). Aquest model fet a mida de les necessitats i particularitats de l'Aran permet tenir un feedback quantitatiu de les projeccions a futur en alguns aspectes clau com la gestió del risc i d'altres de connotació més ecològica com per exemple la dinàmica del paisatge.

La fiabilitat d'aquest model, igual que qualsevol altre dels utilitzats en ciència, no és evidentment absoluta, però en termes qualitius i quantitius permet representar formalment les característiques del règim de foc històric, així com preveure les característiques del règim de foc a futur gràcies a la capacitat d'incorporar models climàtics, escenaris de canvi climàtic o fins i tot, diferents alternatives de gestió i resposta per part dels organismes públics. En conclusió, malgrat totes les limitacions que pot tenir la modelització, avui per avui poder elaborar un model vàlid esdevé una eina diferencial per interpretar la dinàmica de sistemes complexes. I més encara quan els processos espacials (propagació del foc, successió i colonització de la vegetació, etc.) tenen unes interaccions no-lineals que fan difícil entendre les seves conseqüències de manera directa o intuïtiva. Aquest fet resulta especialment útil per recolzar la presa de decisions estratègica d'un pla com el que ens ocupa, ja que la seva implementació té implicacions socioecològiques significatives tant en l'espai com en el temps.

Pel que fa a *impactes directes* a mig-llarg termini aquells més evidents i significatius es preveu incideixin sobre els següents factors ambientals:

- La prevenció de grans incendis forestals.
- La resiliència de l'organització d'emergències davant la simultaneïtat.
- La protecció civil.
- Vegetació (landes sectors de gestió)

Pel que fa a la valoració d'*impactes indirectes* i als efectes col·laterals de naturalesa sinèrgica, aquells més significatius es preveu incideixin sobre els següents factors ambientals:

- La biodiversitat.
- L'activitat cinegètica.
- Els riscos geològics.
- La qualitat de l'aire i emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH).
- La conflictivitat social en relació les causes d'ignició.
- El cost-benefici econòmic.

## 6.1 PREVENCIÓ DE GRANS INCENDIS FORESTALS

El model MEDFIRE Aran permet quantificar la ràtio cost-benefici, és a dir, la superfície d'àrea cremada en alta intensitat evitada per cada superfície de crema prescrita aplicada (Figura 61). D'aquesta manera es pot observar que els escenaris amb un CEF de 250, 275, 300 i 325 hectàrees tenen una ràtio aproximada de 0.75, o en altres termes, que per cada hectàrea de crema prescrita s'evita cremar 0.75 hectàrees en alta intensitat.

S'estableix doncs que en una situació amb canvi climàtic, un cabal ecològic de foc adequat per a reduir els incendis d'alta intensitat optimitzant el cost-benefici seria un cabal de ~300 hectàrees/a l'any. És possible que aquesta xifra sigui menor en un escenari en que no es considerés el canvi climàtic, però s'ha decidit desestimar aquesta opció donat el gran consens actual en relació a aquesta matèria.

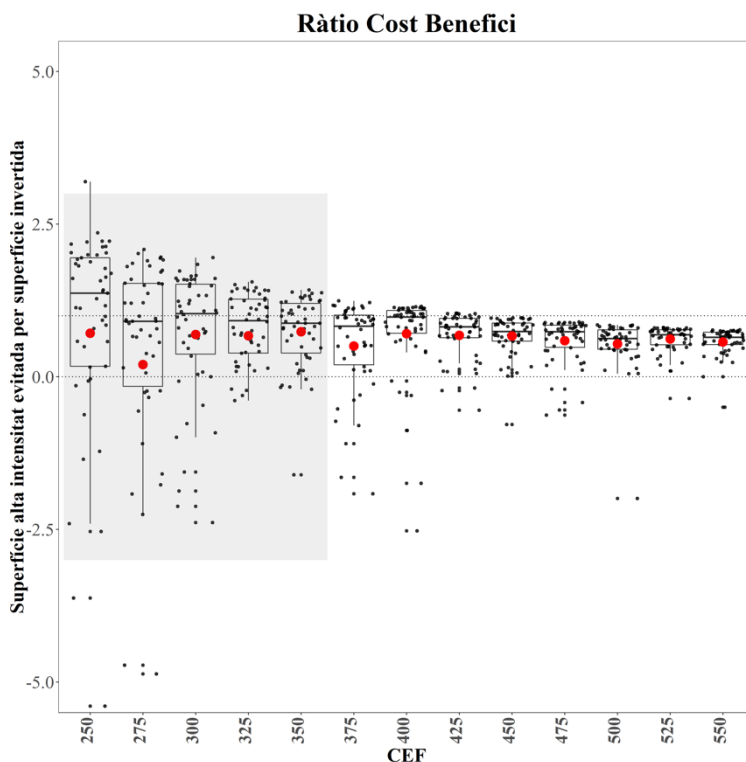


Figura 61. Ràtio entre àrea en alta intensitat evitada i inversió en cremes prescrites. Font: elaboració pròpia MEDFIRE Aran.

Els caixetins i punts mostren la variabilitat dels 50 escenaris, els punts vermells mostren la mitjana per escenari. La zona grisa mostra la zona amb escenaris més efectius: maximitza l'àrea evitada respecte la invertida, al voltant de 0.75 (menys l'escenari 275). Les dues línies horitzontals mostren el 0 i el 1 per a orientar al lector.

L'estadística dels patrons de mides dels incendis a la Val d'Aran en els diferents escenaris utilitzats es mostra en les Figures 62 i 63. En general les gràfiques mostren que el pes dels incendis grans en el còmput de l'àrea cremada total augmenta amb un escenari de canvi climàtic respecte la situació actual. En canvi, en aplicar la nova estratègia de gestió NFD (alternativa B), augmenta el nombre d'incendis petits i la distribució de mides torna a ser una mica més equitativa. **En conclusió, amb l'aplicació de la nova estratègia de gestió amb cremes prescrites disminueix l'àrea cremada en alta intensitat i també la proporció d'incendis grans o GIF.**

6. Aproximació a la valoració dels impactes clau

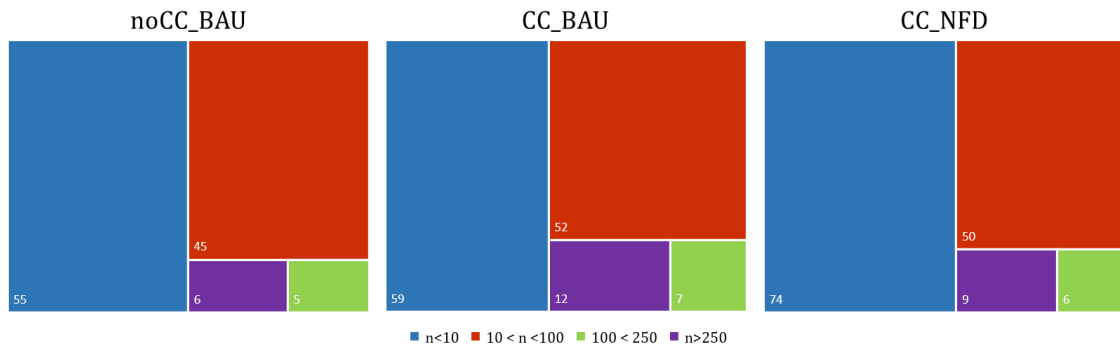


Figura 62. Percentatge d'incendis segons diferents mides d'incendi, per a cada escenari. CC= Canvi Climàtic. BAU = Business as usual. NFD = New Fire Deal. Font: elaboració pròpia MEDFIRE Aran.

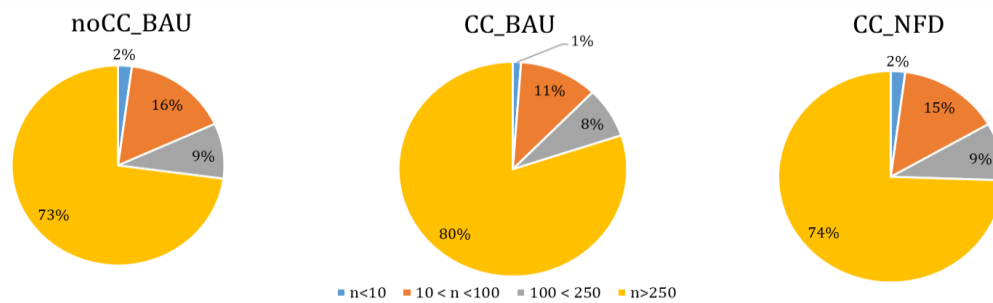
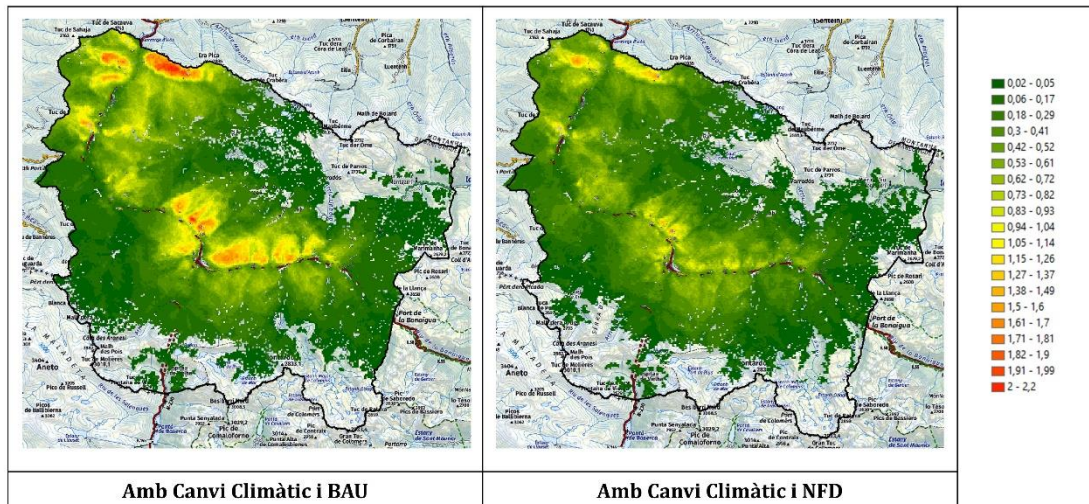


Figura 63. Àrea cremada per mides d'incendi, per a cada escenari. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business as usual. NFD = New Fire Deal. Font: elaboració pròpia MEDFIRE Aran.

Donat que la manifestació del canvi climàtic és un procés irreversible i amb el que la comunitat científica té un ampli consens sobre el seu desenvolupament, i partint de l'evidència científica que l'evolució dels darrers anys en situa a dia d'avui sobre els pitjors dels escenaris climàtics previstos tot just 10 anys enrere, en el present projecte s'ha decidit basar els anàlisis dels escenaris de gestió en una situació en què l'estatus quo és amb canvi climàtic. No obstant, en alguns anàlisis també es compara amb situació sense canvi climàtic ni gestió, simulant les situacions històricament més recents. Sota l'escenari de canvi climàtic doncs es comparen dues estratègies: el BAU (no hi ha gestió d'incendis ni cremes prescrites) i el NFD (s'aplica un *cabal ecològic de foc* amb un sostre màxim de 300 hectàrees anuals amb cremes prescrites o incendis de baixa intensitat).

**L'aplicació d'un escenari NFD suposa una reducció dels incendis d'alta intensitat i redueix la superfície susceptible de cremar almenys una vegada en el període 2011-2050 (Figures 64 i 65).**

RECURRENCIA MITJANA D'INCENDIS D'ALTA INTENSITAT\* ENTRE 2011 I 2050

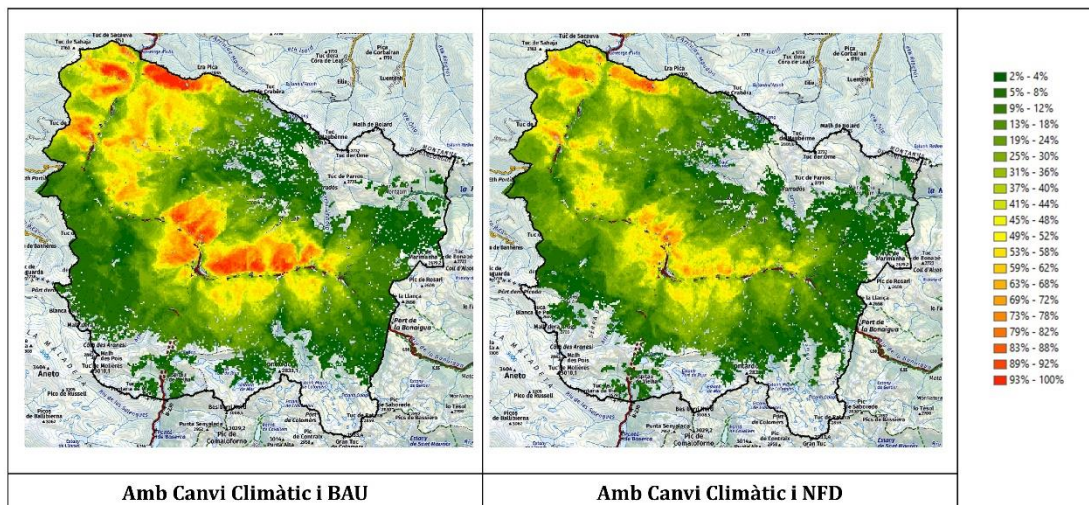


\*Inclou incendis de vent, topogràfics i d'estiu

Si un pixel crema 2,20 vegades en 40 anys vol dir que té una probabilitat anual de cremar de 0,055

Figura 64. Mapa de la recurrència d'incendis amb escenari de canvi climàtic, sense gestió (BAU) i amb NFD (CEF de 300 ha/any). Font: elaboració pròpia MEDFIRE Aran.

PROBABILITAT DE CREMAR ALMENYS UNA VEGADA EN ALTA INTENSITAT\* ENTRE 2011 I 2050



\*Inclou incendis de vent, topogràfics i d'estiu

Figura 65. Mapa de la probabilitat de cremar almenys una vegada en alta intensitat amb escenari de canvi climàtic, sense gestió (BAU) i amb NFD (CEF de 300 ha/any). Font: elaboració pròpia MEDFIRE Aran.

S'observa com l'alternativa del BAU amb canvi climàtic genera zones amb més d'un 90% de probabilitat de cremar en alta intensitat (sectors d'Era Solana, Montcorbau, Cròdos, Bausen, Canejan, entre altres). D'altra banda, amb l'alternativa del NFD amb canvi climàtic s'aconsegueix que aquests sectors redueixin del 50-70% la probabilitat de cremar en alta intensitat.

Altres aspectes relatius a l'anàlisi del règim d'incendis sota escenaris de CEF (BAU i NFD) i canvi climàtic analitzats amb el MEDFIRE Aran, com incendis tipus, patrons àrea-freqüència, boscos i matollars cremats en alta intensitat, etc., es poden consultar en el document tècnic del model citat a l'apartat de Referències.

## **6.2 RESILIÈNCIA DE L'ORGANITZACIÓ DE GESTIÓ D'EMERGÈNCIES (OGE) DAVANT LA SIMULTANEÏTAT**

El paisatge de l'Aran i dels Pirineus en general, tant per causes antròpiques com pels condicionants de naturalesa bio-física, ha cremat, crema i cremarà, només que avui per avui ja hi ha certes que en endavant, a una escala de dècades, hi ha una alta probabilitat que ho faci amb major severitat socioecològica degut al canvi climàtic en curs (veure apartats 2.2 i 3.1).

**El taló d'Aquil·les de qualsevol OGE és la simultaneïtat.** Això respon fonamentalment a un factor limitant en els recursos disponibles, on sempre hi ha un sostre finit, major o menor segons l'OGE en qüestió. Aquesta realitat irrefutable arreu del món posa de manifest la necessitat d'administrar la resposta a les múltiples emergències des de la prioritització d'objectius estratègics i tàctics viables, ja que la capacitat de maniobra o resposta immediata queda ràpidament col·lapsada. En aquests casos, **el resultat del col·lapse és la desnaturalització de la funció que ha de desenvolupar qualsevol OGE, fonamentada en garantir capacitat de resposta efectiva davant una emergència.**

El col·lapse durant episodis de simultaneïtat és un indicador del nivell de resiliència d'una OGE. Major resiliència implica, entre altres, major certesa d'escenari, major seguretat, prioritització i major capacitat de defensa dels valors associats al bé comú d'una comunitat. Per tant, disminuir la probabilitat de col·lapse d'una OGE és una prioritat per guanyar competència i resiliència.

**A una escala de Pirineus, les previsions de canvi climàtic juntament amb episodis de simultaneïtat d'incendis forestals com els del 8 de març del 2012, han posat de manifest que la simultaneïtat és un repte de present i futur també en aquest àmbit geogràfic.** Si bé existeix una densitat de població molt baixa, en situacions concretes es concentra un flux de població que en clau de vulnerabilitat i protecció civil cal tenir força presents, i més quan es fa evident que existeix un patró molt disseminat de la població que dificulta la resposta a l'emergència.

Aquest fet es veu ràpidament a través de la dinàmica del sector turístic lligat a l'activitat a l'aire lliure, de forma "similar" a com es desenvolupa a dia d'avui la mobilitat i concentració de població estacional a la costa del Mediterrani. En aquest context, **el col·lapse per simultaneïtat no només es manifesta en episodis extrems, sinó que es pot donar simplement per la concatenació de serveis que de forma individual es podrien resoldre favorablement sense especial dificultat.** A tall d'exemple, un accident de trànsit, un incendi de llosat, la recerca d'un excursionista, una crema de restes agrícoles autoritzada que s'ha descontrolat, etc., són serveis que poder acabar fent col·lapsar el sistema.

Els treballs en incendis forestals, per una sèrie de singularitats, en comparació a altres tipus d'intervencions pròpies als dispositius d'emergències impliquen normalment una sortida de mínims més elevada en quant a recursos, una organització del treball més dinàmica (l'incendi es mou en l'espai) i en general, una durada més dilatada que la majoria dels serveis d'emergències. Això limita la resposta davant episodis més o menys intensos de simultaneïtat, on el factor temps té un impacte rellevant en la resolució final de les respectives emergències.

Des d'aquesta lògica, **la resiliència d'una OGE davant la simultaneïtat passa en bona mesura per la capacitat de l'organització per prioritzar el bé comú i aplicar un triatge efectiu.** D'altra banda, la resiliència davant la simultaneïtat pot abordar-se de diferents maneres, i la forma més comuna en moltes OGE es concreta en la pre-activació de recursos extraordinaris durant períodes de risc elevat. Aquesta opció és efectiva mentre els episodis de risc elevat siguin puntuals, però la situació que progressivament es va imposant a nivell de canvi climàtic està forçant a que les campanyes d'incendis cada vegada es dilatïn més al llarg de l'any. Davant d'aquesta situació, augmentar efectius a mig-llarg termini tampoc acostuma a ser eficaç ni sostenible, ja que no marca la diferència en la capacitat d'extinció i perquè econòmicament va fent-se progressivament menys viable.



Si en context de canvi climàtic hi ha certeses que el perill va significativament en augment de forma irreversible almenys durant la primera meitat del s.XXI (veure apartat 2.2 i 3.1), amb més severitat en l'àmbit dels Pirineus i l'Aran que en altres llocs de la península ibèrica, la gestió del risc i concretament, promoure la resiliència davant la simultaneïtat, cal que s'abordi més enllà del re-dimensionament de l'estructura en episodis de perill elevat. En altres paraules, mirant a present i a futur, es necessiten propostes que vagin més enllà del pensament lineal "més recursos = més capacitat d'extinció".

A nivell de les pròpies OGE existeixen corrents de canvi, com per exemple el GRAF a nivell de península ibèrica i a escala europea, intentant crear nous marcs de treball que trenquin amb les contradiccions actuals. Per part de les OGE hi ha consciència dels límits en la capacitat d'extinció però per altra banda, es promou la pre-activació i re-dimensionament de recursos en episodis de risc elevat. Si s'analitza a nivell sistèmic, al curt termini s'entén la bondat de la proposta doncs els experts saben per experiència que la gestió del risc no es redueix als treballs d'extinció sinó a la gestió de l'emergència amb totes les seves derivades (comunicació del risc, confinaments, evacuacions, etc.). Però quan s'analitza a mig-llarg termini, resulta insostenible i encara més contradictori, ja que són mesures neutres o fins i tot negatives sobre el perill estructural (paradoxa de l'extinció). És en aquest context on propostes com un programa de cremes prescrites a una escala espai-temps significativa, o d'altres de més creatives i sinèrgiques com la pre-planificació de l'emergència, ofereixen una forma més transversal i holística de re-organitzar-se per part dels òrgans públics.

D'aquesta manera les unitats d'intervenció especialitzades tindran capacitat de gestió del risc de forma més eficient i eficaç a igualtat de recursos disponibles. A tall d'exemples, una intervenció possible seria enviar temporalment un binomi de treball perquè valori l'escenari i el potencial, sense implicar d'entrada majors recursos, o simplement actuar de manera que es tingui la capacitat de demorar l'arribada de reforços fins que s'hagin cobert altres prioritats més urgents. D'altres exemples, es pot decidir reduir el temps de remat i extinció final ja que es pot conduir el foc fins a eixos de confinament pre-identificats, etc.

Allò rellevant de **la pre-planificació de l'emergència** no es limita però a la millora substancial en la capacitat de triatge sinó que de rerefons té **una naturalesa disruptiva; una emergència d'un incendi forestal ja no implica sistemàticament una resposta defensiva davant una amenaça, sinó que és potencialment un fenomen amb capacitat per comportar-se com agent de canvi favorable dins el sistema socioecològic**. L'alternativa del NFD no és neutra ni negativa en relació a l'estructura del paisatge sinó que permet aflorar la creativitat davant un fenomen de naturalesa complexa com la dinàmica del paisatge, amb connotacions positives tal i com demostren els resultats de la modelització (apartat 6.1 o 6.4). A més, s'aporta una via d'implementació innovadora, concreta, pre-consensuada i tàcticament viable per a l'aplicació de la selecció positiva del foc des de la casuística d'un servei d'emergències.

**A la pràctica significa i implica** accions coherents amb el fet que un dia la incidència d'un incendi forestal pot tenir un impacte notablement negatiu i sever, i es procediria a extingir-lo, mentre que en altres moments de l'any pot tenir un impacte positiu, fins i tot recomanable a nivell d'objectius de co-gestió, i podria ser gestionat de forma controlada dins dels condicionants de la prescripció pre-aprovada.

D'aquesta manera és com s'internalitza l'ecologia del foc a la presa de decisions, oferint **diversitat d'opcions estratègiques que converteixen l'emergència en un escenari de treball amb potencialitats positives a nivell de co-gestió; gestió del risc estructural i mitigació dels impactes del canvi climàtic, gestió de la biodiversitat i adaptació al canvi climàtic, conflictivitat social en l'ús i abús del foc al medi natural, entre altres**.

**En el cas de la Vall d'Aran aquest nou paradigma de treball en relació al foc es preveu tingui un impacte positiu diferencial en determinats moments de l'any, especialment en un escenari de futur amb el canvi climàtic més avançat.**

La concreció del disseny estructural i d'aquesta dinàmica entre prescripció i gestió d'incendis està extensament detallada a l'apartat 4 del present document, i de forma més sintètica, en les fitxes dels respectius sectors de gestió amb foc prescrit disponibles a l'apartat 7 de l'annex.

### **6.3 PROTECCIÓ CIVIL**

L'escalada migratòria de generacions d'incendi representa un salt crític en el comportament de foc, especialment notori en la transició dels incendis de 3a i 6a generació. Si bé el model MEDFIRE Aran integra un sub-model de clima, un sub-model de vegetació, matisa entre tipologia d'incendis, alternatives de resposta, etc., la modelització no és capaç de projectar la incidència a escala temporal de règim d'incendis davant un nou escenari de comportament de foc extrem. El model és capaç de modelitzar les variacions de l'àrea cremada en alta intensitat a partir de canvis en el clima, paisatge i alternatives de gestió, però no és capaç d'incloure focs extrems que s'escapin als registres històrics. No és tant una limitació del model sinó que des del mètode científic no es admissible inferir al model una realitat que no pot ser contrastada des de la base històrica. La conclusió en aquest sentit és que cal tenir en compte les limitacions de qualsevol model, incloent el MEDFIRE Aran.

Per altra banda, a efectes d'incertesa i predicció del risc **certs esdeveniments històrics han demostrat que existeix la probabilitat que ocorrin esdeveniments que desconeixem que existien com a possibilitat, i que quan s'han manifestat han tingut conseqüències catastròfiques o d'alta severitat dins l'ecosistema en qüestió on cobren vida** (black swans o teoria dels cignes negres). Són esdeveniments on l'estadística de distribucions normals fruit d'observacions passades no resulta útil per extrapolar els riscos del futur i menys encara, per intentar predir allò que "que no sabem que desconeixem". L'estadística física pròpia de les distribucions probabilístiques de cua-llarga, *fat tailed distributions*, resulta més exitosa en part, però més per descriure la signatura estadística d'esdeveniments estocàstics passats que no pas perquè tinguin capacitat per predir esdeveniments de futur fins aleshores desconeguts.

En aquest sentit, mentre la ciència avança a base d'estudiar detingudament els incendis de 6a generació a posteriori d'haver acumulat dades reals, per tant, amb resultats que arribaran a mesos/anys vista de l'episodi en concret, la realitat **a dia d'avui** (febrer 2020) és que de moment **no hi ha disponibilitat de models de simulació coherents a la termodinàmica d'aquests fenòmens extrems com els PyroCu i/o PyroCb.**

Mentre la ciència avança recopilant dades i intentant construir teories sòlides sobre la naturalesa d'aquests esdeveniments, la solució tècnicament efectiva mentrestant és el seguiment global d'aquests episodis a través d'eines de teledetecció i observació terrestre que permeten una monitorització en temps real, amb observacions directes de les columnes de fum, l'anàlisi termodinàmic de la troposfera a través del radiosondatge, entre altres. Aquesta solució tècnica es fonamenta en l'expertesa d'equips de treball altament qualificats que monitoritzen globalment els episodis arreu del planeta, i que de forma recíproca es recolzen i s'assessoren durant la gestió de l'emergència, tant en l'anàlisi dels incendis com en la presa de decisions. És precisament aquest anàlisi expert el que té la capacitat de projectar la petjada de foc associada al comportament extrem a escala Pirineus.

**En el sentit del comportament extrem de foc i les conseqüències a nivell de protecció civil de l'Aran, s'estima que tant l'alternativa BAU com l'alternativa NFD NO marquin una diferència significativa en relació a la probabilitat d'entrada de PyroCu i PyroCb des de valls veïnes, en bona mesura perquè els incendis de sisena generació o de canvi climàtic operen a una escala de canvis de patrons meteorològics i canvis de nínxols piro-climàtics d'abast global. En altres paraules, aquesta tipologia d'incendis depenen tant o més de les característiques de la columna atmosfèrica de l'episodi en qüestió que del model de combustible forestal que hi hagi a nivell de superfície terrestre.**

Malgrat això, **davant un fenomen d'aquesta naturalesa extrema, disposar d'un mosaic forestal heterogeni i sobretot, el fet de disposar d'una pre-planificació de l'emergència tàcticament realista, sí aportaria major CERTESA d'ESCENARI en la resolució final.** Això és així perquè la pre-planificació de l'emergència, l'alternativa NFD, permet (a *Pompiers i Protecció civil*) **saber on hi haurà opcions de confinament de la població, opcions d'evacuació amb garanties, i fins i tot opcions de confinament parcial de l'incendi.** La pre-planificació de l'emergència assumeix costos d'oportunitat lligats a un episodi de comportament de foc extrem, dotant de resiliència al sistema de protecció civil i la seguretat del personal d'intervenció, bàsicament perquè parteix de la premissa que hi ha un balanç clarament desfavorable entre el límit de la capacitat d'extinció dels dispositius d'intervenció, de l'ordre dels 10.000kW/ml, i la potència dissipativa del comportament extrem, que oscil·la entre els 30.000-120.000kW/ml.

## **6.4 BIODIVERSITAT I VEGETACIÓ (AMBIENTS PLANIFICATS)**

### **Biodiversitat**

L'efecte dels focs sobre la biodiversitat ha tingut sovint una connotació negativa. En societats predominantment urbanes hi ha una mena de negacionisme en relació l'ecologia del foc, en part comprensible per les conseqüències de conviure en espais d'interfície urbana-forestal altament vulnerables en una dinàmica d'escalada del comportament de foc. No obstant, en l'àmbit científic l'ecologia del foc i els règims de perturbacions en general es perceben amb tota la seva complexitat des de l'evidència del rol de pressió selectiva que han jugat a escala evolutiva, i de retruc, com a motor de biodiversitat (Pausas et al, 2017).

En general els organismes que han estat en contacte amb el foc poden tenir trets i característiques que els fan sobreviure o re-establir-se després dels incendis. Ara bé, les espècies, més que estar adaptades al foc per se estan adaptades a un règim d'incendis caracteritzats per una recurrència, severitat i estacionalitat que marquen les seves garanties de persistència, abundància, distribució. És l'alteració d'aquests patrons de règim el que pot comprometre la viabilitat de moltes espècies, o fins i tot del col·lapse d'ecosistemes en bloc. Tanmateix, fins i tot en aquests casos, la transició a paisatges alternatius millor adaptats a les pressions ambientals és possible en bona mesura al rol ecològic de les perturbacions.

En l'alternativa NFD o alternativa B es proposa un canvi en el règim d'incendi (cabal ecològic de foc Prescrit, CEFp) que suposa un canvi respecte l'històric dels darrers 28 anys (CEFH). No obstant, el règim dels darrers 28 pot no ser el de referència al qual les espècies estan adaptades a la Vall d'Aran, per tant és difícil establir quin és el règim òptim per a la conservació de la biodiversitat en aquesta regió.

A continuació s'exposen els canvis que es poden donar en el paisatge en relació al pla estratègic i es relacionem amb evidències científiques sobre els efectes del foc sobre la biodiversitat al Pirineu. Altres zones homònimes com els boscos boreals tenen una trajectòria més consolidada d'investigació sobre el rol del foc en la biodiversitat d'aquests ecosistemes forestals. Concretament, el projecte *Life Taiga* aglutina una sèrie de publicacions i conclusions científiques que poden ser útils com a referència per a entendre millor els efectes del pla estratègic sobre la biodiversitat de l'Aran. Altres referències difereixen més per la genètica de les espècies i comunitats implicades, però a nivell epigenètic i sobretot, a nivell de convergències fenotípiques, ajuden a interpretar i valorar aspectes relatius a l'ecologia del foc i la biodiversitat.

Al Pirineu la tendència de l'abandonament rural és el causant principal de la homogeneïtzació del paisatge. L'abandonament de les activitats tradicionals ha comportat una important recessió de l'activitat ramadera al Pirineu (Lambert 2010), fins al punt que en només 50 anys algunes zones del Pirineu han patit una regressió del 70 % de les pastures i prats a favor de zones de matollars i boscos (Massif Madres Coronat). Aquesta tendència genera repercussions lentes però evidents en relació a la diversitat d'hàbitats, i per tant, aquella gestió que permeti recuperar la heterogeneïtat del paisatge recuperant zones obertes són potencialment beneficioses per a conservar o millorar la biodiversitat actual. Els incendis i més concretament les cremes que es fan sota situacions controlades, poden ajudar a obrir la vegetació densa en zones en què la cobertura

de matollar i de bosc està actuant com homogeneïtzador del paisatge i facilitador dels grans incendis (Loepfe et al, 2010).

La diversitat d'hàbitats dona una informació de qualitat com aproximació al grau d'organització i complexitat de l'ecosistema forestal, tot i que l'efecte global sobre la biodiversitat és més difícil de quantificar. Degut a que els estudis més extensos i amb major nombre de dades es basen en l'avaluació dels ocells, moltes de les conclusions a que arribem aquí es basen en aquest grup d'organismes. No obstant, s'accepta que les afirmacions derivades d'aquí han de matisades, sent la informació disponible molt més escassa per alguns grups d'animals.

En relació les aus són diversos els estudis que han avaluat l'efecte de les cremes prescrites sobre la biodiversitat, abundància i conservació d'aus al Pirineu (34 o més espècies d'aus; Pons et al 2003, Pons et al 2010). Les cremes prescrites en les zones avaluades del Pirineu, tot i ser hàbitat d'interès de conservació a Europa (escobes), responen a l'objectiu de gestionar pastures i millorar-ne la seva qualitat per a l'ús ramader. Els resultats d'aquests estudis mostren que les tipologies d'hàbitat amb un major índex de conservació (computat com un indicador de nombre d'espècies, abundància i estat de conservació de l'espècie) eren les pastures o prats amb matollars dispersos, derivats d'un procés de cremes (repetides o no). Els boscos van mostrar valors baixos o mitjans d'aquest índex de conservació. El període amb una major riquesa i abundància d'espècies, així com nivells més alts de l'índex de conservació, correspon al període de 10-19 anys després de les cremes. No obstant, l'alta severitat de crema afecta negativament a la comunitat d'aus en els primers anys post foc. Els resultats mostren així que la gestió d'hàbitat per usos antròpics (millora de les pastures) és compatible i fins i tot beneficiosa amb els objectius de conservació de la biodiversitat. Aquesta conciliació d'interessos possibilita la co-gestió, sempre que el rang de resultats obtinguts sigui de baixa i mitja severitat, interpretant l'alta severitat en balegars i pastures d'alta muntanya com aquell foc que penetra al subsol i consumeix la matèria orgànica (=>gleva).

Per altra banda, els resultats del MEDFIRE Aran mostren tendències molt interessants. En un context de canvi climàtic hi haurà més renovació i recanvi de cobertes vegetals, i una major variabilitat funcional d'aquestes cobertes. En l'alternativa B o NFD s'aplica un cabal ecològic prescrit més elevat, de fet augmenta la heterogeneïtat d'edats i de cobertes al llarg del paisatge de la Val d'Aran.

**La conclusió en un context de canvi climàtic és molt clara: no hi ha cap evidència que la preplanificació de l'emergència pugui tenir un efecte negatiu sobre la biodiversitat, però en canvi si hi ha múltiples evidències que mostren que l'ús del foc prescrit pot tenir efectes positius respecte les tendències d'homogeneïtzació actuals.**

Ara bé, és recomanable realitzar un seguiment programat durant la implementació del pla (10 anys) per tal de disposar de dades empíriques més acotades a la realitat directa de l'Aran. **Fer un seguiment continu cobra especial sentit perquè pot ajudar a ajustar i millorar la pròpia implementació del pla durant la seva vigència, i a més, és l'única manera rigorosa d'obtenir dades que permetin valorar els resultats del pla en matèria de biodiversitat i/o d'altres factors ambientals** (veure pla de seguiment apartat 4.4.2).

Pel que fa al feedback dels experts en cremes prescrites es pot afirmar que actualment existeix una tendència progressivament convergent i en positiu en la majoria de geografies on la gestió amb foc prescrit ha estat implementada de forma sostinguda, si bé no al marge de polèmiques i percepcions divergents necessàries en molts casos per millorar-ne els resultats obtinguts. Es pot afirmar que el feedback de la comunitat d'experts acostuma a ser més ric quan més transdisciplinar i madura és la comunitat de treball. En països com EUA **alguns espais naturals protegits tenen més de 60 anys d'experiència, i els programes de cremes van clarament en la línia de la gestió multifuncional; la prescripció de les cremes integra els interessos dels gestors del risc d'incendis, dels ecòlegs, dels gestors de fauna, de conques hidrogràfiques, de la qualitat de l'aire, entre altres perfils, sent tots aquests gestors part orgànica del programa de cremes.**

Trobem múltiples referències en ecosistemes força diferents, a tall d'exemple citem algunes fonts que són fàcilment consultables a través d'internet i que recullen informació qualificada en aquesta matèria.

**Florida Fish and Wildlife Conservation Commission**

<https://myfwc.com/wildlifehabitats/habitat/prescribed-fire/>

**Bureau of Land Management. US Department of Interior.**

<https://www.blm.gov/programs/public-safety-and-fire/fire-and-aviation/regional-info/oregon-washington/prescribed-fire>



*Audiovisual 1. Oregon - Washington Prescribed Fire.*

**Department of Biodiversity, Conservation and Attractions. Parks and Wildlife Service. Government of western Australia.**

<https://www.dpaw.wa.gov.au/management/fire/prescribed-burning>

**Global Forest Atlas. Fire and the Boreal.**

<https://globalforestatlas.yale.edu/boreal-forest/boreal-ecoregions-ecology/fire-boreal>

Referència no estrictament de cremes prescrites sinó d'ecologia del foc en boscos boreals.

Donades les possibles analogies amb els Pirineus, resulta especialment interessant l'audiovisual del programa LIFE TAIGA & FIRE dels països escandinaus desenvolupat entre 2015-2019. En aquest cas les cremes prescrites estan associades a dos àmbits d'actuació que conflueixen en matèria de conservació de la biodiversitat; aplicació dins d'espais naturals protegits, i tractament forestal hàbil per a l'obtenció de la certificació de gestió forestal sostenible.



*Audiovisual 3. Life Taiga & Fire.* <http://lifetaiga.se/>

Existeixen altres factors ambientals on aquesta complexitat en la interacció del foc ha estat més desconeguda fins avui, i on fins fa ben poc es tenia una visió lineal monocromàtica de connotació clarament negativa. És el cas del impacte sobre la biodiversitat d'ecosistemes aquàtics lligats a la matriu ecològica-forestal, on s'està començant a re-interpretar l'ecologia del foc relativa a les poblacions aquàtiques. Aquest audiovisual és útil per mostrar la importància dels processos implicats en el manteniment de la complexitat de molts hàbitats forestals.



Audiovisual 2. Vida aquàtica i perturbacions de foc. Font: Joint Fire Science Program  
<https://www.youtube.com/watch?v=omUN7VsKxBo>

### **Vegetació (landes dels sectors de gestió)**

A continuació es fa una valoració dels efectes directes del foc sobre la vegetació dels ambients planificats amb foc prescrit i/o gestió d'incendis. En general, l'ús del foc té un efecte directe sobre les comunitats vegetals, indirecte sobre les comunitats animals i de naturalesa sinèrgica en el conjunt de la dinàmica dels seus ecosistemes.

No obstant, si ens acotem a la història del pastoralisme dels Pirineus, l'ús del foc ha estat una pràctica íntimament lligada al rendiment de la ramaderia extensiva. De retruc, des de l'artigatge del bosc cronològicament anterior al manteniment d'espais oberts, i posteriorment amb el pastoralisme, el foc va ajudar a crear heterogeneïtat en un paisatge predominantment arbrat, generant ecotons i diversitat d'hàbitats, i en la seva versió més pastoral, el foc de manteniment de pastures ha representat una millora pel que respecta a la qualitat d'hàbitat de la majoria d'herbívors (Gassiot et al, 2014).

### **Els ambients planificats:**

Les cremes prescrites que es proposen al Pla Estratègic de l'Aran afecten específicament a **les landes en orientacions de SE, S i SO**. Les landes són els ambients que proliferen en les pastures abandonades, boscos cremats o desforestacions pretèrites. Parlem doncs de diferents comunitats d'herbassars i matollars dominades en aquestes orientacions per balegars d'alta muntanya (*Genista balansae*), o d'escobars com se'ls anomena localment.

L'escoba és un arbust poc alt, tot i que en valls de l'Aran arriba a ports que superen els 2 m. És un arbust molt ramificat i gens punxós, perenne i verd durant tot l'any però que en la part interior acumula biomassa llenyosa. Aquest atribut explica que sigui fàcilment inflamable i que sostingui certa intensitat durant la seva combustió. Ajudat pel factor pendent i/o vent, els escobars poden arribar a cremar de capçades fins i tot quan la neu és encara perceptible en superfície. Ocupen

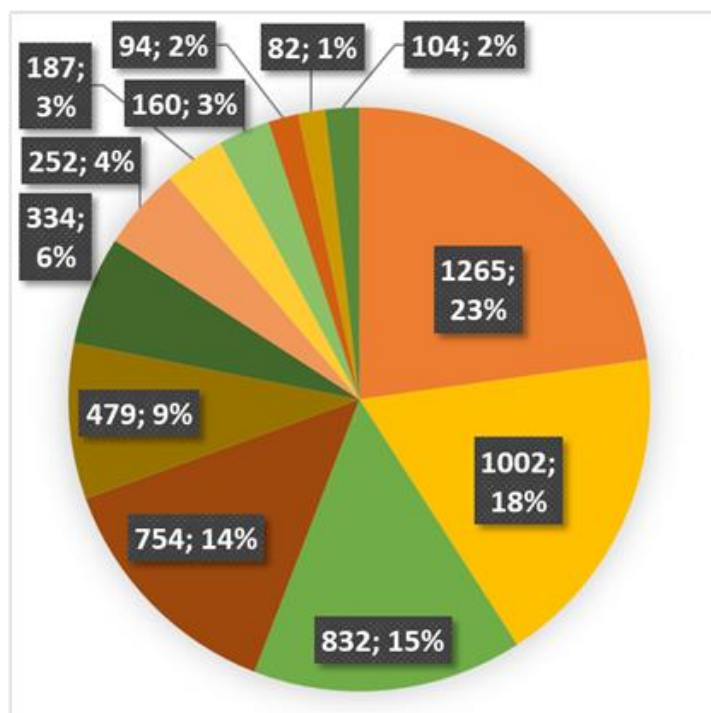
vessants assolellats preferentment sobre sòls silícis, fins a l'estatge alpí. Entre maig i juliol floreix i tenyeix de groc grans extensions del paisatge.

En les orientacions menys insolades on la neu roman més temps i protegeix la vegetació de les inclemències hivernals, hi domina el neret (*Rhododendron ferrugineum*). Altres arbusts comuns a les landes són l'empètrum (*Empetrum nigrum ssp. hermaphroditum*) o el ginebró (*Juniperus communis*). La planificació de cremes prescrites proposada a l'Aran però no afecta a aquestes orientacions més obagues on la neu aguanta més temps i on domina el neret.

En general, com més irregulars són les landes, barrejades amb prats, arbrets i pedruscalls, més interessants resulten per a la flora i la fauna. A principis d'estiu hi proliferen nombroses flors, i ocells com ara bitxacos rogencs, sits negres i perdius xerres.

**Els prats alpins** també entren dins l'àmbit d'actuació de la planificació de cremes prescrites, malgrat no ser-ne l'objectiu directe. És el cas de les parts altes d'alguns sectors planificats, on rarament creixen plantes llenyoses. La seva composició florística depèn molt de les característiques del sòl, el grau d'humitat i innivació, l'orientació, l'altura i la intensitat del pasturatge al qual estan sotmesos. Alguns exemples de la fauna que habita aquests ambients són diverses espècies de papallones, munions de saltamartins i llagostes, ocells com ara còlits grisos o grassets de muntanya, isards o marmotes. A l'hivern, el domini alpí on les flors de l'estiu han encatifat els prats, queda cobert d'un mantell de neu que juntament amb el vent gèlid fa que arbres i arbusts no trobin condicions ambientals favorables. Durant aquesta estació només unes poques espècies romanen, com ara la perdiu blanca, mentre que la majoria d'animals estan en alguna forma d'hivernació o bé han baixat a cotes inferiors.

A continuació es mostra un gràfic dels principals hàbitats de prats i herbassars de la Val d'Aran situats per sota dels 1500 metres, domini majoritari de la planificació de cremes plantejada.



- Prats silícicoles i mesòfils amb *Agrostis capillaris*, *Festuca nigrescens*, *Anthoxanthum odoratum* (gram d'olor)..., dels estatges montà i subalpí dels Pirineus
- Prats dalladors amb fromental (*Arrhenatherum elatius*) dels estatges submontà i montà, principalment dels Pirineus
- Prats de pèl caní (*Nardus stricta*), acidòfils, de l'estatge montà (i subalpí) de la Vall d'Aran
- Balegars (matollars de *Genista balansae*), silícicoles, d'indrets secs, sovint solells, de l'estatge montà
- Landes de bruguerola (*Calluna vulgaris*), acidòfiles
- Falgars (poblaments de *Pteridium aquilinum*)
- Prats silícicoles i xeròfils, amb *Agrostis capillaris*, *Seseli montanum*, *Festuca ovina*, *Dichanthium ischaemum*..., de la muntanya mitjana pirinenca i del Montseny
- Landes de gódua (*Sarothamnus scoparius*), acidòfiles i mesòfiles, de la muntanya mitjana plujosa (i de terra baixa)
- Prats dalladors, mesohigròfils, principalment altimontans (i subalpí)
- Prats basòfils i xeròfils, amb *Festuca ovina*, *Avenula iberica*, *Bromus erectus*, *Brachypodium phoenicoides*, *Seseli montanum*, *Teucrium pyrenaicum* (angelins)...
- Prats amb sudorn (*Festuca spadicea*), *Leuzea centauroides*..., calcícoles i mesoxeròfils, de vessants solells de l'estatge subalpí dels Pirineus
- Altres

Figura 66. Superfície (hectàrees) de cada una de les tipologies d'hàbitat classificats com a "Prats i herbassars" segons el Mapa d'hàbitats de Catalunya versió 2 (correspon a l'any 2006) i per a zones per sota de 1500 metres, àmbit de gestió del present pla. A més, es mostra el percentatge que representa cada habitat respecte el total de prats i herbassars per sota 1500 m.



Com es pot veure, l'hàbitat predominant són prats silíceols i mesòfils dels estatges montans i subalpíns, on dominen plantes herbàcies o llenyoses de la família de les poàcies (*Poaceae* o *Gramineae*). Són graminies com la *Festuca nigrescens*, *Agrostis capillaris* o el gram d'olor (*Anthoxanthum odoratum*). També abunden prats dalladors amb *Arrhenatherum elatius* com espècie principal, i prats acidòfils de pèl caní aquests últims amb poc valor pastoral (*Nardus stricta*). En la majoria dels casos són prats amb diferents tipus de graminies, anuals i perennes, ben adaptades a cada casuística ambiental intrínseca en aquestes vessants, i que a trets generals regeneren amb facilitat després del foc a partir dels respectius atributs vegetatius que tenen.

Algunes d'aquestes espècies propaguen per rebrot i llavor abundant, amb un banc de llavors que els permet sobreviure al foc i regenerar amb abundància (*Festuca ovina*, *Brachypodium*). Altres no sobreviuen al pas del foc perquè no rebroten però gràcies a la producció de llavors germinen a l'any següent, en molts casos gràcies a bancs de llavors al terra de vida curta.

Entre aquestes landes destaca també la bruguerola (*Calluna vulgaris*), fanerògama de la família de les ericàcies que a l'Aran ocupa els espais més acidòfils i de sòl empobrit. Aquesta planta, fàcilment inflamable, regenera de forma vigorosa després del foc a partir del banc de llavors que acumula. En regions del nord d'Europa com Suècia, les landes de bruguerola envellides dins zones protegides (parc naturals) es cremen de forma prescrita precisament per conservar la seva comunitat d'espècies i específicament, millorar la qualitat d'hàbitat del gall fer. Aquest tipus de landes han sofert retrocessos importants en molts llocs d'Europa precisament pel tancament i homogeneïtzació del paisatge.

Pel que fa a hàbitats de prats i herbassars, i a landes en general subjectes a planificació al Pla Estratègic de l'Aran, són els balegars, el quart hàbitat en superfície, qui cobra un protagonisme especial. A nivell de comportament de foc i capacitat de propagació, el tancament de les landes amb balegars envellits (homogeneïtzació) implica una situació més vulnerable en quan a potencial d'incendis i contagi de foc fora d'aquestes tessel·les. És a dir, en una tendència de matollarització d'aquests ambients com es dona actualment en alguns sectors de l'Aran, la probabilitat de contagi de foc a tota la matriu forestal augmenta significativament (en el cas de l'Aran, a masses arbrades monoespecífiques com avetoses, i masses mixtes).

La justificació de les cremes planificades que inclouen alhora l'ambient alpí respon fonamentalment a un criteri de capacitat tàctica i certesa d'escenari de treball per part dels equips de crema. En realitat, les parcel·les proposades s'executen prioritzant aquelles casuístiques on el mantell nival estigui garantit en les parts altes, amb l'objectiu de prevenir piro-escapaments i creixement fora del sector planificat. Aquest motiu ens permet preveure que l'afectació directa del foc sobre els prats alpins sigui mínima o nul·la en molts casos, i en la mesura que la línia divisòria de la neu és una cota dinàmica al llarg de l'hivern, pot tenir més o menys incidència en aquest estatge. Alhora, en les landes on hi ha un mosaic arbustiu, la major o menor presència de neu en superfície limita parcialment la propagació del foc i facilita un resultat més heterogeni en benefici del conjunt de la comunitat que l'ocupa.

El fet de dimensionar parcel·les als límits naturals de la muntanya, incloent prats alpins fins als canvis d'alineació (orientació), no és cap caprici del disseny de parcel·les sinó que forma part de l'expertesa i retorn d'experiències dels equips de crema. És el mateix criteri que prioritza l'aprofitament de corriols, pistes, barrancs, roquissars, etc. com a punts d'ancoratge, i que evita la creació de línies de defensa (com si acostuma a ser el cas en geografies menys abruptes o parcel·les de poca superfície en ambients mediterranis). Per punts d'ancoratge ens referim a aprofitar la discontinuïtat lineal de combustible, ja no des de l'òptica d'aturar un incendi (idea anacrònica dels tallafocs), sinó com a línia des d'on iniciar el foc tècnic i per tant, des d'on volem que comenci a propagar sense possibilitat de progressar de cua.

Per últim, malgrat NO ser l'objectiu de la prescripció proposada al Pla Estratègic de l'Aran, el foc **en estructures arbrades** es pot donar de forma excepcional. Per estructures arbrades ens referim a ambients de coníferes altimontanes d'avetoses i pi roig, de boscos caducifolis montans (amb roures, faigs, bedolls, trèmols, etc.), i en menor mesura, de boscos de coníferes subalpines de pi negre, i/o de masses mixtes. No s'ha contemplat en cap cas l'entrada amb foc en les masses de bosc tancades sinó que els casos plantejats són sempre boscos oberts on la pastura ha estat i és

compatible tant per usos ramaders com a efectes de fauna d'interès cinegètic. I no únicament això, sinó que en tots els casos que potencialment es puguin donar en estructures arbrades, la prescripció de foc sempre està acotada a les illes existents dins les landes planificades, on la motivació principal del foc prescrit en aquests casos excepcionals és reduir la seva vulnerabilitat a cremar de capçades (alta intensitat) en cas d'incendi.

