

ELS TEMPORALS DESTRUCTIUS ALS BOSCOS DE LES ILLES BALEARS

2001-2021

Joan Estrany, Adolfo Calvo-Cases i Joan A. Santana (editors)



ELS TEMPORALS DESTRUCTIUS ALS BOSCOS DE LES ILLES BALEARS 2001-2021

Joan Estrany, Adolfo Calvo-Cases i Joan A. Santana (editors)



G CONSELLERIA
O MEDI AMBIENT
I I TERRITORI
B DIRECCIÓ GENERAL
/ ESPAIS NATURALS
I BIODIVERSITAT

A Luis Berbiela Mingot, cap de servei de Gestió Forestal,
pel seu llegat i contribució a la conservació del patrimoni
forestal de les Illes Balears. Els companys de Xarxa Forestal.



Joan Estrany Bertos, Adolfo Calvo-Cases i Joan A. Santana Morro (editors), Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON) <http://medhycon.uib.cat>, Universitat de les Illes Balears, carretera de Valldemossa, km 7,5, 07122 Palma, Mallorca, Espanya

Copyright © 2022 Conselleria de Medi Ambient i Territori del Govern de les Illes Balears. Universitat de les Illes Balears, Grup de Recerca en Hidrologia i Ecomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON). Tots els drets reservats.

Cap part d'aquesta publicació no pot ser reproduïda, emmagatzemada, o transmesa, de cap manera ni per cap mitjà, sense l'autorització prèvia i per escrit dels editors, tret de les citacions en revistes, diaris o llibres si se n'esmenta la procedència. Aquest llibre i les contribucions individuals que conté estan protegides pels drets d'autoria dels editors.

Avisos

El coneixement i les millors pràctiques en aquest camp canvien constantment. A mesura que noves investigacions i experiències amplii la nostra comprensió, podrà ser necessari fer canvis en els mètodes d'investigació o en les pràctiques professionals.

Els professionals i els investigadors han de confiar sempre en la seva pròpia experiència i coneixement per avaluar i utilitzar qualsevol informació, mètodes, compostos o experiments descrits en aquest document. En emprar aquesta informació o aquests mètodes, ha de tenir en compte la seva pròpia seguretat i la seguretat dels altres, incloses les parts amb qui tenen una responsabilitat professional.

Ni els editors ni els autors assumeixen cap responsabilitat per lesions i/o danys a persones o béns per negligència o per qualsevol altra causa ni per qualsevol ús o funcionament de qualsevol mètode, producte, instruccions o idees contingudes en aquest material.

Correcció: **Ana Ferrer Signes**

ISBN: **978-84-125447-0-1**

Dipòsit legal: **PM 00343-2022**

Maquetació: **Deacorde agency**

Disseny de portada: **Deacorde agency**

Imatge de portada: **Servei de Gestió**

Forestal. Conselleria de Medi Ambient i Territori del Govern de les Illes Balears.

Impressió realitzada a **Deacorde agency**

Abril 2022



Llicència Creative Commons

Aquesta llicència permet als reutilitzadors copiar i distribuir el material en qualsevol mitjà o format sol sense adaptar-lo, només amb finalitats no comercials i sempre que se li doni l'atribució al creador.

Joan Estrany

Universitat de les Illes Balears, Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON), Departament de Geografia i Institut d'Investigacions Agroambientals i Economia de l'Aigua (INAGEA)

Adolfo Calvo-Cases

Universitat de València, Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON), Departament de Geografia i Institut Interuniversitari de Desenvolupament Local (IIDL)

Joan A. Santana

Govern de les Illes Balears, Conselleria de Medi Ambient i Territori, Servei de Gestió Forestal i Protecció del Sòl



G CONSELLERIA
O MEDI AMBIENT
I TERRITORI
B DIRECCIÓ GENERAL
/ ESPAIS NATURALS
I BIODIVERSITAT



Universitat
de les Illes Balears



Medhycon
Mediterranean
Ecogeomorphological And
Hydrological Connectivity
Research Team



Volem donar les gràcies a amics i familiars pel suport i paciència en tot moment.

A Martín de Luis, professor contractat doctor del Departamento de Geografía de la Universidad de Zaragoza, per la cessió de l'ús de la base de dades de dendrocronologia per analitzar l'efecte del temporal destructiu de Mallorca el 2001.