Prevenir l'alta severitat en aquestes illes es pot aconseguir tolerant el foc de superfície amb cremes prescrites, i de retruc, garantir d'aquesta manera la heterogeneïtat que significa tenir aquestes illes arbrades dins d'una macro-tessel·la de landes. En els casos excepcionals on la planificació de l'Aran inclou foc en aquestes illes arbrades dins les landes, el comportament de foc prescrit és de superfície baixa-mitja intensitat. Això limita dràsticament l'afectació de l'estrat arbori, tot i que cal dir que el foc de superfície mai té un efecte neutre en l'ecosistema. És a dir, el foc és una acció ecològica d'abast sistèmic, que genera canvis per pressió selectiva directes i indirectes, de naturalesa sinèrgica, i que té múltiples cares en la mesura que actua intrínsecament en un sistema complex.

En el cas de cremes prescrites es poden potenciar els efectes positius i limitar-ne els negatius. La majoria dels efectes positius són indirectes i incideixen a curt mig termini a través de la disminució de la competència inter i intra-específica, ja sigui en relació a l'entrada i guany relatiu de llum en superfície, per augmentar la disponibilitat relativa al recurs hídic, per facilitar la mineralització ràpida del mantell orgànic amb un augment significatiu de la disponibilitat de nutrients al sòl, etc. Alhora, possibilita la regeneració de nous peus així com l'aparició d'espècies que s'activen al banc de llavors del propi sòl. Per contra, el foc de superfície baixa-mitja intensitat també pot generar efectes negatius com per exemple quan s'aplica el foc amb càrregues artificials de treballs silvícoles al seu interior que augmenten notablement la residència de foc i la intensitat acumulada, afectant la circulació del càmbium. Aquest tipus de pràctiques de tractament de restes són ecològicament compatibles amb l'ús del foc prescrit (Cardil et al, 2016), però tenen una finestra de prescripció molt singular i en qualsevol cas, no són l'objecte del Pla Estratègic de l'Aran.

#### **Ecologia del foc en les landes:**

Ens concentrem en les landes en la mesura que són els ambients on la planificació de cremes prescrites i la gestió d'incendis està contemplada. Els estudis duts a terme en altres valls dels Pirineus constaten que les cremes en aquests ecosistemes de landes tenen efectes directes sobre el recobriment de matollar, reduint-lo, i alhora augmenten la diversitat i riquesa d'altres espècies vegetals (Rigolot et al 1998). El valor pastoral (índex calculat a partir del valor nutricional d'un conjunt d'espècies vegetals d'interès per les poblacions d'herbívors) augmenta amb l'ús de cremes prescrites. A més, tot i que la reducció del matollar augmenta l'exposició del sòl nu, les cremes no exposen el sòl a majors riscos d'erosió.

Aquesta dinàmica no se sosté per defecte sinó que, al marge d'allò mencionat repetides vegades relatiu a la intensitat, freqüència i estacionalitat, la dinàmica en bona mesura depèn de la finestra de prescripció marc utilitzada en les cremes prescrites, juntament amb el patró de foc utilitzat. Amb humitats altes del sòl i patrons de cap que creen alta velocitat de propagació i baix temps de residència de foc, l'afectació al sòl és de baixa severitat.

Aquest efecte de baixa severitat dins el substrat orgànic gràcies a les condicions ambientals fixades des de la prescripció de les cremes de balegars no és un fet menor. El sòl, tot i regenerar-se, es considera un recurs no renovable a l'escala de temps utilitzada en qualsevol gestió forestal (ja sigui orientada a pastures, gestió cinegètica, silvícola, de conservació hàbitats, de biodiversitat, de protecció als riscos geo-hidrològics, etc.). Així doncs, partint de la premissa que el substrat del sòl condiciona i possibilita la productivitat ecològica de tot l'ecosistema forestal que sosté, és un fet remarcable i prou significatiu destacar un factor diferencial de les cremes prescrites en relació als incendis d'alta intensitat (Fernandes et al, 2013).

Pel que fa a la dinàmica de resposta al foc dels balegars s'han descrit tres fases vitals. Durant els 8-10 anys després del foc, el bàlec cremat es regenera i prolifera ràpidament.

Després, durant 8-10 anys més, la cobertura d'aquesta espècie agafa una dinàmica a la baixa, i finalment tendeix a decreixer progressivament pel debilitament dels brots (Debussche 1978). Aquesta fase de senescència coincideix amb la invasió progressiva d'espècies arbòries com els pins. Però tal i com ja s'ha mencionat repetidament en diferents apartats del present document, el cabal de foc depèn de diferents variables, entre aquestes la recurrència. Si el foc irromp amb una freqüència alta sobre la planta, i ho fa abans que aquesta hagi estat capaç de generar nous estocs de llavor, la regeneració queda limitada a l'arribada de llavors pel vector animal o per efecte contagi (proximitat) amb altres zones.

Des de la visió dels experts en foc, el feedback que podem aportar en aquest sentit és que en la situació post-foc la presència d'herbívors està garantida, ja sigui per ramaderia dirigida o per la dinàmica de la fauna salvatge, la regeneració i proliferació del bàlec es veu sensiblement inhibida. L'efecte dels herbívors funciona com una selecció positiva de les espècies de major palatabilitat (gramínies vàries), i alhora, en aquests primers estadis de regeneració, el pas dels animals inhibeix la matollarització pel simple efecte mecànic i de trepig que comporta. Aquest coneixement es fa evident si s'observen les dinàmiques d'ecosistemes poc antropitzats amb un règim de foc que no està condicionat per l'extinció, com el cas d'algunes sabanes africanes i en molts altres ecotons del planeta.

Tota aquesta reflexió relativa a la interacció del foc, les comunitats d'herbívors i de resposta vegetal es pot traduir en què l'evolució de les landes on s'han planificat les cremes prescrites de l'Aran depèn no només de la dinàmica de foc sinó en bona mesura, de la pressió herbívora (ramaderia i/o fauna) que sostinguin aquestes landes.

#### **Variables del cabal de foc i efectes sobre les landes:**

La **intensitat i la severitat** en cremes de balegars i pastures en general no planteja un conflicte d'interessos a nivell de severitat ecològica si el foc es dona a velocitats de propagació relativament elevades. D'altra banda, en patrons de foc de cua i/o flanc els balegars difícilment tenen capacitat de propagar (en condicions d'absència de vent significatiu, com està previst en les cremes prescrites de l'Aran). Quant major és la velocitat de propagació, menor és el temps de residència en superfície, i si el sòl està humit i/o pràcticament gelat, menor és la probabilitat de que penetri i propagui de forma incandescent a través del subsòl. Que no consumeixi el substrat orgànic és probablement la millor manera de minimitzar la severitat ecològica, ja que tot l'ecosistema forestal depèn en bona mesura de la l'estructura i dinàmica dels seus sòls. En cremes prescrites amb la finestra marc que s'ha proposat, el increment de temperatures del sòl a partir dels 2 cm de profunditat ja és inapreciable (Bernand-Laurent et al, 2007).

Pel que fa a la **recurrència**, el factor limitant per trobar un equilibri entre la regeneració de pastures i la persistència de landes amb balegars passa, entre altres, per la capacitat de generar llavors. En aquells casos on la freqüència de foc és superior a la capacitat de balegar per generar llavor les poblacions no tenen capacitat de perpetuar-se i es veuen desplaçades per l'entrada d'altres espècies. En el cas que ens ocupa del Pla Estratègic, la prescripció del foc contempla una recurrència de 7-10 anys, és a dir una vegada durant els 10 anys planificats (màxim dues en casos excepcionals). És un criteri expert contrastat alhora pel retorn d'experiències de cremes de pastures durant més de 20 anys en valls del Pirineu.

**Pel que fa a l'estacionalitat** de les cremes planificades a l'Aran hi ha dos aspectes que volem destacar; el factor gruix i disponibilitat de matèria orgànica del sòl, i la fenologia. Abans de res, recordar que totes les cremes s'han prescrit exclusivament durant la tardor-hivern, entre els mesos d'octubre i març. Referent al **gruix i la disponibilitat del sòl orgànic**, la tardor no genera la dualitat de condicions que sí facilita l'hivern, moment en el qual el sòl és binari en relació a la disponibilitat (capacitat de cremar) per les gelades. Aquest binarisme natural del hivern en relació a la disponibilitat del sòl permet que la prescripció de crema quedi acotada en les situacions més favorables, és a dir, quan el foc no penetra al substrat orgànic.

Pel que fa a l'estació de tardor, en valls veïnes del Pirineu com el Pallars Sobirà, Alt Urgell i Cerdanya, sembla emergir una nova normalitat en l'època de tardor, malgrat no estar en condicions de poder afirmar-ho com una tendència localment clara per la prematura manifestació d'aquest hipotètic canvi en les regles del joc. Partint però d'una robusta i contundent tendència en l'increment de les temperatures mitjanes en tots els mesos de l'any al llarg del massís dels Pirineus, la lectura operativa a peu d'incendis és que l'estació de finals d'estiu i tardor al Pirineu acumula més dies amb disponibilitat del substrat orgànic del sòl.

En última instància, a igual nombre d'ignicions i capacitat d'extinció, els incendis de tardor poden implicar majors superfícies a les registrades en la història recent dels darrers 30 anys. Un cas paradigmàtic és l'incendi de pastures de Cerbi 2017 (Pallars Sobirà, vall veïna), que amb independència de la causa d'ignició, a finals d'octubre és capaç de propagar durant 6 dies seguits malgrat els esforços de contenció dels equips d'extinció. Aquest escenari d'incendis de tardor no és representatiu de l'Aran, però en el context de canvi climàtic en curs aquesta tendència de petjada d'estiu-tardor considerem pot migrar cap a altres zones més atlàntiques del Pirineu, com el cas de l'Aran, bàsicament perquè sí tenen una clara tendència a l'alça en tots els mesos de l'any en quan a temperatures mitjanes.

D'altra banda, els incendis lligats al règim de llamps d'estiu a l'Alt Pirineu, gràcies a la capacitat de seguiment i geo-localització dels episodis de tempesta seca, juntament amb la capacitat d'intervenció ràpida, han tingut una tendència a la baixa molt significativa pel que fa a la superfície cremada i petjada de règim. Aquesta fortalesa dels equips d'anàlisi i extinció d'incendis seria igualment esperable a l'Aran en l'escenari emergent de canvi climàtic.

Referent a **la fenologia**, les cremes de tardor i hivern no entren en conflicte amb l'estació més sensible i activa de les comunitats vegetals ni faunístiques que habiten les landes. En concret a les poblacions de balegars, focalitzar les cremes a la tardor-hivern minimitza el potencial d'impactar negativament en la seva època de floració. Això no implica que afavoreixin la diversitat dins l'espai cremat de la landa en qüestió, sinó que aquesta diversitat cal interpretar-la a partir d'una dinàmica que permet edats de regeneració diferents entre espais intrínsecs a aquestes tesselles de landes. Per tant, la diversitat d'hàbitats en el Pla Estratègic cobra especial significació vist des d'una escala de paisatge, facilitant la conservació de l'actual mosaic d'ambients i reduint la vulnerabilitat davant la petjada homogeneïtzadora dels grans incendis que van migrant de sud a nord del país impulsats per l'escalfament global.

L'ús del foc amb un objectiu de control de la matollarització pot semblar contradictori amb la no aplicació de foc en el moment més sensible (floració) on podria generar més severitat sobre la població de balegars. ràpidament Aquest fet s'explica perquè la prescripció de foc proposada a l'Aran no té per objectiu eliminar els balegars o erradicar-los del sistema, sinó exercir una pressió selectiva que de forma paral·lela a la pressió dels herbívors, freni l'expansió dels matollars i la homogeneïtzació d'aquests espais oberts. És més, en fases properes a la senescència, i sota un règim de foc que no impliqui altes freqüències, els balegars responen al foc amb un creixement vigorós pel fet que tenen les llavors garantides i poden regenerar amb relativa facilitat.

#### **Conclusions (en relació biodiversitat i vegetació ambients planificats):**

A diferència dels incendis, el foc prescrit permet gestionar el matollar i la regeneració de pastures de forma eficient a partir d'escollir les finestres de prescripció i el patró de foc adequats, amb l'avantatge que es pot excloure la severitat a nivell de sòl, gestionar la recurrència per garantir la viabilitat del banc de llavors, etc. Això passa bàsicament per acotar els dies de crema amb moments on les humitats al sòl siguin altes i/o amb temperatures mitjanes prou baixes (primeres gelades) com per garantir que el subsol orgànic no entri en joc.

El foc prescrit proposat al Pla Estratègic de l'Aran no pretén eliminar els balegars ni "corregir" les landes com si fossin un ambient hostil, sinó simplement conservar-los i perpetuar-los de forma sinèrgica amb la qualitat d'hàbitat dels herbívors (ramaderia i fauna salvatge) que aprofiten les pastures, i de forma compatible amb la resta de biodiversitat que aglutinen (florística, d'aus, micro-mamífers, rèptils, etc.).

L'objectiu principal és retro-alimentar negativament la homogeneïtzació del paisatge dins les landes, ja que la homogeneïtzació a efectes de comportament d'incendis es comporta de forma no-lineal. Això a nivell d'ecologia del paisatge es pot resumir amb la criticalitat del fenomen de percolació de foc en un sistema forestal, patró que en essència il·lustra que la probabilitat de contagi tant per intensitat com per continuïtat al paisatge té una signatura estadística de naturalesa potencial. Aquest tipus de patró estadístic propi als sistemes complexos està intrínsecament lligat al fet que quan un territori arriba a un 55-60% de continuïtat forestal, la probabilitat que el foc propagui amb alta intensitat arreu del territori sigui pràcticament inevitable a mig termini.

La criticalitat i la no-linealitat del sistema en clau de perturbacions té una lectura directa en severitat ecològica, ja que en dinàmiques de paisatge l'àrea afectada cobra una significació especial. Tenir un escenari d'incendis resilient a escala de l'Aran, conservació de landes incloses, passa en la mesura del possible per poder garantir que en condicions meteorològicament adverses un incendi puntual no implicarà simultàniament masses arbrades connectades entre si a través de landes homogeneïtzades amb matollars envellits.

En això rau l'objectiu de l'ús del foc prescrit dins les landes, en prevenir l'afectació de grans incendis i mantenir una compartimentació natural. No només és una lliçó apresada dels experts en foc, sinó que en un context de canvi climàtic apostar per la gestió de la biodiversitat a escala de paisatge i d'hàbitats considerem esdevé la millor estratègia adaptativa que es pot promoure.

## **6.5 ACTIVITAT CINEGÈTICA**

En aquest apartat es fa una aproximació als principals efectes sobre la caça en relació al *Pla Estratègic de Gestió sostenible del règim de Foc a la Val d'Aran*. Des de l'autoria del present projecte es té plena consciència del paper que juga l'activitat cinegètica dins la comunitat de l'Aran, no només a nivell cultural i socioeconòmic, sinó també a nivell de gestió i viabilitat de moltes i diverses poblacions de fauna salvatge. Per tot això resulta bàsic valorar les interaccions potencials entre la implementació del Pla i la caça.

En una escala de geo-història ambiental, la pressió antròpica als Pirineus resulta indispensable per interpretar els paisatges rics en biodiversitat i heretats al segle passat. Aquest llegat ha deixat una empremta paleo-ambiental clara ja des de principis de l'holocè, molt abans per tant de la romanització. Destaquem en aquest sentit el fet que existeix una correlació amb la presència de carbons fòssils, coherents amb els estudis arqueològics (Gassiot et al, 2014). És en aquest context on l'ús del foc havia estat més aliat que un enemic natural (Badia et al, 2014).

Ja en una escala temporal més propera, en la pràctica de la transhumància altitudinal per exemple, l'ús del foc cobrava notorietat en la mesura que facilitava la renovació de pastures i millorava les condicions de productivitat i d'aprofitament de la temporada següent. A la tardor, quan es baixava el bestiar de les pastures d'alta muntanya a cotes més baixes, es cremava la pastura seca que quedava per sobre, concatenant-se sovint amb les primeres nevades, i per tant, contenint de forma natural l'abast d'aquests focs de pastures, tradicionalment concebudes com a cremes controlades.

De retruc, es podria dir que allò que aconseguien col·lateralment amb l'optimització de les pastures era també la millora de la qualitat d'hàbitat de la majoria d'herbívoros, fauna inclosa. En altres paraules i portant-ho ara si al camp de la caça, aquesta pràctica de gestió tradicional amb el foc entès com a eina de gestió retro-alimentava positivament uns paisatges que enfortien la relació depredador-presa.

L'arribada de les armes de foc, recent a una escala de geo-història ambiental, va significar un punt d'inflexió en la capacitat de caça. Aquesta nova normalitat i en qüestió d'unes poques dècades va desencadenar l'aïllament en zones més remotes de certes poblacions de fauna, i fins i tot en

alguns casos l'extinció d'aquells depredadors que competien amb l'economia d'aquestes comunitats (llops i ossos, principalment).

Amb el pas del temps, aquesta comunitat pastoral que remunta a una història mil·lenària, ha anat convivint amb més o menys conflictes amb altres economies emergents com l'explotació minera, forestal, l'adveniment de la indústria hidroelèctrica, el turisme, i fins i tot d'una manera més encriptada, amb el naixement d'una consciència ambiental de mirada clarament urbana a mesura que s'accentuava l'asimetria demogràfica del país (inici anys 70's).

L'ús del foc com a millora de qualitat d'hàbitat per a fauna cinegètica no és pas l'objectiu del Pla Estratègic; fomentar l'activitat cinegètica es fa formalment des dels plans cinegètics. No obstant, considerem és fonamental tenir present la reflexió històrica per abordar amb perspectiva la possible incidència del Pla Estratègic en relació a l'activitat cinegètica.

Es vol remarcar que el Pla Estratègic es planteja com una planificació del foc que no únicament ha de ser compatible amb altres polítiques sectorials i/o ambientals de l'Aran, sinó que en la mesura del possible, directa o indirectament, queda justificada en la mesura que tingui capacitat per generar sinèrgies positives amb altres planificacions territorials, incloent en especial la pròpia a la comunitat de caça i pesca d'aquesta geografia.

Hi ha suficients arguments per confiar que aquesta sinèrgia positiva és possible entre el programa de cremes prescrites i la gestió cinegètica, de forma similar a com s'han valorat qualitativament altres vectors ambientals com la biodiversitat, l'emissió de gasos d'efecte hivernacle, la resiliència en la resposta a les emergències durant episodis de simultaneïtat, etc.

#### **Respostes de la fauna davant el foc:**

L'adaptació més comú que presenten els animals al foc és la fugida. Normalment, els animals poden anar més ràpid que l'avanç de les flames, fet que els permet fugir cap a zones no cremades. Tot i que en els darrers episodis ocorreguts a nivell mundial s'han vist casos d'alta mortalitat per les pròpies flames (Austràlia 2020), no és la problemàtica (fins a dia d'avui) en la conca Mediterrània ni en el massís dels Pirineus en particular. Els animals de menys envergadura, com micro-mamífers o rèptils, sovint s'amaguen a petits forats o caus, i eviten l'efecte directe del foc. En situacions concretes, el foc sí que té capacitat de penetrar i propagar pel subsòl, però això mai es dona per defecte sinó que el gradient de severitat depèn del gradient d'intensitat, de la velocitat de propagació en superfície, del grau d'humitat del sòl i del temps de residència de foc, entre altres.

Ara bé, el foc sí que modifica la vegetació i en conseqüència, els hàbitats de les diferents espècies cinegètiques. Per tal d'entendre els efectes potencials del Pla sobre la caça, es presenta un quadre resum on s'especifica quina és la preferència d'hàbitat de cada espècie d'interès cinegètic (taula 25), seguint les referències de la *Guia Cinegètica de la Generalitat de Catalunya* (Lavín et al, 2007). En aquesta taula no s'inclouen totes aquelles espècies de caça menor que depenen en gran mesura de medis aquàtics, com són l'ànec gris, l'ànec xiulador, l'ànec cuallarg, l'ànec cullerot, el morell cap-roig, el morell de plomall, el xibec, la fotja vulgar, el becadell comú o la gavina vulgar.

Nom català	Nom castellà	Nom llatí	Prefereix espais oberts	Prefereix boscos o zones arbrades	Prefereix ecotò, zones mixtes	Indiferent
Caça major						
Porc senglar	Jabalí	<i>Sus scrofa</i>				x
Cérvol	Ciervo	<i>Cervus elaphus</i>			x	
Cabirol	Corzo	<i>Capreolus capreolus</i>		x	x	
Daina	Gamo	<i>Dama dama</i>			x	
Isard	Sarrio	<i>Rupicapra pyrenaica</i>			x	
Mufló	Muflón	<i>Ovis aries</i>			x	
Cabra salvatge	Cabra montés	<i>Capra pirenaica</i>				x
Caça menor						
Guineu	Zorro	<i>Vulpes vulpes</i>				x
Conill de bosc	Conejo de monte	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	x			
Llebre	Liebre europea	<i>Lepus europaeus</i>	x		x	
Perdiu roja	Perdiz común	<i>Alectoris rufa</i>	x			
Perdiu xerra	Perdiz pardilla	<i>Perdix perdix</i>	x			
Guatlla	Codorniz	<i>Coturnix coturnix</i>	x		x	
Faisà	Faisán	<i>Phasianus colchicus</i>	x		x	
Fredeluga	Avefría	<i>Vanellus vanellus</i>	x			
Becada	Chocha perdiz	<i>Scolopax rusticola</i>			x	
Colom roquer	Paloma bravía	<i>Columba livia</i>	x			
Xixella	Paloma zurita	<i>Columba oenas</i>				x
Tudó	Paloma torcaz	<i>Columba palumbus</i>		x		
Tórtora comú	Tórtola común	<i>Streptopelia turtur</i>			x	
Tord comú	Zorzal común	<i>Turdus philomelos</i>		x	x	
Tord alarrog	Zorzal alirrojo	<i>Turdus iliacus</i>	x			
Griva	Zorzal charlo	<i>Turdus viscivorus</i>	x	x		
Griva cerdana	Zorzal real	<i>Turdus pilaris</i>			x	
Garsa	Urraca	<i>Pica pica</i>				x
Estornell vulgar	Estornino pinto	<i>Sturnus vulgaris</i>			x	

Taula 25. Hàbitats potencials de les espècies interès cinegètic, Aran.

Com es pot observar a la taula 25, la major part d'espècies de caça major tenen preferència per hàbitats mixtos entre zones obertes i zones boscoses. El més habitual és que aquestes espècies facin servir les zones obertes per a l'alimentació i les zones de bosc per refugi i cria. Només una espècie, el cabirol, presenta més predisposició per a les zones forestals per a conjunt de la seva etologia. Dues espècies, el porc senglar i la cabra salvatge, tenen més aviat indiferència pel tipus d'hàbitat i poden estar presents a diferents ecosistemes.

En canvi, en les espècies de caça menor, es mostra una predicció general cap a les zones obertes. Espècies com les perdius, les guatlls o els conills es troben en ambients de prat o matollar. No obstant, també és habitual que facin servir les zones d'ecotò (transició entre prats i bosc) per a la seva supervivència. El tudó, el tord comú i la griva són les espècies que habiten les zones més

arbrades o forestals, mentre que la guineu, la xixella i la garsa són les més cosmopolites i poden viure en més varietats d'ambients.

Com a exemple emblemàtic, el cérvol té unes necessitats d'hàbitat que poden englobar les de moltes altres espècies de caça. Les necessitats alimentàries del cérvol com a conjunt de femelles, cries i mascles, varia al llarg de l'any, en funció del sexe, l'edat i l'estat fisiològic. En general, els cérvols mengen un 30-50% de vegetació llenyosa, consumida sobretot durant l'hivern i la primavera primerenca i a l'estiu quan les pastures estan seques. Un 25-60% de l'aliment prové de les pastures, sobretot a la primavera i a l'estiu, i un 10-25% de fruits sobretot a la tardor (Caballero 1985). Els cérvols proliferen bé doncs en zones amb diversitat d'ambients que inclouen pinedes (*Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus uncinata*), rouredes (*Quercus petraea*), avetoses (*Abies alba*), boixeres (*Buxus sempervirens*), ginebrars (*Juniperus communis*), aranyoners (*Prunus spinosa*), i en general, landes on dominen els balegars (*Genista balansae*) i gramínies de muntanya.

Una de les principals amenaces que pateixen espècies com el cérvol, i la majoria de poblacions de fauna que depenen d'espais oberts, és la matollarització o increment de la cobertura d'espècies llenyoses (matolls i arbres) en espais històricament oberts.

Des d'un punt de vista d'ecologia del paisatge, aquests grans espais oberts s'han comportat com a tesselles de pastures dins una gran matriu arbrada. En el cas de l'Aran és una matriu arbrada on dominen les avetoses, però on existeix alhora una rica mescla d'ambients que donen peu a la seva riquesa natural: boscos de coníferes altimontanes de pi roig, coníferes subalpines de pi negre, boscos caducifolis, prats i bosquines montanes, landes, prats alpins, ambients aigualosos, rocams i tarteres. Una part d'aquestes tesselles obertes no s'expliquen només per condicionants ambientals propis al gradient altitudinal i l'orografia, sinó que han estat mantingudes tradicionalment per l'existència d'una pressió ramadera notablement superior a l'actual, amb un ús del foc freqüent però poc intens, que ajuda a regenerar i vigoritzar pastures inhibint de retruc la matollarització. Aquestes tesselles més o menys obertes dins una matriu arbrada, és a dir, l'existència de landes irregulars barrejades amb prats, arbrets, pedruscalls, faciliten unes condicions més favorables i productives des de la perspectiva de la biodiversitat de flora i fauna. La matollarització i homogeneïtzació d'aquests espais oberts amb abundància de pastures, comporta una reducció de la diversitat d'hàbitats que a efectes de potencial cinètic, van en detriment de la caça major i menor (a més del conseqüent augment del risc d'incendi, ja contemplat en la secció corresponent).

L'ús de foc sobre estructures de matollar uniforme provoca que en les primeres fases de la successió vegetal abundin espècies herbàcies, en la seva majoria comestibles pels herbívors, junt amb brots de les espècies llenyoses que també tenen un alt valor nutritiu per a moltes espècies herbívores d'aus i mamífers. De fet, diversos estudis mostren que la crema de vegetació proporciona un benefici temporal en la qualitat nutritiva del nou brots i beneficis prolongats en quant a la quantitat de vegetació (Carlson et al 1993).

Diferents autors apunten que l'acció del foc incrementa la quantitat de proteïna crua, el contingut de fòsfor i la palatabilitat de la majoria de les plantes (Stransky and Harlow 1981), fet que s'explica fonamentalment perquè a mesura que augmenta la quantitat de lignina la vegetació es torna menys digerible. La proteïna crua pot arribar a ser 2-3 vegades superior en nous brots de plantes herbàcies provinents de cremes d'hivern (13%), que brots que venen de parcel·les no cremades (4-6%) (Stransky and Harlow 1981). Ara bé, també cal tenir en compte que les cremes poden produir un descens temporal en la producció de fruits el primer any després del foc.

Ahora, per algunes espècies eminentment forestals com el cabirol o la griva poden veure reduïda la seva extensió si desapareixen hàbitats forestals. El Pla Estratègic contempla en gran mesura la gestió de prats i matollars, i no inclou la introducció del foc dins la matriu arbrada. La gestió amb foc prescrit dins l'arbrat s'ha previst únicament i de forma excepcional, en illes arbrades que estan dins els sectors de gestió, és a dir, dins de solanes de prats i matollars d'alta muntanya. En aquests el foc prescrit es justifica precisament per la conservació dels mateixos rodals arbrats, reduint la vulnerabilitat davant un incendi i els efectes potencials d'alta severitat. En tots casos dins illes arbrades el foc s'ha prescrit amb comportament a nivell d'estrat superficial. Aplicat així, el pas del foc que difícilment es homogeni, facilita l'existència posterior de claps en l'estrat de



matollar, la regeneració de l'estrat herbaci i la creació de mosaics més heterogenis de matollar i herbàcies sota-arbrat. En el cas d'estructures arbrades típicament caducifòlies, el foc de superfície en baixa intensitat consumeix el mantell de fullaraca, aporta nutrients al sòl que d'altra manera implica cicles de mineralització més llargs, potencia l'entrada de llum en superfície, i en darrer terme, facilita la regeneració tant d'herbàcies com d'espècies arbòries diverses.

Pel que fa a fauna d'interès cinegètic, el foc de superfície en les illes arbrades no es preveu interactuï de manera negativa, incloent amb això les poblacions de cabirol. És més, el foc en superfície baixa i mitja intensitat dins aquestes illes arbrades és probable que també millori la qualitat i quantitat d'aliment disponible dels herbívors que hi habiten.

Paral·lelament, el foc de mitja intensitat sota-arbrat facilita la creació d'un camp visual sensiblement més obert i òptim a nivell de depredadors potencials. Des de la perspectiva ecològica, considerem que el foc prescrit tal i com es proposa en el present Pla de l'Aran, gràcies a la seva capacitat per modificar l'estructura vegetal de forma controlada, pot ajudar a optimitzar els hàbitats dels herbívors i de retruc, enfortir les relacions depredador-presa. Per tant, no és tant una qüestió de cremar o no cremar, sinó de quantitat i qualitat de foc. En argot tècnic, el debat passa per discutir les fites concretes en cada tipologia de crema proposada, acotar la intensitat, la freqüència, l'estacionalitat i per suposat, la quantitat de superfície total i relativa al llarg dels anys.

En aquesta línia argumental, en l'apartat 4.2.2 del present document es proposa i es defineix el paràmetre de cabal ecològic de foc (CEF) a partir d'aquestes variables que descriuen quantitat i qualitat de foc. Des de la perspectiva de l'avaluació d'impactes, la prescripció de les variables que defineixen el CEF es pot interpretar com l'acció que permet potenciar els impactes positius del foc i alhora minimitzar-ne els negatius (selecció positiva de foc).

En l'alternativa BAU el foc es manifesta de forma atzarosa en cadascuna de les variables, deixant un escenari de resolució i evolució del règim propici a una dinàmica de selecció negativa de foc (paradoxa de l'extinció). En l'alternativa NFD hi ha una major certesa d'escenari, tant en la resolució imminent de l'emergència com en l'evolució del paisatge i dels efectes positius que es poden derivar del foc.

En els espais planificats amb cremes prescrites l'ús del foc permet crear diferents edats de regeneració natural, principalment pel fet que les parcel·les es van executant en moments diferents (anys diferents). Aquesta dinàmica de regeneració en l'espai i el temps augmenta la heterogeneïtat espacial dins les landes, i en darrera instància, promou la diversitat d'hàbitats en tota la matriu forestal tal i com l'exercici de la modelització corrobora (discontinuitats en el potencial de contagi dels incendis a escala paisatge).

Per tots aquests motius, en un context de canvi climàtic i d'escalada de generacions d'incendi als Pirineus, es pot afirmar que a mig-llarg termini i en relació al potencial cinegètic, l'alternativa NFD (inclou l'existència de sectors de gestió amb foc prescrit) representa un escenari més resilient i més favorable que l'escenari de l'alternativa BAU.

### **Conclusions (en relació l'activitat cinegètica)**

L'aplicació del Pla Estratègic permet l'apoderament de les organitzacions d'emergències i reducció del risc de grans incendis forestals, augmentar la heterogeneïtat del paisatge i l'hàbitat preferit per moltes espècies cinegètiques, sent a més un exercici compatible amb la conservació de les zones d'ecotó entre boscos i matollars.

Cremar parcel·les en diferents intensitats i conservar illes de matollar i bosc a distàncies no excessives per als desplaçaments dels animals, entenem és una de les millors fórmules per millorar la gestió dels hàbitats de la majoria d'espècies cinegètiques, tant de caça major com menor. El foc prescrit, entès com a pràctica de gestió multifuncional, és una eina no només compatible amb l'activitat de caça sinó que s'estima pot tenir un impacte positiu apreciable a nivell de qualitats d'hàbitats dins l'escala temporal en que es projecta el Pla (10 anys).

## 6.6 Riscos geològics

La valoració quantitativa en matèria de riscos geològics s'escapa a la capacitat d'anàlisi i objectius del present pla estratègic. Més enllà de com s'abordi aquesta valoració des de l'estudi d'impacte ambiental que es derivi de la legalització del present pla estratègic, seria especialment interessant que el *pla de seguiment* que s'implementi durant la vigència del pla estratègic (apartat 4.4.2) comptés amb la col·laboració d'experts en riscos geològics per tal que aquest factor ambiental crític en l'àmbit de l'Aran podés ser avaluat amb tota la seva complexitat.

A continuació es fa una aproximació preliminar des de la visió dels experts en cremes prescrites i d'alguns dels consensos en matèria d'ecologia del foc.

Cal mencionar d'entrada que el model MEDFIRE ARAN ha incorporat l'anàlisi quantitatiu específic a nivell d'afectació de *boscors protectors de l'Aran i allaus*, concretament, s'ha valorat la quantitat de superfície forestal protectora d'allaus que es pot perdre amb incendis forestals d'alta intensitat (Figura 66).

Els *boscors protectors d'allaus* s'han definit com aquelles masses boscoses per sobre dels 1500 metres i entre uns 30% i 60% de pendent, que són les zones més perilloses als allaus. Es pot observar que amb canvi climàtic es perdran de mitjana un total de 750 hectàrees de boscors protectors d'allaus en el període 2011-2050, sense grans diferències entre l'escenari BAU i el NFD (Figura 67). Aquest fet pot ser degut a que moltes de les zones de gestió d'incendis i cremes prescrites es donen en zones de pastures i matollars, que tot i que poden d'alguna manera reduir la capacitat de propagació a zones boscoses, no sempre eviten l'arribada de fronts a zones forestals.

### BOSCORS PROTECTORS D'ALLAUS

EXEMPLE D'INCENDIS TOPOGRÀFICS AFECTANT BOSCORS PROTECTORS EN UNA SIMULACIÓ (2011-2050)

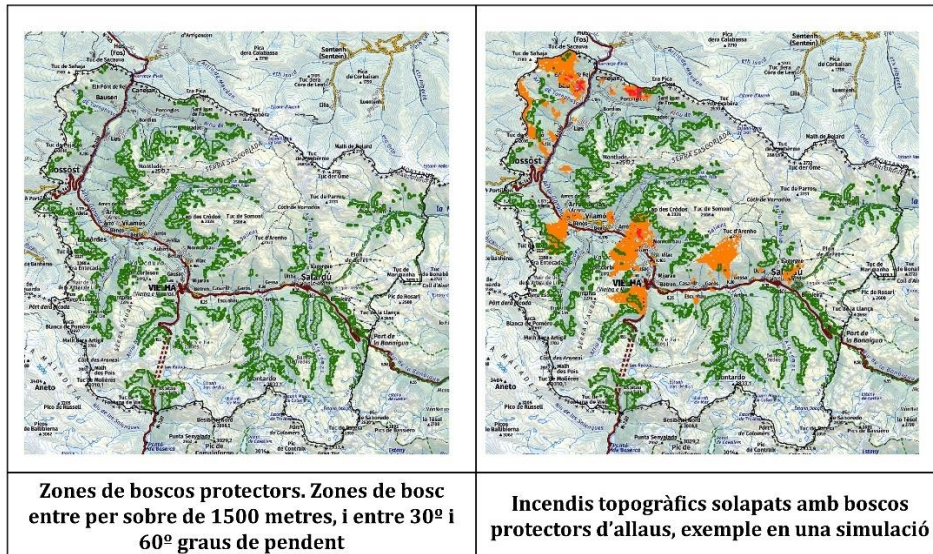


Figura 67. Mapes de boscors protectors d'allaus i exemples d'incendis afectant alguns d'aquests boscors. Font: elaboració pròpia MEDFIRE Aran.

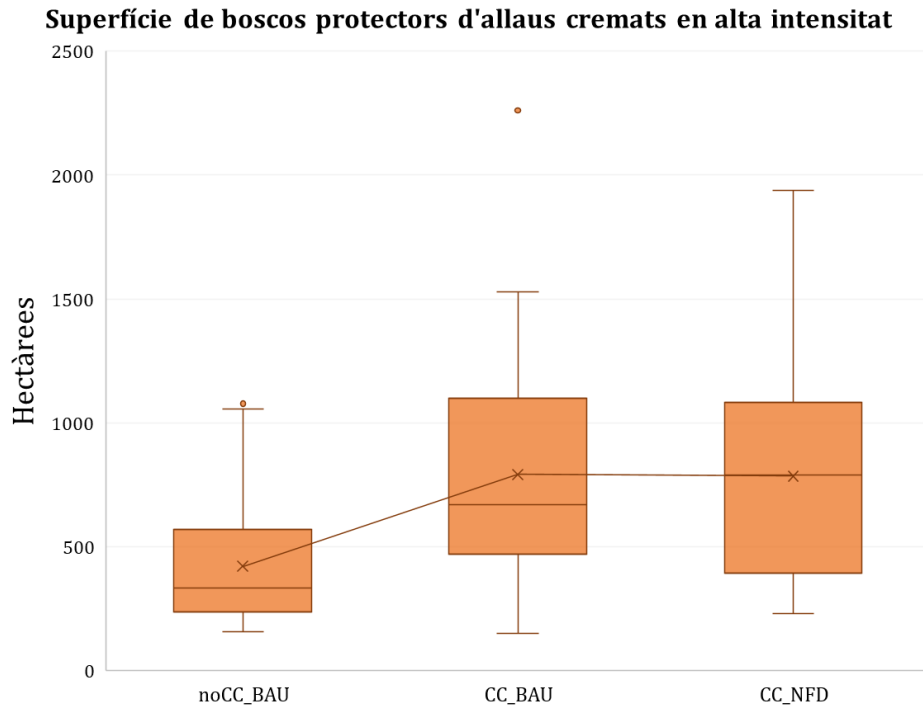


Figura 68. Àrea total cremada en alta intensitat dels boscos protectors d'allaus per al període 2011-2050. Els caixetins mostren la variabilitat de les simulacions. CC = Canvi Climàtic. BAU = Business as usual. NFD = New Fire Deal. Font: elaboració pròpia MEDFIRE Aran.

A nivell de risc d'erosió es vol fer explícites algunes de les consideracions dels experts en matèria de cremes prescrites i ecologia del foc.

Per una banda, cal tenir present que la velocitat de propagació en cremes de matollars d'alta muntanya acostuma a ser elevada perquè per poder sostenir-se requereix de patrons d'ignició de cap. Donat que les cremes s'executen sovint seguint una dinàmica descendent en l'execució de la parcel·la per motius de control (Fernandes et al, 2013), cal matisar que patrons d'ignició i dinàmica de la crema són coses diferents i per suposat, han de ser convergents. En aquesta tipologia de cremes s'acostuma a conduir la crema des del límit superior fins al límit inferior de la parcel·la, fent passades a diferents cotes i perpendiculars al pendent, que generen patrons de cap amb espais de carrera que poden ajustar-se més o menys segons els resultats observats amb el comportament de foc. El patró de cap és doncs l'aplicat històricament per la renovació de pastures i control del matollar. Alhora, quan són incendis de vent, aquesta velocitat de propagació encara és més acusada. El patró de cap, així com un baix temps de residència de foc i una elevada velocitat de propagació, fan que l'afectació al subsòl sigui molt menor que quan el foc propaga lentament provocant un efecte graella que acaba consumint el subsòl orgànic, o en el cas de masses arbrades, afectant el canviament en el primer metre d'alçada. Un exemple clàssic és l'eliminació de restes de treballs silvícoles dins l'arbrat, on la finestra de prescripció marca radicalment la diferència: en condicions de neu en superfície, les piles de restes silvícoles estan suficientment seques i per inflamar-se i consumir-se. És una finestra de treball excel·lent per controlar la severitat a nivell d'arbrat, més enllà de la facilitat a efectes de control i contenció dins els límits de parcel·la.

L'efecte graella genera per una banda alta severitat sobre el sòl, un recurs que té una lenta taxa de renovació fins al punt de considerar-se no renovable. Pel que fa a l'arbrat, l'efecte graella genera una mitja-alta severitat a mig termini sobre l'arbrat exposat a temps elevats de residència de foc (Cardil et al, 2016).

En contra, quan es cremen balegars amb patrons de cap i amb velocitats de propagació elevades, la incidència a efectes d'erosió depèn més de les condicions ambientals post foc que del comportament de foc en sí mateix. A tall d'exemple, les cremes controlades de tardor acostumen a anar acompanyades d'episodis de precipitació, donant resultats sensiblement diferents segons la finestra de prescripció marc escollida; en alguns casos pot facilitar la recuperació de tot l'ecosistema, com quan la precipitació arriba en forma de neu, o al contrari, pot catalitzar processos d'erosió per escorrentia superficial quan es concatena amb episodis de precipitació intensa.

Així doncs, una primera conclusió és que **la finestra de prescripció marc i especialment la disponibilitat o no del subsòl orgànic** (gleva en argot local, o capa activa del permafrost en argot científic típic dels ecosistemes boreals) **marquen significativament la diferència a efectes de severitat del sòl i d'erosió posterior.**

El pendent té una clara correlació positiva pel que fa l'erosió, però alhora també existeixen matisos importants a tenir en consideració. D'entrada, s'accepta que l'arbrat i la coberta vegetal en general redueixen el risc d'erosió. No obstant, existeix una línia d'actuació en algunes valls de la vessant nord dels Pirineus on l'objectiu de les cremes de balegars és la prevenció d'allaus. La realitat però és que no existeixen evidències científiques, ni a favor ni en contra, que permetin valorar objectivament l'eficàcia d'aquesta línia de treball.

D'altra banda, en relació l'erosió i el pendent en boscos protectors, el foc de baixa i mitja intensitat promou el manteniment de l'estructura i revitalitza tot l'ecosistema, ja sigui activant banc de llavors dorments al sol, eliminant peus debilitats per competència, promovent hàbitat de fusta carbonitzada, aportant minerals al sòl, aportant carbons vegetals que faciliten la creació i cohesió de sòl orgànic, creant espais semioberts per antorxejos puntuals on l'entrada de llum genera microhàbitats i diversitat dins la mateixa massa arbrada, i disminuint la càrrega del combustible mort, entre altres. Aquests efectes sistèmics del foc funcionen al marge del pendent, però en relació a la propagació del foc, una major pendent implica una major probabilitat de rodolaments. Els rodolaments poden derivar en petites llengües de foc de baixa intensitat, i/o en casos més adversos, en recol·locacions del incendi amb capacitat per propagar en plena alineació creant carreres d'alta intensitat o fins i tot en casos de forts pendents, comportaments de capçades actiu ja que, alimentats per un tiratge convectiu semblant a l'efecte d'una xemeneia, impliquen el combustible fi de les capçades. A curt termini les capçades cremades no erosionen el sòl, però si l'espècie arbrada afectada no té capacitat de regeneració, la població afectada retrocedeix, i això en darrera instància, sí pot afectar negativament als processos d'erosió. Altres vegades, en boscos caducifolis, aquesta casuística és molt més aleatòria, i en període de parada vegetativa la severitat a les capçades és irrellevant. En qualsevol dels casos, d'acord tant al feedback de la comunitat d'experts com de la comunitat científica, **el foc de baixa i mitja intensitat en boscos protectors no té el potencial per impactar negativament al sòl o d'incidir negativament a nivell de processos d'erosió** (Mataix-Solera et al, 2011).

Una analogia útil en relació als impactes positius que pot ocasionar el foc a partir de la implementació de cremes prescrites és la utilització del biochar des de l'àmbit de l'enginyeria ambiental. El biochar és carbó vegetal creat amb piròlisi controlada que s'utilitza com a tractament per la regeneració de sòls degradats. Addicionalment al segrest de carboni en una forma temporalment estable, aquest tipus d'aplicació aporta altres beneficis indirectes clarament avantatjosos a nivell de sòls (Lehman et al, 2015):

- a) millora la retenció d'aigua i l'estructura, fent-la més porosa.
- b) augmenta la retenció de nutrients, especialment del N, cosa que redueix les possibles pèrdues per lixiviació i/o emissions a l'atmosfera.
- c) cendres que acompanyen el biocarbó contenen K i P aprofitables pels conreus o per la pròpia dinàmica dels cicles biogeoquímics que se superposen a nivell de xarxa tròfica.
- d) corregeix el pH en sòls àcids.
- e) estimula l'activitat microbiològica en proporcionar microhàbitats.

En la mateixa lògica, una meta-anàlisi de resultats de diversos treballs d'aplicació de biocarbó sense l'addició de fertilitzants dona un increment de la producció agrícola del 10 % (Jeffery et al., 2011).

Per concloure l'apartat, manifestar que a nivell de risc de grans esllavissades l'anàlisi és encara més incert i complex, quedant fora de l'abast d'aquesta aproximació preliminar. No massa lluny de l'Aran, dins del Pirineus, l'Observatori de la Sostenibilitat d'Andorra (OBSA) i el centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC) tenen una línia de recerca oberta per entendre la incidència del foc sobre el risc d'allaus i grans esllavissades.

## **6.7 QUALITAT DE L'AIRE I EMISSIONS DE GASOS D'EFECTE HIVERNACLE (GEH)**

Sense entrar en matèria de valoració d'impactes perquè s'escapa a l'abast i objectiu del propi document de projecte, es vol fer èmfasi de la importància d'entendre la incidència del foc al medi aeri:

- a) a efectes de protecció de la població.
- b) a efectes de guiar la presa de decisions dels equips de crema, ajudant així a mitigar possibles impactes lligats a la implementació de cremes prescrites.
- c) per optimitzar la qualitat de les finestres de prescripció.
- d) per valorar i informar a la població sobre la magnitud i proporcionalitat de les emissions derivades tant dels incendis com de les cremes prescrites.

Amb l'escalada de generacions d'incendi en general, i més recentment, amb els incendis de sisena generació o canvi climàtic, la qualitat de l'aire i la contaminació per fums (partícules en suspensió i/o contaminants primaris i secundaris de diversa naturalesa química) s'està convertint en una preocupació a nivell de salut pública donada la magnitud del seu impacte, és a dir no només per l'afectació directa als dispositius d'emergències sinó sobre la població civil directa i indirectament afectada per episodis d'incendis extrems. Ja no només preocupen les emissions sinó la dinàmica de concentració i dispersió dels fums, o fins i tot les immissions dels fums dels incendis més enllà del focus de propagació de les flames, que en determinats casos han posat en alarma de qualitat de l'aire a comunitats senceres, obligant a prendre mesures dràstiques de confinament general i/o evacuacions. L'episodi de primavera-estiu 2019 d'Àustràlia n'és un exemple recent i paradigmàtic.

D'altra banda, també ha sorgit un interès especial per part de la comunitat científica en camps com la meteorologia, la climatologia i l'ecologia, per tal d'entendre aquesta nova onada d'incendis extrems. La formació de cumulonimbus per part del propi incendi (PyroCb) en molts aspectes té un impacte comparable al de l'activitat volcànica (Peterson et al, 2018), fins i tot superior en termes absoluts quan es considera el registre monitoritzat dels darrers 5 anys a nivell global. Aquesta nova realitat està reafirmant l'alarma dels experts en emergències, que porten anys avisant de les limitacions físiques en la capacitat d'extinció i que reivindiquen un nou paradigma per poder mitigar els impactes, i adaptar-nos com a sistema socioecològic, a l'onada de canvis prevista durant el transcurs de la primera meitat d'aquest segle XXI.

**Com a conclusió primera, els incendis interactuen de ple en el cicle del carboni a una escala global, i el procés de canvi climàtic i les emissions de gasos d'efecte hivernacle que provoquen l'escalfament global, estan en part condicionats per la major o menor severitat associada a la diversitat de règims d'incendis que operen en el conjunt d'ecosistemes terrestres de la Terra.**

A grans trets, un incendi és un procés de combustió natural a una escala considerable (de pocs metres quadrats fins a Tera-hectàrees) que consumeix diverses edats, mides i tipus de flora que creixen a l'aire lliure en una zona geogràfica.

El tema de la qualitat de l'aire i la contaminació atmosfèrica lligat al foc, ja sigui causat per incendis o per cremes prescrites, és des de fa anys un tema d'interès tant per la comunitat científica com pels gestors del foc. Pel que fa a cremes prescrites cobra especial sentit valorar la gestió dels fums per tal d'evitar possibles molèsties i/o efectes adversos sobre la salut de la comunitat local i dels propis equips de crema. En aquesta línia resulta especialment útil el coneixement de la meteorologia local i en general, el coneixement profund associat a la metodologia de cremes prescrites.

Una referència clàssica a tall il·lustratiu de la sensibilitat pel tema de la qualitat de l'aire és la guia promoguda per varies agències públiques dels EUA l'any 1985, "Prescribed fire smoke management Guide". Si bé en relació al 1985 la capacitat de monitoreig de la qualitat de l'aire ha experimentat un avenç espectacular, tant pel que fa a la xarxa d'estacions de control a nivell de superfície terrestre com especialment, pel que fa a la xarxa de satèl·lits que permeten fer

seguiment 24h 365 dies a l'any, les guies de maneig del fum segueixen sent a la pràctica més que útils, ja que més que quantificar dades el que aporten és qualitat en la presa de decisions.

La qualitat de l'aire té derivades no tant sols en la gestió i comunicació a la població civil durant episodis de grans incendis forestals, sinó que en el cas que ens ocupa, l'ús del foc prescrit té especial rellevància a l'hora de determinar la finestra de prescripció, és a dir a l'hora de fixar les condicions del dia, els patrons d'ignició, l'estacionalitat, etc. més favorables per minimitzar la contaminació de l'aire a nivell de comunitat local.

A nivell europeu la xarxa de satèl·lits Copernicus opera com un sistema d'informació geogràfica amb capacitat per reportar de forma acurada i al llarg del temps informació clau en relació a diferents vectors ambientals d'interès general.

De la xarxa d'informació que subministra el programa Copernicus destaquem dos dels seus subsistemes d'informació:

a) El *Emergency Management Service* que proporciona informació geo-espacial relacionats amb la gestió de desastres naturals, situacions d'emergència d'origen antròpic i/o crisis humanitàries.

b) El *European Forest Information System (EFFIS)*, que consisteix en un sistema d'informació geogràfica web modular que proporciona informació històrica i en temps real sobre incendis forestals i règims d'incendis forestals a les regions europees, de l'Orient Mitjà i del nord d'Àfrica.

El monitoratge d'incendis a EFFIS comprèn el cicle complet d'incendis, proporcionant informació sobre les condicions prèvies a l'incendi i l'avaluació de danys post-incendi.

Des de 1998, EFFIS està recolzada per un grup d'experts en incendis forestals que està inscrit sota la Secretaria General de la Comissió Europea.

Actualment, aquest grup està format per experts de 43 països d'Europa, Orient Mitjà i països del nord d'Àfrica. EFFIS inclou, a partir de l'estat pre-incendi, els següents mòduls:

1. Avaluació del perill d'incendis.
2. Avaluació de danys ràpids.
3. **Avaluació d'emissions i dispersió de fums.**
4. Possible avaluació de la pèrdua del sòl.
5. Regeneració de vegetació.

El mòdul 3 de l'EFFIS se centra precisament amb la incidència d'emissions en el medi aeri provocades per incendis. A nivell tecnològic, les cremes prescrites poden ser monitoritzades en la mesura que la seva dinàmica és anàloga a la incidència dels incendis. Seria interessant saber fins a quin punt l'EFFIS fa o pot fer aquest seguiment de cremes, així com les limitacions operatives que poden tenir en aquest sentit. Un cas innovador en aquesta línia és el programa "carbon farming" implementat al nord del continent australià, on a més de reduir l'impacte dels grans incendis molt significativament en relació la resta del país, el potencial de les cremes per fixar carboni i/o reduir emissions de gasos d'efecte hivernacles associat a grans incendis, es capitalitza a través del mercat de compensació d'emissions de la indústria local (per més informació del "carbon farming" veure Referències).

Com a segona conclusió, i **sense dades empíriques que ho puguin demostrar en el cas concret de l'Aran, es pot afirmar que** si bé els fums poden incidir negativament sobre la comunitat local en dies meteorològicament adversos, **la incidència d'un programa de cremes prescrites a nivell de qualitat de l'aire no es preveu que generi cap impacte apreciable a nivell de salut pública i/o incidències negatives sobre la població civil.**

Òbviament, els fums no tenen un efecte inert sobre les persones, programes de monitoreig com el *Prometeo* precisament se centren en avaluar l'impacte a nivell de salut laboral dels equips de crema i d'intervenció en incendis forestals. La realitat és més complexa, no és un tema binari de cremes si o cremes no, sinó que per tenir una perspectiva completa a nivell de qualitat de l'aire cal tenir present diferents escales d'espai-temps així com de condicionants ambientals. Per

exemple, a l'hora de considerar els impactes de les cremes prescrites en la qualitat de l'aire no es pot deixar al marge l'impacte dels incendis en aquesta geografia, ja que cal posar en perspectiva ambdues coses. Hi ha múltiples factors relacionats amb el foc i les emissions, existeix cada cop més bibliografia en aquest sentit, però a grans trets es pot afirmar que la immensa majoria de cremes prescrites tenen un efecte positiu sobre el còmput total d'emissions a escala de règim d'incendis. Les cremes prescrites alhora s'apliquen sobre diferents models de combustible forestal, on cadascun té notables diferències en clau d'emissions i qualitat de l'aire.

La prescripció de foc realitzada a l'Aran recull diferents variables que queden resumides en el paràmetre de cabal ecològic de foc. Per una banda, els models de combustible gestionats amb foc responen majoritàriament a matollars i pastures, que segons referències, són models que tenen un factor d'emissió menor que la resta de models de combustible (referència *Development for Emissions Inventory Methods for wildland fire. Environmental Protection Agency*). Al límit superior del rang d'emissions hi ha el foc que implica el combustible gruixut o de 1000h, per exemple, les cremes de restes de tractaments silvícoles apilades dins el bosc executades en una finestra errònia. Aquesta casuística implica elevades càrregues de foc i d'emissions. Un altre tipus de foc que està al límit superior del rang d'emissions són els focs de subsòl que impliquen una combustió lenta i estequiomètricament poc eficient de la matèria orgànica. En el cas de l'Aran, la prescripció matisa el factor relatiu a la disponibilitat del sòl, és més, el considera el factor clau a l'hora de determinar que és i que no és alta intensitat i alta severitat; en les parcel·les de matollar i pastures l'alta intensitat i l'alta severitat és aquell foc que implica la matèria orgànica del subsòl.

D'altra banda, les cremes de pastures i matollars d'alta muntanya requereixen de patrons de cap per entrar dins objectius, tot i que a ulls de no experts es pugui interpretar al contrari pel fet que en equips professionals sovint s'executin des de la part alta a la part més baixa. Aquesta dinàmica de progressió dels equips d'ignició, justificada per garantir la contenció de la crema dins els límits pre-establerts, és totalment compatible amb el patró de cap. El patró de cap respon a la necessitat d'implicar el combustible aeri i consumir el matollar, i a efectes d'emissions són comportaments de foc que progressen ràpidament i que tenen un temps de residència de foc molt reduït. Aquest fet permet afirmar, segons bibliografia, que les cremes de matollars i pastures d'alta muntanya ben executades tenen un factor d'emissió baix.

En comparació amb els incendis, tant a l'Aran com en general a tot el Pirineu, deixant de banda els incendis de vent, els incendis topogràfics més grans es donen quan el mantell orgànic del subsòl està disponible. Aquest és un factor crític en els treballs d'extinció, ja que encara que el comportament de foc de les flames en superfície estigui dins capacitat d'extinció, el remat d'un foc de subsòl al Pirineu és molt poc efectiu i eficient per part dels dispositius d'emergències. Aquest foc de subsòl, exposat a la típica dinàmica de vents topogràfics nocturns causats pel gradient d'altitud, és capaç de reactivar les flames en superfície i començar a propagar en descendent. Si tenim en compte que les finestres de treballs convencionals d'extinció al Pirineu són en període diürn per motius de seguretat (rodolaments), o que l'accés dels vehicles d'aigua queda excessivament lluny de l'incendi com per treballar el remat del perímetre amb mànegues d'alta pressió, la conclusió és que els incendis topogràfics més grans van lligats a aquesta disponibilitat del subsòl. Quan el subsòl està ben humit, o quan la capa més superficial del subsòl està congelada, els incendis topogràfics en matollars de muntanya no tenen capacitat per avançar de nit, i en general, en aquests casos el remat és pràcticament inexistent perquè es passa ràpidament del control de les flames a l'extinció total del incendi (perímetre fred i incendi sense capacitat de propagar).

**En resum, a nivell de qualitat de l'aire i emissions de GEH, els matollars i pastures que es cremin dins de prescripció es preveu tinguin un impacte significativament favorable en relació a la mateixa superfície que es cremaria en format incendi i en condicions adverses.** Alhora, aquelles parcel·les que estan dins alguns sectors de gestió amb foc prescrit que impliquen altres models de combustible, com pastures arbrades en boscos oberts, com seria per exemple el sector de gestió de Les, a la pràctica tenen una prescripció i una incidència anàloga a les pastures, ja que només consumeixen el mantell de fullaraca, no impliquen la coberta arbrada, i a nivell de subsòl se seleccionen les finestres on el subsòl no estigui disponible. En conseqüència, també en aquests casos de focs de superfície en boscos oberts, allò que es cremi dins de prescripció es



preveu tingui un impacte significativament favorable en relació a la mateixa superfície que es cremaria en format incendi i en condicions adverses.

La hipòtesi de “no cremar-se”, ni en format incendi ni en format crema, és una hipòtesi que queda descartada perquè no és plausible a una escala de règim d'incendis.

Per últim, també es vol fer esment d'algunes consideracions relatives a la contaminació al medi aerí que tenen analogies en l'àmbit de les emissions i la implementació de cremes prescrites. Dins dels contaminants atmosfèrics es diferencia entre el conjunt de contaminants primaris, emesos directament per una font, dels secundaris, producte de reaccions físico-químiques ulteriors. El temps que un contaminant roman a l'aire es coneix pel nom de temps de residència. Aquest temps és més o menys llarg segons el tipus de contaminant i l'estat de l'atmosfera (turbulències, vents, pluges, etc.). Per als gasos, el temps de residència depèn de la seva capacitat de reacció (els més reactius resten menys temps a l'aire). Per a les partícules, depèn de la seva mida. Per concentració de fons, s'entén les concentracions de gasos i partícules en atmosfera neta, per exemple, en llocs on la incidència humana és poc significativa, com seria el cas de la l'Aran i del món rural dels Pirineus en general. Per concentracions de referència s'entén les considerades legals segons la normativa de cada país, i són variables en l'espai i en el temps segons el desenvolupament tecnològic i la política ambiental dels diferents països. No obstant, les concentracions de referència en alguns casos emmascaren els episodis aguts de contaminació i de baixa qualitat de l'aire, ja que són valors mitjans que dilueixen episodis aguts de contaminació. En part, perquè són valors que estan consensuats amb l'estatus quo de la indústria, interessos que s'entrelliguen amb un sistema socio-econòmic complex que en gran mesura està condicionat pels diferents resultats cost-benefici implícits a les diferents alternatives tecnològiques disponibles.

Sense pretendre entrar en l'avaluació d'impactes específica de cada tipus i quantitat de contaminant emès, i menys encara, en la complexa dinàmica de reaccions implícita als contaminants secundaris i les immissions derivades dels incendis, si pot resultar útil tenir en compte algunes consideracions en relació al pla estratègic proposat.

**Els contaminants que es deriven directament del foc prescrit, pel fet de ser un escenari de treball controlat, tenen un caràcter acotat en l'espai i el temps, on la càrrega de foc implicada està prèviament valorada d'acord amb el rang de resultats de la prescripció. En altres paraules, relatiu al foc es tria l'on, el quan, la quantitat, la intensitat, la recurrència, etc., fent que en termes de qualitat de l'aire hi hagi capacitat de control.**

**Per contra, els incendis són focs que no estan acotats ni en l'espai ni en el temps, on la càrrega de foc implicada està pautada per l'atzar del dia en qüestió i on la qualitat de l'aire difícilment està dins capacitat de control.**

## **6.8 Conflictivitat social en relació les causes d'ignició**

A la Vall d'Aran no es disposa de cap base de dades ni registre formal que permeti tenir una estadística rigorosa en relació la causalitat d'ignicions descontrolades. Partint d'aquesta premissa, i en base al retorn d'experiències per part dels gestors públics que tenen un coneixement de primera mà de la seva realitat social, si s'ha manifestat i es reconeix l'existència d'un intangible lligam entre els incendis provocats (focs descontrolats) i la demanda de cremes de regeneració de pastures, o fins i tot, amb la gestió de l'hàbitat lligada a interessos cinegètics. Per tant, sense disposar de proves ni estadístiques, resulta evident que existeix en major o menor mesura un conflicte social lligat a l'ús i/o abús del foc, segons es miri, al medi natural.

Aquest conflicte latent a la Val d'Aran s'ha fet més evident en els darrers anys, per motius diferents que s'escapen als objectius d'aquest projecte. En qualsevol cas, si es pot dir que la terciarització de l'economia local, la percepció social en relació als incendis cada cop més grans degut en bona mesura a la davallada de la intensitat ramadera extensiva, el propi canvi de model de gestió de la ramaderia extensiva juntament amb la reintroducció de l'os bru, la presència de grans ungulats com atractiu cinegètic, la conscienciació col·lectiva en relació l'emergència climàtica, etc. han

provocat que sense trencar el caràcter rural de la comarca en el transcurs de les darreres dècades s'hagin donat canvis socio-econòmics i ecològics que en darrera instància, han diversificat i matisat la percepció del foc al medi natural i del rol que aquest té o ha de tenir en base als interessos dels diferents actors socials de l'Aran.

Feta aquesta aproximació, s'estima que el conflicte social en relació al foc i els incendis a mig llarg termini (10 anys) evolucioni favorablement en la mesura que aquest *pla estratègic de gestió del foc al medi natural de l'Aran* sigui capaç d'aprovar-se i implementar-se.

La implementació del pla obra la possibilitat d'un nou marc de treball més transversal i holístic, actualitzant la regulació vigent i fent un pas sinèrgic en relació a la diversitat de d'interessos, percepcions, drets i deures vinculats a l'ús i abús del foc al medi natural.

Aquesta nova regulació per la gestió del foc al medi natural inclou un seguit de canvis legislatius i reglamentaris que van des de la simple facilitació per al ciutadà del procés administratiu per realitzar cremes de restes agrícoles de baixa complexitat (=> gestió del tràmit a través d'eines TIC), fins als cas de major complexitat com gestionar un incendi eventual que es doni dins un sector pre-planificat.

## **6.9 COST-BENEFICI ECONÒMIC**

El cost-benefici econòmic en la implementació de cremes prescrites ha estat tradicionalment un aspecte polèmic. Si bé és relativament senzill estimar els costos d'execució implicats en una crema prescrita puntual, o per defecte d'un programa de cremes sencer, és molt més complicat quantificar en termes estrictament monetaris i crematístics els beneficis associats a l'ús del foc prescrit. El prisma tradicional de l'enginyeria forestal ha estat la valoració dels costos econòmics, i el benefici econòmic en el millor dels casos quedava reduït a la captació del valor implícit als aprofitaments forestals de la massa en qüestió. És una visió anacrònica als temps actuals ja que en general passa per alt els múltiples béns i serveis ecosistèmics que es deriven dels sistemes forestals.

Una altra polèmica a l'hora de valorar el cost-benefici econòmic de les cremes prescrites està relacionada amb el braç executor de les cremes prescrites.

Hi ha un grup d'opinió que argumenta que els costos de les cremes des d'organismes públics és una via econòmicament sostenible perquè es fa amb personal contractat per altres funcions. Un exemple clàssic és el Forest Service dels Estats Units d'Amèrica, o en un context més domèstic, el grup GRAF del Cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya i el grup GEPIF del Cos d'Agents Rurals de la Generalitat de Catalunya. En casos com el GRAF és un nínxol professional que lidera el coneixement del vector foc al medi natural i de la gestió del risc d'incendis forestals. Aquests especialistes participen en la planificació forestal, s'encarreguen de l'execució de cremes, col·laboren amb el seguiment de resultats, avaluen el risc diari, col·laboren activament amb el món de la recerca i la gestió, lideren la formació en incendis forestals, i en general, tenen una presència transversal més enllà de l'emergència en matèria d'incendis i ecologia del foc.

Per aquests col·lectius professionals de la funció pública que ja treballen en l'àmbit de les emergències les cremes prescrites cobren doble sentit; aquesta dinàmica de treball, més enllà dels objectius i resultats de les pròpies cremes, els serveix per enriquir els processos formatius, mantenir habilitacions professionals i en general entrenar-se en el maneig del foc i l'ús del foc tècnic. En definitiva, està àmpliament acceptat el fet que executar cremes amb personal d'emergències té el valor afegit de millorar significativament la qualitat de resposta en emergències, tant en termes d'eficàcia, d'eficiència, com especialment en aspectes de seguretat.

Per altra banda, hi ha un grup d'opinió que argumenta que els costos implícits a l'execució d'una crema prescrita mitjançant activitat privada farien molt desfavorable aquesta opció com alternativa de tractament forestal. Aquest argument però entra ràpidament en contradicció quan s'agafen experiències d'altres geografies. A tall d'exemple, en països com Suècia i Finlàndia, sense cultura d'incendis forestals però amb grans repoblacions i on existeix una indústria forestal econòmicament rellevant, juntament amb una cultura forestal més viva, les cremes prescrites

s'implementen des del sector privat amb personal qualificat i habilitat per escoles d'acreditació professional. El motiu principal d'implementar aquestes cremes prescrites està íntimament lligat a la certificació de la gestió forestal sostenible, i concretament, a la promoció de la biodiversitat dins les masses arbrades com a requisit de la certificació. D'altra banda, la mateixa comunitat científica que fa el seguiment dels resultats de les cremes i valida els objectius de les mateixes, promou cremes dins els espais naturals protegits com accions de gestió de la biodiversitat. En altres indrets com Sudàfrica, existeixen empreses privades que s'ocupen de la gestió dels incendis que posen en risc reserves naturals o finques privades, i al mateix temps, s'encarreguen de l'execució de cremes controlades per conservar i/o promoure hàbitats d'interès especial.

Com a conclusió, **el pla estratègic no dona cap dada que permeti valorar el cost-benefici econòmic relatiu a la implementació de cremes prescrites. No obstant, es vol deixar constància que limitar l'anàlisi cost-benefici a un aspecte purament econòmic respondria a una visió excessivament reduccionista.** Si bé existeixen metodologies per fer commensurables els béns i serveis ecosistèmics, com l'anàlisi de la memòria energètica, és l'economia ecològica la que aporta eines com l'anàlisi multi-criteri que permeten valorar d'una forma holística diferents alternatives de gestió. **En aquest sentit, si es dona l'oportunitat d'integrar estudis de seguiment del pla estratègic, l'anàlisi multi-criteri, que també inclou l'anàlisi econòmic, seria més enriquidor que un anàlisi cost-benefici convencional.**

Per últim, també cal tenir present que **el pla estratègic obra una finestra d'oportunitat transversal comparativament al modus operandi del business as usual.** El pla estructura un marc de treball que possibilita la co-gestió del sistema forestal, explotant sinèrgies positives lligades al foc com la conservació dels boscos protectors d'allaus, el manteniment i renovació de pastures, foment de la biodiversitat, reducció de la conflictivitat per ignicions descontrolades, la prevenció de grans incendis, etc. Des d'aquest prisma, **el fet que el pla estratègic faciliti la co-gestió ja es pot interpretar per si mateix com un indicador econòmic favorable lligat al projecte.**

## 7. REFERÈNCIES

- Agee, James K. (1993). Fire ecology of Pacific Northwest forest. Whashington, DC: Island Press. 493 p.
- Alcañiz, Marc & Outeiro, Luís & Francos, Marcos & Ubeda, Xavier. (2017). Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *The Science of the total environment*. 613-614. 944-957. 10.1016/j.scitotenv.2017.09.144.
- Ameztegui, Aitor & Gil-Tena, Assu & Faus, Jordi & Pique, Miriam & Brotons, Lluís & Camprodon, Jordi. (2018). Bird community response in mountain pine forests of the Pyrenees managed under a shelterwood system. *Forest Ecology and Management*. 407. 95-105. 10.1016/j.foreco.2017.09.002.
- Badia A., Pèlach A., Tulla A. i Soriano J. Land use and land cover change and the effects on vulnerability to forest fire of counties in the mountains of Catalonia: from managing the land to managing a threat (2014).
- Battye, William & Battye, Rebecca. (2002). Development of Emissions Inventory Methods for Wildland Fire.
- Bernard-Laurent B, Weber F. Le brûlage dirigé dans le Mercantour: savoirs pratiques, relations sociales et processus de décision (2007).
- Boada, Martí. Boscos de Catalunya. Història i actualitat del món forestal (2003).
- Brotons, L., N. Aquilué, M. De Cáceres, M.-J. Fortin, and A. Fall. 2013. How fire history, fire suppression practices and climate change affect wildfire regimes in mediterranean landscapes. *PloS one* 8:1-12.
- Caballero Garcia de Arevalo R (1985) Habitat y alimentación del ciervo en ambiente mediterraneo. In: Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente (ed). pp 9-30
- Carbon Farming Initiative. Australian Government. Clean Energy Regulator.  
<http://www.cleanenergyregulator.gov.au/Infohub/CFI/Carbon-Farming-Initiative>
- Cardil, Molina, Oliveres, Castellnou (2016). Fire effects in *Pinus uncinata* Ram plantations.
- Carlson PC, Tanner GW, Wood JM, Humphrey SR. 1993. Fire in Key Deer Habitat Improves Browse, Prevents Succession, and Preserves Endemic Herbs. *The Journal of Wildlife Management* Vol. 57, No. 4, pp. 914-928
- Castellnou, Marc & Miralles, Marta & Molina Terrén, Domingo. (2013). ESTRATEGIA, TÁCTICAS Y MANIOBRAS en Incendios Forestales. 10.13140/RG.2.1.5163.5601.
- Castellnou, M., Prat-Guitart, N., Arilla, E. *et al.* Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape. *fire ecol* **15**, 31 (2019). <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0048-6>
- Castellnou, M; Nebot, E; Miralles, M. (2007). El papel del fuego en la gestión del paisaje. En: IV International Wildfire Conference 2007, Sevilla. Thematic session nº1.
- Castellnou, M; Pagès, J; Miralles, M i Piqué, M (2009). Tipificación de los incendios forestales de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal.

Costa, Pau & Castellnou, Marc & Larrañaga, Asier & Miralles, Marta & Kraus, Daniel (2011). Prevention of Large Wildfires using the Fire Types Concept.

Cogos, S., Roturier, S. & Östlund, L. The origins of prescribed burning in Scandinavian forestry: the seminal role of Joel Wretling in the management of fire-dependent forests. *Eur J Forest Res* **139**, 393–406 (2020).

Copernicus. <https://www.copernicus.eu/en>

Cossuth and Matthew T. DeLand. *Climate and Atmospheric Science* (2018) 1:30; doi:10.1038/s41612-018-0039-3

Debussche, M. 1978. Etude de la dynamique de la végétation sur le versant nord-ouest du Mont Aigoual. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. CNRS de Montpellier.

Duane A., Aquilué N., Canelles Q., Morán-Ordoñez A., De Cáceres M., Brotons L. (2019) Adapting prescribed burns to future climate change in Mediterranean landscapes. *Science of total environment* 677:68-83. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.348.

Duane, A. Oliveres, J. Aquilué, N. Brotons, L. 2020. El model MEDFIRE Val d'Aran. Disseny, inicialització, simulació i resultats. CTFC Edicions. 44 pp

EFFIS (European Forest Fire Information System). <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>

El que no coneixem ens espanta. M. Castellnou. TED Plaça del Fòrum (2016). <https://youtu.be/2W87J1Sn6Yc>

Emergency Management Service, Copernicus. <https://emergency.copernicus.eu/>

Europe's ecological backbone: recognising the true value of our mountains. EEA Report / No 6/2010. ISSN 1725-9177.

Evolution of Federal Wildland Fire Management Policy. Review and Update of the 1995 Federal Wildland Fire Management Policy January 2001. National Park Service, U.S. Forest Service. January 2001. Archived from the original (PDF) on December 23, 2006. Retrieved July 27, 2007.

Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenisation determine fire regimes in three Mediterranean areas. Loepfe L, Martínez-Vilalta J, Oliveres J, Piñol P, Lloret F (2010).

Ferry, G. & Albeita, F. & Bancroft, L. & McCleese, W. & Miller, H. & Mutch, Rhian & Ryan, H. & van Wagtenonk, Jan & Wilson, R. & Zontek, F.. (1985). Prescribed fire smoke management guide.

Fernandes, Davies, Ascoli, Fernández, Moreira, Rigolot, Stoof, Vega, Molina (2013). Prescribed burning in Southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape.

Fire as a key driver of Earth's biodiversity. Tianhua, Byron B. Lamont and Juli G. Pausas. *Biol. Rev.* (2019), 94, pp. 1983–2010. 1983. Doi: 10.1111/brv.12544

Gassiot et al, 2014. The mountains in Prehistory: 10 years of research in western Catalan Pyrennes.

Garcia-Pausas, Jordi & Casals, Pere & Camarero, Lluís & Huguet, Carme & Sebastia, M.-Teresa & Thompson, Roy & Romanyà, Joan. (2007). Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: Effects of climate and topography. *Biogeochemistry*. 82. 279-289. 10.1007/s10533-007-9071-9.

Geohistoria de la relació entre la societat y el medio natural a través del estudio forestal: La Vallferrera y la Coma de Burg (Pallars Sobirà, Lleida, Pirineos). Albert Pèlachs Mañosa, Joan Manuel Soriano, Jordi Nadal Tera, David Molina Gallart, Raquel Cunill Artigas (2008).

Giles, 2018. The new science of radical innovation.

Gorzen-Mitka, Iwona (2017). Risk culture in the VUCA world.

Gracia C., Ibàñez J.J., Burriel J.A., Mata T., Vayreda J. (2002). Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal I. (CREAF, Bellaterra).

Guidance for Implementation of Federal Wildland Fire Management Policy (2009). Department of Agriculture. Department of Interior. Bureau of Land Management. Natural Park Service. Fish and Wildlife Service. Bureau of Indian Affairs. National Wildfire Coordination Group.

He, Tianhua & Lamont, Byron & Pausas, Juli. (2019). Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biological Reviews*. 94. 10.1111/brv.12544.

Hyvarinen, Esko; Kouki, Jari; Martikainen, Petri (1 February 2006). Fire and Green-Tree Retention in Conservation of Red-Listed and Rare Deadwood-Dependent Beetles in Finnish Boreal Forests". *Conservation Biology*. 20 (6): 1711–1719. doi:10.1111/j.1523-1739.2006.00511.x. PMID 17181806.

Hot fire, cool soil. Stoof R, Moore D, Fernandes P, Stoorvogel J, Fernandes R, Ferreira A, Ritsema C (2013). <https://doi.org/10.1002/grl.50299>

Keeley, Jon & Pausas, Juli & Rundel, Philip & Bond, William & Bradstock, Ross. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in plant science*. 16. 406-11. 10.1016/j.tplants.2011.04.002.

Lavín S, Marco I, Cuenca R, Velarde R, Casas E, Mentaberre G, Cabezón O, Closa F, Valente AL, Casanovas R. 2007. *Guia de les Espècies Clnegètiques de Catalunya*. Ediciones S.

Lázaro, A. I Montiel, C (2010). Overview of prescribed burning policies and practices in Europe and other countries. In: *Towards Integrated Fire Management – Outcomes of the European \_Project Fire Paradox*. EFI Report 23.

LEHMAN, J.; STEPHEN, J (ed.) (2015). *Biochar for environmental management: Science, Technology and implementation*. 2a ed. Londres: Routledge.

Leverkus, Alexandro & Garcia Murillo, Pablo & Doña, Vicente & Pausas, Juli. (2019). Wildfires: Opportunity for restoration?. *Science*. 363. 134.2-135. 10.1126/science.aaw2134.

Life Taiga & Fire. <https://youtu.be/hxfAvfvqhu0>

Luo, Yu & Yu, Zhuyun & Zhang, Kaile & xu, Jianming & Brookes, Philip. (2016). The properties and functions of biochars in forest ecosystems. *Journal of Soils and Sediments*. 16. 10.1007/s11368-016-1483-5.

Mataix-Solera, Jorge & Cerdà, Artemi & Arcenegui, Vicky & Jordán, Antonio & Zavala, Lorena. (2011). Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews*. 109. 44-60. 10.1016/j.earscirev.2011.08.002.

Molina, Cristina & Kraus, Daniel. (2010). *Best Practices of Fire Use – Prescribed Burning and Suppression Fire Programmes in Selected Case-Study Regions in Europe*.

Molina Terrén, Domingo & Cardil, Adrián & Oliveres, Jordi & Castellnou, Marc. (2015). FIRE EFFECTS IN PINUS UNCLINATA RAM PLANTATIONS in Spain. 10.13140/RG.2.1.2823.0480.

Moreira, Francisco & Ascoli, Davide & Safford, Hugh & Adams, Mark & Moreno, José & Pereira, José & Catry, Filipe & Armesto, J.J. & Bond, William & González, Mauro & Curt, Thomas & Koutsias, Nikos & Mccaw, Lachie & Price, Owen & Pausas, Juli & Rigolot, Eric & Stephens, Scott & Tavsanoglu, Cagatay & Vallejo, V.Ramon & Fernandes, Paulo. (2020). Wildfire management in Mediterranean-type regions: paradigm change needed. Environmental Research Letters. 15. 011001.

Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy. (<https://www.weforum.org/reports/nature-risk-rising-why-the-crisis-engulfing-nature-matters-for-business-and-the-economy>)

OPCC-CTP (2018). El canvi climàtic als Pirineus: impactes, vulnerabilitats i adaptació. Bases de coneixement per a la futura estratègia d'adaptació al canvi climàtic als Pirineus.

Oregon - Washington Prescribed Fire. <https://youtu.be/c9MADraGZnk>

Otero, Iago & Castellnou, Marc & González, Itziar & Arilla, Etel & Castell, Llorenç & Castellví, Jordi & Sánchez, Francesc & Nielsen, Jonas. (2018). Democratizing wildfire strategies. Do you realize what it means? Insights from a participatory process in the Montseny region (Catalonia, Spain). PLOS ONE. 13. e0204806. 10.1371/journal.pone.0204806.

Pausas, Juli & Ribeiro, Eloi. (2017). Fire and plant diversity at the global scale. Global Ecology and Biogeography. 00.9.10.1111/geb.12596.

Pausas, Juli & Keeley, Jon. (2019). Wildfires as an ecosystem service. Frontiers in Ecology and the Environment. 17. 10.1002/fee.2044.

Papel de los incendios en las dinámicas forestales del Norte de la península ibérica durante el Holoceno. Albert Pèlach Mañosa, Juan Carlos García Codrón, Joan Manuel Soriano, Ramón Pérez i Obiol, Jordi Catalan Aguilà.

Pique, Miriam & Castellnou, Marc & Valor, Teresa & Pagés, Jordi & Larrañaga, Asier & Miralles, Marta & Cervera, Teresa. (2011). Integració del risc de grans incendis forestals (GIF) en la gestió forestal: Incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures forestals al foc de capçades. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST).

P.Pons, B.Lambert, E.Rigolot and R.Prodon. The effects of grassland management using fire on habitat occupancy and conservation of birds in a mosaic landscape. Biodiversity and Conservation 12: 1843–1860, 2003. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

Prometeo Project. <https://www.youtube.com/watch?v=u-kq18qV3AE>

Regos A, Aquilué N, Retana J, De Cáceres M, Brotons L, (2014). Using Unplanned Fires to Help Suppressing Future Large Fires in Mediterranean Forests. PLoS ONE 9(4): e94906. doi:10.1371/journal.pone.0094906

Rigolot E, Etienne M, Lambert B. 1993. Different fire regime effects on a *Cytisus purgans* community. In Fire management and landscape ecology. (ed. Trabaud L.)

Savanna fire management methods. Emissions avoidance. Sequestration and emissions avoidance (2018). <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/ERF/Choosing-a-project-type/Opportunities-for-the-land-sector/Savanna-burning-methods>

Smoke Management Guide for Prescribed Fire. National Wildfire Coordinating Group (2018).

Stephens, S & Agee, James & Fulé, P & North, Malcolm & Romme, William & Swetnam, Thomas & Turner, Monica. (2013). Managing Forests and Fire in Changing Climates. *Science* (New York, N.Y.). 342. 41-42. 10.1126/science.1240294.

Stransky and Harlow 1981. Effects of fire on deer habitat in the Southeast.

Tedim, Fantina & Leone, Vittorio & Amraoui, Malik & Bouillon, Christophe & Coughlan, Michael & Delogu, Giuseppe & Id, † & Fernandes, Paulo & Ferreira, & Mccaffrey, Sarah & McGee, T. & Parente, Joana & Paton, Douglas & Pereira, Mário & Ribeiro, Luis & Viegas, Domingos & Xanthopoulos, Gavriil. (2018). Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges and Impacts. *Fire*. 1.9.10.3390/fire1010009.

Tedim, Fantina & Mccaffrey, Sarah & Leone, Vittorio & Delogu, Giuseppe & Castellnou, Marc & McGee, T. & Aranha, Jose. (2019). Chapter 13: What can we do differently about the extreme wildfire problema: an overview. 10.1016/B978-0-12-815721-3.00013-8.

Tercer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya. Generalitat de Catalunya. Institut d'Estudis Catalans (2016).

The Merits of Prescribed Fire Outweigh Potential Carbon Emission Effects. White Paper developed by Association for Fire Ecology, International Association of Wildland Fire, Tall Timbers Research Station, and The Nature Conservancy (2013).

Ubeda, Xavier & Alcañiz, Meritxell & Borges, Gonzalo & Outeiro, Luís & Francos, Marcos. (2019). Soil Quality of Abandoned Agricultural Terraces Managed with Prescribed Fires and Livestock in the Municipality of Capafonts, Catalonia, Spain (2000–2017). *Agronomy*. 9. 340. 10.3390/agronomy9060340.

Vida aquàtica i foc (<https://www.youtube.com/watch?v=omUN7VsKxBo>)

Valor, T 2018. PhD Thesis: the effects of prescribed burns over the vigor of Mediterranean pines. Universitat Autònoma de Barcelona.

Vilarasau C, 2016. Millora de l'hàbitat del cérvol (*Cervus elaphus*) a partir del maneig del foc a la Reserva Nacional de Caça de Boumort. TFG Enginyeria forestal, ETSEA (UdL).

Vilén, Terhi & Fernandes, Paulo. (2011). Forest Fires in Mediterranean Countries: CO2 Emissions and Mitigation Possibilities Through Prescribed Burning. *Environmental management*. 48.558-67. 10.1007/s00267-011-9681-9.

Wildfires as an ecosystem service. Juli G Pausas and Jon E Keeley. *Front Ecol Environ* 2019; 17(5): 289-295, doi:10.1002/fee.2044

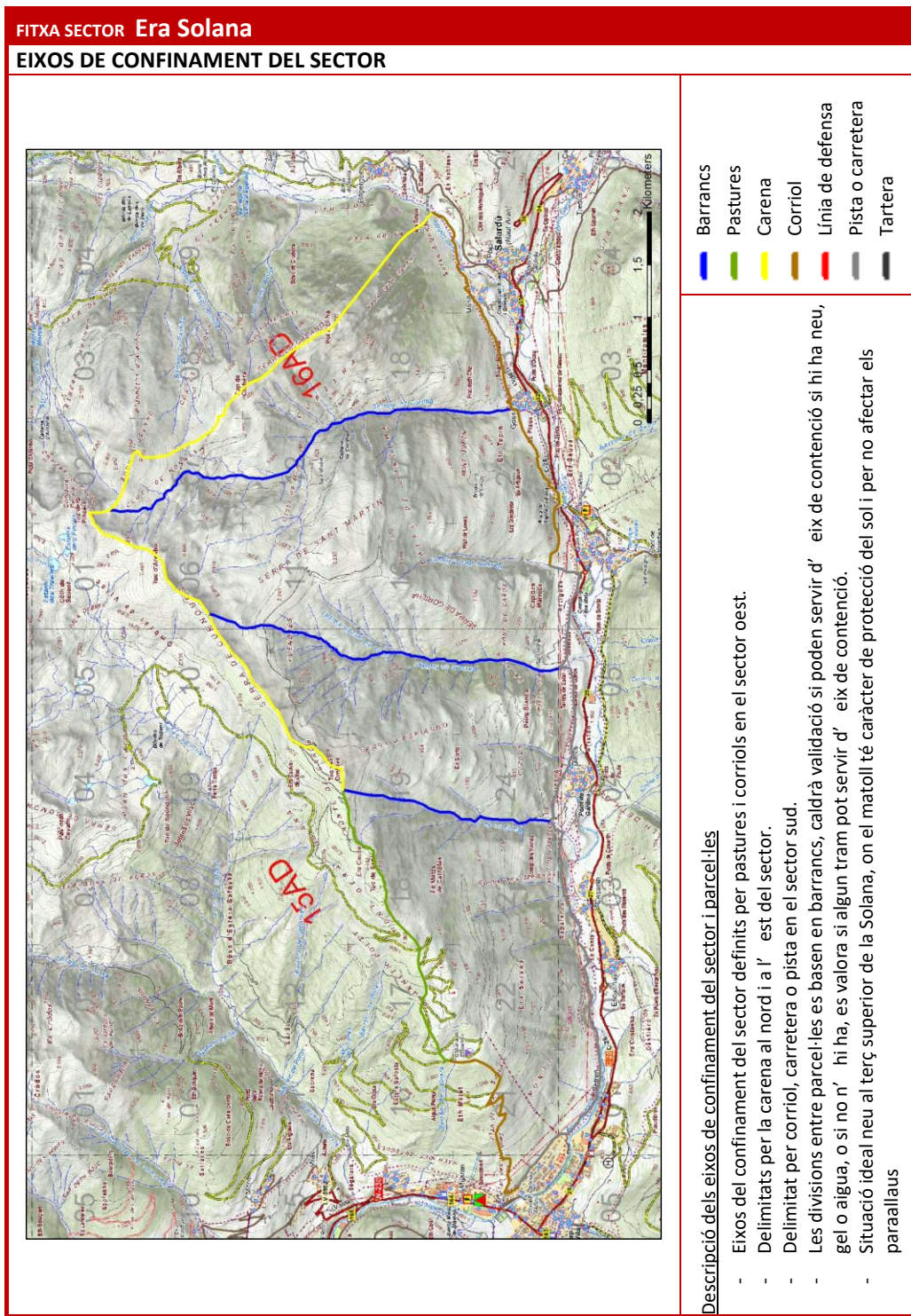
Wildfire-driven thunderstorms cause a volcano-like stratospheric injection of smoke. David A. Peterson, James R. Campbell, Edward J. Hyer, Michael D. Fromm, George P. Kablick, Joshua H



## 8. ANNEX

### 8.1 Fitxes sectors de gestió amb foc prescrit

FITXA SECTOR		Era Solana		
<b>DADES DEL SECTOR</b>				
Superfície total: 1.974 ha	Cotes:	Màxima – 2536 m	Mínima – 995 m	
Potència: 746 ha	Pendent:	Mitja – 45,25 %	Màxima – 75,5 %	
Perímetre: 24.663 m				
Exposició: Sud				
Objectius generals del sector	<input checked="" type="checkbox"/> Crema prescrita	<input checked="" type="checkbox"/> Gestió d'incendis		
<b>MAPA GENERAL DEL SECTOR</b>				
<b>ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ</b>				
Parcel·la	Paratge	Superfície (ha)	Cobertura dominant	Cobertura arbrada
A	Casariih	477	Matollar	Mixt
B	Garòs	395	Matollar	Mixt
C	Gessa	746	Matollar	P.sylvestris/Mixt
D	Unha	356	Prats alpins i Matollar	Mixt
<b>ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zones amb fortes pendents.</li> <li>- Barrancs poc transitables, risc en transitabilitat per aquests amb neu dura o gel.</li> <li>- Risc de caigudes en plaques de neu o gel.</li> <li>- Rodolaments i caiguda de pedres.</li> <li>- Rodolament de soques o tronc encesos que poden ficar punts de foc per sota el perímetre</li> </ul>				

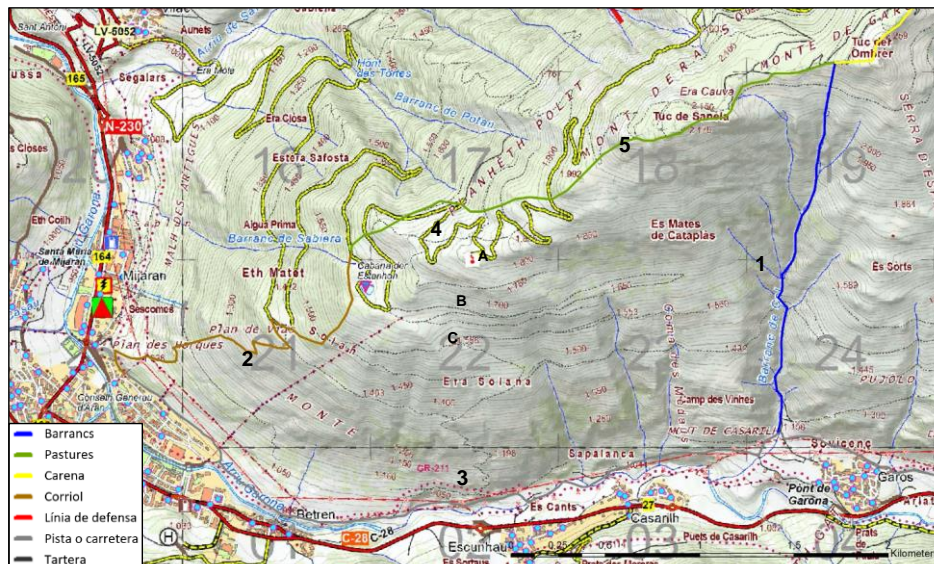


FITXA SECTOR **Era Solana****DETALL PARCEL·LES**

A – Casarilh

Superfície: 477 ha

Perímetre: 11435 m

**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendants tendència a obrir-se el flanc dret, serà el motor de l'incendi, preveure ancoratge en el *barranc de cal*, eix de contenció per l'est.
- 2- Primera meitat del flanc esquerra s'ancora en corriol, valorar l'ancoratge, eix de confinament per l'oest.  
De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats.
- 3- Tota la cua s'ancora en pista, valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge.
- 4- Segona meitat del flanc esquerra ancoratge en pastures i en pista.
- 5- Zona del cap ancorat en carena i terrasses de repoblacions.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

## Elements vulnerables

- A. Antenes zona Planheth Polit, zona central de la carena.
- B. Estació sísmica Val d'Aran, al costat d'Estanho de Vilac.
- C. Cabana dera Solana d'Escunhau, part central sota l'estació sísmica.

## Condicionants

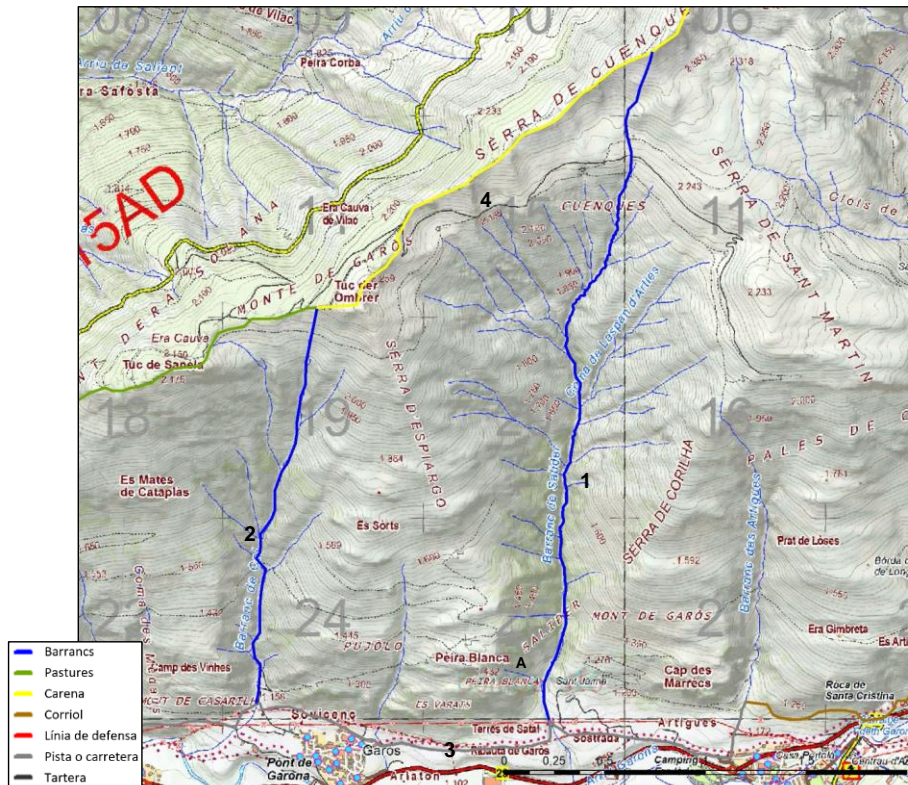
- De nit, amb estabilitat tèrmica possible afectació i acumulació de fum a la zona de Vielha, Betren, Escunhau i Casarilh.
- Valorar accessibilitat per la pista de l'obaga i carenera, possible acumulació de neu i gel fent-la impracticable per vehicles.

FITXA SECTOR **Era Solana****DETALL PARCEL·LES**

B – Garòs

Superfície: 395 ha

Perímetre: 9584 m

**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendants tendència a obrir-se el flanc dret, serà el motor de l'incendi, preveure ancoratge en el *barranc de Salider*, eix de contenció per l'est.
- 2- Flanc esquerra s'ancora en el *barranc de Cal*, valorar l'ancoratge, eix de contenció per l'oest.  
De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats.
- 3- Tota la cua s'ancora en pista i la població de Garòs, valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge i preveure vehicles de protecció al nucli.
- 4- Zona del cap ancorat en carena i terrasses de repoblacions.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

## Elements vulnerables

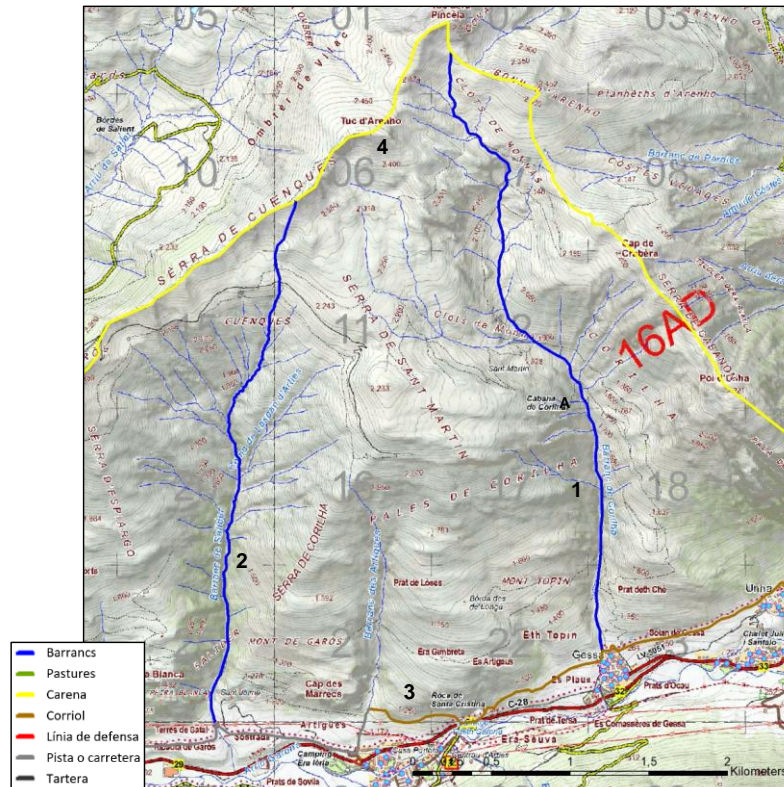
- A. Cabana d'Espiarço, zona sud-est.

## Condicionants

- De nit, amb estabilitat tèrmica possible afectació i acumulació de fum a la zona de Garòs.

FITXA SECTOR **Era Solana****DETALL PARCEL·LES**

C – Arties/Gessa

Superfície: 746 ha  
Perímetre: 12729 m**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendants tendència a obrir-se el flanc dret, serà el motor de l'incendi, preveure ancoratge en el *barranc de Corilha*, eix de contenció per l'est.
- 2- Flanc esquerra s'ancora en el *barranc de Salider*, valorar l'ancoratge, eix de contenció per l'oest. De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats.
- 3- Tota la cua s'ancora en pista o corriol, valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge i preveure vehicles de protecció al nucli a la població de Gessa.
- 4- Zona del cap ancorat en carena.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

Elements vulnerables

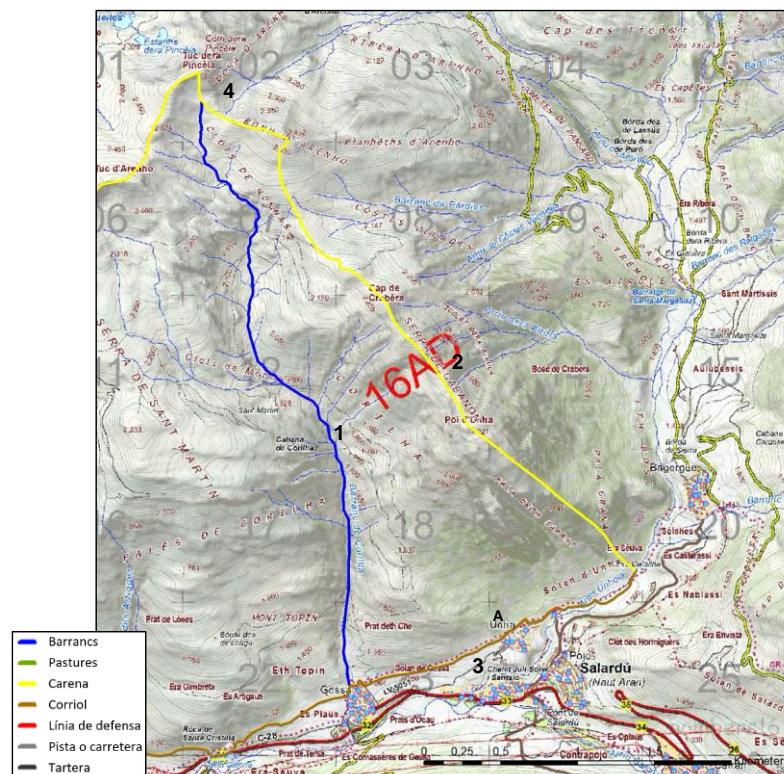
- A. Cabana de Corilha, zona est.

Condicionants

- De nit, amb estabilitat tèrmica possible afectació i acumulació de fum a la zona de Gessa i Arties.

FITXA SECTOR **Era Solana****DETALL PARCEL·LES**

C – Unha

Superfície: 356 ha  
Perímetre: 11008 m**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- L'obertura del flanc esquerra serà el motor de l'incendi, preveure ancoratge en el *barranc de Corilha*, eix de contenció per l'oest. Amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats
- 2- Flanc dret s'ancora en la carena de la serra de Cabanon, eix de confinament. Valorar monitorització possibles llengües descendents a l'est de la carena.
- 3- Tota la cua s'ancora en pista o corriol, valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge i preveure vehicles de protecció al nucli a la població de Unha.
- 4- Zona del cap ancorat en carena.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

Elements vulnerables

- A. El nucli de Unha.

Condicionants

- De nit, amb estabilitat tèrmica possible afectació i acumulació de fum a la zona de Unha, Salardú i Gessa.