A Planet.com, per permetre l'accés a imatges satel·litàries de forma lliure.

Aquest llibre ha estat possible gràcies al finançament de:

- Servei de Gestió Forestal i Protecció del Sòl, Direcció General d'Espais Naturals i Biodiversitat, Conselleria de Medi Ambient i Territori del Govern de les Illes Balears.
- Projecte CGL2017-88200-R Conectividad funcional hidro-sedimentaria en cuencas mediterráneas: escenarios de cambio global. Ministerio de Ciencia e Innovación, Agencia Estatal de Investigación (AEI), Gobierno de España. Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).
- Projecte InsoFlux: Anàlisi espaciotemporal de l'afectació d'episodis extrems als recursos hídrics insulars. Comunitat Autònoma de les Illes Balears a través de la Direcció General de Política Universitària i Recerca amb fons procedents de la Llei de l'Impost sobre Estadets Turístiques ITS 2017-006 (PRD2018/54).

Llista d'autors



Artur P. Barceló Tortella. Servei de Gestió Forestal i Protecció del Sòl. Conselleria de Medi Ambient i Territori. Govern de les Illes Balears, apbarcelo@dgmambie.caib.es.

Adolfo Calvo-Cases. Catedràtic de Geografia Física. Departament de Geografia, Universitat de València. Institut Interuniversitari de Desenvolupament Local (IIDL), Adolfo.Calvo@uves.

Sandra Closa Salinas. Servei de Sanitat Forestal. Conselleria de Medi Ambient i Territori. Govern de les Illes Balears, amclosa@dgmambie.caib.es.

Jaume Company Ferrer. Tècnic superior investigador. Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON). Departament de Geografia. Institut d'Investigacions Agroambientals i Economia de l'Aigua (INAGEA). Universitat de les Illes Balears, jaume.company@uib.cat.

Joan Estrany Bertos. Professor titular de Geografia Física, Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON). Departament de Geografia. Institut d'Investigacions Agroambientals i Economia de l'Aigua (INAGEA). Universitat de les Illes Balears, joan.estrany@uib.cat.

Miquel Febrer Martínez. Tècnic superior investigador. Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON). Departament de Geografia. Institut d'Investigacions Agroambientals i Economia de l'Aigua (INAGEA). Universitat de les Illes Balears, miquel.febrer@uib.cat.

Anna K. Feuerbach. Servei de Gestió Forestal i Protecció del Sòl. Conselleria de Medi Ambient i Territori. Govern de les Illes Balears, afeuerbach@dgmambie.caib.es.

Josep Fortesa Bernat. Tècnic superior investigador. Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON). Departament de Geografia. Institut d'Investigacions Agroambientals i Economia de l'Aigua (INAGEA). Universitat de les Illes Balears, josep.fortesa@uib.cat.

Julián García Comendador. Professor ajudant de Geografia Física. Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON). Departament de Geografia. Institut d'Investigacions Agroambientals i Economia de l'Aigua (INAGEA). Universitat de les Illes Balears, julian.garcia@uib.cat.

Maria Inés Landa Castillejo. Servei de Gestió Forestal i Protecció del Sòl. Conselleria de Medi Ambient i Territori. Govern de les Illes Balears, milanda@dgmambie.caib.es.

Maurici Ruiz Pérez. Professor titular de Geografia Física, director del Servei de Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció (SSIGT), Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON). Departament de Geografia. Universitat de les Illes Balears, maurici.ruiz@uib.es.

Joan A. Santana Morro. Servei de Gestió Forestal i Protecció del Sòl. Conselleria de Medi Ambient i Territori. Govern de les Illes Balears, jasantana@dgmambie.caib.es.

Miguel Soriano Talens. Servei de Gestió Forestal i Protecció del Sòl. Conselleria de Medi Ambient i Territori. Govern de les Illes Balears, msoriano@dgmambie.caib.es.

Miquel Tomàs Burguera. Investigador postdoctoral Margarita Salas. Instituto Universitario de Ciencias Ambientales, Universidad de Zaragoza, Zaragoza. Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), Université de Toulouse, Météo-France/CNRS, miquel.tomas@gmail.com.

Mireia Vidal de la Cuesta. Servei de Gestió Forestal i Protecció del Sòl. Conselleria de Medi Ambient i Territori. Govern de les Illes Balears, mvidal@dgmambie.caib.es.