FITXA SECTOR <b>Era Solana</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
Condicionants (ecològics econòmics i socials)					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matollar per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matollar i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE GESTIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de foc observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hi ha neu a les obagues ni als barrancs, els barrancs estan secs.</li> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIUS I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFp), a 10 anys					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP02	1974	746	S	tardor-hivern	10
Parcel·la A, Casarilh (Solana Vielha)			Valor mínim	Valor màxim	
Rang de resultats					
Arbres morts (%)			0	10	
Arbustos morts (%)			50	100	
Regenerat mort (%)			-	-	
Altura de carbonització (m)			-	-	
Superfície herbàcia cremada (%)			50	100	
Superfície fullaraca cremada (%)			-	-	
Superfície d'arbustos cremada (%)			50	100	
Superfície arbòria cremada (%)			10	100	
Peus de conífera morts (%)			0	20	
Peus de frondosa morts (%)			0	10	

Parcel·la B, Garòs (Solana Vielha) Rang de resultats	Valor mínim	Valor màxim
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	-	-
Altura de carbonització (m)	-	-
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	-	-
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

Parcel·la C, Gessa (Solana Vielha) Rang de resultats	Valor mínim	Valor màxim
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	0	50
Altura de carbonització (m)	0.15	1
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	0	100
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

Parcel·la D, Unha (Solana Vielha) Rang de resultats	Valor mínim	Valor màxim
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	-	-
Altura de carbonització (m)	-	-
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	-	-
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10



**Finestra Marc**

<i>Variable</i>	<i>Dia</i>	<i>Valor</i>	<i>Observacions</i>
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc. No penetri foc de subsol per la gleva.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	
Tmx (°C)	0	25	
HR min (%)	0	> 20	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+3	15	Sense vent destacable
HR min (%)	+3	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+3	0-15	

## FITXA SECTOR

## Serra d'Auba

## DADES DEL SECTOR sGIP03

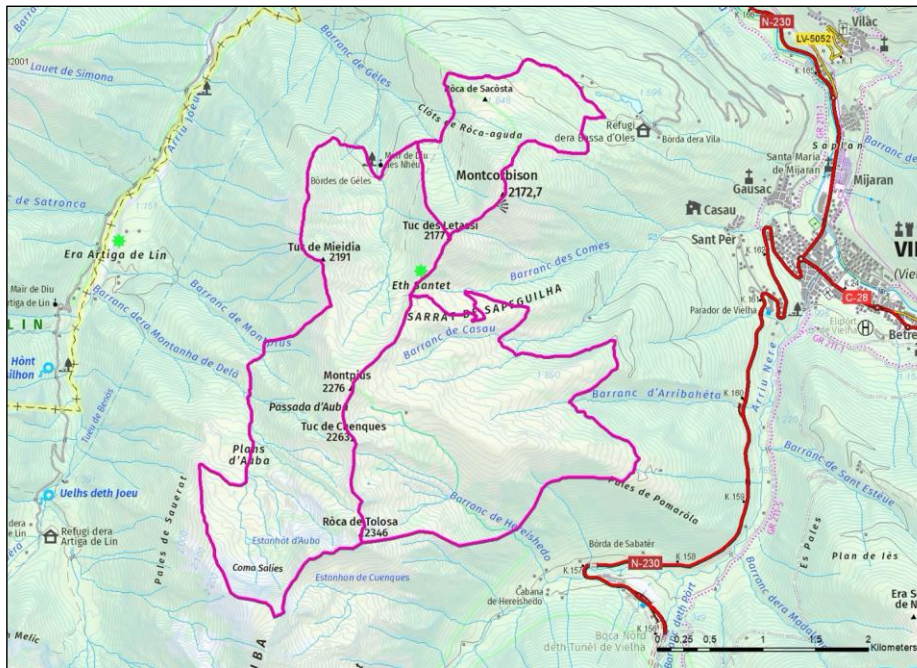
Superfície total: 1043 ha  
 Potència: 460 ha  
 Perímetre: 23.110 m  
 Exposició: --

Cotes: Màxima – 2456 m  
 Mínima – 1633 m  
 Pendent: Mitja – 23,4 %  
 Màxima – 62,9 %

Objectius generals del sector

 Crema prescrita Gestió d'incendis

## MAPA GENERAL DEL SECTOR

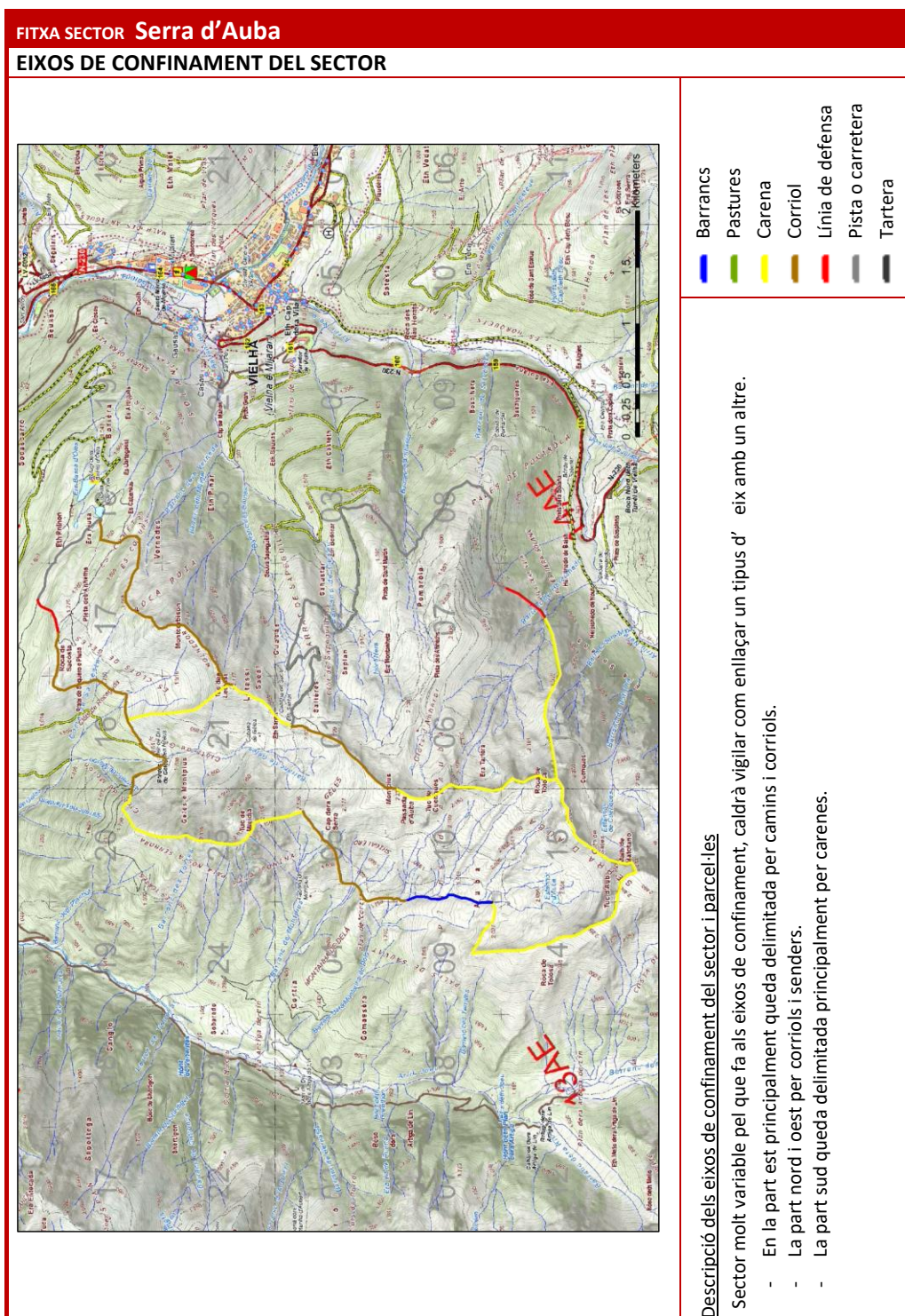


## ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ

Parcel·la	Paratge	Superfície (ha)	Cobertura dominant	Cobertura arbrada
A	Montcorbison	150	Matollar i prats alpins	P.uncinata
B	Mair de Diu des Nhèus	460	Prats alpins	-
C	Pomarola	433	Prats alpins	-

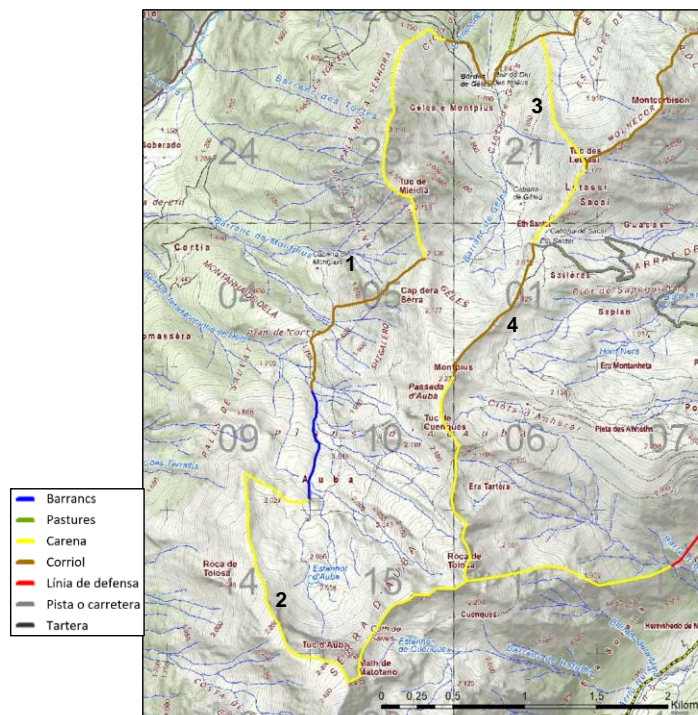
## ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR

- Zones amb fortes pendents.
- Barrancs poc transitables.
- risc en transitabilitat per zones amb neu dura o gel
- Rodolaments i caiguda de pedres.
- Sector amb possibles forats de cobertura de xarxa Tetra i de telefonia.
- Dificultat per ubicar guaites amb visió general del sector.



**FITXA SECTOR Serra d'Auba****DETALL PARCEL·LES**

B – Mair de Diu des Nhèus

Superfície: 460 ha  
Perímetre: 13.177 m**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- La part baixa de la parcel·la s'ha d'ancorar en pastures, passos de bestiar, barrancs i discontinuïtats de combustible, cal valorar la finestra per a l'ancoratge de la cua, i si cal ampliar la discontinuïtat de combustible segons comportament del foc.  
De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats.
- 2- De dia, amb vents topogràfics ascendents tendència a obrir-se el flanc dret, preveure ancoratge en la carena de la serra d'Auba.
- 3- Flanc esquerra s'ancora en corriols i carena en el sector de la *Mair de Diu des Nhèus*. De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se el flanc esquerra.
- 4- Zona del cap ancorat en carena canvis de vessant, límit amb la parcel·la de Pomarola.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

## Elements vulnerables

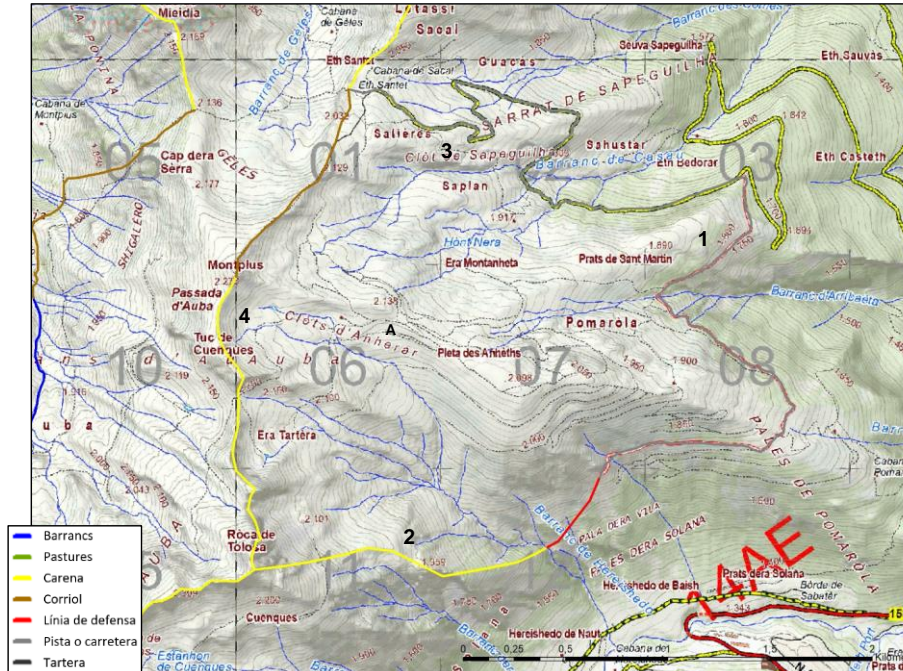
- Cap element vulnerable a destacar

## Condicionants

- Cap condicionant a destacar.

FITXA SECTOR **Serra d'Auba****DETALL PARCEL·LES**

C – Pomarola

Superfície: 433 ha  
Perímetre: 11089 m**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- La cua s'ancora en pistes i corriols, preveure la finestra d'ancoratge de la cua.
- 2- De dia, amb vents topogràfics ascendents tendència a obrir-se el flanc esquerra, preveure ancoratge en la en barranc de *Hereishedo* i la carena que porta a la carena de *Roca de Tolosa*.
- 3- Flanc dret s'ancora en la pista que porta a *Eth Santet*, valorar l'ancoratge, eix de contenció pel nord. De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc dret, valorar canvi de prioritats.
- 4- Zona del cap ancorat en carena.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

Elements vulnerables

- A. Cabana dels Clòts d'Anherar .

Condicionants

- Zona boscosa per sota de la parcel·la, caldrà assegurar l'ancoratge en la cua de la parcel·la .

FITXA SECTOR <b>Serra d'Auba</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
Condicionants (ecològics econòmics i socials)					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matollar per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matollar i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE GESTIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de focs observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hi ha neu a les obagues ni als barrancs, els barrancs estan secs.</li> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIUS I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
<b>CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFP), a 10 anys</b>					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP12	806	346	S	tardor-hivern	10
<b>Parcel·la Montcorbison (Serra d'Auba)</b>					
<b>Rang de resultats</b>		Valor mínim	Valor màxim		
Arbres morts (%)		0	10		
Arbustos morts (%)		50	100		
Regenerat mort (%)		-	-		
Altura de carbonització (m)		-	-		
Superfície herbàcia cremada (%)		50	100		
Superfície fullaraca cremada (%)		-	-		
Superfície d'arbustos cremada (%)		50	100		
Superfície arbòria cremada (%)		10	100		
Peus de conífera morts (%)		0	20		
Peus de frondosa morts (%)		0	10		

Parcel·la Mair de Diu des Nhèus Rang de resultats	Valor mínim	Valor màxim
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	-	-
Altura de carbonització (m)	-	-
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	-	-
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conífera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

Parcel·la Pomarola Rang de resultats	Valor mínim	Valor màxim
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	-	-
Altura de carbonització (m)	-	-
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	-	-
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conífera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

#### Finestra Marc

Variable	Dia	Valor	Observacions
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc. No penetri foc de subsol per la gleva.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	
Tmx (°C)	0	25	
HR min (%)	0	> 20	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+3	15	Sense vent destacable
HR min (%)	+3	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+3	0-15	

## FITXA SECTOR

## Montcorbau

## DADES DEL SECTOR sGIP04

Superfície total: 302 ha

Potència: 106 ha

Perímetre: 11.538 m

Exposició: Sud

Cotes: Màxima – 1323 m

Mínima – 862m

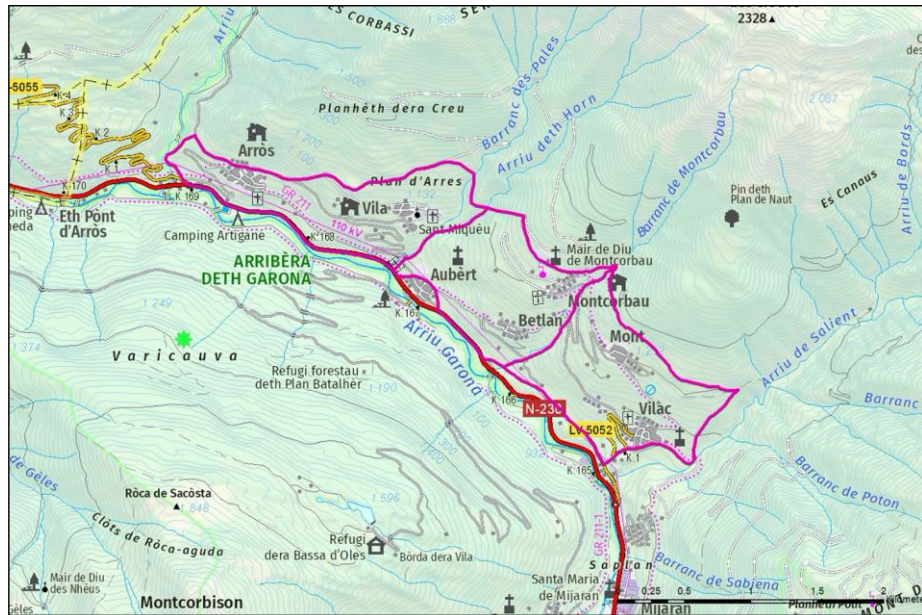
Pendent: Mitja – 38,9 %

Màxima – 81,1 %

Objectius generals del sector

 Crema prescrita Gestió d'incendis

## MAPA GENERAL DEL SECTOR



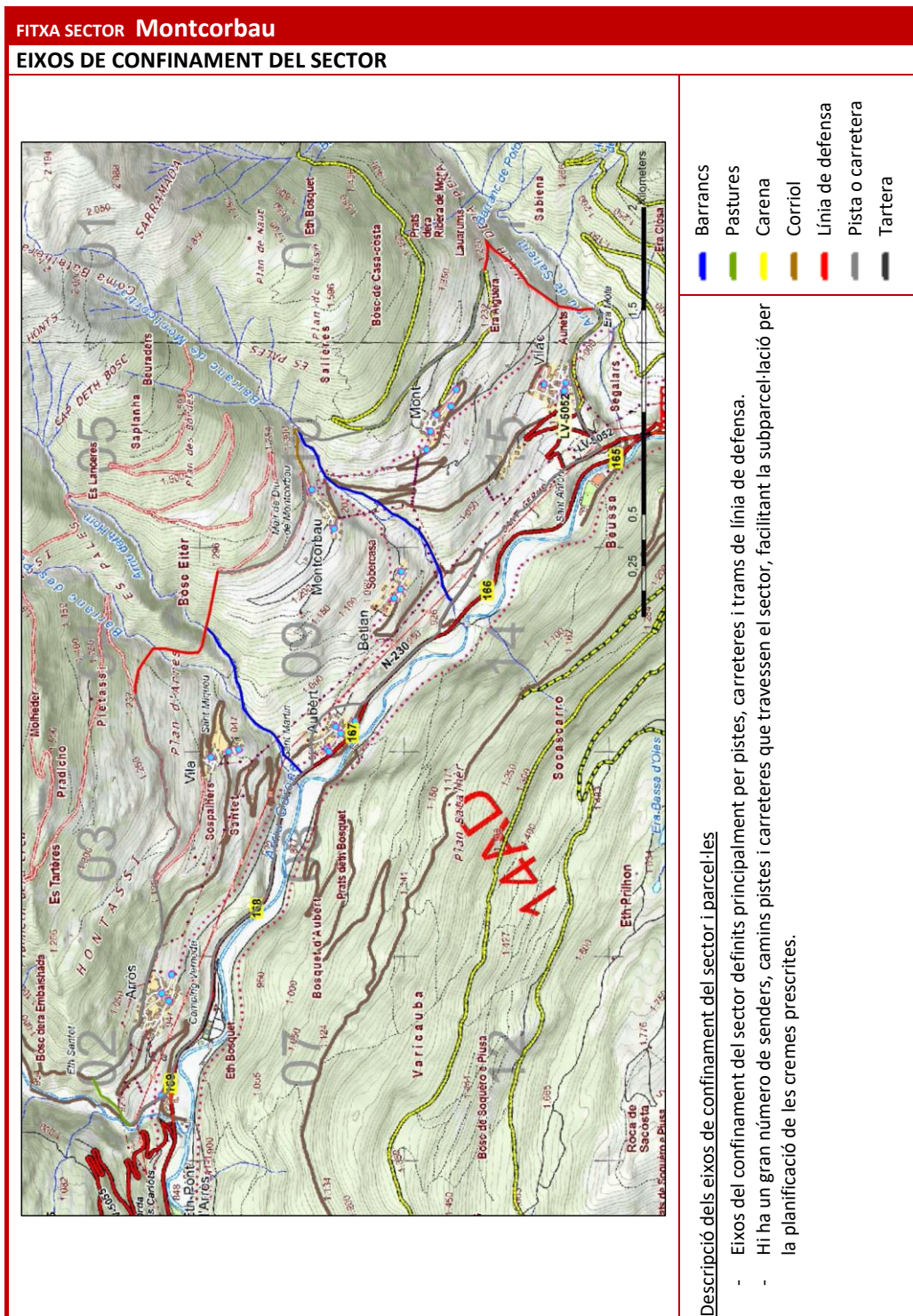
## ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ

Parcel·la	Paratge	Superfície (ha)	Cobertura dominant	Cobertura arbrada
A	Vilac	106	Matollar i camps	-
B	Vila	95	Matollar i camps	-
C	Betlan	101	Matollar i camps	P.sylvestris

## ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR

- Zones amb fortes pendents.
- Rodolaments i caiguda de pedres.
- Rodolaments de troncs i soques enceses facilitant ignicions per sota del perímetre.
- Sector amb poblacions, camins i carreters.





FITXA SECTOR <b>Montcorbau</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
Condicionants (ecològics econòmics i socials)					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matollar per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matollar i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE PRESCRIPCIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de focs observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIUS I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
<b>CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFP), a 10 anys</b>					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP04	302	106	S	tardor-hivern	10
<b>Parcel·la A, Vilac (Montcorbau)</b>			<b>Valor mínim</b>	<b>Valor màxim</b>	
<b>Rang de resultats</b>					
Arbres morts (%)			0	10	
Arbustos morts (%)			50	100	
Regenerat mort (%)			-	-	
Altura de carbonització (m)			-	-	
Superfície herbàcia cremada (%)			50	100	
Superfície fullaraca cremada (%)			-	-	
Superfície d'arbustos cremada (%)			50	100	
Superfície arbòria cremada (%)			10	100	
Peus de conifera morts (%)			0	20	
Peus de frondosa morts (%)			0	10	

Parcel·la A, Betlan (Montcorbau) Rang de resultats	Valor mínim	Valor màxim
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	-	-
Altura de carbonització (m)	-	-
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	-	-
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

Parcel·la A, Betlan (Montcorbau) Rang de resultats	Valor mínim	Valor màxim
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	-	-
Altura de carbonització (m)	-	-
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	-	-
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

#### Finestra Marc

Variable	Dia	Valor	Observacions
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	No penetri foc de subsol per la gleva.
Tmx (°C)	0	25	
HR min (%)	0	> 30	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+1	15	Sense vent destacable
HR min (%)	+1	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+1	0-15	

## FITXA SECTOR

## PALES DE CRÒDOS

## DADES DEL SECTOR sGIP05

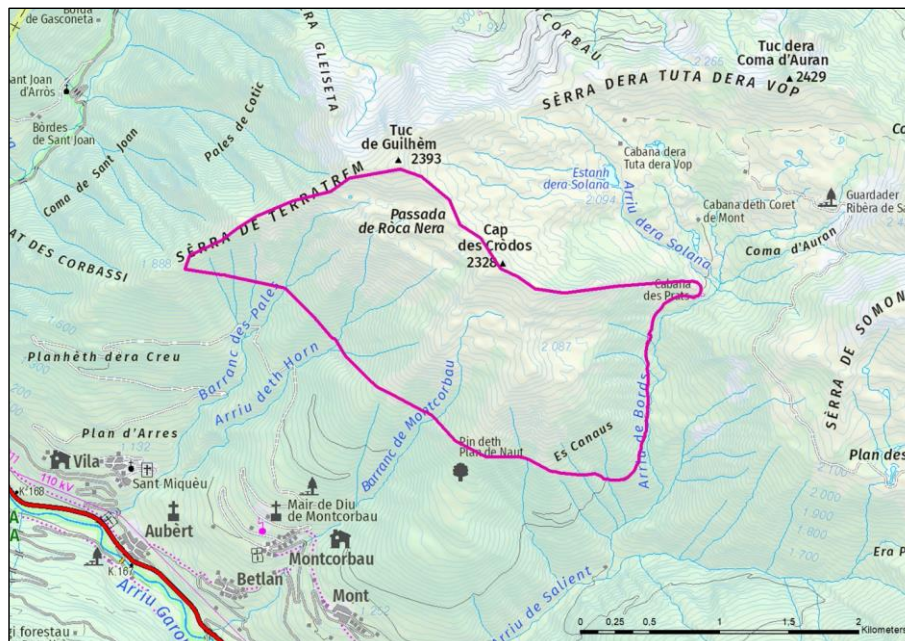
Superfície total: 382 ha  
 Potència: 382 ha  
 Perímetre: 9.717 m  
 Exposició: Sud, Sud-Ost

Cotes: Màxima – 2375 m  
 Mínima – 1571 m  
 Pendent: Mitja – 48,3 %  
 Màxima – 72,4 %

Objectius generals del sector

 Crema prescrita Gestió d'incendis

## MAPA GENERAL DEL SECTOR

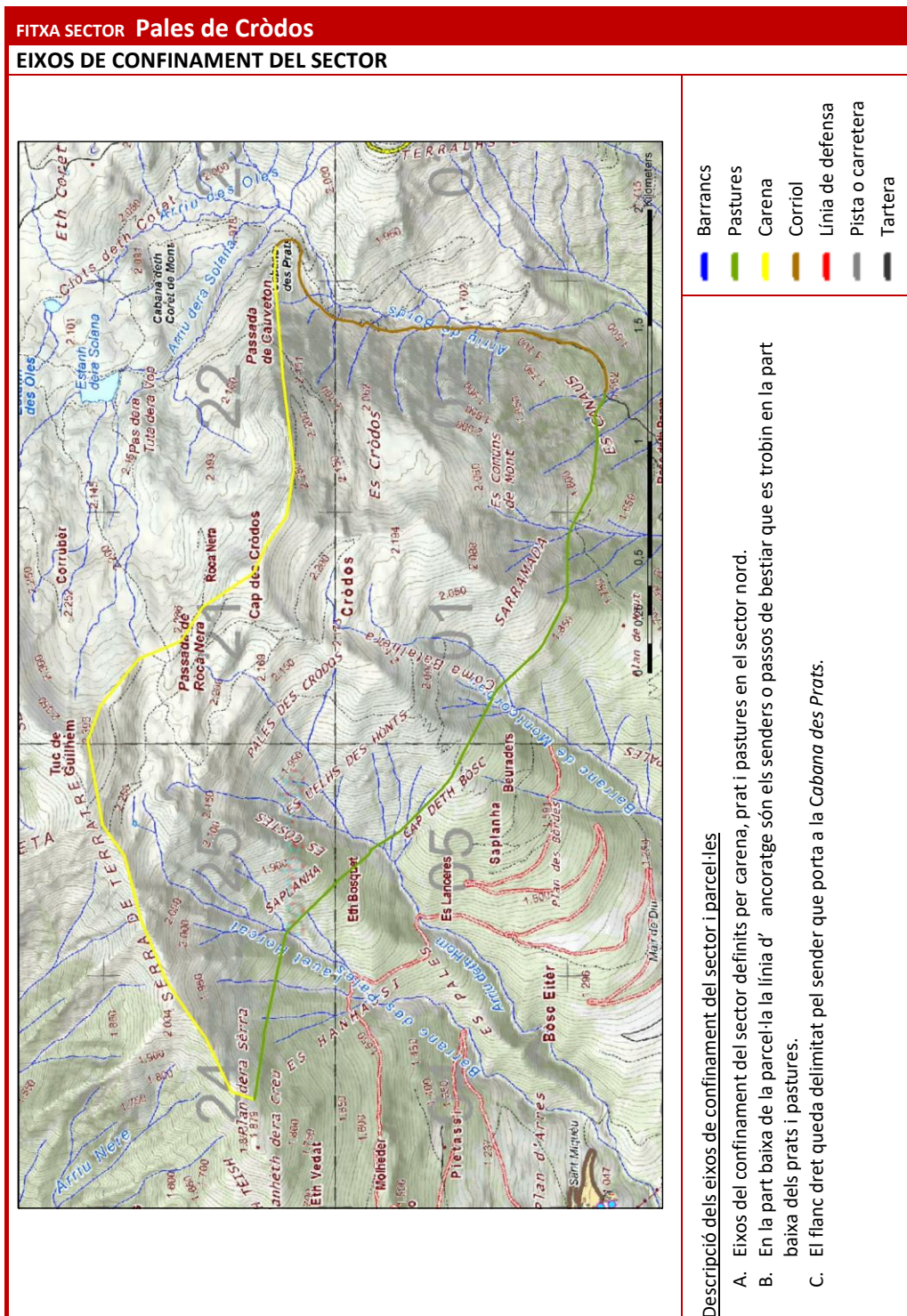


## ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ

Parcel·la	Paratge	Superfície (ha)	Cobertura dominant	Cobertura arbrada
A	Pales de Cròdos	382	Matollar i prats alpins	P.sylvestris

## ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR

- Zones amb fortes pendents.
- Risc en transitabilitat per aquests amb neu dura o gel
- Rodolaments i caiguda de pedres.
- Rodolaments de troncs i soques enceses facilitant ignicions per sota del perímetre.
- Dificultat per ubicar guaites amb visió general del sector.

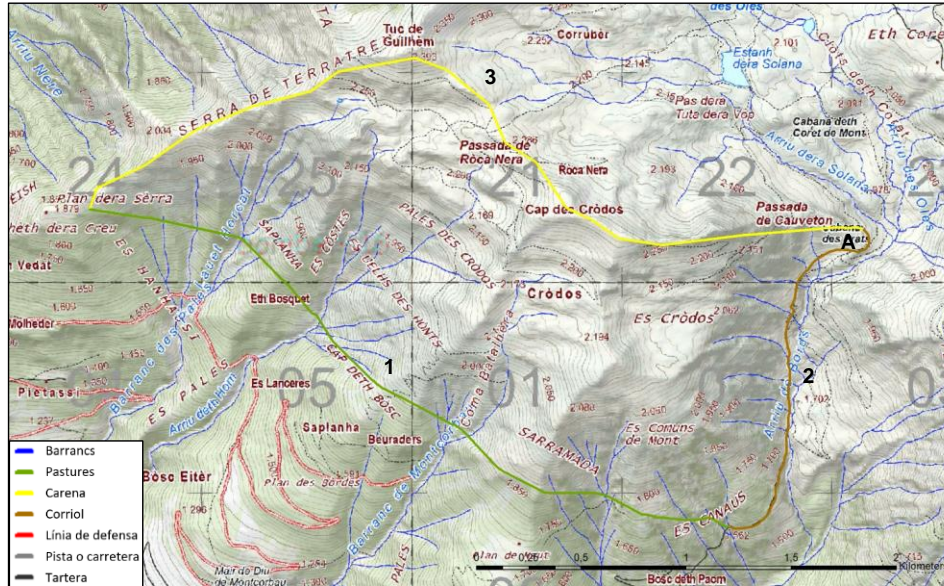


**FITXA SECTOR Pales de Cròdos****DETALL PARCEL·LES**

A – Pales de Cròdos

Superfície: 382 ha

Perímetre: 9.717 m

**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- La part baixa de la parcel·la s'ha d'ancorar en pastures, passos de bestiar i discontinuïtats de combustible, cal valorar la finestra per a l'ancoratge de la cua, i si cal ampliar la discontinuïtat de combustible segons comportament del foc.  
De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats.
- 2- De dia, amb vents topogràfics ascendents tendència a obrir-se el flanc dret, preveure ancoratge en el sender que porta a la Cabana des Prats.
- 3- La zona del cap i flanc esquerra s'ancora en la carena.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

Elements vulnerables

- A. La Cabana des Prats.

Condicionants

- Sense condicionants a destacar.

FITXA SECTOR <b>Pales de Cròdos</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
Condicionants (ecològics econòmics i socials)					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matollar per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matollar i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE GESTIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de focs observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hi ha neu a les obagues ni als barrancs, els barrancs estan secs.</li> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIUS I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
<b>CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFP), a 10 anys</b>					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP05	382	382	S	tardor-hivern	10
<b>Parcel·la Pales de Cròdos</b>			<b>Valor mínim</b>	<b>Valor màxim</b>	
<b>Rang de resultats</b>					
Arbres morts (%)			0	10	
Arbustos morts (%)			50	100	
Regenerat mort (%)			-	-	
Altura de carbonització (m)			-	-	
Superfície herbàcia cremada (%)			50	100	
Superfície fullaraca cremada (%)			-	-	
Superfície d'arbustos cremada (%)			50	100	
Superfície arbòria cremada (%)			10	100	
Peus de conifera morts (%)			0	20	
Peus de frondosa morts (%)			0	10	

**Finestra Marc**

<i>Variable</i>	<i>Dia</i>	<i>Valor</i>	<i>Observacions</i>
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc. No penetri foc de subsol per la gleva.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	
Tmx (°C)	0	25	
HR min (%)	0	> 20	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+3	15	Sense vent destacable
HR min (%)	+3	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+3	0-15	



FITXA SECTOR		Vilamòs		
<b>DADES DEL SECTOR sGIP06</b>				
Superfície total: 519 ha	Cotes:	Màxima – 1502 m		
Potència: 519 ha		Mínima – 766m		
Perímetre: 16.302 m	Pendent:	Mitja – 38,9 %		
Exposició: Sud		Màxima – 81,1 %		
Objectius generals del sector	<input checked="" type="checkbox"/> Crema prescrita	<input type="checkbox"/> Gestió d'incendis		
<b>MAPA GENERAL DEL SECTOR</b>				
<b>ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ</b>				
Parcel·la	Paratge	Superfície (ha)	Cobertura dominant	Cobertura arbrada
A	Arres de Jos	519	Prats alpins i regenerat Quercus	Quercus humilis
<b>ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zones amb fortes pendents.</li> <li>- Rodolaments i caiguda de pedres.</li> <li>- Rodolaments de troncs i soques enceses facilitant ignicions per sota del perímetre.</li> <li>- Sector amb poblacions, camins i carreters.</li> </ul>				

FITXA SECTOR <b>Vilamòs</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
<b>Condicionants (ecològics econòmics i socials)</b>					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matoll per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matoll i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> <li>- En rodals d'arbrat dens, garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per mantenir una estructura forestal que permeti el comportament de focs de baixa i mitja intensitat. Tolerància al comportament d'antorxeig puntual per tal de crear espais de regenerat i/o diversificar masses denses monoespecífiques.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE PRESCRIPCIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de focs observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIU I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
<b>CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFP), a 10 anys</b>					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP06	519	519	S	tardor-hivern	10
<b>Parcel·la Arres de Jos (Vilamòs)</b>			<b>Valor mínim</b>	<b>Valor màxim</b>	
<b>Rang de resultats</b>					
Arbres morts (%)			0	10	
Arbustos morts (%)			50	100	
Regenerat mort (%)			0	50	
Altura de carbonització (m)			0.15	1	
Superfície herbàcia cremada (%)			50	100	
Superfície fullaraca cremada (%)			0	100	
Superfície d'arbustos cremada (%)			50	100	
Superfície arbòria cremada (%)			10	100	
Peus de conífera morts (%)			0	20	
Peus de frondosa morts (%)			0	10	

**Finestra Marc**

<i>Variable</i>	<i>Dia</i>	<i>Valor</i>	<i>Observacions</i>
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc. No penetri foc de subsol per la gleva.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	
Tmx (°C)	0	25	
HR min (%)	0	> 30	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+1	15	Sense vent destacable
HR min (%)	+1	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+1	0-15	

## FITXA SECTOR

## VARRADÒS

## DADES DEL SECTOR sGIP07

Superfície total: 818 ha

Potència: 417 ha

Perímetre: 21.701 m

Exposició: Sud

Cotes: Màxima – 2409 m

Mínima – 1567 m

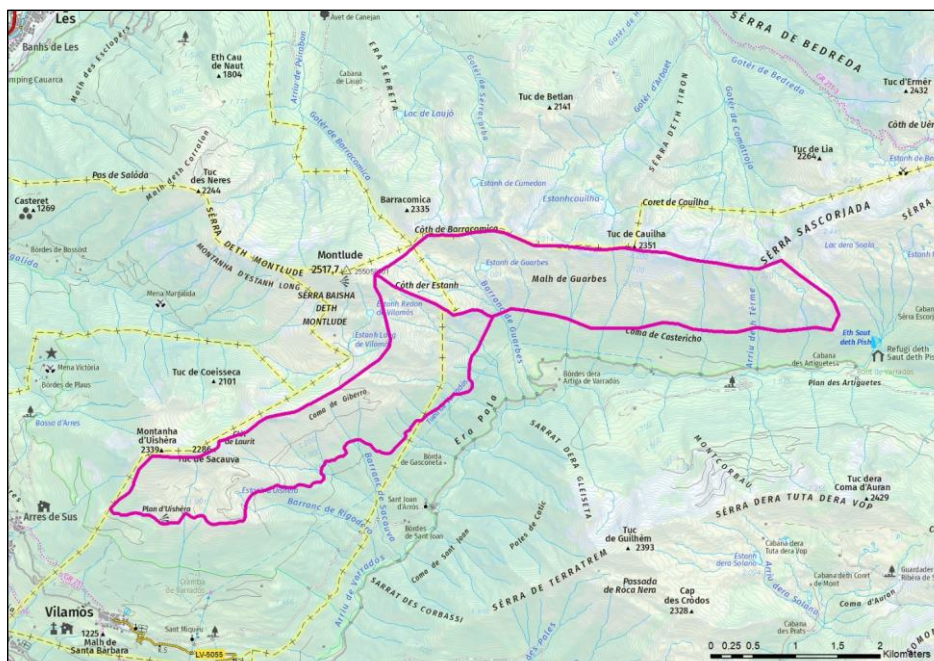
Pendent: Mitja – 40 %

Màxima – 85,4 %

Objectius generals del sector

 Crema prescrita Gestió d'incendis

## MAPA GENERAL DEL SECTOR

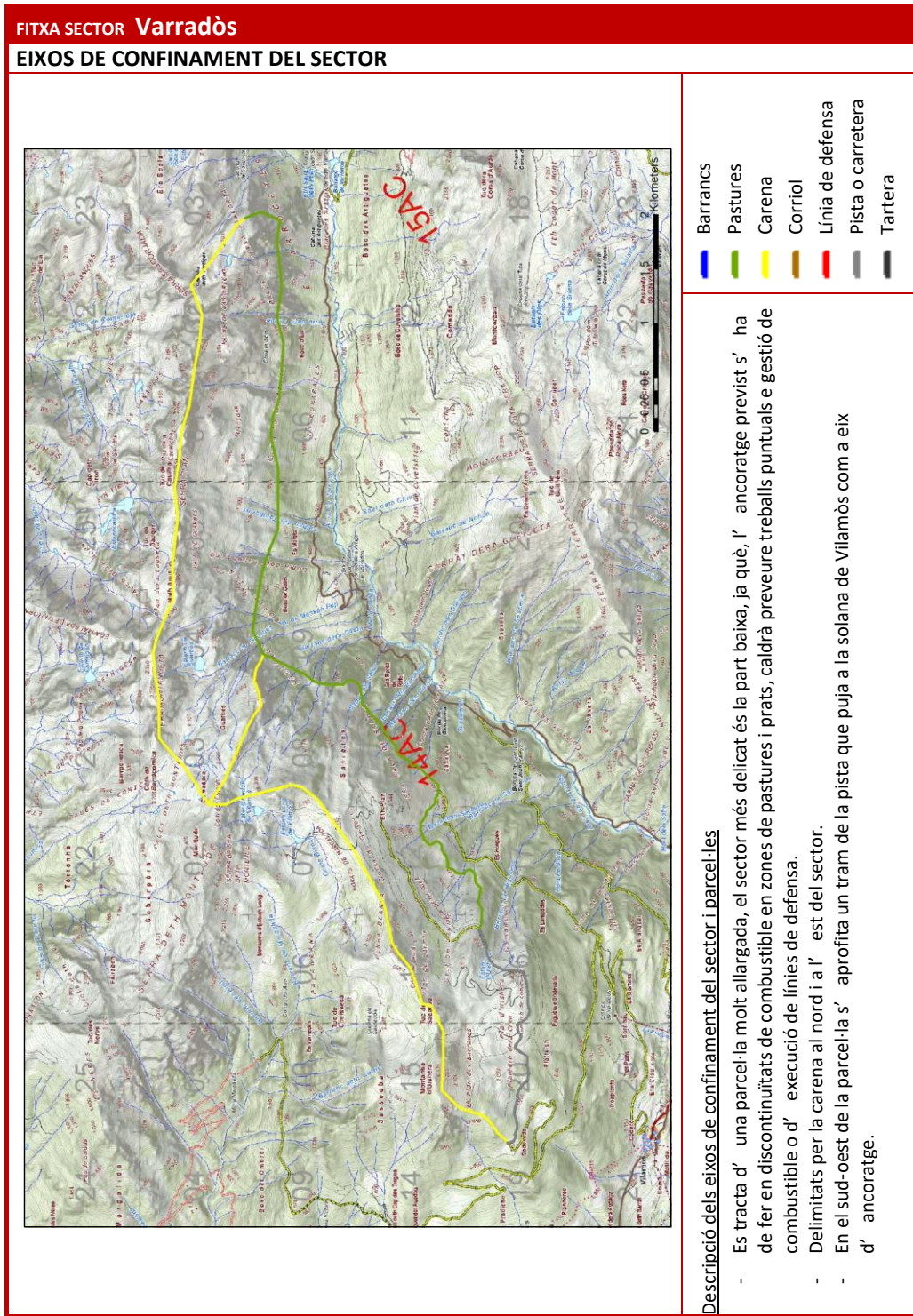


## ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ

Parcel·la	Paratge	Superfície (ha)	Cobertura dominant	Cobertura arbrada
A	Coma Giberro	401	Prats alpins	P.sylvestris/P.uncinata
B	Malh de Guarbes	417	Matollar i prats alpins	P.uncinata/F.sylvatica/A.Alba/P.sylvestris

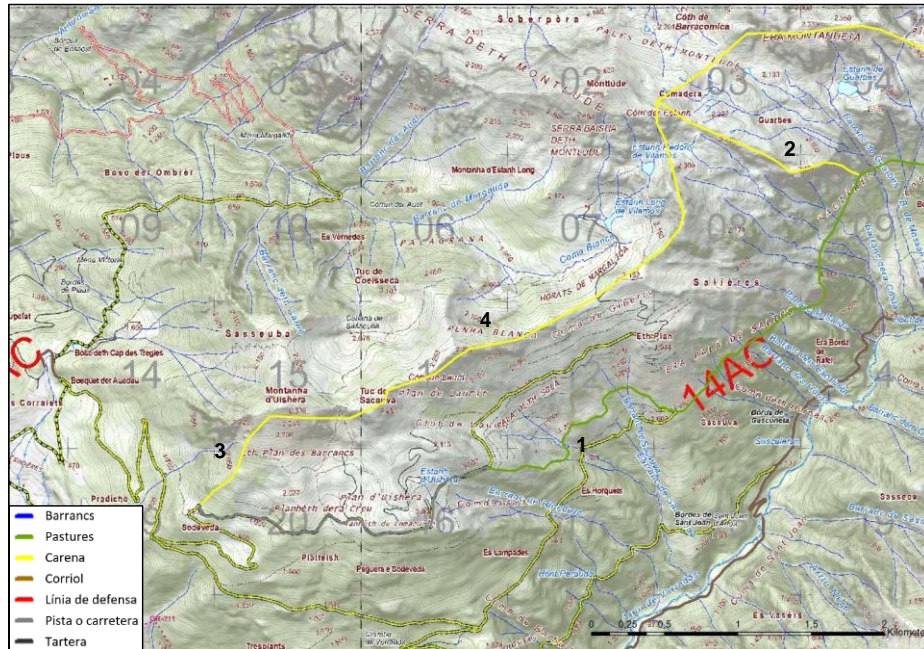
## ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR

- Zones amb fortes pendents.
- Barrancs poc transitables.
- Rodolaments i caiguda de pedres.
- Sector amb possibles forats de cobertura de xarxa Tetra i de telefonia.
- Dificultat per ubicar guaites amb visió general del sector.



FITXA SECTOR **Varradòs****DETALL PARCEL·LES**

A – Coma Giberro

Superfície: 401 ha  
Perímetre: 12.962 m**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendants tendència a obrir-se el flanc dret, serà el motor de l'incendi, al ser una parcel·la molt allargada caldrà preveure l'ancoratge per la part baixa de la parcel·la, en el sector més oest de la parcel·la, en una pista, el segon i tercer terç de la cua s'ha d'ancorar en discontinuïtats de combustible en zones de prats i pastures. Valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge, i si cal ampliar la discontinuïtat de combustible segons comportament del foc  
De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats
- 2- El flanc dret s'ancora en corriol i carena, valorar l'ancoratge, eix de confinament per l'est.
- 3- El flanc esquerra s'ancora en carena i canvi de vesant, caldrà estar atents al canvi de dinàmica de vents dia/nit, que pot estirar la primera meitat del flanc esquerra.
- 4- Zona del cap ancorat en carena i canvi de vesant.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

## Elements vulnerables

- Cap element vulnerable a destacar

## Condicionants

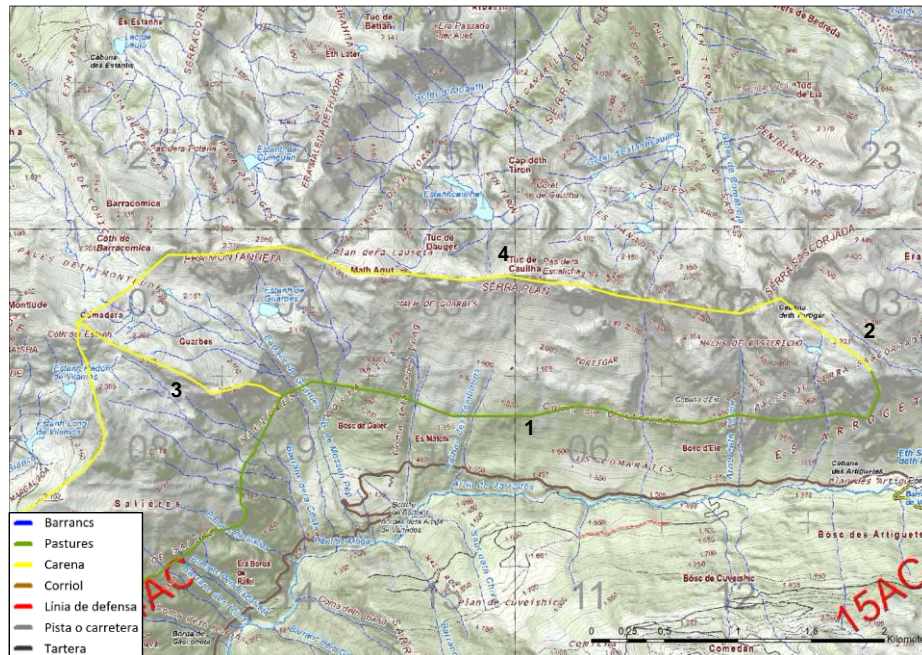
- De nit, amb estabilitat tèrmica possible afectació i acumulació de fum a la zona de la població de Vilamòs i Begós.
- Tot el sector per sota de la parcel·la és zona boscosa.

FITXA SECTOR **Varradòs****DETALL PARCEL·LES**

B – Malh de Guarbes

Superfície: 417 ha

Perímetre: 11.822 m

**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendants tendència a obrir-se el flanc dret, serà el motor de l'incendi, al ser una parcel·la molt allargada caldrà preveure l'ancoratge per la part baixa de la parcel·la, així primera prioritat assegurar la cua, aquesta s'ha d'ancorar en discontinuïtats de combustible en zones de prats i pastures. Valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge, i si cal ampliar la discontinuïtat de combustible segons comportament del foc  
De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats
- 2- El flanc dret s'ancora en carena, valorar l'ancoratge, eix de confinament per l'est.
- 3- El flanc esquerra s'ancora en carena, caldrà estar atents al canvi de dinàmica de vents dia/nit, que pot estirar la primera meitat del flanc esquerra.
- 4- Zona del cap ancorat en carena i canvi de vesant.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

Elements vulnerables

- Cap element vulnerable a destacar

Condicionants

- Tot el sector per sota de la parcel·la és zona boscosa.

FITXA SECTOR <b>Varradòs</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
Condicionants (ecològics econòmics i socials)					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matollar per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matollar i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> <li>- En rodals d'arbrat dens, garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per mantenir una estructura forestal que permeti el comportament de focs de baixa i mitja intensitat. Tolerància al comportament d'antorxeig puntual per tal de crear espais de regenerat i/o diversificar masses denses monoespecífiques.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE GESTIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de focs observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hi ha neu a les obagues ni als barrancs, els barrancs estan secs.</li> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIUS I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFp), a 10 anys					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP12	806	346	S	tardor-hivern	10
Parcel·la A, Coma Giberro (Varradòs)			Valor mínim	Valor màxim	
Rang de resultats					
Arbres morts (%)			0	10	
Arbustos morts (%)			50	100	
Regenerat mort (%)			0	50	
Altura de carbonització (m)			0.15	1	
Superfície herbàcia cremada (%)			50	100	
Superfície fullaraca cremada (%)			0	100	
Superfície d'arbustos cremada (%)			50	100	
Superfície arbòria cremada (%)			10	100	
Peus de conífera morts (%)			0	20	
Peus de frondosa morts (%)			0	10	



Parcel·la B Malh de Guarbes (Varradòs)	Valor mínim	Valor màxim
Rang de resultats		
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	0	50
Altura de carbonització (m)	0.15	1
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	0	100
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

**Finestra Marc**

<i>Variable</i>	<i>Dia</i>	<i>Valor</i>	<i>Observacions</i>
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc. No penetri foc de subsol per la gleva.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	
Tmx (°C)	0	25	Sense vent destacable
HR min (%)	0	> 20	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+3	15	
HR min (%)	+3	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+3	0-15	

## FITXA SECTOR

## BORDES DE BOSSÒST

## DADES DEL SECTOR sGIP08

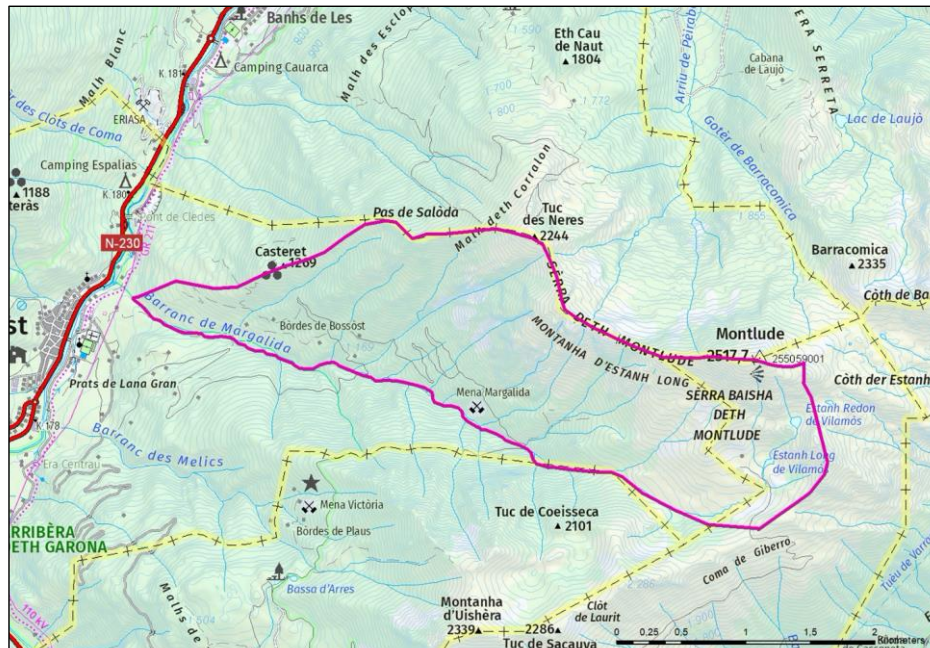
Superfície total: 552 ha  
 Potència: 552 ha  
 Perímetre: 12.936 m  
 Exposició: Sud

Cotes: Màxima – 2511 m  
 Mínima – 731 m  
 Pendent: Mitja – 91,3 %  
 Màxima – 48,56 %

Objectius generals del sector

 Crema prescrita Gestió d'incendis

## MAPA GENERAL DEL SECTOR

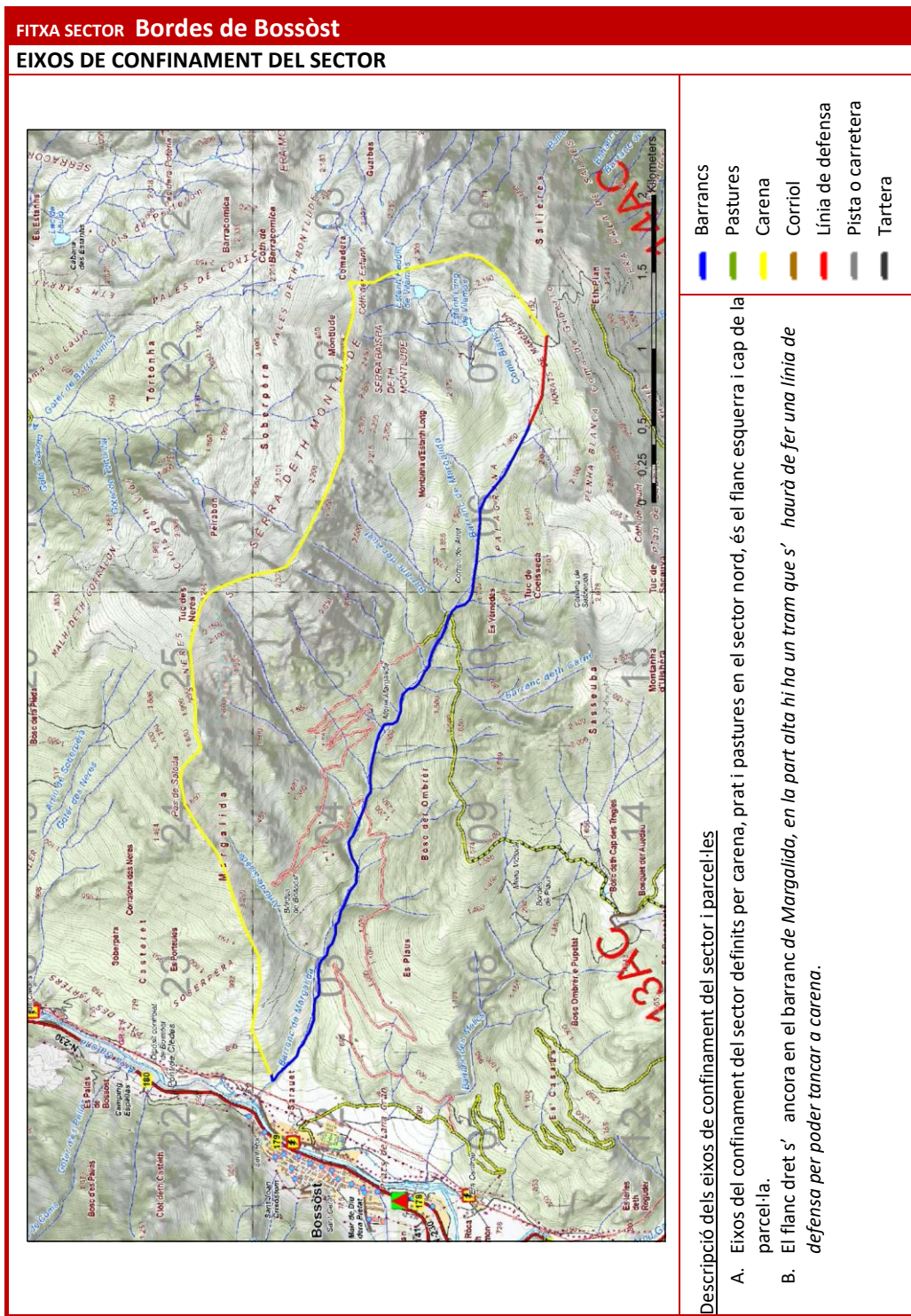


## ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ

Parcel·la	Paratge	Superfície (ha)	Cobertura dominant	Cobertura arbrada
A	Bordes Bossost	552	Arbrat mixt i prats alpins	A.Alba/P.uncinata/ F.sylvatica/Q.petraea

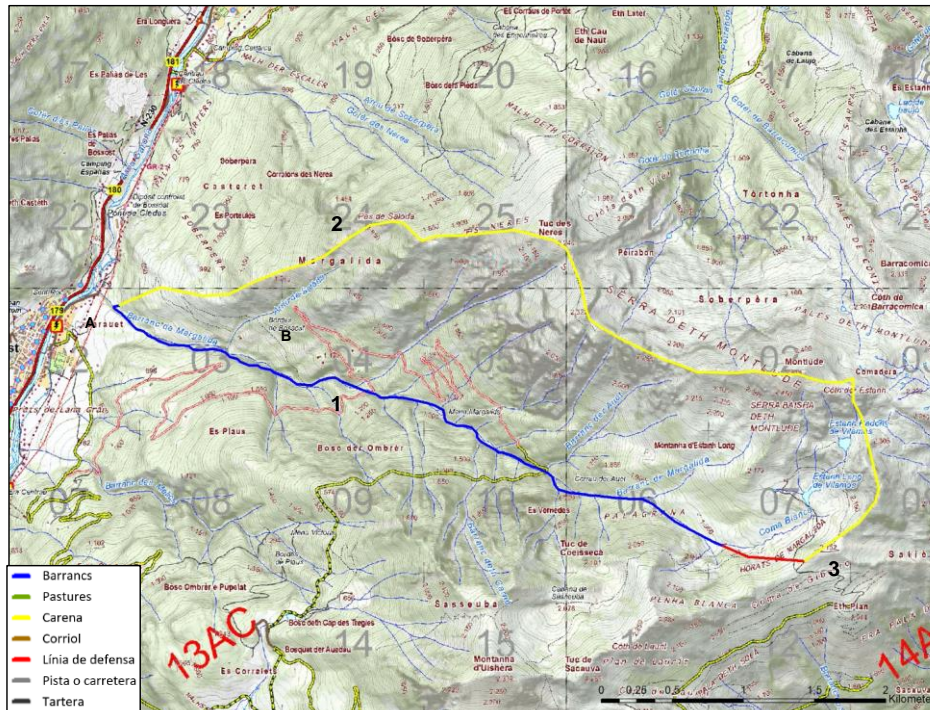
## ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR

- Zones amb fortes pendents.
- Barrancs poc transitables.
- Rodolaments i caiguda de pedres.
- Rodolaments de troncs i soques enceses facilitant ignicions per sota del perímetre.
- Zona boscosa amb possibilitat de caiguda d'arbres.
- Sector amb possibles forats de cobertura de xarxa Tetra i de telefonia.
- Dificultat per ubicar guaites amb visió general del sector



FITXA SECTOR **Bordes de Bossòst****DETALL PARCEL·LES**

A – Bordes de Bossòst

Superfície: 552 ha  
Perímetre: 12.936 m**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendants tendència a obrir-se el flanc dret, preveure ancoratge en el barranc de Margalida. Valorar l'ancoratge en el barranc, i si cal i aprofitar les discontinuïtats de combustible presents.
- 2- El flanc esquerre queda confinat el la carena i el canvi de pendent i orientació.
- 3- Zona del cap ancorat en carena, evitar el pas a la solana de Vilamos, sector sGIP07

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

## Elements vulnerables

- A. El nucli de Bossòst.
- B. Bordes de Bossòst

## Condicionants

- De nit, amb estabilitat tèrmica possible afectació i acumulació de fum a la vall principal, afectació al nucli de Bossòst i a la carretera N-230

FITXA SECTOR <b>Bordes de Bossòst</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
<b>Condicionants (ecològics econòmics i socials)</b>					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matollar per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matollar i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> <li>- En rodals d'arbrat dens, garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per mantenir una estructura forestal que permeti el comportament de focs de baixa i mitja intensitat. Tolerància al comportament d'antorxeig puntual per tal de crear espais de regenerat i/o diversificar masses denses monoespecífiques.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE GESTIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de focs observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hi ha neu a les obagues ni als barrancs, els barrancs estan secs.</li> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIUS I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
<b>CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFP), a 10 anys</b>					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP08	552	552	S	tardor-hivern	10
<b>Parcel·la A, Les</b>			<b>Valor mínim</b>	<b>Valor màxim</b>	
<b>Rang de resultats</b>					
Arbres morts (%)			0	10	
Arbustos morts (%)			50	100	
Regenerat mort (%)			0	50	
Altura de carbonització (m)			0.15	1	
Superfície herbàcia cremada (%)			50	100	
Superfície fullaraca cremada (%)			0	100	
Superfície d'arbustos cremada (%)			50	100	
Superfície arbòria cremada (%)			10	100	
Peus de conífera morts (%)			0	20	
Peus de frondosa morts (%)			0	10	

**Finestra Marc**

<i>Variable</i>	<i>Dia</i>	<i>Valor</i>	<i>Observacions</i>
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc. No penetri foc de subsol per la gleva.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	
Tmx (°C)	0	25	
HR min (%)	0	> 20	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+3	15	Sense vent destacable
HR min (%)	+3	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+3	0-15	

## FITXA SECTOR

## BOSSÒST

## DADES DEL SECTOR sGIP09

Superfície total: 350 ha  
 Potència: 350 ha  
 Perímetre: 15.260 m  
 Exposició: Sud, Sud-est

Cotes: Màxima – 2016 m  
 Mínima – 718 m  
 Pendent: Mitja – 83,7 %  
 Màxima – 41,8 %

Objectius generals del sector

 Crema prescrita Gestió d'incendis

## MAPA GENERAL DEL SECTOR

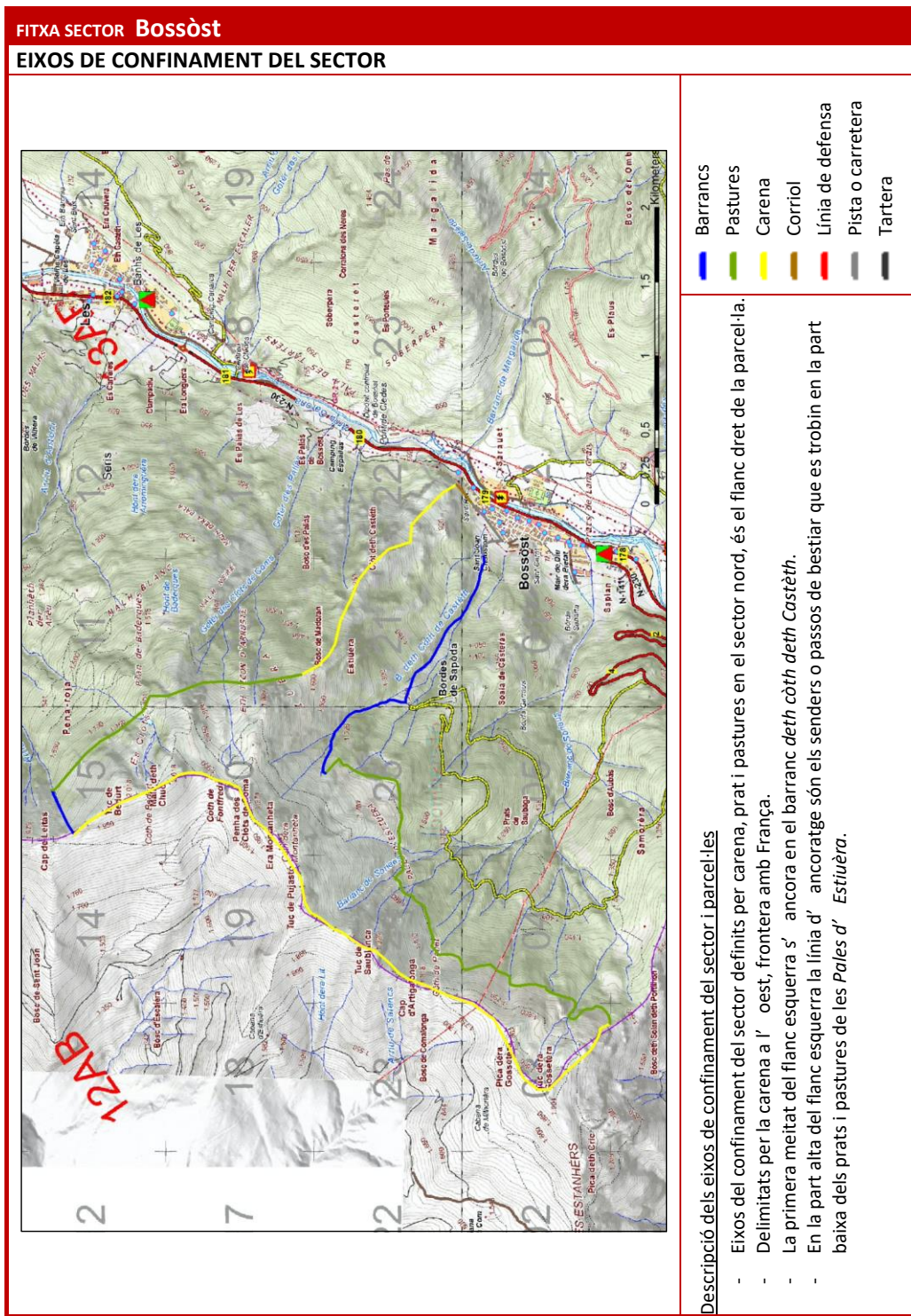


## ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ

Parcel·la	Paratge	Superfície (ha)	Cobertura dominant	Cobertura arbrada
A	Pales d'Estiuèra	350	Matollar, Bosc obert i pastures	Q.petraea/F.sylvatica

## ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR

- Zones amb fortes pendents.
- Barrancs poc transitables.
- Rodolaments i caiguda de pedres.
- Rodolaments de troncs i soques enceses facilitant ignicions per sota del perímetre.

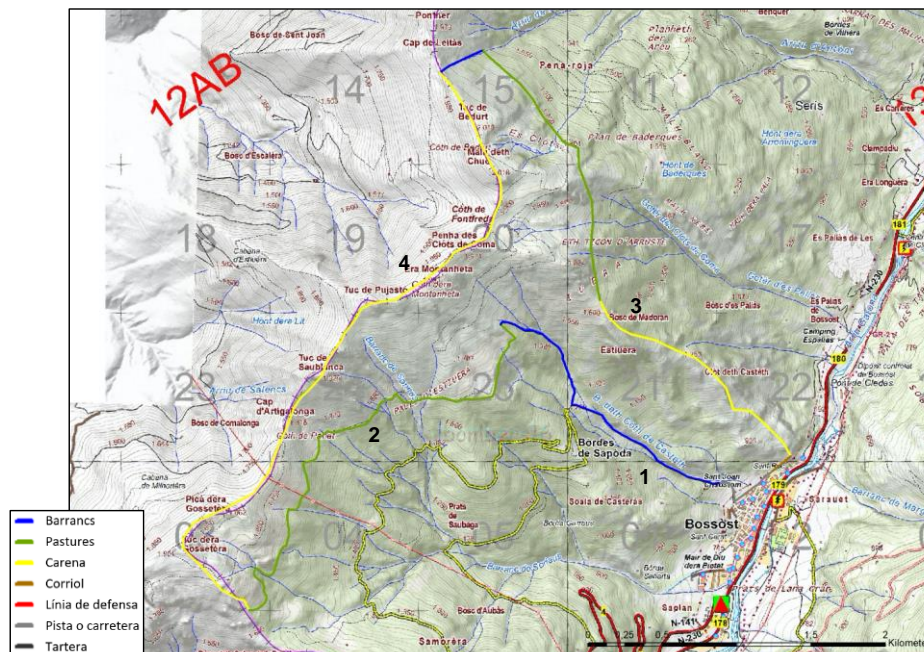




FITXA SECTOR **Bossòst**

## DETALL PARCEL·LES

A – Bossòst

Superfície: 350 ha  
Perímetre: 15.260 m

## RECOMANACIONS OPERATIVES

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendents tendència a obrir-se el flanc esquerra, preveure ancoratge en el barranc *deth Coth de Casteth*. Tancar prèviament cua en pistes i corriols.
- 2- La part alta del flanc esquerra s'anirà obrint en les Pales d'Estiuèra, valorar l'ancoratge en els prats i aprofitar les discontinuïtats de combustible presents.
- 3- La primera meitat del flanc dret s'ancora en la carena, la segona meitat s'ha d'ancorar en pastures i discontinuïtats de combustible, cal valorar la obertura en aquesta part alta i la finestra per a l'ancoratge, i si cal ampliar la discontinuïtat de combustible segons comportament del foc.  
De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc dret, valorar canvi de prioritats.
- 4- Zona del cap ancorat en carena.

## CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA

Elements vulnerables

- El nucli de Bossòst.

Condicionants

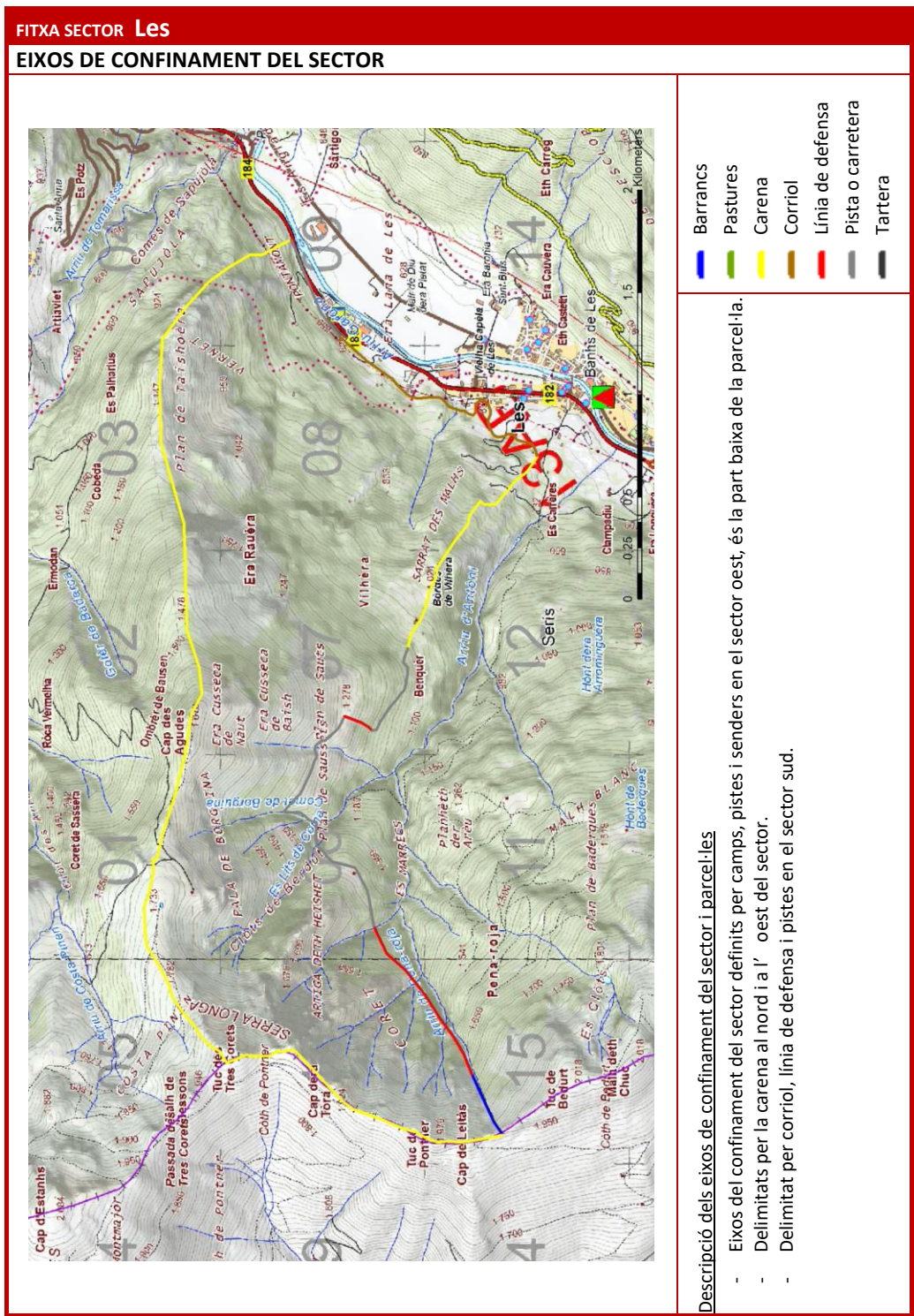
- De nit, amb estabilitat tèrmica possible afectació i acumulació de fum a la vall principal, afectació al nucli de Bossòst i a la carretera N-230

FITXA SECTOR <b>Bossòst</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
<b>Condicionants (ecològics econòmics i socials)</b>					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matollar per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matollar i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> <li>- En rodals d'arbrat dens, garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per mantenir una estructura forestal que permeti el comportament de focs de baixa i mitja intensitat. Tolerància al comportament d'antorxeig puntual per tal de crear espais de regenerat i/o diversificar masses denses monoespecífiques.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE GESTIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de focs observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hi ha neu a les obagues ni als barrancs, els barrancs estan secs.</li> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIUS I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
<b>CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFP), a 10 anys</b>					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP09	350	350	S	tardor-hivern	10
<b>Parcel·la A, Les</b>			<b>Valor mínim</b>	<b>Valor màxim</b>	
<b>Rang de resultats</b>					
Arbres morts (%)			0	10	
Arbustos morts (%)			50	100	
Regenerat mort (%)			0	50	
Altura de carbonització (m)			0.15	1	
Superfície herbàcia cremada (%)			50	100	
Superfície fullaraca cremada (%)			0	100	
Superfície d'arbustos cremada (%)			50	100	
Superfície arbòria cremada (%)			10	100	
Peus de conífera morts (%)			0	20	
Peus de frondosa morts (%)			0	10	

**Finestra Marc**

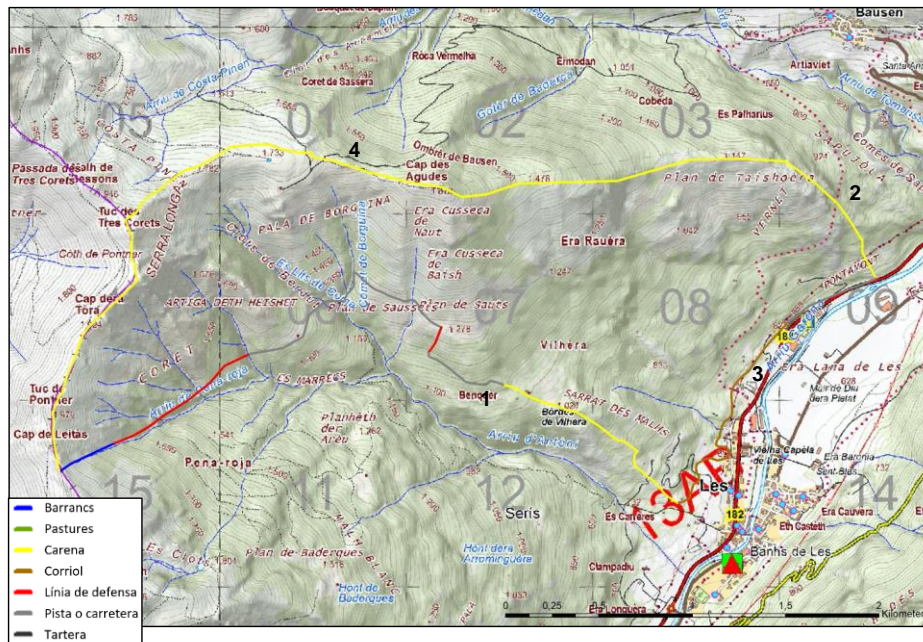
<i>Variable</i>	<i>Dia</i>	<i>Valor</i>	<i>Observacions</i>
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc. No penetri foc de subsol per la gleva.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	
Tmx (°C)	0	25	
HR min (%)	0	> 20	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+3	15	Sense vent destacable
HR min (%)	+3	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+3	0-15	

FITXA SECTOR		Les		
<b>DADES DEL SECTOR sGIP10</b>				
Superfície total: 447 ha	Cotes:	Màxima – 1974 m	Mínima – 621 m	
Potència: 447 ha	Pendent:	Mitja – 84,2 %	Màxima – 46,2 %	
Perímetre: 12.463 m				
Exposició: Sud				
Objectius generals del sector	<input checked="" type="checkbox"/> Crema prescrita	<input checked="" type="checkbox"/> Gestió d'incendis		
<b>MAPA GENERAL DEL SECTOR</b>				
<b>ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ</b>				
<b>Parcel·la</b>	<b>Paratge</b>	<b>Superfície (ha)</b>	<b>Cobertura dominant</b>	<b>Cobertura arbrada</b>
A	Les	447	Bosc obert i matollar	Q.petraea/F.sylvatica
<b>ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zones amb fortes pendents.</li> <li>- Barrancs poc transitables.</li> <li>- Rodolaments i caiguda de pedres.</li> <li>- Rodolaments de troncs i soques enceses facilitant ignicions per sota del perímetre.</li> <li>- Zona boscosa amb possibilitat de caiguda d'arbres</li> </ul>				



**FITXA SECTOR Les****DETALL PARCEL·LES**

A – Les

Superfície: 447 ha  
Perímetre: 12463 m**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendants tendència a obrir-se el flanc esquerra, serà el motor de l'incendi, preveure ancoratge en corriols, pistes i línies de defensa, eix de contenció pel sud.
- 2- Flanc esquerra s'ancora en la carena i la entrada a la obaga de Bausen, valorar l'ancoratge i aprofitar les discontinuïtats de combustible presents, eix de contenció pel nord-est.  
De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc dret, valorar canvi de prioritats.
- 3- Tota la cua s'ancora en pista o corriol, valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge, i si cal ampliar la discontinuïtat de combustible segons comportament del foc.
- 4- Zona del cap ancorat en carena.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

## Elements vulnerables

- No hi ha elements vulnerables a destacar

## Condicionants

- De nit, amb estabilitat tèrmica possible afectació i acumulació de fum a la vall principal, afectació al nucli de Les i a la carretera N-230

FITXA SECTOR <b>Les</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
<b>Condicionants (ecològics econòmics i socials)</b>					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matoll per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matoll i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> <li>- En rodals d'arbrat dens, garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per mantenir una estructura forestal que permeti el comportament de focs de baixa i mitja intensitat. Tolerància al comportament d'antorxeig puntual per tal de crear espais de regenerat i/o diversificar masses denses monoespecífiques.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE GESTIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de focs observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hi ha neu a les obagues ni als barrancs, els barrancs estan secs.</li> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIUS I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
<b>CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFP), a 10 anys</b>					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP10	447	447	S	tardor-hivern	10
<b>Parcel·la A, Les</b>			<b>Valor mínim</b>	<b>Valor màxim</b>	
<b>Rang de resultats</b>					
Arbres morts (%)			0	10	
Arbustos morts (%)			50	100	
Regenerat mort (%)			0	50	
Altura de carbonització (m)			0.15	1	
Superfície herbàcia cremada (%)			50	100	
Superfície fullaraca cremada (%)			0	100	
Superfície d'arbustos cremada (%)			50	100	
Superfície arbòria cremada (%)			10	100	
Peus de conifera morts (%)			0	20	
Peus de frondosa morts (%)			0	10	

**Finestra Marc**

<i>Variable</i>	<i>Dia</i>	<i>Valor</i>	<i>Observacions</i>
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc. No penetri foc de subsol per la gleva.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	
Tmx (°C)	0	25	
HR min (%)	0	> 20	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+3	15	Sense vent destacable
HR min (%)	+3	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+3	0-15	



## FITXA SECTOR

## Bausen

## DADES DEL SECTOR sGIP11

Superfície total: 702 ha

Potència: 305 ha

Perímetre: 19.121 m

Exposició: Sud

Cotes: Màxima – 2187 m

Mínima – 604 m

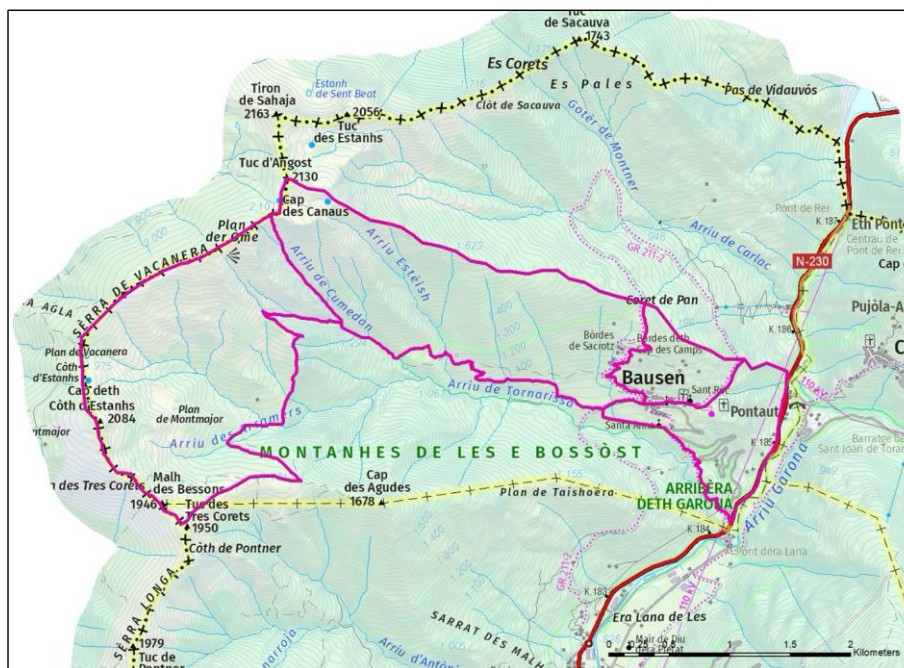
Pendent: Mitja – 82,6 %

Màxima – 42,62 %

Objectius generals del sector

 Crema prescrita Gestió d'incendis

## MAPA GENERAL DEL SECTOR

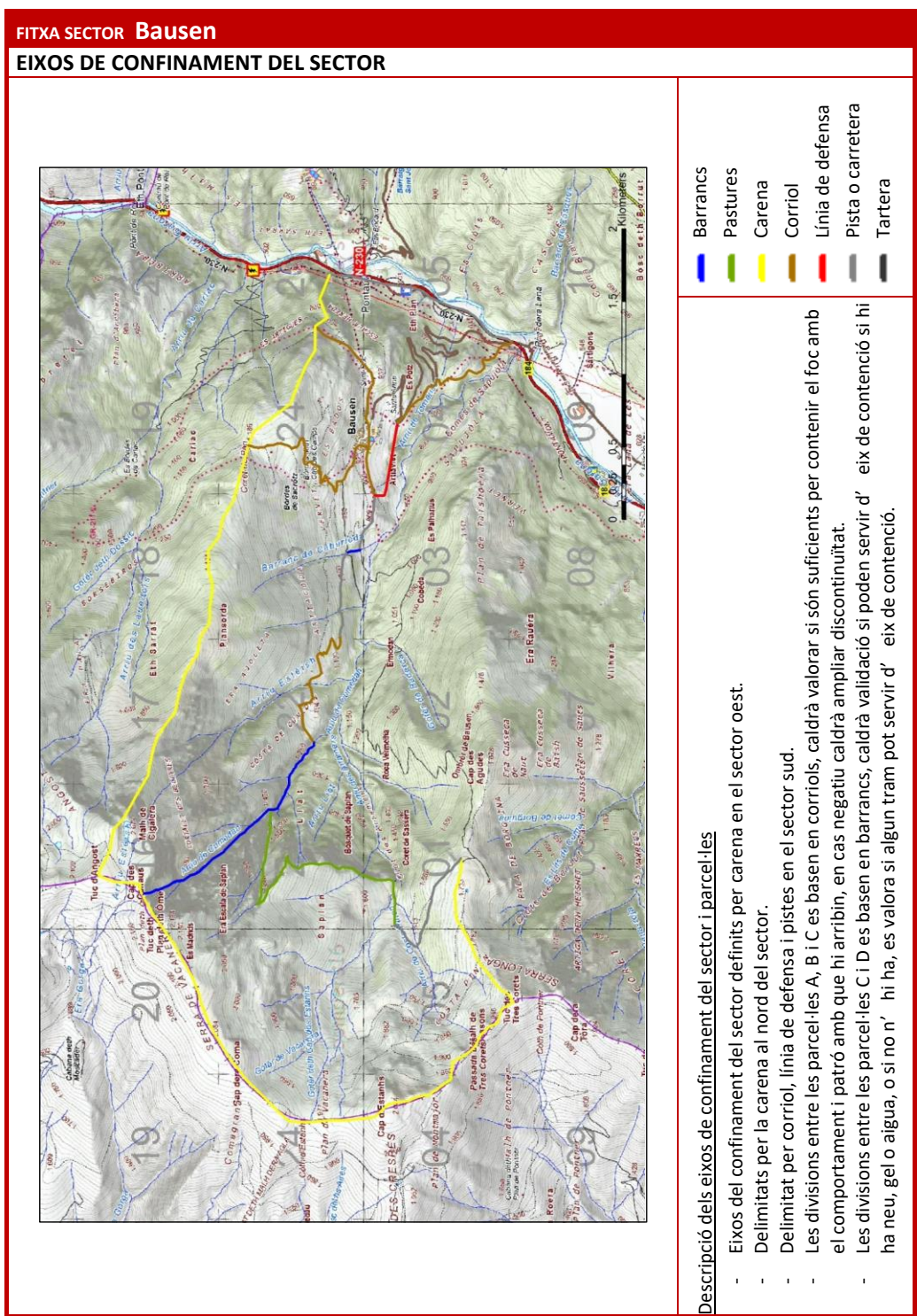


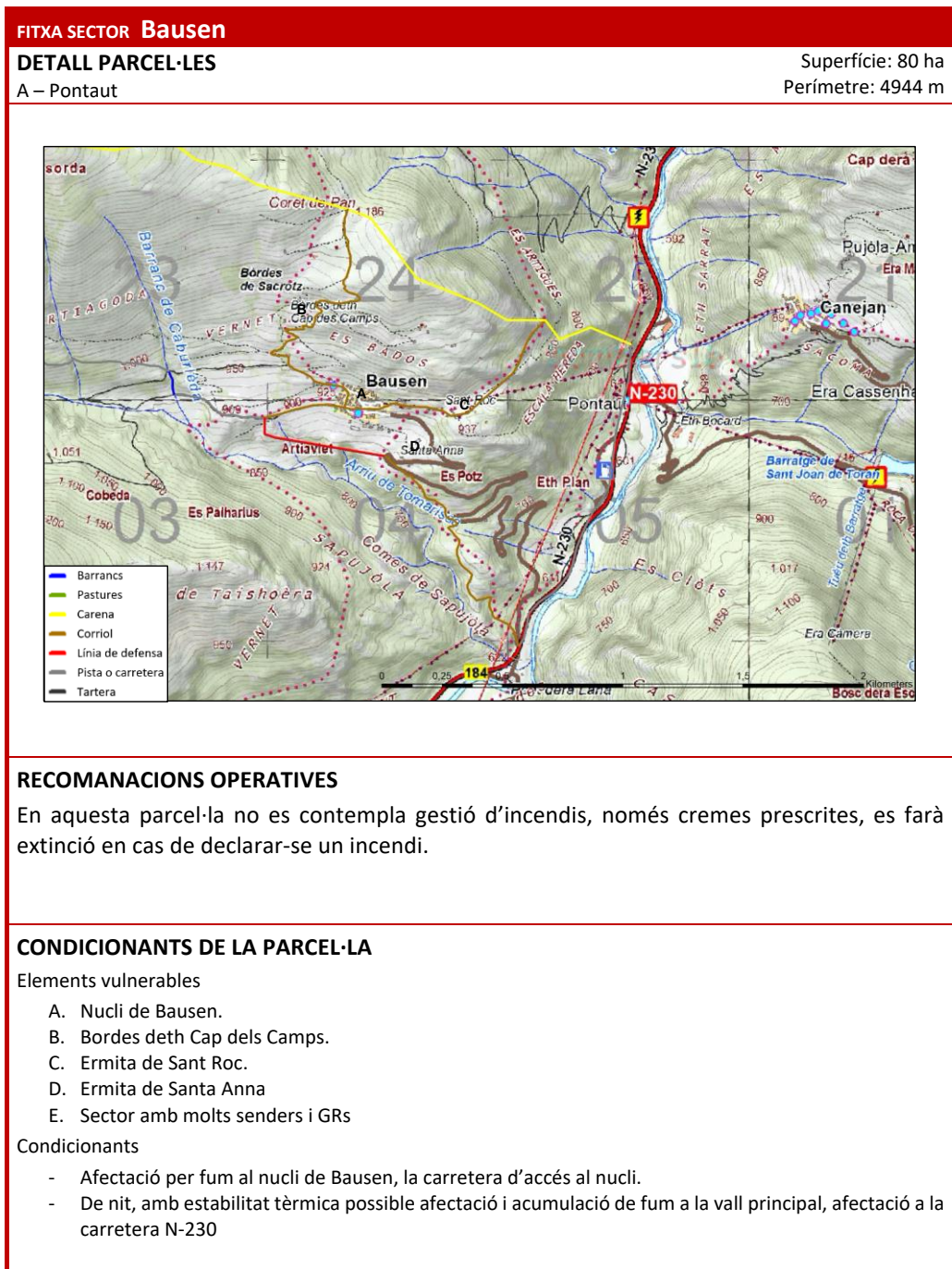
## ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ

Parcel·la	Paratge	Superfície (ha)	Cobertura dominant	Cobertura arbrada
A	Pontaut	80	Arbrat mixt	Quercus petraea
B	Bausen	52	Matollar i camps	Quercus petraea
C	Plansorda	265	Matollar	Quercus/F.sylvatica
D	Saplan	305	Matollar i prats alpins	F.sylvatica, A.Alba

## ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR

- Zones amb fortes pendents.
- Barrancs poc transitables.
- Rodolaments i caiguda de pedres.
- Sector amb possibles forats de cobertura de xarxa Tetra i de telefonia.
- Dificultat per ubicar guaites amb visió general del sector.



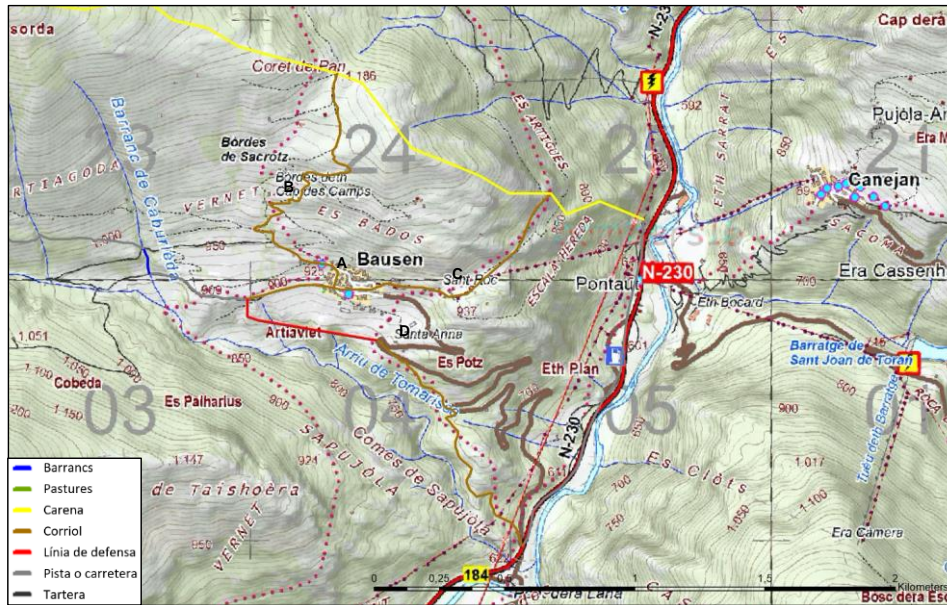


**FITXA SECTOR Bausen****DETALL PARCEL·LES**

B – Bausen

Superfície: 52 ha

Perímetre: 3575 m

**RECOMANACIONS OPERATIVES**

En aquesta parcel·la no es contempla gestió d'incendis, només cremes prescrites, es farà extinció en cas de declarar-se un incendi.

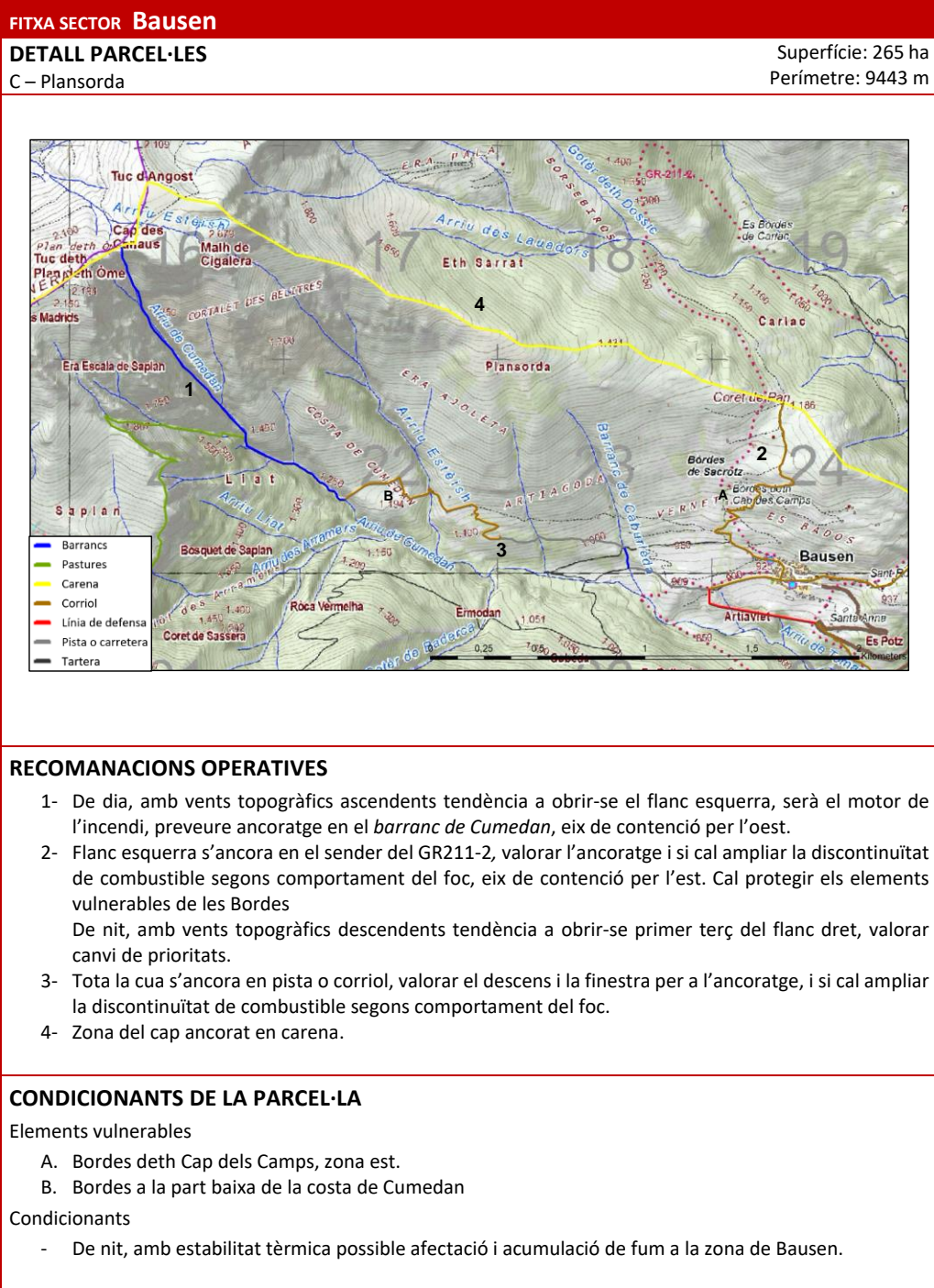
**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

Elements vulnerables

- A. Nucli de Bausen.
- B. Bordes deth Cap dels Camps.
- C. Ermita de Sant Roc.
- D. Ermita de Santa Anna
- E. Sector amb molts senders i GRs

Condicionants

- Afectació per fum al nucli de Bausen, la carretera d'accés al nucli.
- De nit, amb estabilitat tèrmica possible afectació i acumulació de fum a la vall principal, afectació a la carretera N-230

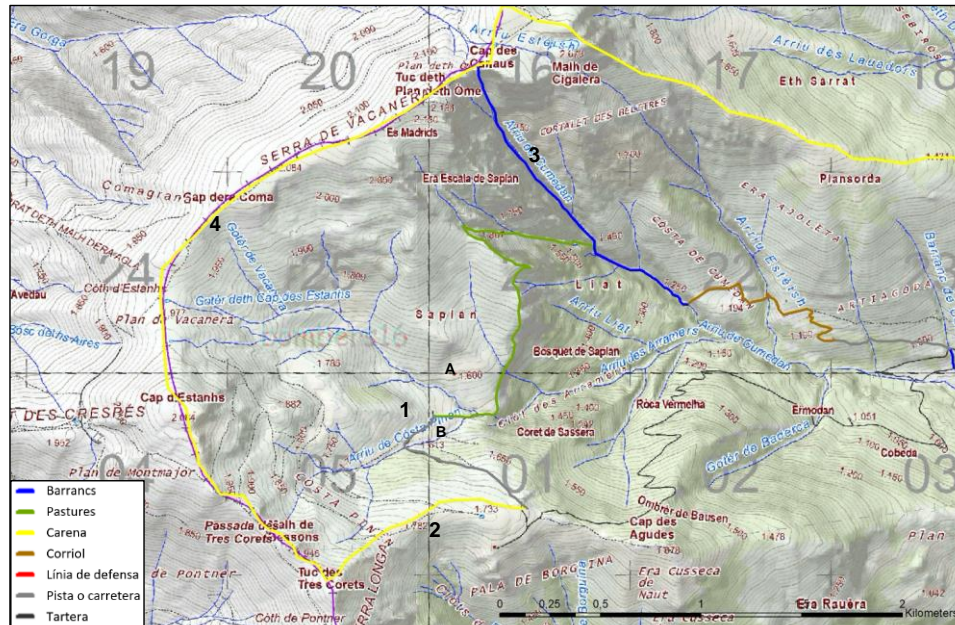


**FITXA SECTOR Bausen****DETALL PARCEL·LES**

D – Soplan

Superfície: 305 ha

Perímetre: 9286 m

**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- Tota la cua s'ancora en pista o corriol, valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge i preveure protecció de les cabanes, aquest punt és el que dona accés a zona arbrada del *Ombrer de Bausen*. De nit tenir present els vents topogràfics descendents.
- 2- En el sector sud de la parcel·la es preveu l'ancoratge en la divisòria d'aigües i pastures a la zona de l'*Estanh de Sèrralonga*.
- 3- Flanc esquerra s'ancora en el *barranc de Cumedan*, valorar l'ancoratge, eix de contenció per l'est.
- 4- Zona del cap ancorat en carena.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

Elements vulnerables

- A. Cabana deth oelher de Saplan, part baixa central de la parcel·la.
- B. Cabana deth Vaquèr de Saplan, part baixa central de la parcel·la.

Condicionants

- No es preveuen condicionants.

FITXA SECTOR <b>Bausen</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
Condicionants (ecològics econòmics i socials)					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matollar per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matollar i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> <li>- En rodals d'arbrat dens, garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per mantenir una estructura forestal que permeti el comportament de focs de baixa i mitja intensitat. Tolerància al comportament d'antorxeig puntual per tal de crear espais de regenerat i/o diversificar masses denses monoespecífiques.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE GESTIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de focs observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hi ha neu a les obagues ni als barrancs, els barrancs estan secs.</li> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIUS I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
<b>CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFP), a 10 anys</b>					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP11	702	305	S	tardor-hivern	10
<b>Parcel·la A, Pontaut (Bausen)</b>			<b>Valor mínim</b>	<b>Valor màxim</b>	
<b>Rang de resultats</b>					
Arbres morts (%)			0	10	
Arbustos morts (%)			50	100	
Regenerat mort (%)			0	50	
Altura de carbonització (m)			0.15	1	
Superfície herbàcia cremada (%)			50	100	
Superfície fullaraca cremada (%)			0	100	
Superfície d'arbustos cremada (%)			50	100	
Superfície arbòria cremada (%)			10	100	
Peus de conifera morts (%)			0	20	
Peus de frondosa morts (%)			0	10	

Parcel·la B, Bausen (Bausen) Rang de resultats	Valor mínim	Valor màxim
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	-	-
Altura de carbonització (m)	-	-
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	-	-
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

Parcel·la C, Plansorda (Bausen) Rang de resultats	Valor mínim	Valor màxim
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	0	50
Altura de carbonització (m)	0.15	1
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	0	100
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

Parcel·la B, Bausen (Bausen) Rang de resultats	Valor mínim	Valor màxim
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	-	-
Altura de carbonització (m)	-	-
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	-	-
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10



**Finestra Marc**

<i>Variable</i>	<i>Dia</i>	<i>Valor</i>	<i>Observacions</i>
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc. No penetri foc de subsol per la gleva.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	
Tmx (°C)	0	25	
HR min (%)	0	> 20	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+3	15	Sense vent destacable
HR min (%)	+3	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+3	0-15	

## FITXA SECTOR

## Canejan

## DADES DEL SECTOR sGIP12

Superfície total: 806 ha

Potència: 346 ha

Perímetre: 20.080 m

Exposició: Sud

Cotes: Màxima – 2175 m

Mínima – 922 m

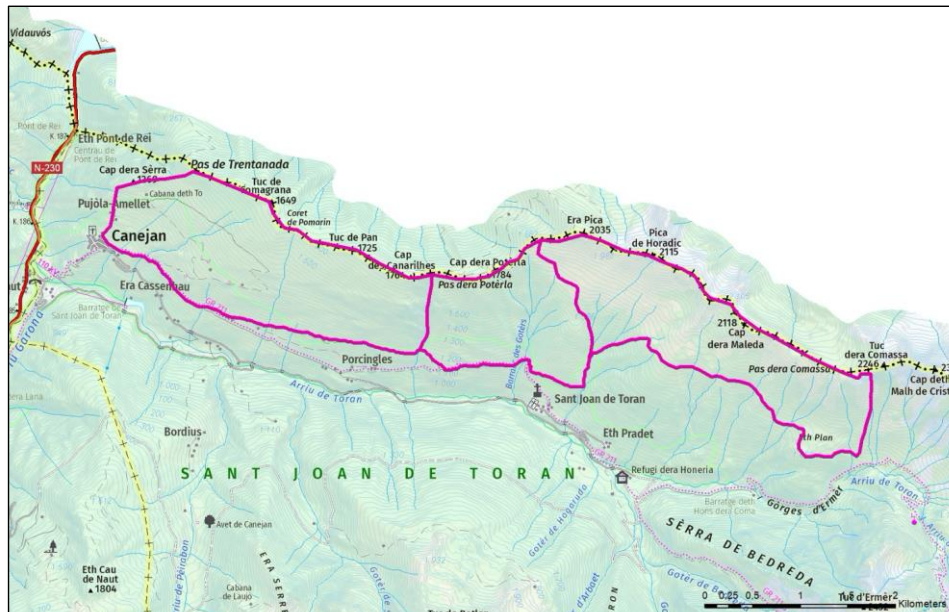
Pendent: Mitja – 86 %

Màxima – 45 %

Objectius generals del sector

 Crema prescrita Gestió d'incendis

## MAPA GENERAL DEL SECTOR

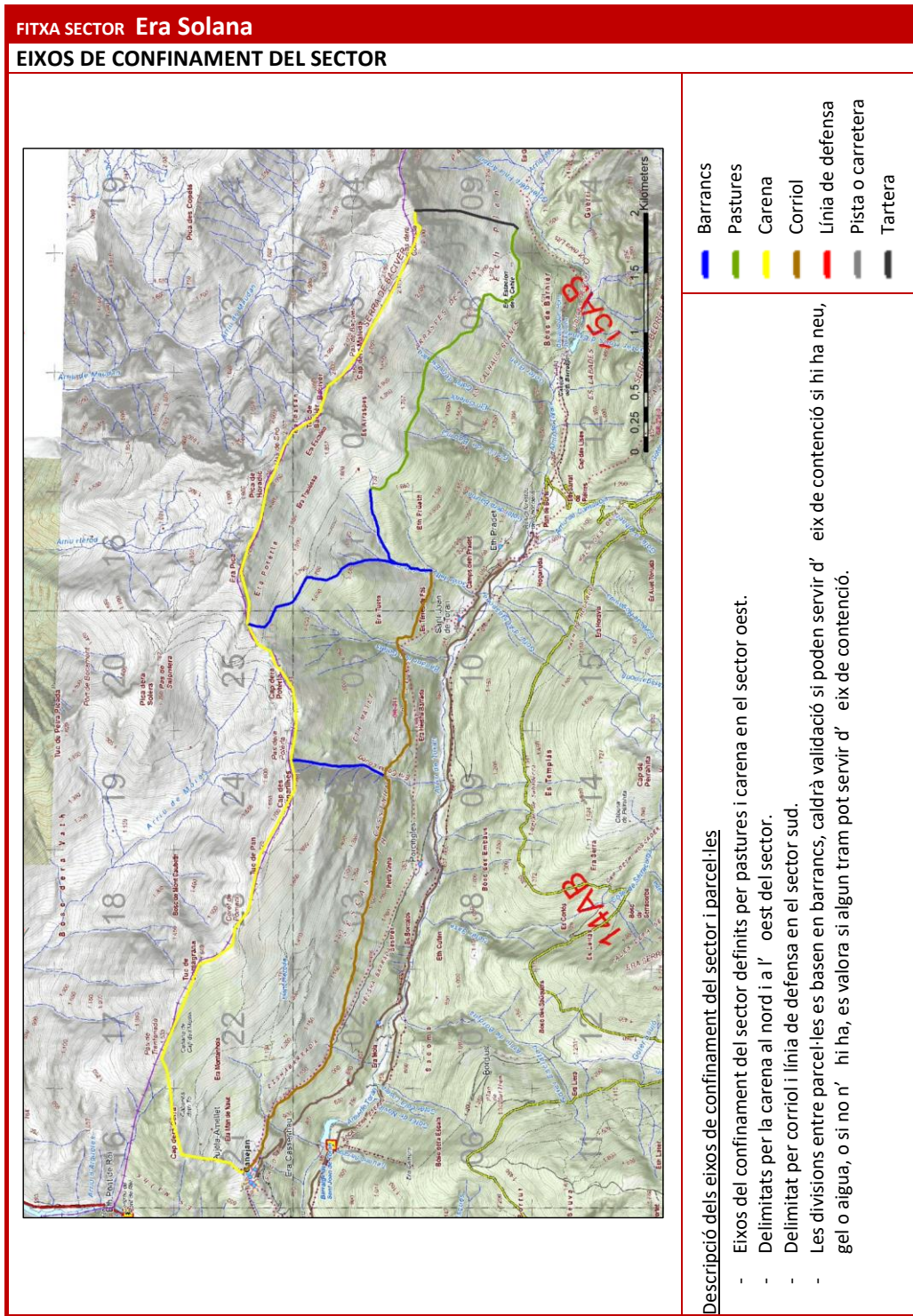


## ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ

Parcel·la	Paratge	Superfície (ha)	Cobertura dominant	Cobertura arbrada
A	Hont Hereda	346	Matollar	Altres, F. sylvatica
B	Era Tueta	173	Matollar/F. sylvatica	F. sylvatica, altres
C	Eth Pruèt	287	Matollar	F. sylvatica, A. Alba, altres

## ASPECTES DE SEGURETAT ESPECÍFICS DEL SECTOR

- Zones amb fortes pendents.
- Barrancs poc transitables.
- Rodolaments i caiguda de pedres.
- Sector amb possibles forats de cobertura de xarxa Tetra i de telefonia.
- Dificultat per ubicar guaites amb visió general del sector.

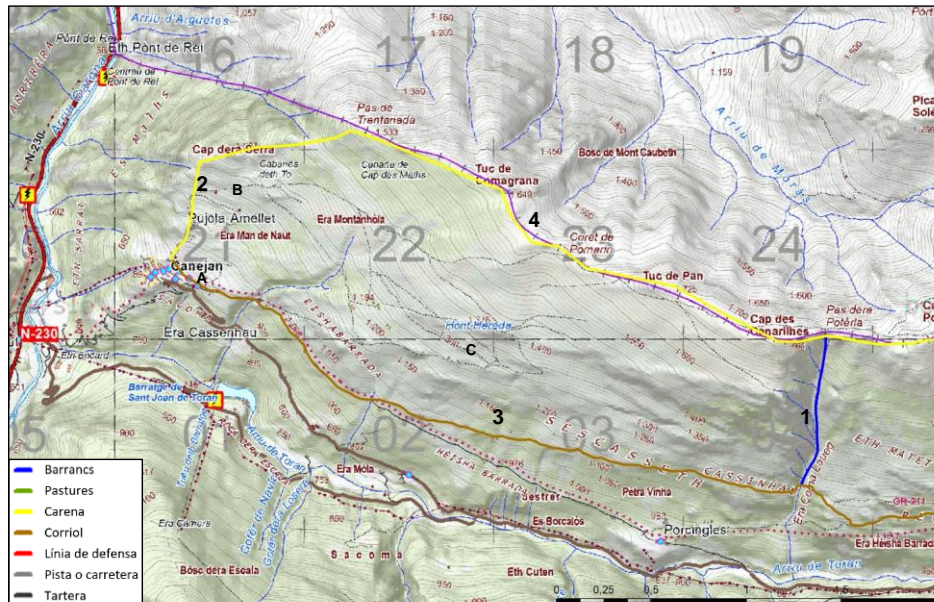


FITXA SECTOR **Canejan****DETALL PARCEL·LES**

A – Hont Hereda

Superfície: 346 ha

Perímetre: 8776 m

**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendants tendència a obrir-se el flanc dret, serà el motor de l'incendi, preveure ancoratge en el *barranc de la coma Laueg*, eix de contenció per l'est.
- 2- El flanc esquerra s'ancora en corriol i carena, valorar l'ancoratge, eix de confinament per l'oest. De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats.
- 3- Tota la cua s'ancora en corriol, valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge i si cal ampliar la discontinuïtat de combustible segons comportament del foc.
- 4- Zona del cap ancorat en carena i canvi de vesant.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

## Elements vulnerables

- A. Nucli de Canejan, part baixa del flanc esquerra.
- B. Cabanes deth To i Pujola-Amellet
- C. Cabana de Montanhòla

## Condicionants

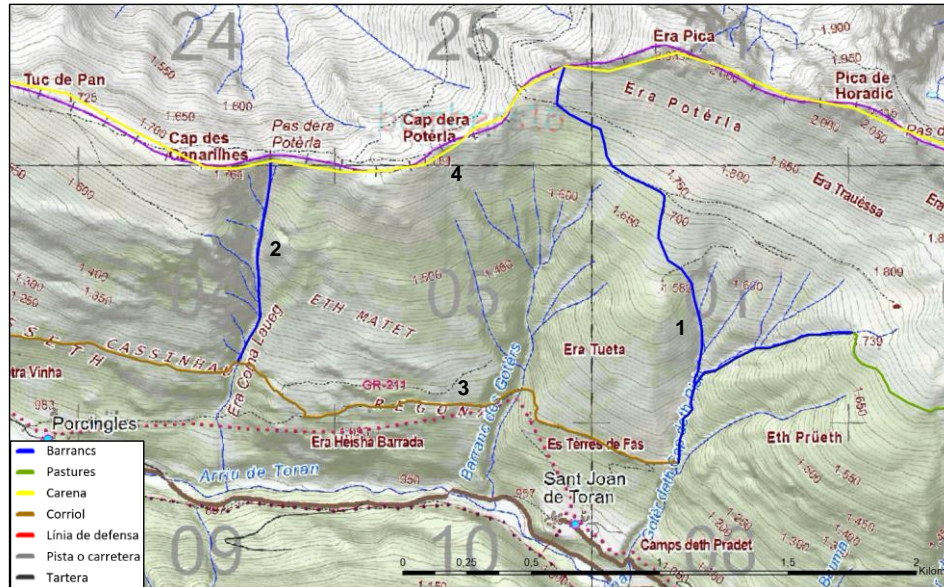
- De nit, amb estabilitat tèrmica possible afectació i acumulació de fum a la zona de la població de Canejan.

FITXA SECTOR **Canejan****DETALL PARCEL·LES**

B – Era Tueta

Superfície: 173 ha

Perímetre: 5956 m

**RECOMANACIONS OPERATIVES**

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendants tendència a obrir-se el flanc dret, serà el motor de l'incendi, preveure ancoratge en el *barranc del Goter deth Cap deth Pish*, eix de contenció per l'est.
- 2- Flanc esquerra s'ancora en el *barranc de de la coma Laueg*, valorar l'ancoratge, eix de contenció per l'oest.  
De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats.
- 3- Tota la cua s'ancora en corriol, valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge i si cal ampliar la discontinuïtat de combustible segons comportament del foc.
- 4- Zona del cap ancorat en carena i terrasses de repoblacions.

**CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA**

Elements vulnerables

- Cap element vulnerable a destacar

Condicionants

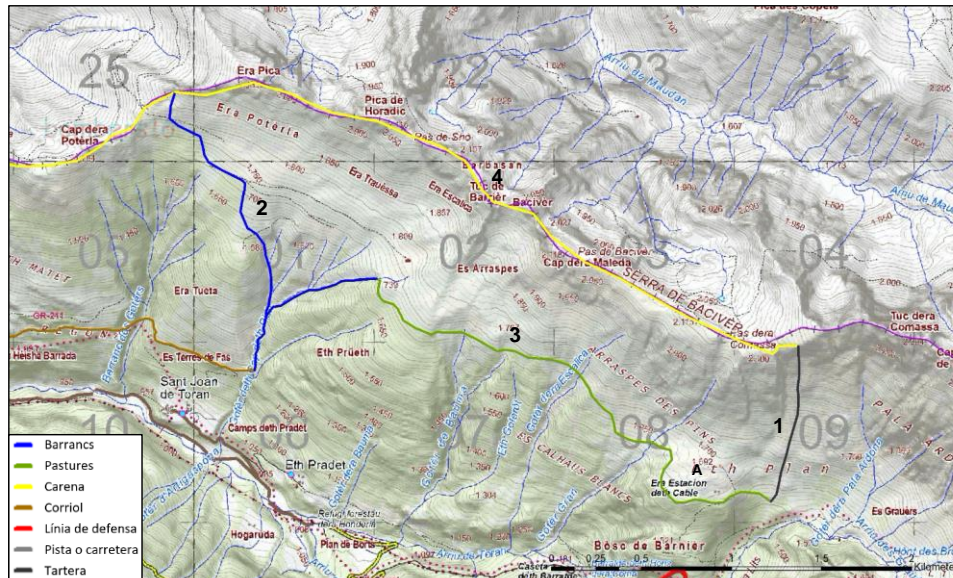
- Zona arbrada, en *eth Matet i eth Bosquet*, caldrà ajustar comportament al rang de resultats acceptables.

FITXA SECTOR **Canejan**

## DETALL PARCEL·LES

Superfície: 287 ha  
Perímetre: 10034 m

C – Eth Pruët



## RECOMANACIONS OPERATIVES

- 1- De dia, amb vents topogràfics ascendants tendència a obrir-se el flanc dret, serà el motor de l'incendi, preveure ancoratge en la tartera de les *arraspes deth plan*, eix de contenció per l'est.
- 2- Flanc esquerra s'ancora en el barranc ancoratge en el barranc del *Goter deth Cap deth Pish*, valorar l'ancoratge, eix de contenció per l'oest.  
De nit, amb vents topogràfics descendents tendència a obrir-se primer terç del flanc esquerra, valorar canvi de prioritats.
- 3- Tota la cua s'ancora en corriol o pas de bestiar, valorar el descens i la finestra per a l'ancoratge i si cal ampliar la discontinuïtat de combustible segons comportament del foc.
- 4- Zona del cap ancorat en carena.

## CONDICIONANTS DE LA PARCEL·LA

Elements vulnerables

- A. La cabana deth plan.

Condicionants

- Zona boscosa per sota de la parcel·la, caldrà assegurar l'ancoratge en la cua de la parcel·la .

FITXA SECTOR <b>Canejan</b>					
<b>PRESCRIPCIÓ</b>					
Condicionants (ecològics econòmics i socials)					
<b>OBJECTIUS DEL FOC</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En zones de pastura, obertes, recobertes de matoll majoritàriament, eliminació del matollar per tal d'augmentar la superfície disponible per pastures sense eliminar els arbres dispersos.</li> <li>- En rodals d'arbrat oberts garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per regenerar pastura, eliminar el matollar i fer una poda tèrmica a l'arbrat.</li> <li>- En rodals d'arbrat dens, garantir un comportament de foc de baixa i mitja intensitat per mantenir una estructura forestal que permeti el comportament de focs de baixa i mitja intensitat. Tolerància al comportament d'antorxeig puntual per tal de crear espais de regenerat i/o diversificar masses denses monoespecífiques.</li> </ul>					
<b>ESCENARIS DE GESTIÓ</b>					
<b>Favorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hi ha previsió de precipitacions en els propers dies.</li> <li>- No hi ha previsió d'entrada de vent general.</li> <li>- Precipitacions per sobre de la mitja en els mesos anteriors.</li> <li>- Comportaments de focs observats favorables.</li> </ul>					
<b>Desfavorables</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hi ha neu a les obagues ni als barrancs, els barrancs estan secs.</li> <li>- Hi ha previsió d'entrada de vent general en les properes hores/dies.</li> <li>- Inestabilitat atmosfèrica que faciliti presència de vents erràtics.</li> <li>- Índex de sequera DC per sobre del percentil 95%.</li> <li>- Simultaneïtat d'incendis.</li> </ul>					
<b>OBJECTIUS I RANG DE RESULTATS ACCEPTABLES</b>					
CABAL ECOLÒGIC DE FOC PRESCRIT (CEFp), a 10 anys					
Conca de prescripció	CAp (ha)	Pp (ha)	Qualitat		
			COp	Ep	Rp (10)
sGIP12	806	346	S	tardor-hivern	10
Parcel·la A, Hont Hereda (Canejan)			Valor mínim	Valor màxim	
Rang de resultats					
Arbres morts (%)			0	10	
Arbustos morts (%)			50	100	
Regenerat mort (%)			-	-	
Altura de carbonització (m)			-	-	
Superfície herbàcia cremada (%)			50	100	
Superfície fullaraca cremada (%)			-	-	
Superfície d'arbustos cremada (%)			50	100	
Superfície arbòria cremada (%)			10	100	
Peus de conífera morts (%)			0	20	
Peus de frondosa morts (%)			0	10	

Parcel·la B, Era Tueta (Canejan)	Valor mínim	Valor màxim
Rang de resultats		
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	0	50
Altura de carbonització (m)	0.15	1
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	0	100
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

Parcel·la C, Eth Pruët (Canejan)	Valor mínim	Valor màxim
Rang de resultats		
Arbres morts (%)	0	10
Arbustos morts (%)	50	100
Regenerat mort (%)	0	10
Altura de carbonització (m)	0.15	1
Superfície herbàcia cremada (%)	50	100
Superfície fullaraca cremada (%)	0	100
Superfície d'arbustos cremada (%)	50	100
Superfície arbòria cremada (%)	10	100
Peus de conifera morts (%)	0	20
Peus de frondosa morts (%)	0	10

#### Finestra Marc

Variable	Dia	Valor	Observacions
Tmx (°C)	-1	-	Que el combustible fi mort estigui disponible per conduir el foc. No penetri foc de subsol per la gleva.
HR min (%)	-1	-	
Velocitat del vent (km/h)	-1	-	
Tmx (°C)	0	25	
HR min (%)	0	> 20	
Velocitat del vent (km/h)	0	0-15	
Tmx (°C)	+3	15	Sense vent destacable
HR min (%)	+3	> 40	
Velocitat del vent (km/h)	+3	0-15	



## **8.2 Relació capes web (ArcGIS Online)**

Aquestes són les capes d'informació que s'han prioritzat i que apareixen de forma pre-determinada a l'obrir el projecte d'ArcGIS relatiu al Pla Estratègic de l'Aran.

- Eixos de contenció
- Sectors de gestio
- Sectors de gestió POTÈNCIA
- Subzones homogènies de règim
- Perímetres incendis històrics
- ATES Refugis
- VA Cabanes publiques
- ATES Cabanes
- ATES Itineraris
- VA passi canadencs
- ATES Parking
- VA Pistes forestaus
- VA montes publics
- Gestio Focs VA - Vegetacio

Algunes són capes tancades que ja estaven disponibles, com per exemple les relatives al ATES. Altres capes web s'han generat a mida del projecte, com per exemple els eixos de contenció. Cada capa té la seva pròpia llegenda, permet accedir a la taula de dades associada i disposa d'eines d'anàlisi.

Pel que fa a les capes web noves que s'han creat, la informació associada no només és consultable sinó que es pot modificar i/o ampliar.

Per últim, segons les necessitats de gestió lligades a la implementació pràctica, la plataforma permet crear capes web noves que puguin esdevenir rellevants. Per exemple, una capa web de cremes executades, que permetrà facilitar la valoració i seguiment entre allò planificat i allò executat, i alhora, facilitar que tota la informació significativa sigui ordenadament integrada en una sola plataforma; imatges de comportament de foc, taula de la finestra meteorologia, agenda dels treballs previs, etc.)

### **8.3 Check list Cap d'Intervenció emergències**

- Època de l'any és tardor-hivern.
- No es preveu l'entrada de vent en les properes 72 hores.
- El foc no és capaç de penetrar ni mantenir-se per subsòl.
- L'índex de sequera està per sota del percentil 90.
- Els efectes del foc s'ajusten al rang de valors marcats en la fitxa.
- Els eixos de confinament i contenció pre-planificats són aptes per ancorar el foc.
- Hi ha disponibilitat de recursos per la gestió del foc.
- Hi ha disponibilitat de recursos per la reguarda.
- No hi ha cap altre factor que condicioni o limiti la gestió del foc.

### **8.4 Check list Cap de Cremes Prescrites**

#### CHECK-LIST CAP DE CREMA

##### 1. ASPECTES PREVIS DE PLANIFICACIÓ.

- Finestra marc de meteo-comportament de foc, humitats de combustibles conegut. Inclou rangs de valors i dinàmica d'evolució diària.
- Previsió meteorològica per la zona coneguda.
- Dimensionat recursos necessaris
- Valoració de l'accessibilitat.
- Valorar la situació i necessitats de la línia de control.
- Valorar l'estat dels combustibles i les condicions meteorològiques locals.
- Valorar la interacció vent-topografia.
- Valorar paràmetres que afecten a la complexitat de la crema i els riscos a assumir
- Ajust de la finestra de prescripció del pla de crema donades les condicions locals, per assolir els objectius.
- Identificar indicadors de perill dintre i fora de la parcel·la, per ajustar on i com monitoritzar-los.

##### 2. ASPECTES RELLEVANTS DEL PLA DE CREMA I DE LA PARCEL·LA DEL DIA

- Objectius del pla de crema i del dia.
- Seguretat, prescripció i resultats esperats al Pla de Crema.
- Característiques de la parcel·la i del dia.
- Equips de treball: logística, control, ignició, monitorització (fotos/meteo/guaita/...).
- Evolució i previsió meteorològica i disponibilitat de combustibles.
- Dispersió del fum.

##### 3. ASPECTES RELLEVANTS DEL PLA D'IGNICIÓ

- Observacions del foc de test.
- Tasques dels equips de treball que treballen en la ignició (encendre/rebaixar flama): patró d'ignició, logística de combustible, canals de comunicació, evolució del posicionament de cada equip de treball, rendiment esperat,...
- Expectatives de canvis de comportament de foc, indicadors a observar.

##### 4. ASPECTES RELLEVANTS DEL PLA DE CONTINGÈNCIA

- Tasques dels equips de treball de control i monitorització: tècniques a usar, aspectes de logística i comunicació, evolució del posicionament de cada equip de treball, rendiment esperat.
- LACES i mitigació de riscos per tots els equips/posicions de treball.
- Pla en cas de comportament no acceptable dintre de la parcel·la, en cas d'accident i en cas d'escapament.

## 5. ASPECTES RELLEVANTS DEL PLA D'INFORMACIÓ I DOCUMENTACIÓ

- Repartiment de tasques de monitorització i documentació durant la crema: fotografies, monitorització de riscos, monitorització de comportament i efectes versus la prescripció i presa de dades meteorològiques.
- Repartiment de tasques de monitorització després de la crema: dades logístiques, fotografies.
- Posicionament pel personal que fa tasques d'informació i divulgació. Recordatori de seguretat.
- Perimetració de la parcel·la cremada.
- Documentació dels recursos utilitzats i hores d'inici i fi. Distribució de funcions.

## 6. REGUARDA

- Càlcul dels dies necessaris de guarda
- Dimensionat de recursos

## CHECK-LIST CAP INTERVENCIÓ

### 1. IDENTIFICACIÓ DE L'ESCENARI

- Valorar comportament de l'incendi.
- Valorar l'estat dels combustibles i les condicions meteorològiques locals.
- Valorar la interacció vent-topografia.
- Valorar patró de propagació, motor de l'incendi i identificar incendi tipus.
- Valoració de l'accessibilitat de l'incendi.
- Identificació estat i idoneïtat dels eixos de confinament i contenció preplanificats
- Estimació hectàrees cremades fins al moment
- Valoració dels aspectes de seguretats crítics intrínsecs en l'escenari

### 2. ANÀLISIS

- Evolució i previsió meteorològica i disponibilitat de combustibles.
- Definir els eixos de propagació possibles de l'incendi
- Identificar els punts crítics
- Identificar oportunitats
- Preveure evolució de l'incendi
- Identificació dels potencials de l'incendi
- Definir l'AGO

### 3. DEFINICIÓ DE L'ESTRATEGIA I DELS OBJECTIUS TÀCTICS

- Idea de resolució: definir extinció total o parcial de l'incendi, definir gestió total o parcial de l'incendi.
- Definir els objectius tàctics, prioritats i ordres d'execució
- Definir les finestres d'actuació

### 4. PLANIFICACIÓ I RESOLUCIÓ DE L'ESCENARI

- Planificació i logística
  - Dimensionat de recursos
  - Temps d'arribada dels recursos
  - Accessibilitat per terra/helitransport
  - Establir estructura de comandament idònia
  - Gestió dels avituallaments

## 5. ASPECTES RELLEVANTS DEL PLA DE CONTINGÈNCIA

## 8. Annex

- Tasques dels equips de treball d'extinció i monitorització: tècniques a usar, aspectes de logística i comunicació, evolució del posicionament de cada equip de treball, rendiment esperat.
- LACES i mitigació de riscos per tots els equips/posicions de treball.
- Pla en cas de comportament no acceptable dintre de les zones de gestió, en cas d'accident i en cas d'escapament.

## 6. ASPECTES RELLEVANTS DEL PLA D'INFORMACIÓ I DOCUMENTACIÓ

- Repartiment de tasques de monitorització i documentació durant la crema: fotografies, monitorització de riscos, monitorització de comportament i efectes versus la prescripció i presa de dades meteorològiques.
- Repartiment de tasques de monitorització després de la crema: dades logístiques, fotografies.
- Posicionament pel personal que fa tasques d'informació i divulgació. Recordatori de seguretat.
- Perimetració de la parcel·la cremada.
- Documentació dels recursos utilitzats i hores d'inici i fi. Distribució de funcions.

## 7. REGUARDA

- Càlcul dels dies necessaris de reguarda
- Dimensionat de recursos





# EL MODEL MEDFIRE VAL D'ARAN

Disseny, inicialització,  
simulació i resultats

Andrea Duane, Jordi Oliveres, Núria  
Aquilué i Lluís Brotons

Abril 2020

## Autors

Andrea Duane – Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya, i Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals

Jordi Oliveres – Unitat GRAF, Bombers de la Generalitat de Catalunya, Departament d'Interior i Institut de Sostenibilitat de la Universitat Politècnica de Catalunya

Núria Aquilué – Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya, i Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals

Lluís Brotons – CSIC, Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya i Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals

**Foto de coberta:** Bombers de la Generalitat de Catalunya

@ Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya

**Referència:** Duane, A. Oliveres, J. Aquilué, N. Brotons, L. 2020. El model MEDFIRE Val d'Aran. Disseny, inicialització, simulació i resultats. CTFC Edicions. 44 pp.

ISBN:

Dipòsit legal: L 486-2020

## Entitats participants:



Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya



Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals



Generalitat de Catalunya  
**Departament  
d'Interior**

Cos de Bombers. Departament d'Interior. Generalitat de Catalunya.



INSTITUTE FOR  
Sustainability Science  
AND TECHNOLOGY



Institut de Sostenibilitat de la Universitat Politècnica de Catalunya

# ÍNDEX

Introducció i context	2
Disseny del Model MEDFIRE Val d'Aran	3
Objectius del Model	3
Escala, variables d'estat i variables espacials d'entrada	3
Descripció del Model	4
Submòdul incendis	4
Incendis forestals	4
Cremes prescrites	5
Extinció d'incendis	6
Submòdul dinàmica de la vegetació	6
Inicialització	7
Variables d'estat	7
Submòdul incendis	8
Submòdul dinàmica de la vegetació	16
Escenaris i simulacions	20
Resultats del Model MEDFIRE Val d'Aran	22
Cabal Ecològic de Foc (CEF) òptim sota canvi climàtic	22
Incendis sota condicions actuals o amb canvi climàtic	22
Cost-benefici de diferents CEF	24
Anàlisi del règim d'incendis sota canvi climàtic i diferents CEF	27
Incendis d'alta intensitat	27
Incendis tipus	28
Patrons d'àrea-freqüència dels incendis	31
Patrons de les cremes prescrites	33
Bosc i matollars cremats en alta intensitat	34
Efectes sobre altres serveis ecosistèmics	35
Biodiversitat	35
Evolució de les diferents cobertes de vegetació	35
Diversitat funcional del paisatge: edats	38
Allaus: canvis en la cobertura de boscos protectors	41
Referències	42

## INTRODUCCIÓ I CONTEXT

En els darrers anys el comportament extrem dels incendis forestals en l'Europa mediterrània ha excedit la capacitat d'extinció dels serveis d'emergències. En conseqüència, aquests serveis han adoptat estratègies defensives i han centrat la seva resposta en els riscos coneguts, allò que es coneix com la trampa de la por. Però aquesta estratègia es veu clarament superada per incendis d'alta intensitat o en episodis de simultaneïtat. Els episodis d'incendis extrems viscuts arreu del món demostren la necessitat d'un canvi de paradigma no focalitzat en l'extinció sinó en la gestió del règim d'incendi en el seu conjunt.

Les eines de modelització del règim d'incendis són un element clau per a garantir la gestió del règim d'incendi a gran escala i en un llarg període temporal. El règim d'incendis inclou la freqüència, extensió, temporalitat i intensitat dels incendis forestals en una regió. Entendre a llarg termini quins són els determinants d'aquests incendis, i poder projectar-ho a futur, permet quantificar quins són els efectes de l'aplicació de mesures de gestió sobre el règim d'incendis en el seu conjunt.

A la Val d'Aran, territori de ~620 km<sup>2</sup> situat al mig dels Pirineus a cavall entre Catalunya i França, el govern local ha optat per l'elaboració d'un nou pla estratègic de gestió d'incendis que des de la prioritització del bé comú permeti trobar una conciliació d'interessos entre els diferents actors implicats en la gestió del paisatge (pastors, organitzacions d'emergències, turisme, caçadors, etc.). Com una eina més dins de l'elaboració de l'esmentat Pla Estratègic, es construeix un nou model de simulació del règim d'incendis a la Val d'Aran, el MEDFIRE Val d'Aran.

El model en sí no és una demanda explícita del pla sinó una conseqüència de l'assessorament expert liderat per la unitat GRAF del cos de Bombers de la Generalitat de Catalunya en el procés inicial d'elaboració del document de referència del projecte. És des d'aquest punt de partida de la comunitat d'experts que es detecta la importància de reconstruir el règim històric, i paral·lelament, crear un model del règim de foc de l'Aran, per obtenir recolzament en el disseny i dimensionament de la proposta implícita al Pla Estratègic en un context de canvi climàtic com l'actual.

Cal mencionar primerament que la preexistència d'un model com el MEDFIRE (desenvolupat a nivell de tot Catalunya) ha estat una fortalesa efectiva sense la qual la idea d'una modelització a nivell de projecte hauria estat literalment inviable. Dit això, el fet de poder realitzar una experimentació virtual en base diferents alternatives de gestió d'emergències i d'escenaris climàtics significa una oportunitat per incorporar l'estat de l'art científic dins un projecte tècnic que té la seva finestra d'implementació real en un horitzó de treball de 10 anys.

L'exercici de la modelització permet valorar l'impacte de diferents alternatives estratègiques, incloent el cost d'oportunitat de la hipòtesi nul·la o en altres paraules, de no aplicar l'alternativa lligada al Pla Estratègic. Alhora, el model fa formalment possible un exercici complex de prospecció que des d'una aproximació de lògica lineal seria literalment impossible, i més encara en un context de canvi climàtic. Aquesta capacitat de prospecció, encara que sigui una simplificació de la realitat, representa un salt qualitatiu dins l'àmbit de treball de projectes territorials, recolzant i aportant major certesa a la presa de decisions.

L'adaptació del model al cas concret de l'Aran es detalla en el present document, però a grans trets es podria explicar per la climatologia atlàntica i la seva naturalesa de rara avis dins el context mediterrani de la resta del país. Si bé l'arquitectura del model MEDFIRE Val d'Aran es basa en la del model MEDFIRE preexistent (Brotons et al 2013, Duane et al 2019), l'adaptació a l'Aran queda justificada per la singularitat del règim de foc dels Pirineus dins l'àmbit mediterrani. En aquest sentit, els atributs que són diferenciadors del règim de foc del Pirineu en general són també representatius dins l'àmbit de l'Aran, com per exemple el paper que juguen les cremes controlades en la dinàmica del règim d'incendis o la riquesa en biodiversitat de les comunitats vegetals lligades als seus paisatges.

No obstant, en el cas de l'Aran la diferenciació es fa especialment plausible en l'estacionalitat, amb una petjada històrica de foc concentrada en les estacions de tardor i hivern. A la resta del Pirineu català ja existeix una signatura estadística que posa de relleu aquest patró estacional, però en el cas de l'Aran aquest fet es polaritza a l'extrem fins al punt que la petjada de foc durant les estacions de primavera i estiu ha estat estadísticament irrellevant al llarg de la història recent. Aquesta realitat, juntament amb el seu caràcter atlàntic, condicionen que el MEDFIRE Val d'Aran no sigui directament un model extrapolable a la resta dels Pirineus.





# DISSENY DEL MODEL MEDFIRE VAL D'ARAN

## Objectiu del model

El MEDFIRE Val d'Aran és un model dissenyat per a reproduir el règim d'incendis (patrons espaciotemporals de foc) a la Val d'Aran (VA) basat en la relació dels incendis amb el clima i el paisatge (ignicions, vegetació, edat de la vegetació i gestió [cremes prescrites i extinció]). L'objectiu del model és poder analitzar les interaccions espacials que determinen l'activitat dels incendis sota escenaris climàtics i de gestió canviants.

## Escala, variables d'estat i variables espacials d'entrada

El model funciona per a tot el territori de la Val d'Aran. La resolució espacial són 100 metres i la resolució temporal 1 any. Dins d'aquest any es programa un ordre d'esdeveniments (incendis, cremes, etc., detallats en l'apartat "Descripció del model").

Existeixen dues variables d'estat que defineixen el paisatge i canvien al llarg del temps (veure secció "Inicialització" per saber com s'han preparat les capes):

- MFC (Mapa Forestal i de Cobertes): Mapa que descriu per a cada píxel la tipologia de coberta, i dins de les zones de bosc distingeix la tipologia arbrada monoespècífica (no inclou boscos mixtos). De manera general, hi ha tres grans grups: pastures i prats, matollars i zones forestals.
- Edat (o temps des de l'última pertorbació): Representa el temps des de l'última pertorbació, habitualment foc o aforestació, i també recull les edats dels boscos d'aquells llocs no cremats.

Existeixen altres variables espacials que influeixen als processos dins del MEDFIRE Val d'Aran:

- MDE: altitud dels píxels (en metres)
- Orientació: orientació dels píxels (en 4 categories: 1: N, 2: E, 3: S, 4: O)
- Pendent: pendent màxima d'aquell píxel en funció de les diferències d'altituds (en graus)
- Radiació estival: radiació solar mitjana dels mesos d'estiu (juny-agost, en  $10 \text{ KJ/m}^2 \times \text{dia} \times \text{micròmetre}$ )
- Probabilitat d'ignició: probabilitat d'ignició a la Val d'Aran a partir de les ignicions registrades a la base de dades del Servei d'Incendis Forestals de la Generalitat de Catalunya i en funció de variables de paisatge (probabilitat de 0 a 1; més detalls a "Inicialització").

## Descripció del model

En la versió actual del model hi ha dos submòduls que recullen els principals processos que ocorren al MEDFIRE Val d'Aran: el règim de foc intrínsec de la VA, les cremes prescrites, la supressió d'incendis i la dinàmica de la vegetació (establiment post incendi i successió natural).

### Submòdul incendis

#### Incendis forestals:

El règim d'incendis és simulat mitjançant un mètode "top-down" que depèn de les situacions sinòptiques i del paisatge. Els inputs del model són la distribució d'àrees cremades anuals sota diferents condicions sinòptiques i la distribució de les mides d'incendi, ambdues essent calibrades amb dades històriques de

la Val d'Aran. Hi ha tres condicions sinòptiques que poden provocar incendis: incendis de vent a l'hivern, incendis topogràfics a l'hivern i incendis topogràfics a l'estiu. La sequera acumulada influeix en la quantitat d'àrea a cremar i mida dels incendis, i en aquesta versió del model s'inclouen dues tipologies de condicions de sequera: suau i severa, que poden afectar o bé a l'estiu o bé a l'hivern. Així, per a cada any i estació, el model primer decideix quin tipus d'any és (suau o sever) en funció d'una probabilitat que depèn de les dades meteorològiques observades en el passat i es pot modificar d'acord amb el clima del futur. Llavors, per a cada situació sinòptica, s'escull a partir de funcions de probabilitat quina serà l'àrea a cremar. Primer ocorren els incendis de vent d'hivern, després els topogràfics d'hivern i per últim els topogràfics d'estiu. S'ha ajustat una quantitat màxima a cremar en un mateix any i situació sinòptica a 5000 hectàrees. Per als primers 7 anys de la simulació (2011-2017) es selecciona l'àrea cremada que efectivament va cremar aquell any a la VA.

En funció de la condició sinòptica, els incendis es propaguen en dues tipologies d'incendi tipus: de vent o topogràfic. Per a cada tipologia, els 4 diferents elements (combustibilitat per tipologia de vegetació, orientació, pendent i direcció principal del vent) que afecten a la propagació tenen pesos diferents. En l'article de Duane et al 2016 es detallen quins són aquests pesos per a incendis topogràfics i de vent. No obstant, en el present treball s'ha hagut d'ajustar la combustibilitat de les diferents tipologies arbòries de la VA. Un dels principals factors que afecten a la propagació dels incendis és la direcció del vent. Per als incendis de vent, s'escull la direcció del vent en funció de les condicions sinòptiques històriques a la VA: un 33% corresponen a episodis de Nord, un 33% a episodis de Nord-oest i un 33% a episodis de Oest. Per als incendis topogràfics, s'escull a l'atzar qualsevol de les 8 direccions de vent.

Un cop es fixa l'àrea a cremar un any (que com ja s'ha comentat, depèn de les finestres meteorològiques que poden portar a incendis), es simulen tants incendis com siguin necessaris per a cremar l'àrea potencial dictada per la meteorologia. Per a cada incendi, primer s'escull un punt d'ignició i després l'àrea a cremar en aquell incendi en funció de corbes de probabilitat. El punt d'ignició s'escull en funció de la capa de risc d'ignicions. Aquesta capa s'ha construït a partir de l'altitud de cada píxel, el seu pendent i la radiació solar com a aproximació de l'orientació. Des del punt d'ignició, l'incendi es propaga segons la tipologia (vent o topogràfic), i fins a l'àrea potencial.

Els focs poden cremar en alta o baixa intensitat, bàsicament en funció de 1) la tipologia d'any (en anys severos sempre cremen en alta intensitat), i 2) de la taxa de propagació, que depèn dels 4 factors que afecten la propagació. El llindar de taxa de propagació que separa un foc d'alta intensitat d'un de baixa correspon a 0.35 (entre 0 i 1), que és el valor que és capaç de reproduir un 85% de zones cremades en alta intensitat a Catalunya. En la versió actual del model, l'edat de les comunitats forestals cremades sempre passa a ser 0, tant si cremen en alta com en baixa intensitat.

#### Cremes prescrites:

Les cremes prescrites (PB, de l'anglès *Prescribed Burns*) ocorren cada any després dels incendis, simulant cremes de tardor. Sempre es propaguen com si fossin incendis topogràfics i la mida de cada PB s'extrau d'una funció de probabilitats ajustada segons les cremes històriques de la base de dades de cremes prescrites dels bombers als Pirineus. S'ha escollit una mida mínima i màxima d'1 i 100 hectàrees respectivament. Les cremes prescrites no són imposades (és a dir la localització i mida no són predeterminades, només el total a cremar cada any), i per tant la seva localització és d'acord a zones d'alt risc d'incendi. El nombre d'hectàrees a cremar cada any pot seguir dues estratègies: o una quantitat fixa o un cabal de foc, és a dir es crema en funció del que s'ha cremat en els 7 anys anteriors. Es simula que les cremes sempre són de baixa intensitat i la vegetació sempre és la mateixa que l'anterior, tot i que l'edat torna a ser 0.

#### Extinció d'incendis:

En el present model els incendis s'extingeixen quan han arribat a la seva àrea potencial, que simula que les condicions han millorat (meteorològicament, topogràficament, tipus de vegetació, etc.) per a que el sistema de gestió d'emergències apagui el foc. Ara bé, també pot existir un altre tipus d'extinció,

que depèn de les característiques (edat) de la vegetació independentment del potencial climàtic: en aquesta estratègia, si l'incendi arriba a vegetació que ha cremat en els últims 7 anys, proporciona una oportunitat d'extinció independentment de la meteorologia. Per a l'arquitectura interna el model, l'àrea finalment cremada respecte la potencial és més petita, però l'àrea no cremada es segueix comptabilitzant per al còmput de l'àrea a cremar aquell any. Per tant, les zones cremades del passat (últims 7 anys) suposen una reducció del cremat real respecte el potencial climàtic.

### Submòdul dinàmica de la vegetació

En aquest model es simulen tres processos de dinàmica de vegetació. Per una banda, es simula l'establiment post incendi, és a dir, després d'un incendi s'escull quin tipus de vegetació s'establirà a cada píxel. La probabilitat que una espècie cremada s'estableixi o no depèn dels seus trets funcionals post-incendi (seròtina, germinadora, rebrotadora o cap). Si no es pot establir, s'escull una altra espècie que depèn d'una matriu de transició post-incendi probabilística amb les transicions més típiques de la Val d'Aran. No obstant, degut a que normalment dins d'un mateix incendi es segueixen rutes post-incendi similar, s'assumeix un cert percentatge (40%) de contagi espacial en les trajectòries de recuperació post-incendi (per exemple, si en una zona cremada s'estableixen bedolls, es propicia que a part de la resta de l'incendi també, per no tenir un efecte sal-i-pebre, píxel a píxel). Els altres dos processos de dinàmica de la vegetació inclouen l'aforestació (probabilitat de passar de matollar a bosc) i la "matollarització" (probabilitat de passar de prats a matollar). Ambdós processos es reproduïxen mitjançant una funció logística (probabilitat d'esdevenir un estadi successiu (1) o seguir essent el mateix (0)) que depèn de l'orografia, del temps des de l'últim incendi i de la quantitat de vegetació madura (amb capacitat de colonitzar) al voltant de cada píxel avaluat.

## INICIALITZACIÓ

### Variables d'estat

#### Mapa de cobertes i tipologies forestals:

El mapa està basat en el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya 2009 (v4). S'ha fet una generalització de la informació temàtica a partir d'una reclassificació, i s'ha fet una generalització espacial per aconseguir els 100 metres de resolució a partir del criteri de moda (coberta més repetida) dins de cada píxel de 100 metres. La decisió sobre quina espècie forestal domina cada píxel està basada en l'Inventari Forestal Nacional 3, en concret en l'àrea basal de les espècies. La llegenda del mapa de cobertes i tipologies arbòries resultant és la següent:

Codi	Descripció	Cobertes	Susceptible a cremar	Dinamisme
1	<i>Pinus sylvestris</i>	Bosc	Combustible	Dinàmic (pot evolucionar)
2	<i>Pinus uncinata</i>			
3	<i>Abies alba</i>			
4	<i>Quercus humilis</i>			
5	<i>Fagus sylvatica</i>			
6	Altres arbres *			
7	Matollars	Matollars	No combustible	Estàtic (sempre mateixa coberta)
8	Prats de muntanya	Prats de muntanya		
9	Prats de dall	Prats de dall		
10	Sòl nu / roques	Sòl nu	No combustible	Estàtic (sempre mateixa coberta)
11	Aigua	Aigua		
12	Zones urbanes	Zones urbanes		

\* La categoria *Altres arbres* representa formacions caducifòlies com el bedoll o el roure pèrol

**Taula 1.** Descripció de les categories del mapa de cobertes i forestal de la VA per al 2010.

#### Mapa d'edats o temps des de l'última pertorbació:

La inicialització d'aquesta capa depèn de l'alçada màxima trobada al vol lídar del CREAM al 2005, a partir de la qual hem deduït les edats de les masses forestals segons l'article Gil-Tena et al 2016. Per a zones cremades ens els darrers 20 anys, s'ha implantat els anys des de l'últim incendi. Per a zones de matollar o prat que no es coneix la data de l'últim incendi, s'assumeix que tenen com a mínim 20 anys (període del que tenim dates d'incendi).

### Submòdul incendis

#### Diferenciació i probabilitats d'estacions severes i suaus:

Per decidir si una estació és climàticament severa o suau s'ha seguit el següent procediment, diferenciant per estació:

#### - Estiu:

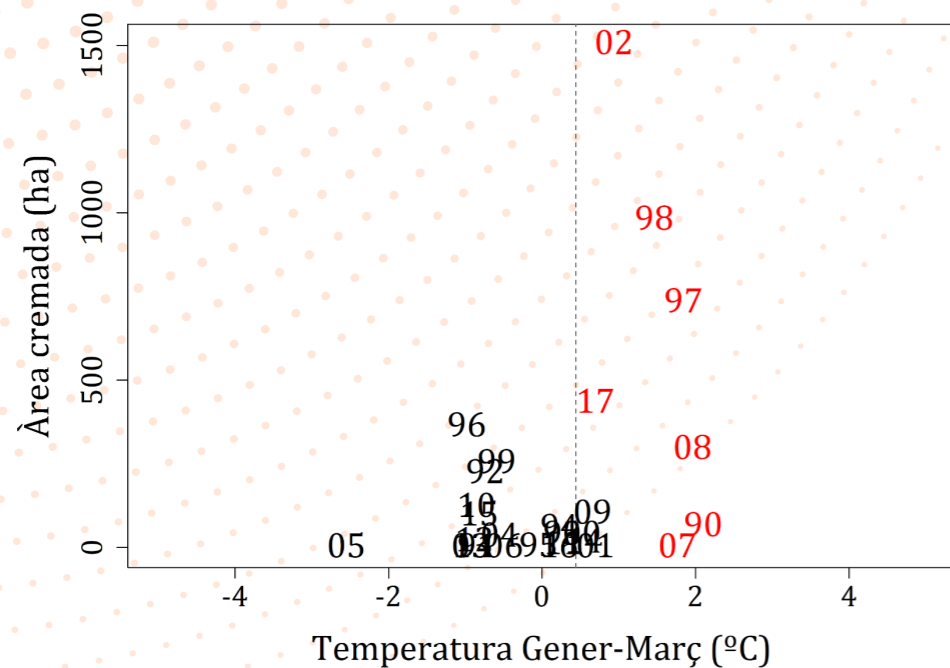
S'ha establert la severitat climàtica de l'estiu d'acord a les condicions primaverals predominants a tot Catalunya, tal i com es detalla a l'article Duane et al. 2019. En aquest treball es fa servir l'índex SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*) de punts repartits per tot el territori de Catalunya

per avaluar l'aridesa de la primavera (abril-maig-juny). Amb un procediment estadístic es relaciona aquest índex amb l'activitat dels incendis, per aconseguir un valor llindar a partir del qual es considera un estiu sever o suau. En el cas del present treball s'ha considerat que les condicions predominants a Catalunya són un bon reflex de la sequera d'estiu a la Val d'Aran (relacionada amb mesos de primavera) i s'ha fet servir la mateixa classificació d'anys.

Un cop acotada la tipologia d'any, es determina quin percentatge d'anys són severs o suaus i s'aplica aquest percentatge a les simulacions (45% probabilitat que l'any sigui sever versus 55% que sigui suau a l'estiu en les condicions actuals).

#### - Hivern:

El càlcul de la sequera de la vegetació a l'hivern s'ha fet utilitzant dades diferents. S'ha calculat la temperatura mitjana a tota la Val d'Aran per als mesos de gener-març, que corresponen al pic dels incendis de la regió. S'ha calculat quin és el llindar de temperatura que separa estadísticament dos grups d'hiverns (anys normals o anys severs) en funció de l'àrea cremada a partir de l'estadístic PettitTest. El resultat és un llindar  $0.41^{\circ}\text{C}$  amb un valor significatiu ( $p < 0.05$ ). La temperatura de la Val d'Aran s'ha extret de les dades de reanàlisis del MESCAN-SURFEX (del model UERRA), disponible a la *Copernicus Data Score*. Les dades estan disponibles a 5.5 kilòmetres, i per aquest treball s'ha seleccionat els 4 píxels que cobreixen la zona de la Val d'Aran. S'ha seleccionat la temperatura a les 12:00 del migdia.



**Figura 1.** Divisió dels anys (números de dins la gràfica) en funció de la temperatura mitjana de gener-març (eix X) i l'àrea total cremada a la Val d'Aran (eix Y). La línia vertical mostra el llindar de separació d'hiverns severs (vermells) o normals (negres), que correspon a  $0.41^{\circ}\text{C}$ .

#### Àrea cremada anualment:

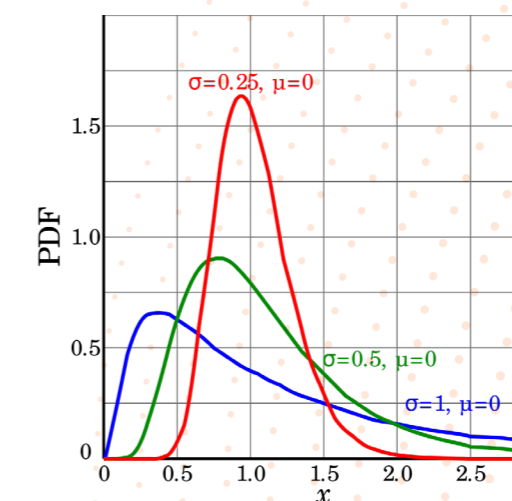
Primer s'han obtingut els perímetres i les situacions sinòptiques del passat per a calibrar les funcions de probabilitat d'àrea cremada. El procediment per a aconseguir els perímetres d'incendi per a cada situació sinòptica a la Val d'Aran ha estat el següent:

- A partir de la base de dades de perímetres de bombers de 1970 a 2015, s'han seleccionat tots els perímetres d'incendis succeïts a la Val d'Aran. Es consideren només els incendis posteriors a 1990 per coherència de les fonts de dades.

- S'han inclòs els perímetres de la base de dades de la Generalitat que no estiguessin inclosos, especialment els incendis ocorreguts de 2015 a 2017.
- Per a cada incendi, s'ha comprovat si es disposava de la data exacta o de l'any. Si l'incendi només té any i són de llamp, es consideren d'estiu, i sinó d'hivern. Els incendis sense data ni estació es descarten.
- S'han separat els incendis que han succeït a l'estiu (maig-setembre), i s'observa que a la VA només es té registre d'un incendi ocorregut fora de l'hivern.
- Per als incendis d'hivern s'han establert els següents passos:
  - o S'han descartat els incendis de tardor (octubre-desembre) ja que distorsionen la senyal climàtica i perquè només n'hi ha un.
  - o Per als incendis amb informació sobre la tipologia de propagació procedent de la base de dades de bombers, s'ha classificat en situació sinòptica de vent o topogràfic.
  - o Per als incendis sense informació del patró de propagació s'ha buscat i analitzat la situació sinòptica de l'incendi a partir de la plataforma *Wetterzentrale*. Si el patró de pressions eren de N, W o NW s'ha classificat l'incendi com incendi de vent, i sinó, com a topogràfic. Si l'incendi té any però no data exacta, es mira la forma de l'incendi, sent els incendis de carenes de vent i la resta topogràfics.

Per a calibrar un règim d'incendis d'estiu, s'ha fet servir la base sencera dels incendis d'estiu del Pirineu Occidental (Alt Pallars i Aran) i s'ha escalat a l'escala de la Val d'Aran segons el % de territori que representa la VA respecte el total de la regió. Aquesta decisió està presa per poder reproduir un règim d'estiu poc representat en el passat però que podria ser-ho en un context de canvi climàtic.

Un cop obtinguda la informació de l'àrea cremada per any, tipus de condicions de sequera i situació sinòptica, s'han ajustat funcions de probabilitat *lognormal* per a les 6 combinacions resultants. Les funcions *lognormal* necessiten dos paràmetres: la mitjana i la desviació estàndard, detallats en la Taula 2 per a cada combinació climàtica. Una funció *lognormal* té la forma representada a la Figura 2 (a tall d'exemple).



**Figura 2.** Exemple de distribució lognormal en funció de diferents mitjanes i desviacions estàndards (a mode d'exemple). Per al nostre cas, l'eix de les X marcaria la quantitat a cremar anualment i l'eix de les Y la freqüència amb que es pot donar aquella quantitat. Font: Wikipedia.

Sequera	Situació sinòptica	meanlog	sdlog
Suau	Vent-hivern	1.06	1.92
Suau	Topo-hivern	2.15	2.06
Suau	Topo-estiu	0.71	0.99
Sever	Vent-hivern	3.16	2.82
Sever	Topo-hivern	3.59	3.14
Sever	Topo-estiu	1.39	1.43

Taula 2. Paràmetres de les distribucions log-normal de les sis combinacions meteorològiques.

No obstant per als primers 7 anys de la simulació es seleccionen les quantitats anuals reals ocorregudes a la Val d'Aran (Taula 3)

Any	Àrea cremada
2011	11
2012	19
2013	0
2014	14
2015	96
2016	0
2017	432

Taula 3. Àrea cremada real entre 2011 i 2017

#### Distribucions de mida d'incendi:

Un cop establerta l'àrea cremada potencial a cremar cada any, es reproduïxen tants incendis com siguin necessaris per a cremar aquella àrea. La mida de cada un dels incendis s'extreu també d'una funció de probabilitats, en aquest cas amb forma *PowerLaw* (Figura 3). Aquesta funció relaciona el logaritme de la mida de cada incendi amb el logaritme del nombre de vegades que aquella mida d'incendi és superada, que es relacionen linealment de manera negativa (Figura 3). Per al present model, s'han agafat totes les mides d'incendis de la Val d'Aran segons tipologia de propagació i estat de la sequera.

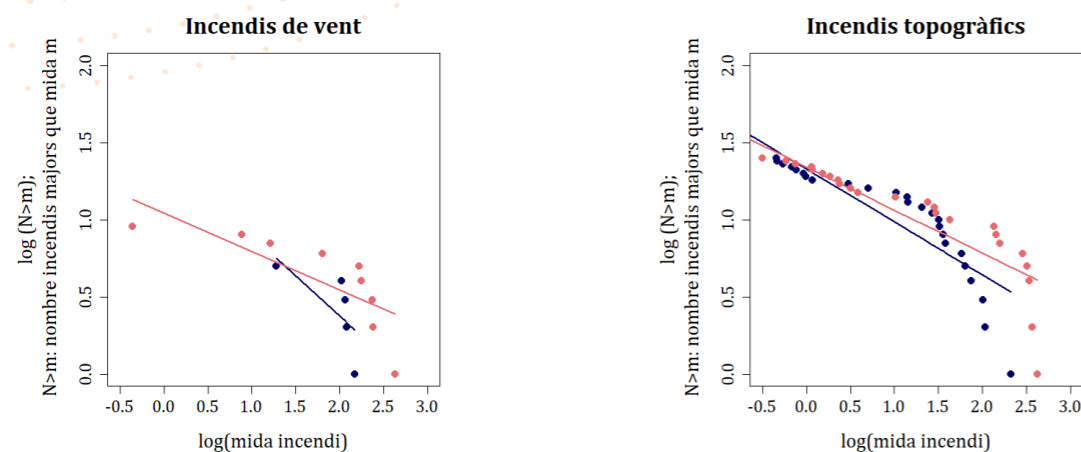


Figura 3. Distribució de mides dels incendis per incendis de vent i topogràfics, segons estat de la sequera (blau - hivern suau i vermell - hivern sever).

Les mides d'incendi per a cada combinació de sequera-situació sinòptica es detallen a la Taula 4. En aquesta apareixen els dos paràmetres de la funció: punt d'origen i pendent.

Sequera	Situació sinòptica	Punt d'origen	Pendent
Suau	Vent-hivern	1.42	-0.52
Suau	Topo-hivern	1.33	-0.34
Suau	Topo-estiu	1.70	-0.69
Sever	Vent-hivern	1.05	-0.25
Sever	Topo-hivern	1.34	-0.28
Sever	Topo-estiu	1.61	-0.50

Taula 4. Paràmetres distribució *PowerLaw* per a les 6 combinacions meteorològiques.

#### Combustibilitat de les cobertes incendiàbles:

La incidència de la tipologia i quantitat de vegetació sobre la propagació del foc és un món de recerca en sí mateix. Tot i que habitualment es fan servir els models de combustible de Rothermel, la seva efectivitat està posada en dubte sovint, ja que no recullen molta de la variabilitat dins de cada model i perquè els paràmetres de propagació s'han vist molt sovint traspassats per la realitat. A més, les característiques del bosc mediterrani i atlàntic fa que la diversitat de combustibles sigui més àmplia que a la representada amb Rothermel. En aquest treball doncs es fa una aproximació de la combustibilitat de les masses forestals segons la seva espècie principal, que fa d'indicador sobre la flamabilitat de les espècies, l'estructura de la massa, la humitat normalment retinguda, etc. Basat en els valors obtinguts per Duane et al. 2016, en què s'analitza el pes de cada tipologia forestal sobre la propagació en base a la coincidència espacial de perímetres simulats amb reals, s'han modificat els valors en base a criteri expert segons analistes de foc del GRAF. Els valors van entre 0 i 1, i estan representats a la Taula 5.

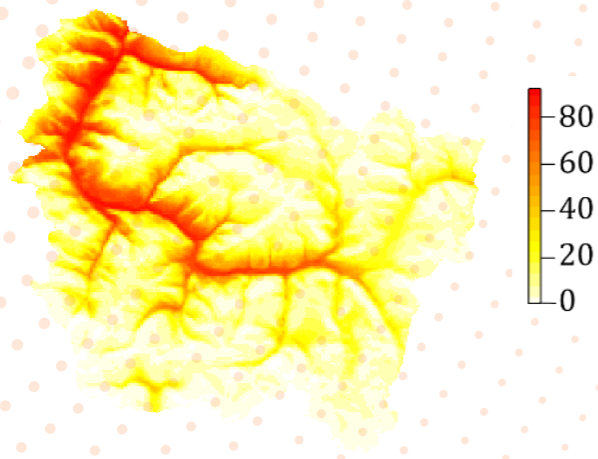
Codi coberta	Propagació en anys suaus	Propagació en anys severos
1- <i>Pinus sylvestris</i>	0.5	0.6
2- <i>Pinus uncinata</i>	0.4	0.5
3- <i>Abies alba</i>	0.4	0.5
4- <i>Quercus humilis</i>	0.5	0.6
5- <i>Fagus sylvatica</i>	0.4	0.5
6- Altres arbres	0.4	0.5
7- Matollars	0.9	0.9
8- Prats de muntanya	0.8	0.8
9- Prats de dall	0.7	0.7
10- Sòl un / roques	0	0
11- Aigua	0	0
12- Zones urbanes	0	0

Taula 5. Combustibilitat cobertes i espècies forestals al MEDFIRE Val d'Aran.

#### Mapa d'ignicions:

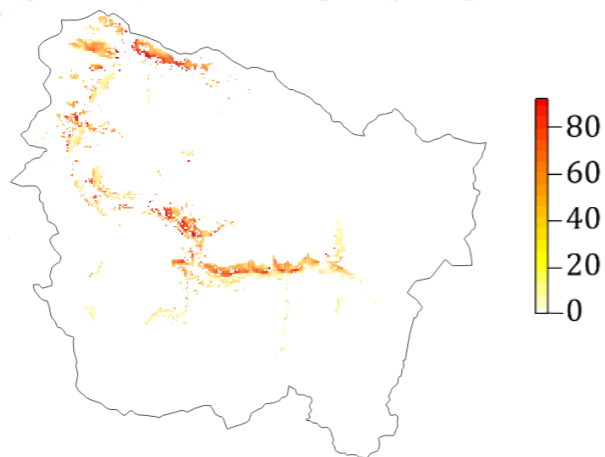
S'ha calculat la probabilitat d'ignició a la Val d'Aran en funció de variables de paisatge: elevació, pendent i radiació solar (com a aproximació de sequedat de la vegetació en funció de l'orientació). S'han fet servir dades de localització de les ignicions proporcionades pel SPIF des de 1989 a 2017. S'ha ajustat un model logístic agafant les zones sense ignicions com a 0. La fórmula que prediu la probabilitat d'incendi és la següent, i el mapa resultat es mostra la Figura 4.

$$\text{logit}(P_{\text{ignició|no-ignició}}) = -11.155 - 0.003 \cdot \text{Altitud} + 0.059 \cdot \text{Pendent} - 0.006 \cdot \text{RadiacioSolar}$$



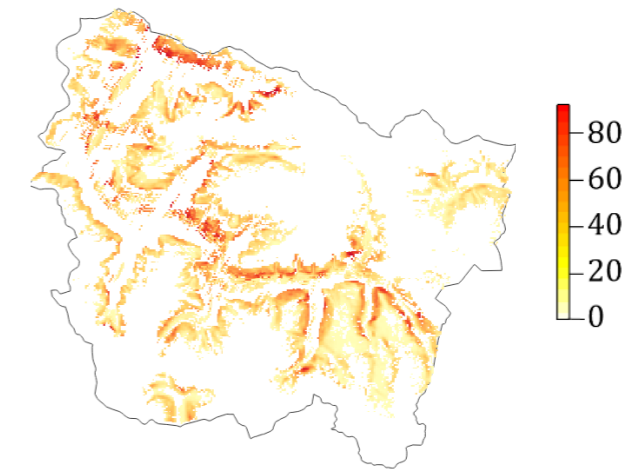
**Figura 4.** Model d'ignicions a la Val d'Aran en funció de l'altitud, la pendent i l'orientació. Els valors representen la probabilitat espacial d'ocurrència d'ignició entre 0 i 100.

Per a restringir l'inici dels incendis a les zones amb més perill d'incendis i no esbiaixar l'activitat del model a cotes altes, molt menys realista, s'ha establert una màscara de manera que els incendis només comencen en zones de prats i matollar, i per sota dels 1500 metres. El mapa final de probabilitat d'ignició per a l'hivern és mostra a la Figura 5.



**Figura 5.** Model d'ignicions d'hivern a la Val d'Aran restringit a cotes baixes. Els valors representen la probabilitat espacial d'ocurrència d'ignició entre 0 i 100.

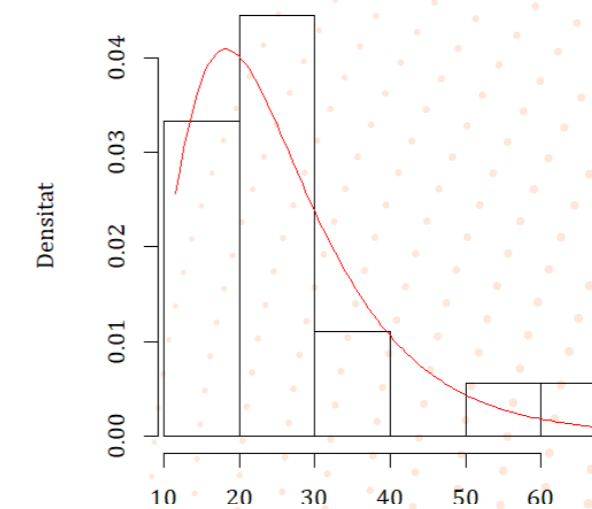
En canvi, per a l'estiu, s'han afegit zones a ser susceptibles a patir un incendi de llamp. S'han seleccionat les zones forestals d'alçada, és a dir les superiors a 1500, i s'ha aplicat aquesta màscara a la capa base de probabilitat d'ignició. La capa d'ignició per a l'estiu es mostra a la Figura 6.



**Figura 6.** Model d'ignicions d'estiu a la Val d'Aran. Els valors representen la probabilitat espacial d'ocurrència d'ignició entre 0 i 100.

#### Mida de les cremes prescrites:

El present model simula l'aplicació de cremes prescrites sobre el territori a partir d'un mètode emergent en què en base a un cabal de foc o d'una quantitat fixa de PB (a decidir per l'usuari) es simulen tantes cremes com siguin necessàries fins a complir aquella quantitat. La mida de cada crema emergeix d'una funció de probabilitats *lognormal* calibrada a partir de la base de dades de cremes prescrites dels bombers de la Generalitat (Figura 7). S'han seleccionat les PB ocorregudes als Pirineus, i s'han seleccionat les PB més grans que el percentil 90, és a dir 11.5 hectàrees. Aquesta xifra és per simular les mides ajustades a la Val d'Aran, que acostumen a ser de mida gran.



**Figura 7.** Distribució de mides de cremes prescrites. L'eix de les X mostra mides de cremes prescrites en hectàrees, i l'eix de les Y mostra la quantitat de cada mida. La línia vermella mostra la funció *lognormal* ajustada.

La mitjana i desviació estàndard de la distribució *lognormal* són 3.13 i 0.48 respectivament. Aquests valors es podrien canviar per part de l'usuari en funció de quina mida es vulguin fer les PB.

## Submòdul dinàmica de la vegetació

### Matriu de regeneració post-incendi:

Després d'un incendi, s'avalua la capacitat de les espècies per establir-se a partir dels trets funcionals de cada espècie. En cas que una espècie no pugui establir-se o regenerar-se, s'estableix una altra espècie en funció de les transicions típiques de la VA. La Taula 6 mostra la probabilitat d'auto-regeneració o d'aparició de noves espècies (columnes) en funció de l'espècie cremada (files).

Post-foc \ Pre-foc	<i>P.sylvestris</i>	<i>P.uncinata</i>	<i>A.alba</i>	<i>Q.humilis</i>	<i>F.sylvatica</i>	Altres arbres	Matollars	Prats	Total
<i>P.sylvestris</i>	0.130			0.335		0.335	0.200		1
<i>P.uncinata</i>		0.130		0.335		0.335	0.200		1
<i>A.alba</i>			0.130	0.335		0.335	0.200		1
<i>Q.humilis</i>				0.930			0.070		1
<i>F.sylvatica</i>					0.930		0.070		1
Altres arbres						0.930	0.070		1
Matollars								1	1
Prats								1	1

Taula 6. Matriu de transicions post-incendi

Els valors d'aquesta taula estan basats en les transicions descrites en el model MEDFIRE a Catalunya (Brotons et al 2013) que s'extreuen de l'article Rodrigo et al 2004, però adaptat segons criteri expert a la Val d'Aran.

Si un incendi torna a ocórrer en el mateix lloc en un període molt curt, aquesta matriu de transició es pot veure lleugerament afectada. Per començar, com a període curt considerem 15 anys per als boscos, mentre que per a matollars i prats no queda afectat ja que sempre torna a prat. Per a la resta d'espècies, si és crema en menys de 15 anys passarà a ser matoll, ja que es considera que les espècies forestals o bé no han tingut temps de produir òrgans reproductors (pinyes), o bé han perdut reserves de carboni per a regenerar de nou.

### Aforestació i successió de prat a matollar:

La probabilitat de passar de matoll a bosc es basa en els càlculs realitzats en el treball Gil-Tena et al 2016, en els quals es calcula una funció logística en que la probabilitat d'esdevenir bosc (1) respecte quedar-se matoll (0) depèn de l'edat del matoll (o temps des de l'últim incendi), la pendent, la radiació solar i la quantitat de boscos madurs al voltant del píxel avaluat. Els boscos madurs es calculen en funció de les característiques de les espècies: si són coníferes, han de tenir almenys 15 anys per a poder tenir propàguls reproductors, i si són fagàcies 4. L'espècie que s'estableix s'extreu de la composició a 500 metres a la rodona del píxel avaluat, tenint les coníferes el doble de potencial colonitzador que les fagàcies.

La probabilitat d'un prat de passar a matoll no havia estat encara calculada i s'ha fet en aquest estudi específicament per a la VA. S'han mostregat 30 punts a la Val d'Aran en què al 2010 aquests punts eren prats segons el mapa de cobertes del sòl de Catalunya. Al 2019 s'hi ha anat a camp i s'ha comprovat si seguien sent prat o ja tenien espècies llenyoses que componen el matollar. Els punts mostrejats corresponen a zones de Canejan, Baussen, Casarilh, Betren i Tredòs. A partir d'aquesta transició, s'ha ajustat un model logístic en que es calcula la probabilitat d'esdevenir matoll (1) envers a quedar-se com a prat (0). Les variables predictoras són l'altitud, la pendent, la radiació solar, l'edat del prat i la quantitat de boscos o matolls al voltant (radi de 150 metres) del punt avaluat. L'edat del prat s'ha tret a partir de les dades d'incendis de la Generalitat. La taula 7 resum les variables del model de la probabilitat d'esdevenir matoll.

Factor	Unitats	Font
Pendent	°	DEM
Altitud	m	DEM
Radiació solar estival	10 KJ/(m <sup>2</sup> *dia*micrometer)	DCAC
Veïnatge forestal a 150m	0 a 8 píxels	LCMC 2010
Edat dels prats	Anys	Perímetres d'incendi

Taula 7. Variables que incideixen en la probabilitat d'esdevenir matoll

El model logístic resultant és el següent:

$$\text{logit}(P_{\text{matollar}|\text{seguirPrat}}) = 16.048 - 0.007 \cdot \text{Altitud} - 0.092 \cdot \text{Pendent} - 0.006 \cdot \text{RadSol} + 0.676 \cdot \text{VeiForestal} + 0.168 \cdot \text{Edat}$$

Per a entendre aquests valors, s'inclouen una sèrie de gràfics que ajuden a entendre la probabilitat de passar de prat a matollar (Figures 8, 9 i 10).

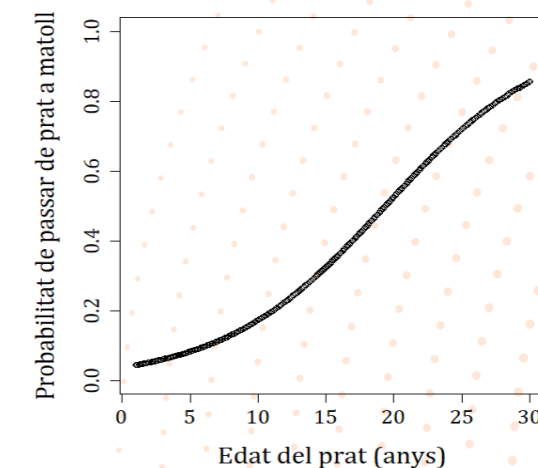
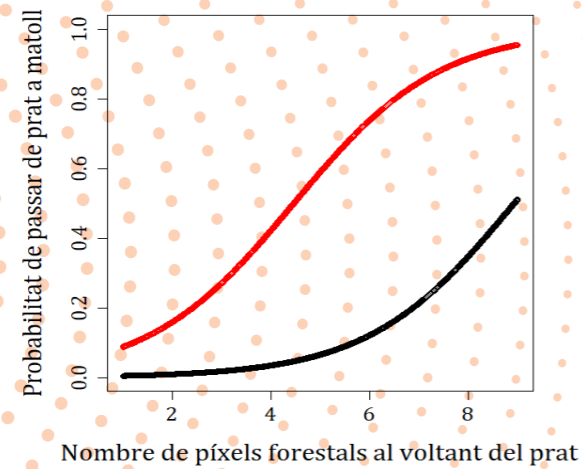
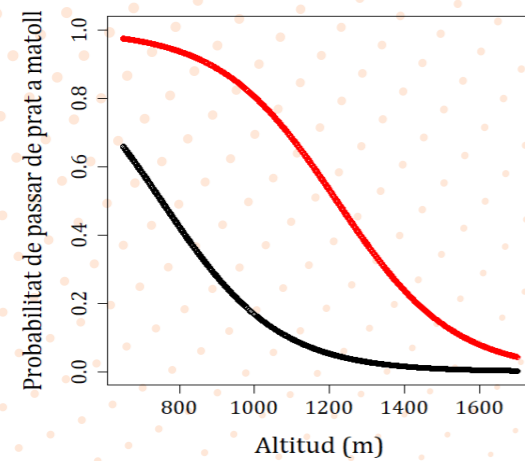


Figura 8. Probabilitat de passar de prat a matollar en funció de l'edat del prat



**Figura 9.** Probabilitat de passar de prat a matollar en funció del nombre de píxels forestals al voltant del prat (de 0 a 8). En aquest cas es mostren dues corbes: en negre si el píxel té 2 anys, i en vermell si té 20 anys.



**Figura 10.** Probabilitat de passar de prat a matollar en funció de l'altitud del píxel. En aquest cas es mostren dues corbes: en negre si el píxel té 2 anys, i en vermell si té 20 anys.

Tot i que s'és conscient del paper important de la ramaderia en aquest procés, els valors resultants indiquen que el model reflexa un prat típic estàndard amb un pes mitjà de la ramaderia.

## ESCENARIS I SIMULACIONS

Aquest document recull els escenaris i resultats realitzats en el context del Pla Estratègic de Gestió del Foc a la Val d'Aran 2020. Aquest Pla està desenvolupat com a eina política i administrativa per a la gestió de les cremes prescrites i els incendis forestals en la regió administrativa de la Val d'Aran. Per ajudar a la presa de decisions i l'avaluació dels impactes del nou pla, es va aplicar el model MEDFIRE Val d'Aran, es van buscar aquells escenaris que optimitzaven els objectius de gestió, i es van avaluar els impactes sobre altres serveis ecosistèmics. En aquest apartat es descriuen els paràmetres dels escenaris i de les simulacions dutes a terme en aquest context.

Es simula un període de 40 anys, de 2011 a 2050. Les simulacions comencen al 2011 perquè és el any amb el mapa de cobertes més recent que es disposa. No obstant, entre els anys 2011 i 2017, enlloc de simular el règim d'incendis, s'aplica el règim d'incendis observat, cremant la quantitat real de cada any. A partir del 2018, es simulen el paisatge i els incendis.

Els escenaris testen l'efecte de dos eixos de variació a futur: la gestió amb focs de baixa intensitat (o cremes prescrites) i el canvi climàtic. Per a la gestió amb focs de baixa intensitat, s'aplica el que s'anomena el "Cabal Ecològic de foc" (CEF) mínim: el model assegura que al paisatge es crema una certa quantitat (escollida per l'usuari) de superfície, ja sigui amb incendis no planificats o amb cremes prescrites. És a dir, el model simula el règim d'incendis "natural" (calibrat amb les dades històriques), i si no arriba a la quantitat de CEF s'apliquen cremes prescrites fins a arribar a aquella quantitat. Si el CEF és molt petit, és molt probable que no es necessitin cremes prescrites. En canvi si el CEF supera el valor mitjà d'hectàrees cremades anualment (180 de mitjana a la Val d'Aran), és probable que s'apliquen cremes prescrites per arribar al CEF. Respecte al canvi climàtic, el model aplica dues tipologies d'estacions: les severes i les suaus. Històricament el % d'hiverns severes ha estat del 39%. En els escenaris sense canvi climàtic, s'aplica aquest percentatge d'hiverns severes al futur. Per a escenaris amb canvi climàtic, es fa servir les projeccions del model climàtic global CNRM amb la regionalització CCLM4-8-17, i fent servir la projecció més pessimista, la RCP8.5. Amb aquest model s'obtenen les temperatures mitjanes per a la Val d'Aran i s'aplica un règim d'incendis sever si la temperatura mitjana de futur per aquell any és superior a 0.41°C a l'hivern. Per a les condicions d'estiu, s'han aplicat els resultats de Duane et al 2019, en què a Catalunya l'històric d'estius severes és del 45% i amb la projecció RCP8.5 passa a ser del 66% durant el període de les simulacions. Una climatologia severa a l'estiu (més seca) pot augmentar, en petites proporcions, les àrees cremades per incendis d'estiu degut a una major disponibilitat del combustible en incendis de llamp.

Es testen 24 escenaris diferents combinant tipologies de gestió (aplicació o no de cremes prescrites amb diferents quantitats), amb o sense canvi climàtic. Per a cada escenari es repeteix 50 vegades cada simulació per a poder fer mitjanes i capturar el component atzarós del model. El total d'escenaris simulats estan recollits a la Taula 8.

Escenari	Cabal Ecològic de Foc mínim	Condicions climàtiques
BAU_noCC	Règim històric	Actuals, sense canvi climàtic
BAU_CC	Règim històric	
NFD_CC_25	25	Amb canvi climàtic, projecció RCP8.5
NFD_CC_50	50	
NFD_CC_75	75	
NFD_CC_100	100	
NFD_CC_125	125	
NFD_CC_150	150	
NFD_CC_175	175	
NFD_CC_200	200	
NFD_CC_225	225	
NFD_CC_250	250	
NFD_CC_275	275	
NFD_CC_300	300	
NFD_CC_325	325	
NFD_CC_350	350	
NFD_CC_375	375	
NFD_CC_400	400	
NFD_CC_425	425	
NFD_CC_450	450	
NFD_CC_475	475	
NFD_CC_500	500	
NFD_CC_525	525	
NFD_CC_550	550	

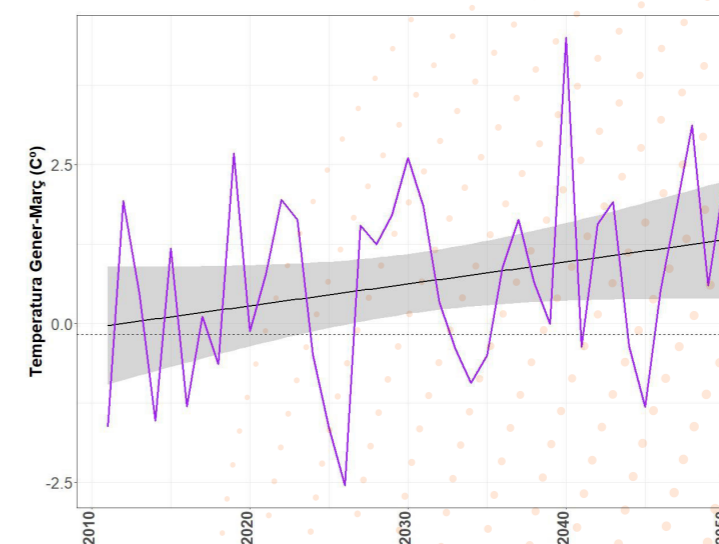
**Taula 8.** Recull d'escenaris testats, amb les diferents combinacions de gestió (cabal ecològic de foc) i de canvi climàtic. BAU són les sigles en anglès de "Business-as-usual", que representa l'escenari sense canvis respecte el passat. NFD són les sigles en anglès de "New Fire Deal" que representa un nou escenari d'incendis. Cabal ecològic de foc "mínim" significa que el model s'assegura que cada any crema aquella quantitat, ja sigui amb incendis no planificats com amb cremes prescrites. No obstant l'àrea cremada un cert any pot ser superior si els incendis ho superen.

## RESULTATS DEL MODEL MEDFIRE VAL D'ARAN

### Cabal Ecològic de Foc (CEF) òptim sota canvi climàtic

#### Incendis sota condicions actuals i amb canvi climàtic

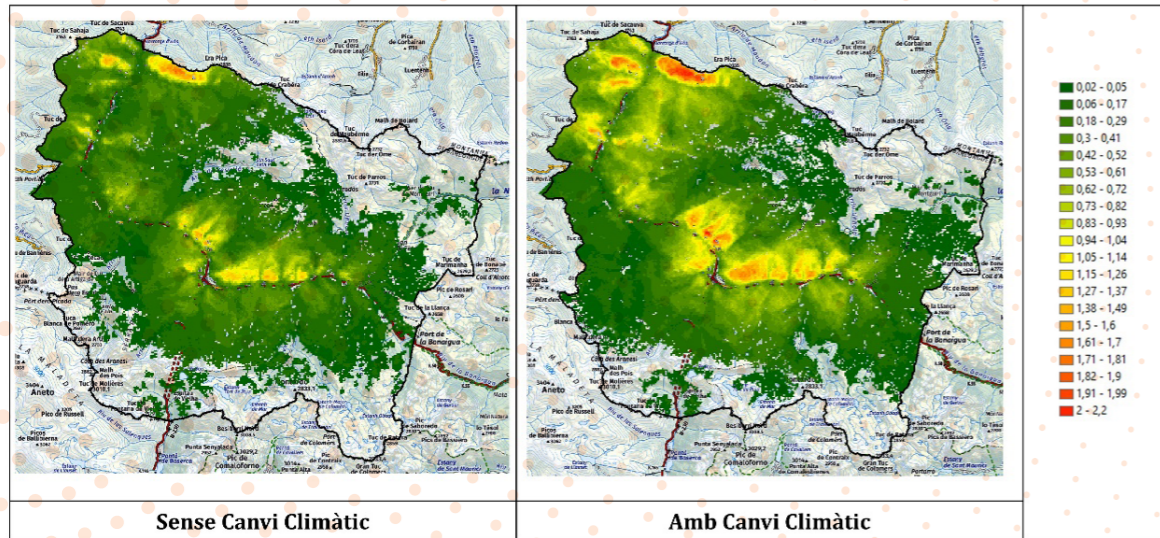
Els resultats del MEDFIRE Val d'Aran permeten avaluar quina serà l'evolució dels incendis forestals a la Val d'Aran entre 2011 i 2050 sota condicions actuals i en un context de canvi climàtic. L'evolució de les temperatures d'hivern a la VA en aquest període s'ha fet en base als resultats de la projecció RCP 8.5 (la més pessimista) del model climàtic global CNRM amb la regionalització CCLM4-8-17, i mostra un increment constant de la temperatura per al període 2011-2050 (Figura 11). Aquest fet a la pràctica té efectes sobre el model MEDFIRE Val d'Aran en la mesura que augmenta la freqüència d'anys severos i per tant la superfície potencial a cremar (degut bàsicament a la major disponibilitat del sòl, ja que temperatures més altes desgelen el sòl i fan que el foc cremi de subsòl, cremant amb més severitat, facilitant els rodolaments i impactant noves valls i posant més dificultats als mitjans d'extinció). A l'estiu, els canvis en els anys severos o normals s'han basat en els resultats previs de Duane et al 2019, en què augmenta la probabilitat de ser un any sever de un 45 a un 66%. Els anys secs d'estiu poden augmentar, en petites proporcions, les àrees cremades per incendis d'estiu degut a una major disponibilitat del combustible en incendis de llamp. En resum, la superfície cremada en alta intensitat en un escenari amb canvi climàtic és significativament més alta que en l'escenari en què el clima segueix similar als darrers 25 anys (Figura 12).



**Figura 11.** Evolució de la temperatura mitjana entre gener i març a la Val d'Aran de 2011 a 2050, segons el model climàtic global CNRM regionalitzat amb el model CCLM4-8-17. La línia lila marca les temperatures predites pel model, mentre que la línia negra mostra la tendència temporal (amb desviació estàndard en gris). La línia de punts horitzontal indica la mitjana històrica del període 1990-2017.



### RECURRENCIA MITJANA D'INCENDIS D'ALTA INTENSITAT\* ENTRE 2011 I 2050



\*Inclou incendis de vent, topogràfics i d'estiu

Si un píxel crema 2,20 vegades en 40 anys vol dir que té una probabilitat anual de cremar de 0,055

Figura 12. Mapa de la recurrència d'incendis sense canvi climàtic i amb canvi climàtic.

#### Cost-benefici de diferents CEF

El model MEDFIRE Val d'Aran permet avaluar el cost benefici de promoure un cabal de foc (en què s'apliquen focs de baixa intensitat) per aconseguir reduir els incendis d'alta intensitat i de comportament extrem. Aquesta ràtio es computa respecte un escenari en què no existeix cap mena de gestió i en què s'avalua l'àrea cremada en alta intensitat.

Per aconseguir avaluar el cost-benefici primer s'observa sota quin escenari hi ha un descens estadísticament significatiu de l'àrea cremada en alta intensitat. Això es fa degut a que les simulacions presenten gran disparitat de resultats i s'ha de considerar aquesta variabilitat a l'hora d'afirmar si realment hi ha un descens en l'àrea cremada en alta intensitat. Mitjançant anàlisis estadístics senzills (ANOVA i post-hoc), es valora quines estratègies de gestió mostren un descens significatiu ( $p < 0.1$ ) en l'àrea cremada en alta intensitat respecte l'escenari sense gestió (Figura 13). En el present cas s'obté un descens marcat de l'àrea en alta intensitat a partir de l'aplicació d'un cabal de foc prescrit d'unes 250 hectàrees aproximadament.

### Àrea cremada en alta intensitat

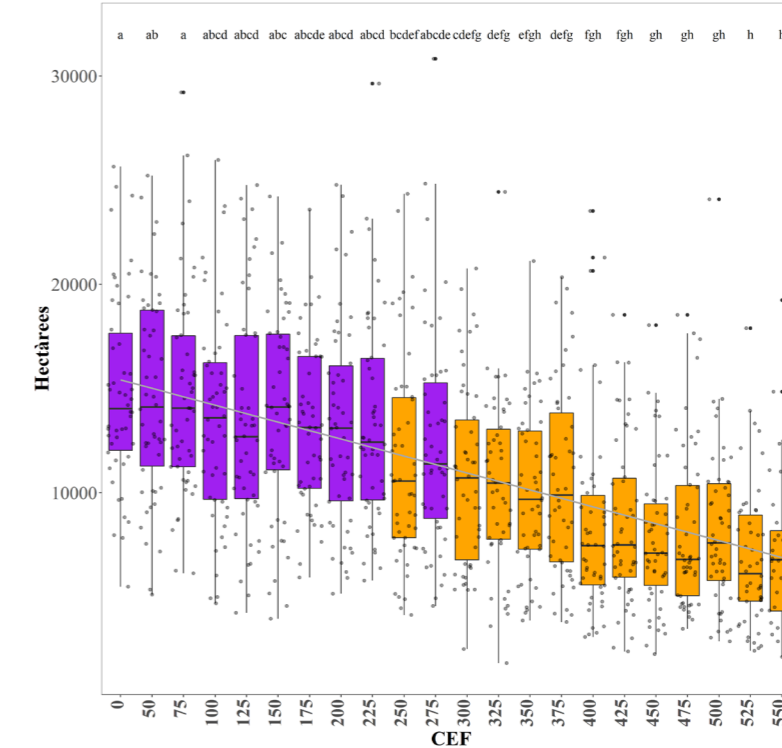


Figura 13. Àrea cremada en alta intensitat segons les diferents estratègies d'aplicació de cabal de foc prescrit. Els caixetins i punts mostren la variabilitat de les 50 simulacions per escenari. El primer caixetí mostra l'escenari sense gestió. Les lletres a la part superior del gràfic mostren la similitud entre caixetins: si comparteixen la mateixa lletra, es poden considerar estadísticament iguals. Els caixetins en color lila mostren CEF iguals a la no gestió. Els caixetins taronges mostren estratègies on l'aplicació del CEF implica un descens significatiu de l'àrea cremada en alta intensitat respecte la no-gestió. La línia gris mostra l'ajust del model lineal: Àrea cremada en alta intensitat =  $15738 - 16,019 \times \text{CEF}$ .

Per tant, l'avaluació del cost benefici de l'aplicació de les cremes prescrites s'ha realitzat per a CEF en què hi ha un descens significatiu en l'àrea cremada en baixa intensitat en un escenari de canvi climàtic. L'àrea evitada amb aquesta aplicació es mostra a la Figura 14, i la inversió en cremes prescrites totals al llarg de la simulació a la Figura 15. La combinació d'aquestes dues variables resulta en la ràtio cost benefici, que indica la superfície d'àrea cremada en alta intensitat evitada per cada superfície de crema prescrita aplicada (Figura 16). D'aquesta manera es pot observar que els escenaris amb un CEF de 250, 275, 300 i 325 hectàrees tenen una ràtio aproximada de 0.75, és a dir per cada hectàrea de crema prescrita s'evita cremar 0.75 hectàrees en alta intensitat.

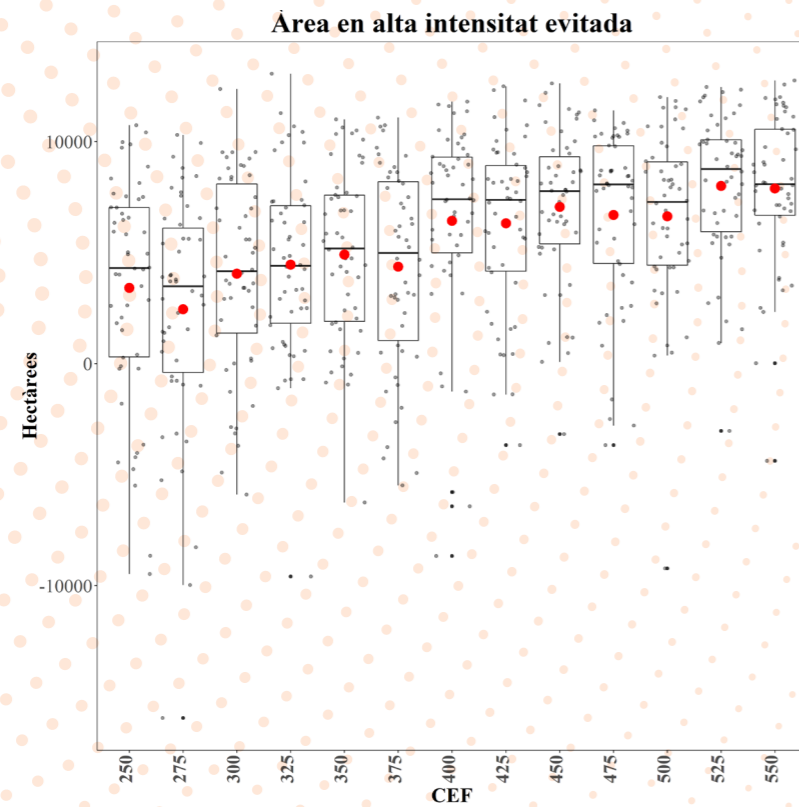


Figura 14. Àrea en alta intensitat evitada per a cada CEF respecte l'escenari sense gestió. Els caixetins i punts mostren la variabilitat dels 50 escenaris, els punts vermells mostren la mitjana per escenari.

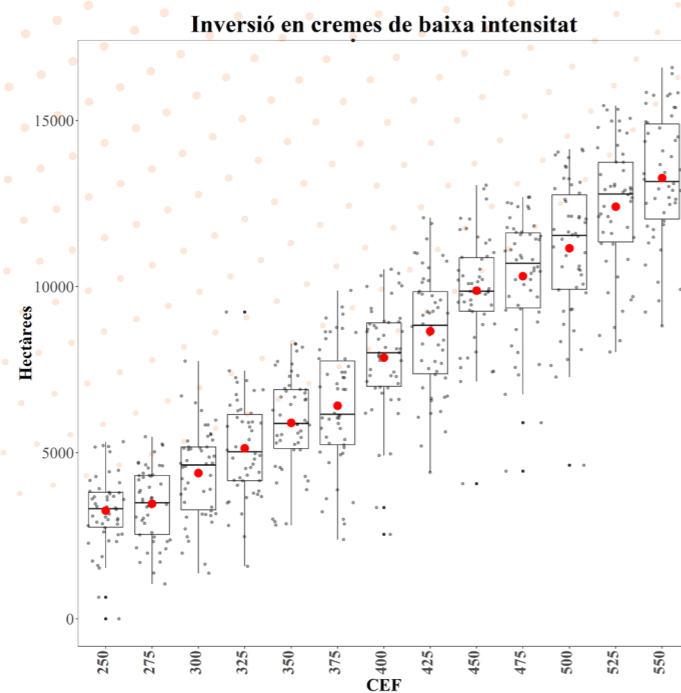


Figura 15. Àrea total invertida en cremes prescrits al final del període 2011-2050. Els caixetins i punts mostren la variabilitat dels 50 escenaris, els punts vermells mostren la mitjana per escenari.

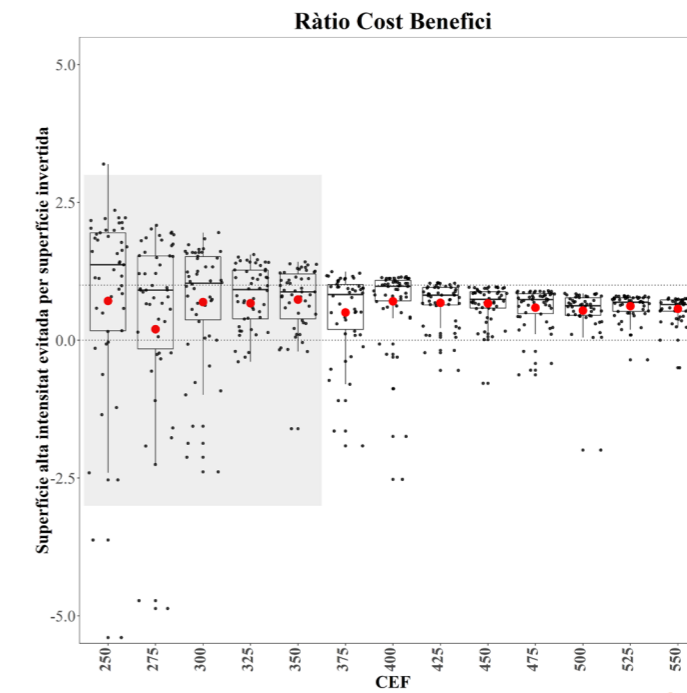


Figura 16. Ràtio entre àrea en alta intensitat evitada i inversió en cremes prescrits. Els caixetins i punts mostren la variabilitat dels 50 escenaris, els punts vermells mostren la mitjana per escenari. La zona grisa mostra la zona amb escenaris més efectius: maximitza l'àrea evitada respecte la invertida, al voltant de 0.75 (menys l'escenari 275). Les dues línies horitzontals mostren el 0 i el 1 per a orientar al lector.

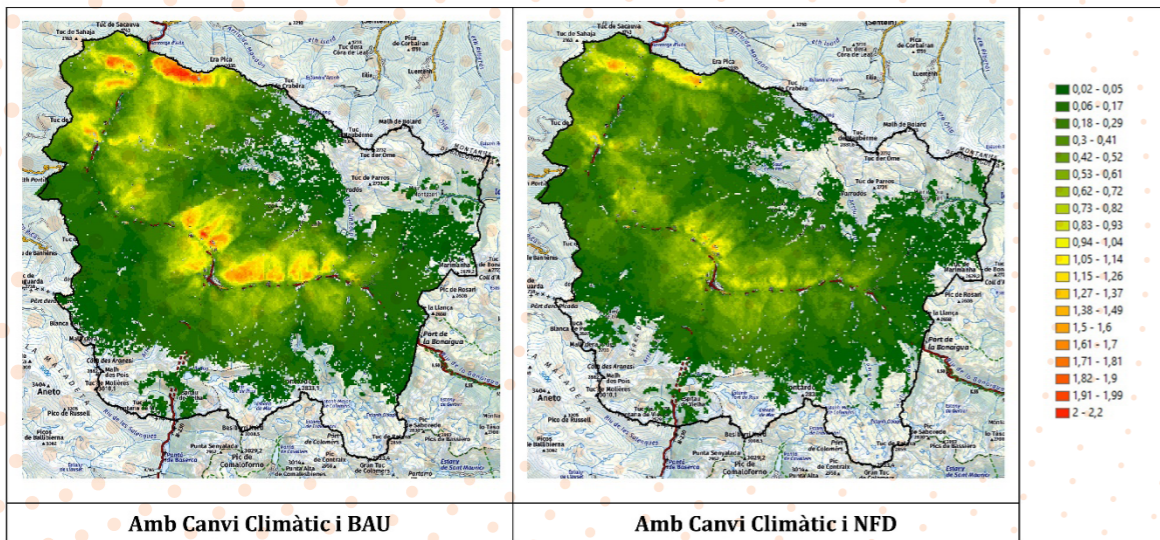
S'estableix doncs que en una situació amb canvi climàtic, un cabal ecològic de foc adequat per a reduir els incendis d'alta intensitat optimitzant el cost-benefici seria un cabal de ~300 hectàrees/a l'any. Per tant, el *New Fire Deal* correspon a un cabal ecològic de foc de 300 hectàrees anuals. És possible que aquesta xifra sigui menor en un escenari en que no es considerés el canvi climàtic, però en el present treball s'ha decidit desestimar aquesta opció per el gran consens actual sobre la situació de canvi climàtic imminent. No obstant, en alguns anàlisis també es compara amb situació sense canvi climàtic ni gestió, simulant les situacions actuals.

## Anàlisis del règim d'incendis sota canvi climàtic i diferents CEF

### Incendis d'alta intensitat

Sota l'escenari de canvi climàtic doncs es comparen dues estratègies: BAU (*Bussines-as-usual*, és a dir no hi ha gestió d'incendis) i NFD (s'aplica un cabal ecològic de foc de 300 hectàrees anuals amb cremes prescrits o incendis). L'aplicació d'un escenari NFD suposa una reducció dels incendis d'alta intensitat (Figura 17), i redueix la superfície susceptible de cremar almenys una vegada en el període 2011-2050 (Figura 18).

RECURRENCIA MITJANA D'INCENDIS D'ALTA INTENSITAT\* ENTRE 2011 I 2050

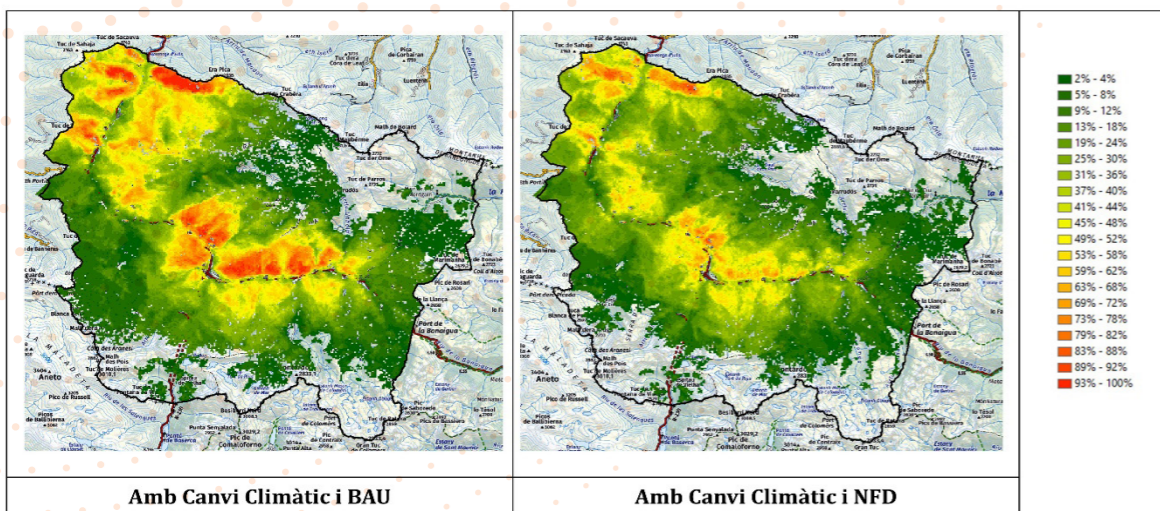


\*Inclou incendis de vent, topogràfics i d'estiu

Si un píxel crema 2,20 vegades en 40 anys vol dir que té una probabilitat anual de cremar de 0,055

Figura 17. Mapa de la recurrència d'incendis amb escenari de canvi climàtic, sense gestió (BAU) i amb NFD.

PROBABILITAT DE CREMAR ALMENYS UNA VEGADA EN ALTA INTENSITAT\* ENTRE 2011 I 2050



\*Inclou incendis de vent, topogràfics i d'estiu

Figura 18. Mapa de la probabilitat de cremar almenys una vegada en alta intensitat amb escenari de canvi climàtic, sense gestió (BAU) i amb NFD.

S'observa com sense una nova gestió del foc i amb el canvi climàtic hi ha zones amb més d'un 90% de probabilitat de cremar en alta intensitat: solana de Vielha, solana de Montcorbau (Crodos), solana de Canejan i Bausen. Amb una nova gestió del foc s'aconsegueix que aquestes zones redueixin molt la probabilitat de cremar en alta intensitat, a valors al voltant del 50-70%

Incendis tipus

El model MEDFIRE Val d'Aran permet reproduir de manera independent incendis d'estiu, i incendis d'hivern topogràfics o de vent, que es basen en les condicions sinòptiques més habituals a la Val d'Aran. Aquests incendis tenen patrons espacio-temporals diferents en funció del registre històric de la Val d'Aran. La Figura 19 mostra un exemple d'una simulació del model en què es mostra el nombre de vegades que crema cada píxel en el període 2011-2050, que al cap i a la fi mostra la petjada dels incendis segons cada tipologia d'incendi tipus.

EXEMPLE D'INCENDIS EN UNA SIMULACIÓ NOMBRE DE VEGADES CREMAT ENTRE 2011 I 2050 SEGONS INCENDI TIPUS

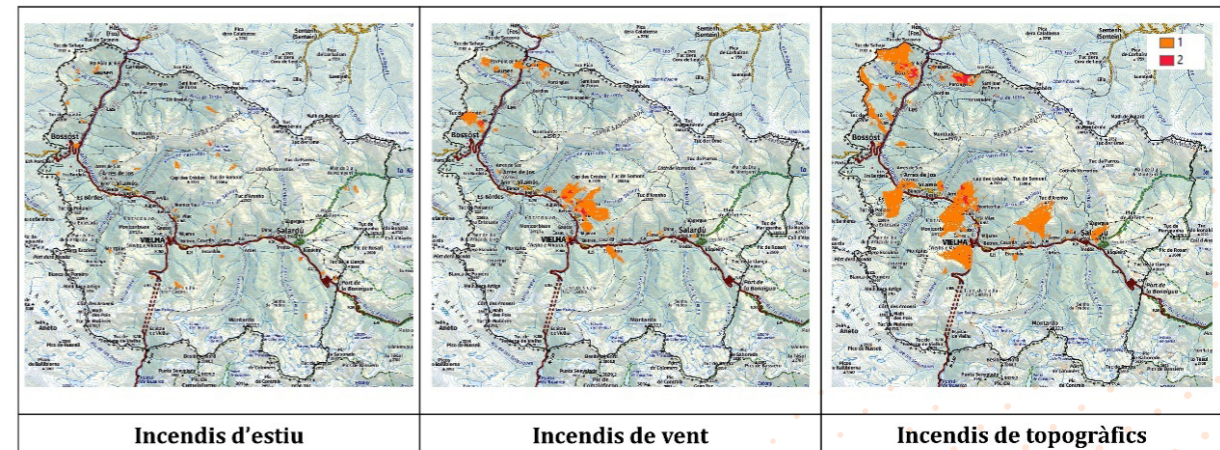
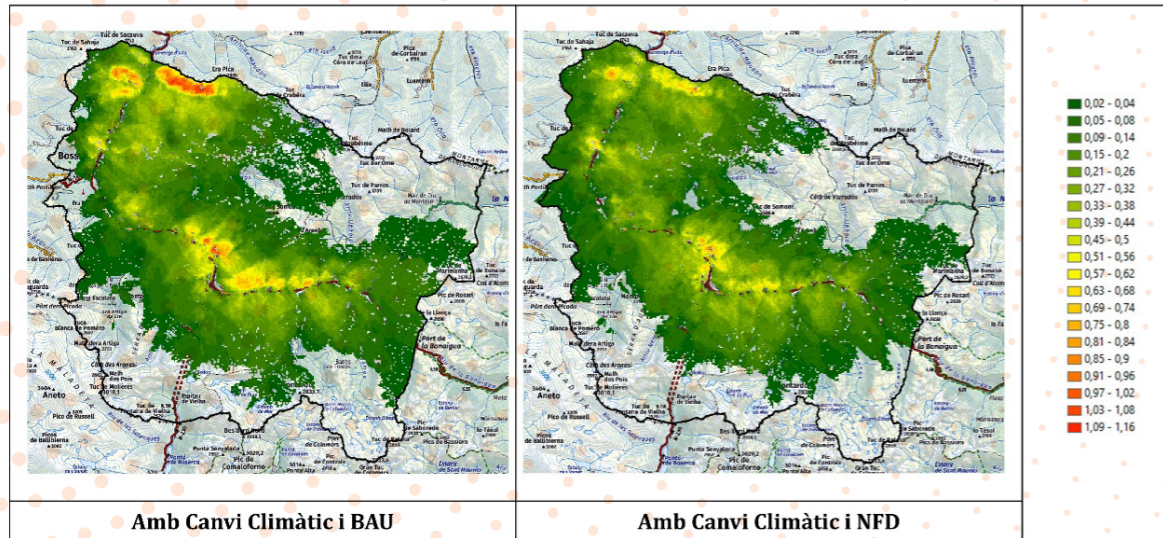


Figura 19. Petjades d'incendi en un exemple d'una simulació segons incendis tipus. Inclou el nombre de vegades cremat en el període 2011-2050.

La incidència d'incendis de vent i incendis topogràfics en les dues alternatives de gestió també són diferents (Figura 20 i 21). En els incendis de vent, mentre que sense gestió hi ha zones que cremaran en alta intensitat més d'una vegada en el període 2011-2050 (solana de Canjean, zones de Bausen i Solana de Montcorbau), aquesta recurrència disminueix en l'alternativa de gestió amb mitjanes de recurrència per sota de 1 a quasi tota la Val d'Aran. Els incendis topogràfics, en un escenari sense gestió (BAU), afectaran amb una recurrència propera a 1 zones de la solana de Vielha, la solana de Canejan, la solana de Montcorbau i també la zona de Gausac i Casau. En un escenari amb gestió es reduiria la recurrència en aquestes zones quedant la més alta la zona de Bausen amb una recurrència propera a 0.7.

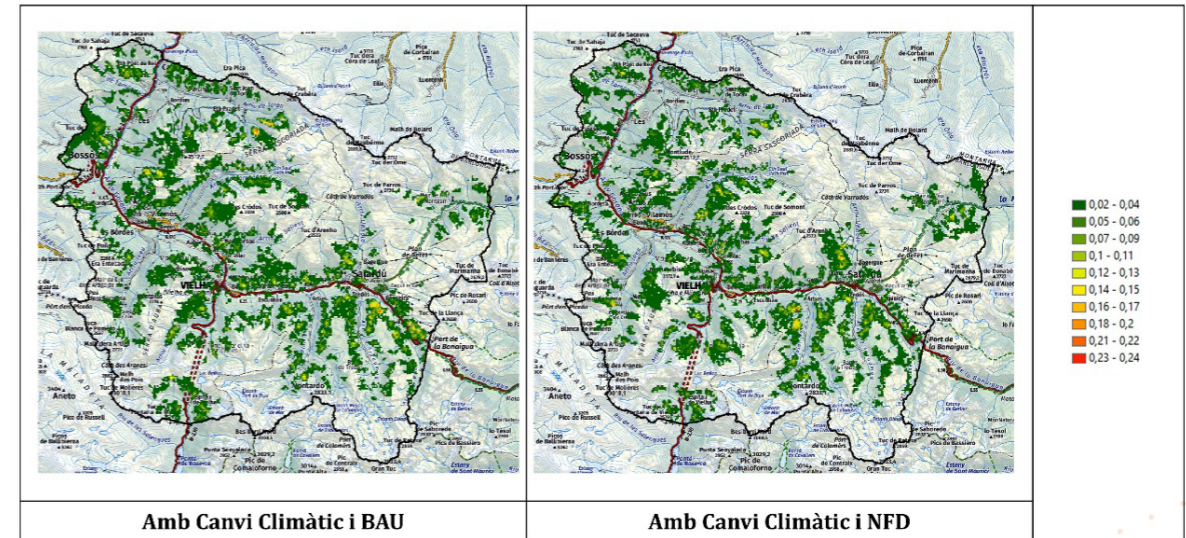
RECURRENCIA MITJANA D'INCENDIS DE VENT ENTRE 2011 I 2050



Si un píxel crema 1,16 vegades en 40 anys vol dir que té una probabilitat anual de cremar de 0,029

Figura 20. Mapa de la recurrència d'incendis de vent (a l'hivern) amb escenari de canvi climàtic, sense gestió (BAU) i amb NFD.

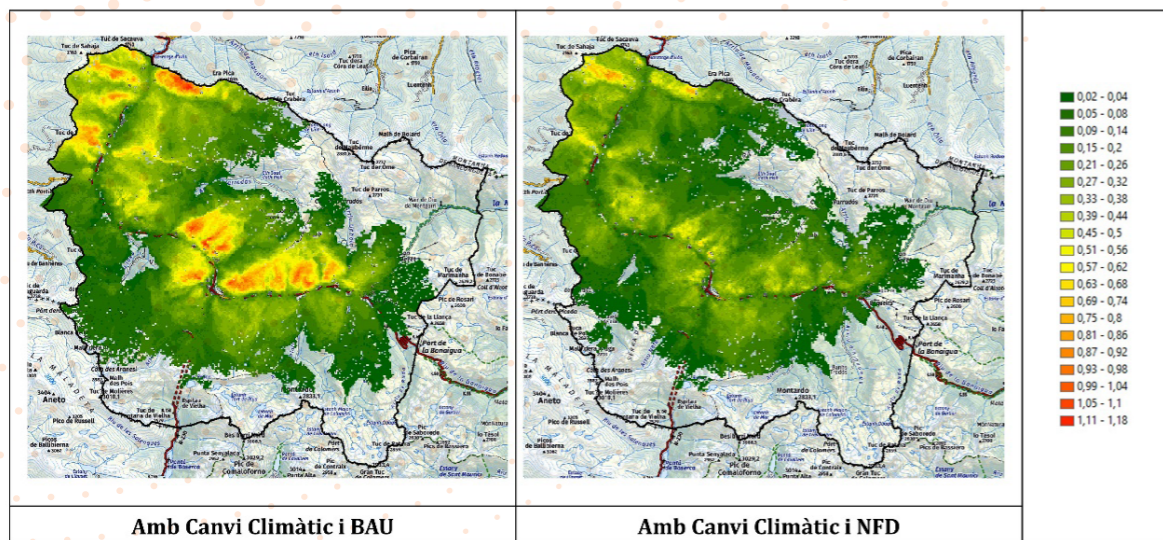
RECURRENCIA MITJANA D'INCENDIS D'ESTIU ENTRE 2011 I 2050



Si un píxel crema 0,24 vegades en 40 anys vol dir que té una probabilitat anual de cremar de 0,006

Figura 22. Mapa de la recurrència d'incendis d'estiu amb escenari de canvi climàtic, sense gestió (BAU) i amb NFD.

RECURRENCIA MITJANA D'INCENDIS TOPOGRÀFICS ENTRE 2011 I 2050



Si un píxel crema 1,16 vegades en 40 anys vol dir que té una probabilitat anual de cremar de 0,030

Figura 21. Mapa de la recurrència d'incendis topogràfics (a l'hivern) amb escenari de canvi climàtic, sense gestió (BAU) i amb NFD.

Patrons d'àrea-freqüència dels incendis

L'estadística descriptora dels patrons de mides dels incendis a la Val d'Aran en els diferents escenaris utilitzats es mostra en les Figures 23, 24, 25 i 26. En general les gràfiques mostren que el pes dels incendis grans en el còmput de l'àrea cremada total augmenta amb un escenari de canvi climàtic respecte la situació actual. En canvi, en aplicar la nova estratègia de gestió NFD, augmenta el nombre d'incendis petits i la distribució de mides torna a ser una mica més equitativa. En conclusió, amb l'aplicació de la nova estratègia de gestió amb cremes prescrites disminueix l'àrea cremada en alta intensitat i també la proporció de grans incendis forestals.

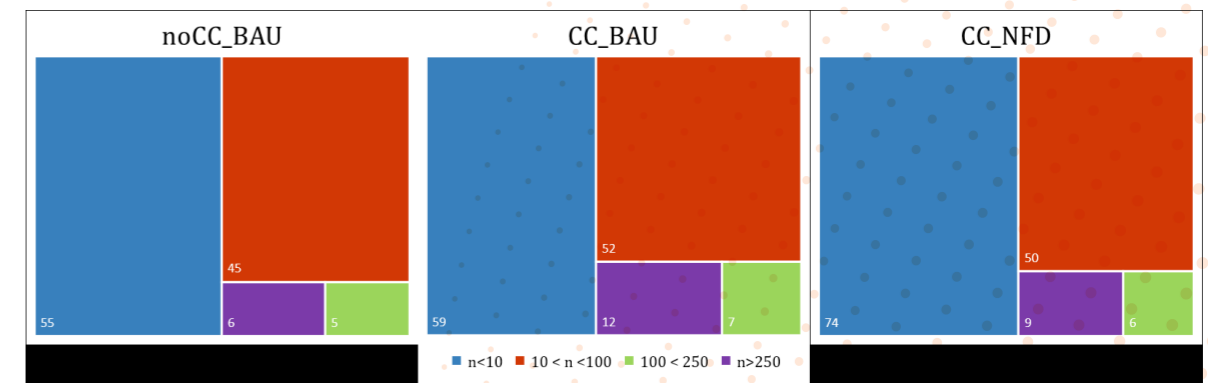


Figura 23. Percentatge d'incendis segons diferents mides d'incendi, per a cada escenari. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

Els incendis d'estiu en canvi tenen una incidència similar entre el BAU i el NFD (Figura 22). No obstant, la recurrència és molt baixa. Cap zona té una recurrència per sobre de 0.25 en tot el període 2011-2050. I és que el règim d'incendis d'estiu a la Val d'Aran és en l'actualitat quasi nul. El model MEDFIRE Val d'Aran permet incorporar aquest règim d'una manera addicional per a veure quin efecte tindria sobre la Val d'Aran, tot basant-se en el règim de la resta del Pirineu Occidental. La incidència és molt baixa, ja que la probabilitat anual de cremar en un incendi d'estiu està sempre per sota de 0.006.

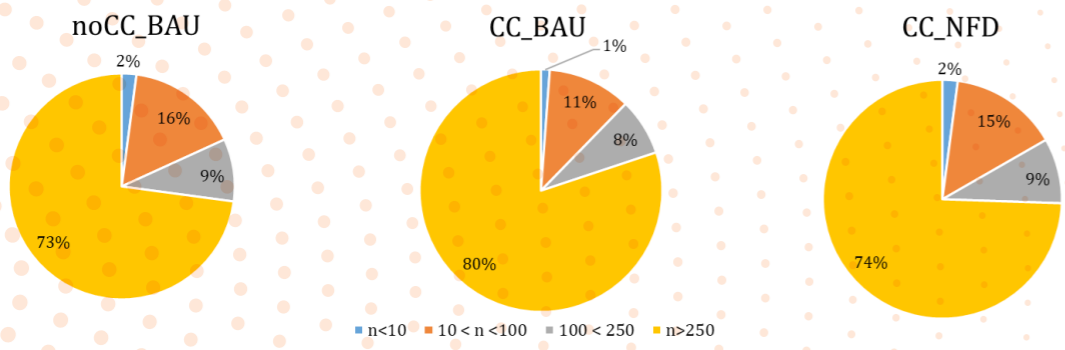


Figura 24. Àrea cremada per mides d'incendi, per a cada escenari, CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

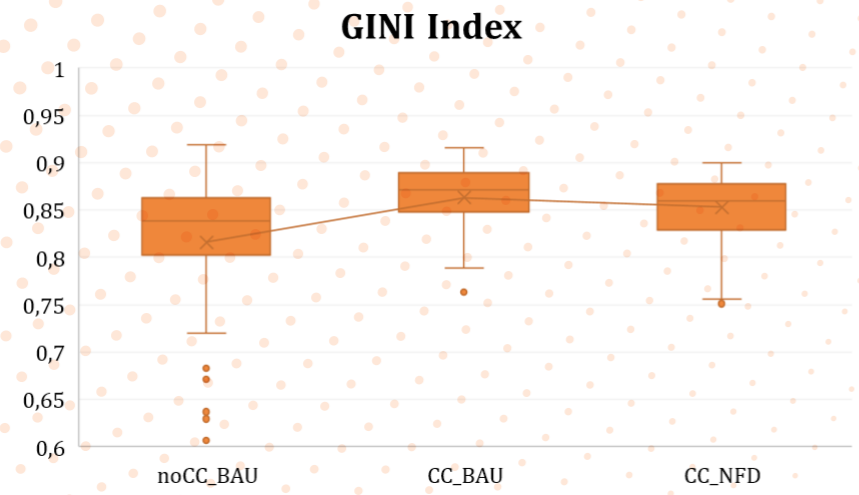


Figura 25. Índex GINI de les mides dels incendis en els diferents escenaris. Els caixetins mostren la variabilitat de les simulacions. Quan l'índex és proper a 1, indica que molta de l'àrea cremada ha estat cremada per pocs incendis molt grans. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

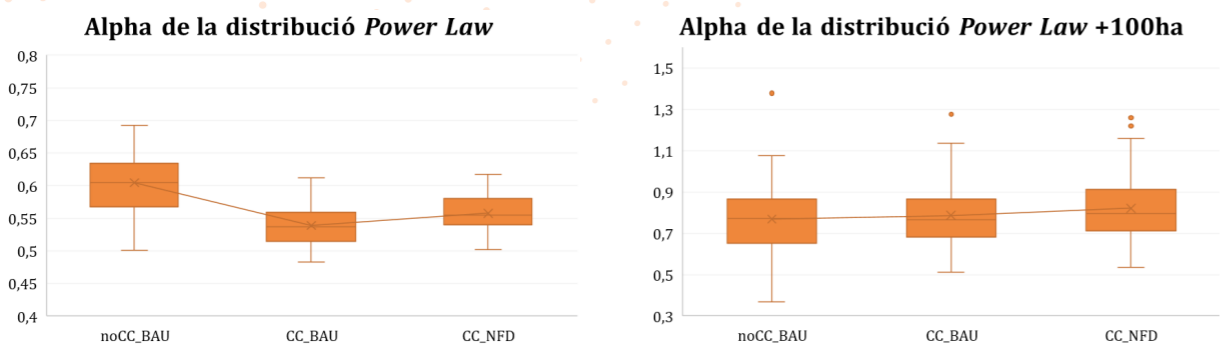


Figura 26. Paràmetre alpha de les distribucions Power Law (o cua llarga) per als diferents escenaris, per tot el conjunt d'incendis (a) i per als incendis majors de 100 hectàrees (b). Els caixetins mostren la variabilitat de les simulacions. Valors d' alpha grans mostren distribucions d'incendis amb més pes dels incendis petits. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

### Patrons de les cremes prescrites

La quantitat de cremes prescrites o focs de baixa intensitat gestionats s'ha avaluat només en l'escenari NFD, ja que en el BAU no hi ha aplicació d'aquesta mesura de gestió. Si s'observen les cremes executades en una sola simulació (Figura 27), aquestes es reparteixen per les zones amb més probabilitat d'incendis: solana de Vielha, Canejan, solana de Montcorbau, etc. Hi ha algun píxel a la zona de Vielha que arriba a cremar fins a 5 vegades. Això és degut a que les cremes es poden aplicar en períodes de retorn de com a mínim 7 anys. Degut a que la simulació dura 40 anys, dona temps a cremar fins a 5 vegades. Quan es fa la mitjana entre totes les simulacions, la màxima recurrència mitjana és de 3 vegades en aquests 40 anys, i es dona principalment a la solana de Vielha. Si s'observen les cremes prescrites que surten al model amb les zones plantificades per a la gestió d'incendis prescrits (zones planificades en el Pla Estratègic de Gestió de Foc a la Val d'Aran), hi ha molt solapament amb aquestes zones excepte en zones més remotes, d'altres cotes i històricament poc afectades per incendis, com la Serra d'Auba. S'haurà d'avaluar quin és l'efecte sobre el règim de cremar en aquestes zones en un futur.

### CREMES PRESCRITES AMB EL NEW FIRE DEAL, ENTRE 2011 I 2050

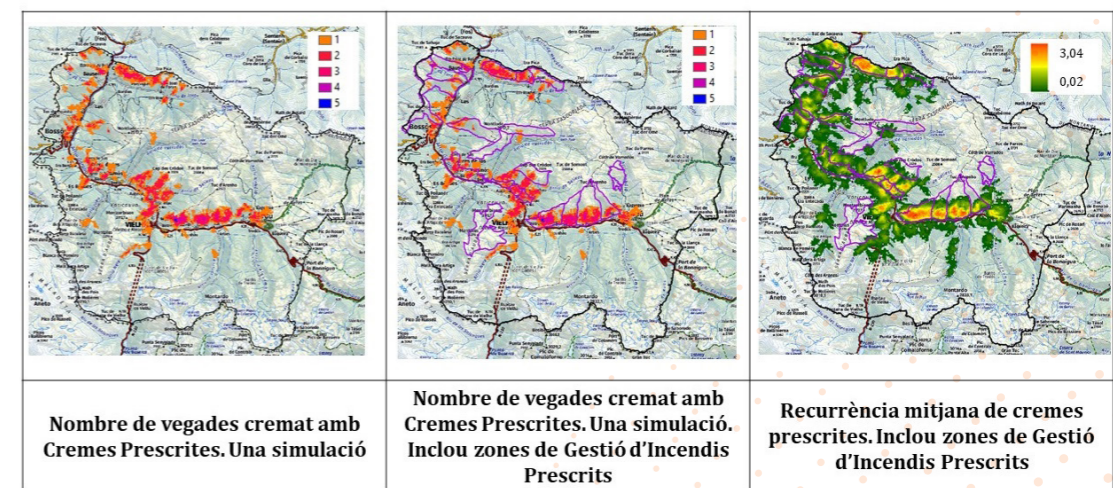


Figura 27. Mapes d'aplicació de cremes prescrites en l'escenari NFD amb canvi climàtic.

### Bosc i matollars cremats en alta intensitat

S'han avaluat les diferències de les hectàrees cremades en alta intensitat per a cada gran tipologia de vegetació segons l'escenari (Figura 28). Tot i que es cremen molts matollars, hi ha una major incidència dels incendis d'alta intensitat sobre boscos que sobre prats i matollars. A la Val d'Aran quasi tots els incendis comencen a quotes baixes lligats a activitat de manteniment de pastures, però poden arribar a cremar boscos adjacents sobretot en incendis de vent. Tot i que sota un escenari de canvi climàtic augmenta la superfície cremada en tots dos grups de vegetació, aquesta es redueix en el NFD. Dins de la zona de bosc, l'afectació més important és sobre la tipologia 'Altres arbres', que inclou bedolls, roures pèrol i altres caducifolis (Figura 29). Els avets són la segona tipologia més afectada, seguit de pi roig, pi negre, faig i roure martinenc. Sota l'escenari de canvi climàtic, augmenta la incidència sobre les fagedes. Sota l'escenari de NFD, els avets són els que proporcionalment cremen més respecte l'escenari sense gestió.

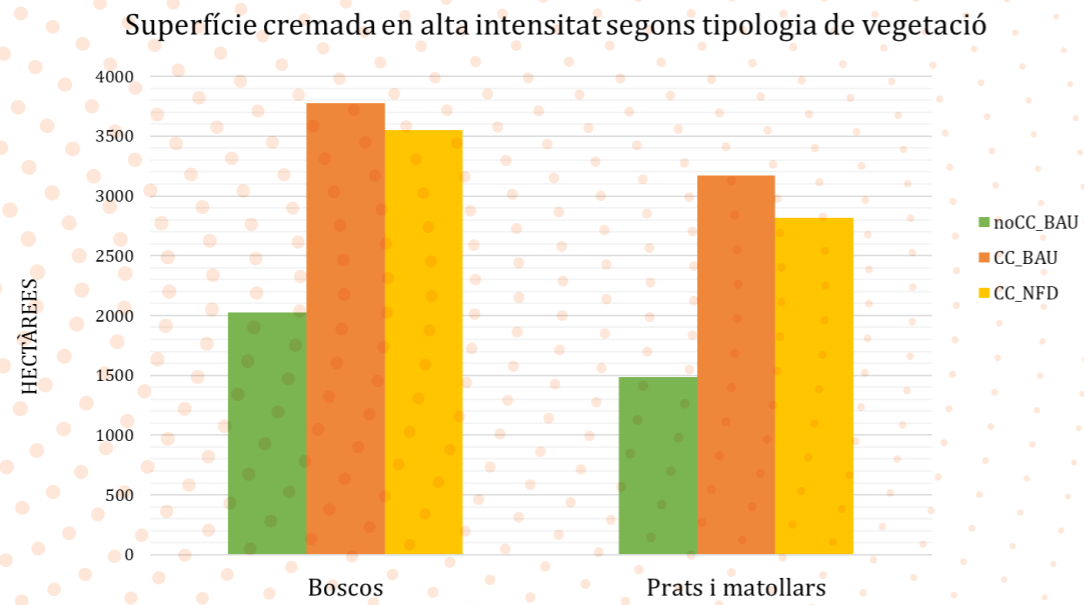


Figura 28. Superfície cremada en alta intensitat segons tipologia de vegetació en cada escenari. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

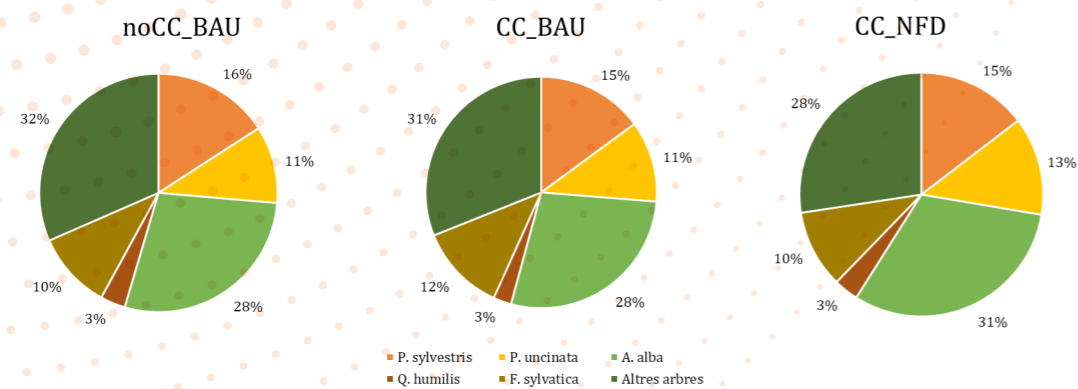


Figura 29. Percentatge de la superfície cremada en alta intensitat segons tipologia forestal arbrada en els tres escenaris. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

## Efectes sobre altres serveis ecosistèmics

### Biodiversitat

#### Evolució de les diferents cobertes de vegetació:

Les figures 30, 31 i 32 mostren l'evolució de les diferents cobertes vegetals en el període 2011-2050 per a cada escenari. Mentre que les cobertes de matollar es van reduint, augmenten les de prats. Aquest fet és explicat perquè l'activitat dels incendis facilita la conversió de matollar a prat, mentre que la successió natural de prat a matoll és un procés més lent que no contraposa l'alta activitat de foc. Tant en escenari de BAU com NFD amb canvi climàtic augmenta la presència de prats respecte l'estatus quo.

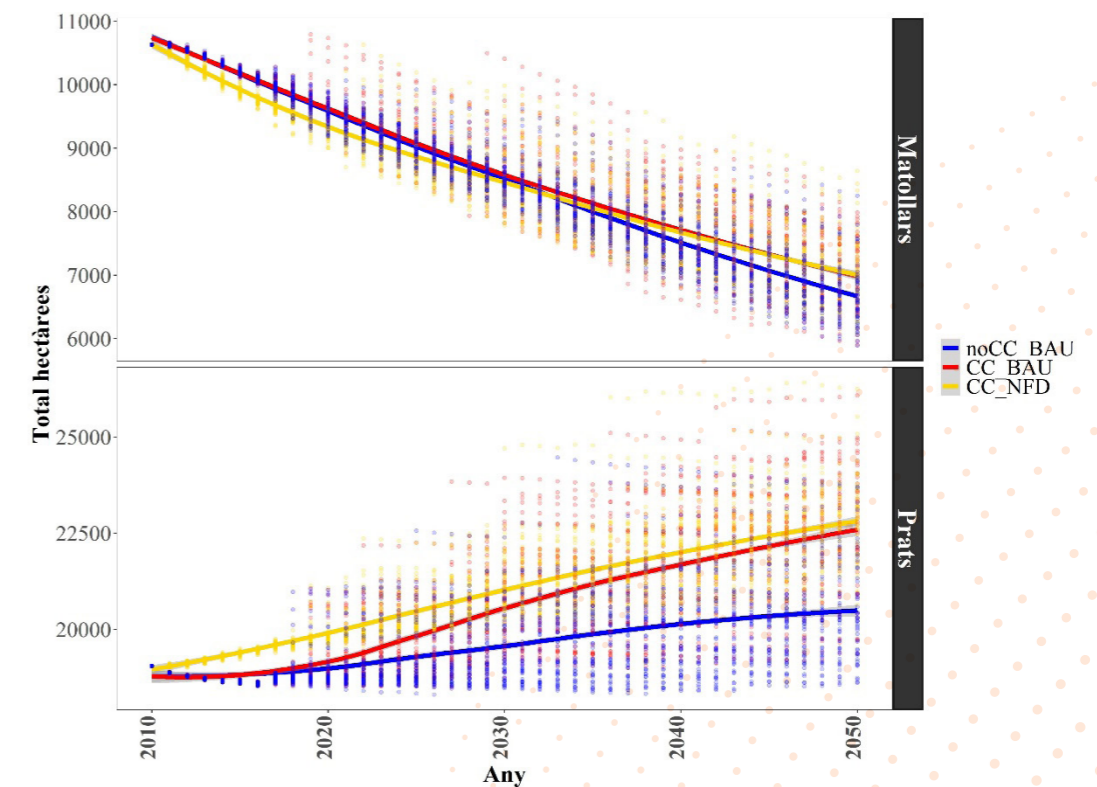


Figura 30. Evolució de les cobertes de matollars i prats entre 2011 i 2050 per als tres escenaris. Els punts mostren la variabilitat entre simulacions, i les línies l'ajust òptim amb la metodologia 'loess'. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

La tipologia forestal que més augmenta és el pi negre, bàsicament per la colonització de zones de matoll i la menor incidència dels incendis. Les pinedes de pi roig i les rouredes de roure martinenc també augmenten la seva superfície, en menor mesura. En el cas del roure martinenc la seva prevalença a romandre després dels incendis manté la seva distribució tot i ser cremat. El faig i l'ayet disminueixen la seva superfície sobretot sota canvi climàtic. Un augment dels incendis en aquests escenaris provoca una disminució d'aquestes tipologies arbrades, també en l'escenari de gestió. Això s'explica perquè tot i que la gestió és capaç de disminuir molt la superfície d'incendis d'alta intensitat, aquets sovint són en zones de matollar o prats, i la incidència en zones de bosc no acaba de ser molt rellevant.

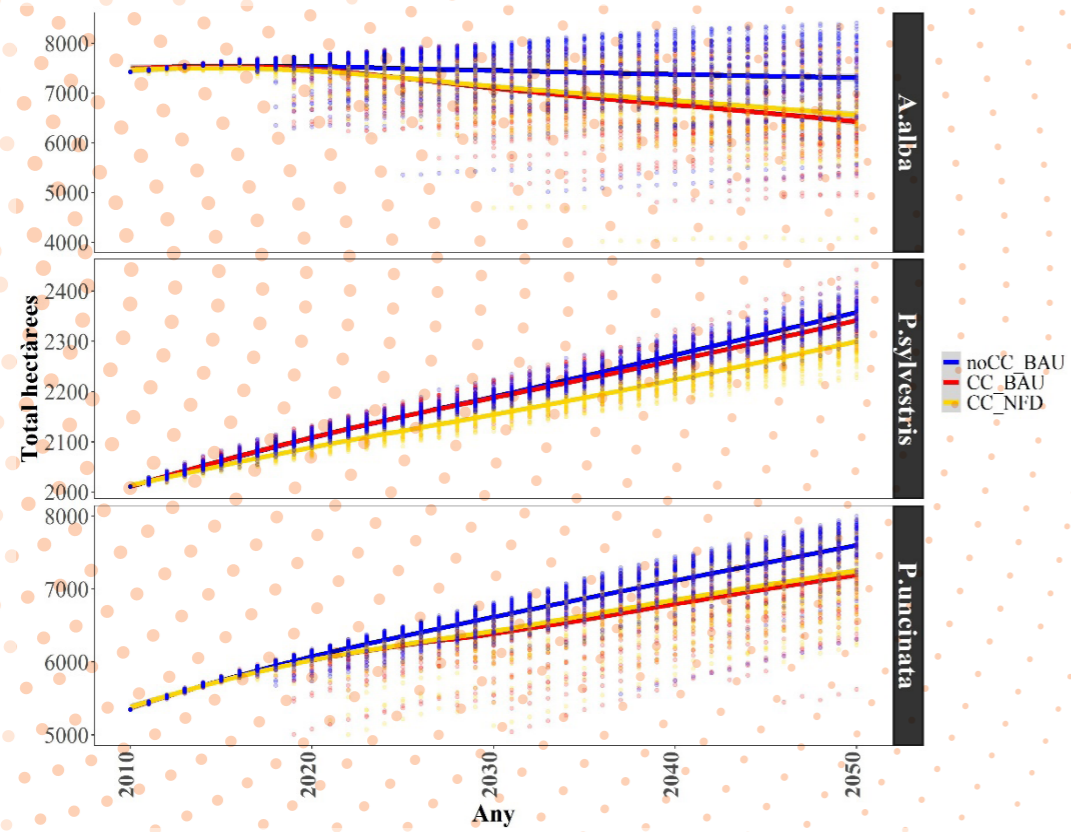


Figura 31. Evolució de les cobertes d'abet (A.alba), pi roig (P.sylvestris), i pi negre (P.uncinata) entre 2011 i 2050 per als tres escenaris. Els punts mostren la variabilitat entre simulacions, i les línies l'ajust òptim amb la metodologia 'loess'. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

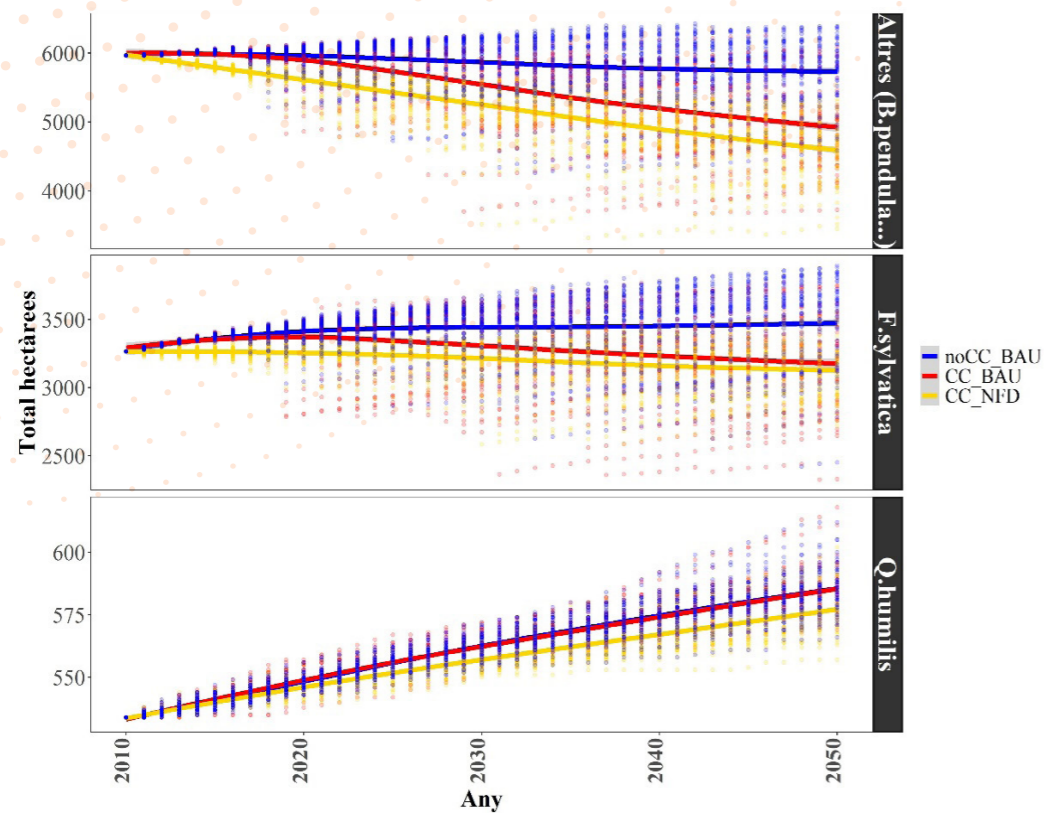


Figura 32. Evolució de les cobertes de faig (F.sylvatica), roure martinenc (Q. humilis), altres arbres (roure pèdol, bedolls, etc.) entre 2011 i 2050 per als tres escenaris. Els punts mostren la variabilitat entre simulacions, i les línies l'ajust òptim amb la metodologia 'loess'. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

Diversitat funcional del paisatge: edats

La tipologia de coberta vegetal no és l'únic indicador de la heterogeneïtat del paisatge. En el present treball s'analitza també l'edat o estat de desenvolupament de cada una de les cobertes sota els diferents escenaris. Una major heterogeneïtat de les edats de matolls i prats pot comportar una major biodiversitat. S'ha de considerar però que a l'inici de les simulacions es considera que els matolls dels quals no es té registre d'edat parteixen d'una edat de 20 anys, que és el registre d'incendis del que es disposa. A la Figura 33 es pot observar que l'edat dels matolls augmenta al llarg de la simulació per al còmput total de la Val d'Aran, tot i que en els escenaris de canvi climàtic l'augment és menys pronunciat. En analitzar la diversitat d'edats del paisatge, s'observa que l'escenari NFD promou una major variabilitat que els altres dos escenaris (Figura 34), fet que pot comportar una major biodiversitat d'hàbitats i de fauna associada.

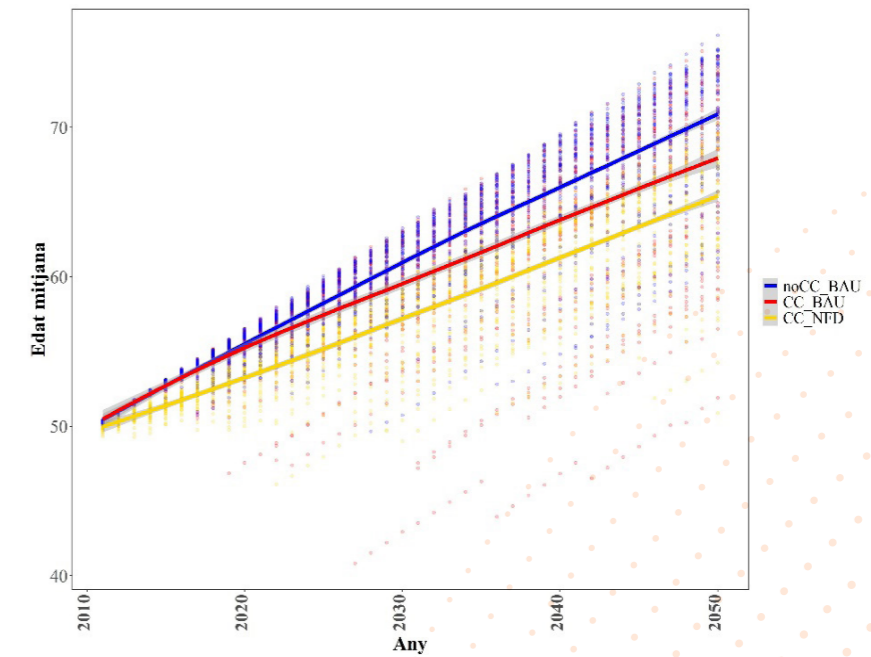


Figura 33. Edat mitjana de les cobertes de matollars entre 2011 i 2050 per als tres escenaris. Els punts mostren la variabilitat entre simulacions, i les línies l'ajust òptim amb la metodologia 'loess'. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

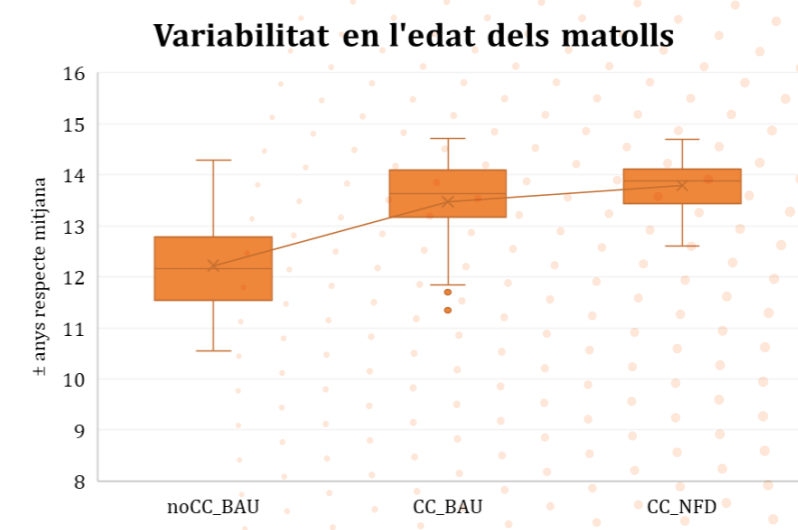
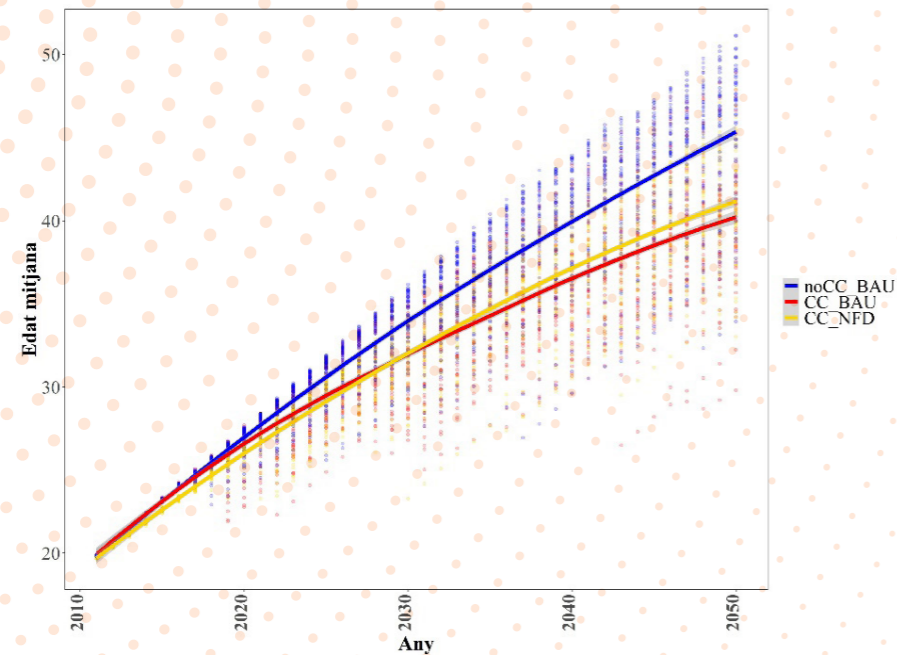
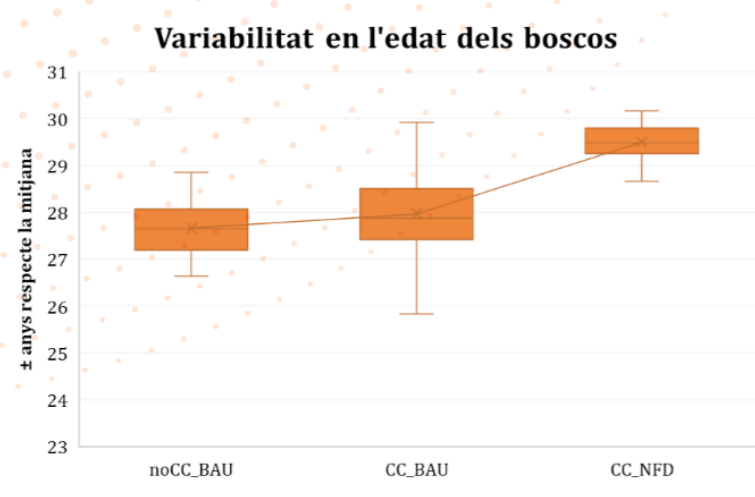


Figura 34. Variabilitat en l'edat dels matolls (respecte la mitjana). Els caixetins mostren la variabilitat de les simulacions. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

En el cas dels boscos els patrons són similars. L'edat inicial s'havia calculat a partir del vol Lidar del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, que aporta l'alçada dels arbres. A partir de l'alçada es van calcular les edats en el treball de Gil-Tena et al 2016. La Figura 35 mostra un augment de l'edat de les masses forestals de manera constant, tot i que menys pronunciada per als escenaris de canvi climàtic. La variabilitat en les edats dels boscos és també més alta per a l'escenari NFD, fet que pot comportar una major diversitat d'hàbitats i de fauna associada (Figura 36).



**Figura 35.** Edat mitjana de les cobertes de boscos entre 2011 i 2050 per als tres escenaris. Els punts mostren la variabilitat entre simulacions, i les línies l'ajust òptim amb la metodologia 'loess'. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal



**Figura 36.** Variabilitat en l'edat dels boscos (respecte la mitjana). Els caixetins mostren la variabilitat de les simulacions. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal

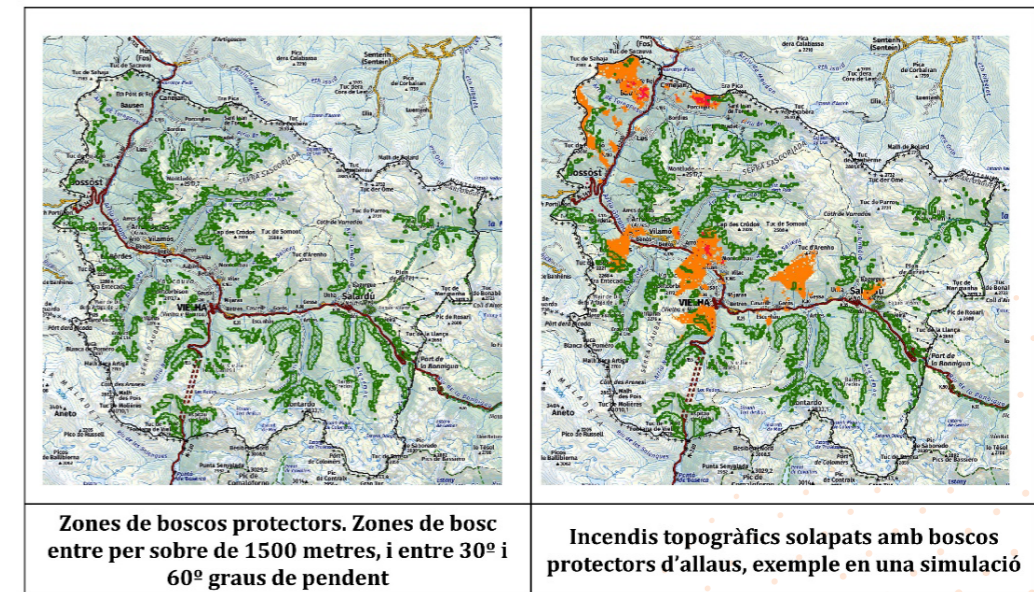
**Allaus: canvis en la cobertura de boscos protectors**

En el present treball també s'ha valorat la quantitat de superfície forestal protectora d'allaus que es pot perdre amb incendis forestals d'alta intensitat (Figura 37). Els boscos protectors d'allaus s'han definit com aquelles masses boscoses per sobre dels 1500 metres i entre uns 30° i 60° de pendent, que

són les zones amb major risc d'allaus. Es pot observar que amb canvi climàtic es perdran en mitjana un total de 750 hectàrees de boscos protectors d'allaus en el període 2011-2050, sense grans diferències entre l'escenari BAU i el NFD (Figura 38). Aquest fet pot ser degut a que moltes de les zones de gestió d'incendis i cremes prescrites es donen en zones de pastures i matollars, que tot i que poden d'alguna manera reduir la capacitat de propagació a zones boscoses, no sempre eviten l'arribada de fronts a zones forestals.

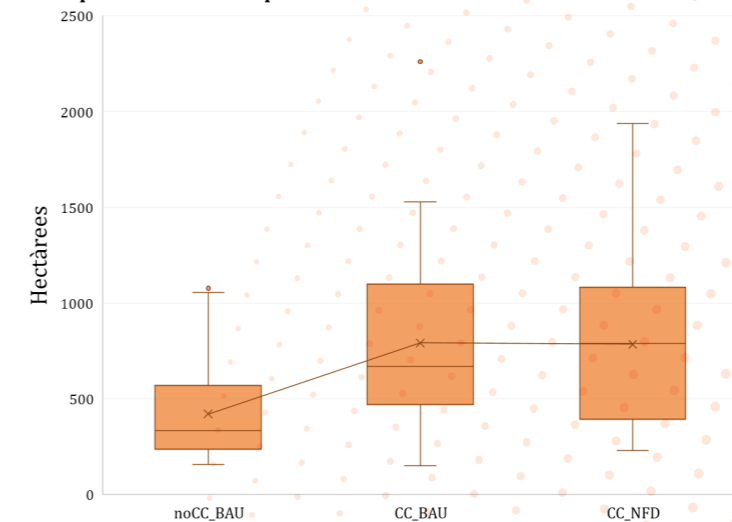
**BOSCOS PROTECTORS D'ALLAUS**

EXEMPLE D'INCENDIS TOPOGRÀFICS AFECTANT BOSCOS PROTECTORS EN UNA SIMULACIÓ (2011-2050)



**Figura 37.** Mapes de boscos protectors d'allaus i exemples d'incendis afectant alguns d'aquets boscos.

**Superfície de boscos protectors d'allaus cremats en alta intensitat**



**Figura 38.** Àrea total cremada en alta intensitat dels boscos protectors d'allaus per al període 2011-2050. Els caixetins mostren la variabilitat de les simulacions. CC= Canvi Climàtic. BAU= Business-as-usual. NFD= New Fire Deal



## REFERÈNCIES

- Brotons, L., Aquilué, N., de Cáceres, M., Fortin, M.-J., Fall, A., 2013. How fire history, fire suppression practices and climate change affect wildfire regimes in Mediterranean landscapes. PLoS One 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062392>
- Duane, A., Aquilué, N., Gil-Tena, A., Brotons, L., 2016. Integrating fire spread patterns in fire modelling at landscape scale. Environ. Model. Softw. 86, 219–231. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.10.001>
- Duane, A., Aquilué, N., Canelles, Q., Morán-Ordoñez, A., De Cáceres, M., Brotons, L., 2019. Adapting prescribed burns to future climate change in Mediterranean landscapes. Science of the Total Environment. 677, 68–83. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.348>
- Gil-Tena, A., Aquilué, N., Duane, A., De Cáceres, M., Brotons, L., 2016. Mediterranean fire regime effects on pine-oak forest landscape mosaics under global change in NE Spain. Eur. J. For. Res. 135, 403–416. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0943-1>
- Rodrigo, A., Retana, J., Picó, F.X., 2004. Direct regeneration is not the only response of mediterranean forests to large fires. Ecology 85, 716–729. <https://doi.org/10.1890/02-0492>





Generalitat de Catalunya  
**Departament  
d'Interior**

# TOWARDS PYRO-RESILIENCE IN MOUNTAIN SOCIOECOLOGICAL SYSTEMS



**bombers**  
Generalitat de Catalunya

**I S S T**  
INSTITUTE FOR  
Sustainability Science  
AND TECHNOLOGY

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**