El segle XXI serà recordat, de ben segur, per una multitud d'esdeveniments, però no hi ha dubte que passarà a la història com el segle en què es començaren a notar els efectes del que s'ha vingut a dir el canvi climàtic, això és, la primera gran variació d'origen antròpic (provocada pels efectes de l'activitat humana) de les condicions climàtiques del planeta.

Un dels efectes més tangibles d'aquest nou període que comença és una major proliferació dels fenòmens meteorològics adversos i extrems, moltes vegades amb efectes catastròfics.

Un dels més greus que s'ha patit a les Illes Balears els darrers 20 anys es va produir els dies 10 i 11 de novembre de 2001, quan un temporal ciclònic de vent va afectar greument tota la conca mediterrània occidental. A Mallorca, quatre persones varen perdre la vida i diverses resultaren ferides; unes 175.000 persones es quedaren sense llum i es van haver de tallar 29 carreteres. L'impacte socioeconòmic fou brutal (es calcularen pèrdues per valor de més de 37 milions d'euros) i les modificacions substancials en el paisatge encara són paleses en alguns indrets de l'illa dues dècades després.

L'anàlisi geoambiental exhaustiva d'aquest i d'altres tres temporals de vent significatius que afectaren els boscos de les Illes Balears és l'objecte d'estudi d'aquesta publicació que sorgeix fruit de la col·laboració interadministrativa entre la Universitat de les Illes Balears i la Conselleria de Medi Ambient i Territori.

Aquest estudi pretén aprofundir en el coneixement de les dinàmiques dels nostres ecosistemes i hàbitats insulars, especialment després del greu impacte produït per una pertorbació natural com són els temporals de vent, un fenomen intrínsec a les regions de climes mediterranis, però que, en el context actual, en què es produeix un efecte combinat entre l'escalfament global i els canvis dràstics en els usos del sòl, tendeix a intensificar-se.

Aquesta dinàmica posa en perill la capacitat dels boscos per a la captura i emmagatzematge de carboni i impacta negativament sobre les activitats econòmiques directes (silvícoles) i indirectes (sosteniment paisatgístic). Tot i que la principal pertorbació natural per als boscos és el foc, la intensificació d'aquests temporals de vent també requereix la capitalització de les experiències de gestió forestal que han provocat aquests episodis de temps extrem per tal d'establir mesures eficients per a la restauració forestal, evitar-ne la degradació i la desertificació tot generant paisatges resilents que ajudin a la mitigació del canvi climàtic, a la purificació de l'aigua o a la protecció del sòl enfront de l'erosió.

Una de les principals conclusions a què arriba l'estudi és que el temporal de 2001 va arrabassar més d'un milió i mig d'arbres i que la superfície forestal afectada fou de 12.800 hectàrees. Per posar-ho en context, l'incendi d'Andratx de 2013 en va afectar unes 2.500, cinc vegades menys.

Ens trobem, per tant, davant d'una obra important que ve a omplir un buit significatiu en el sentit que, fins ara, la majoria de treballs dedicats als efectes dels fenòmens extrems han estat relacionats amb el foc o l'aigua. Vivim temps delicats i convulsos i no hi ha cap altra manera de surar-los que a través de l'adaptació i la gestió activa per a pal·liar al màxim els efectes de les futures catàstrofes que ens esperen. En aquest sentit, les polítiques executades pel servei de Gestió Forestal de la Conselleria en són un exemple i confio que, en el futur, comptin amb la confiança necessària per seguir la línia marcada els darrers anys.

Dr. Miquel Mir Gual

Conseller de Medi Ambient i Territori
Govern de les Illes Balears

VIURE LA TEMPESTAT EN UN DESPATX

La violència meteorològica a la Mediterrània no és d'ara. Em venen al cap, per exemple, les 40.000 teules trencades a la Marina de Lluçmajor per una calabruixada el 1822 o la tempesta que el gener de 1950 va malbaratar el costós projecte de repoblació de les dunes de Formentera, al qual l'enginyer Joaquín Ximénez de Embún havia dedicat esforços enormes, incloent-hi la creació a l'illa d'un viver de producció de plantes autòctones i la plantació de milers d'arbres i altres espècies. En pocs dies, la potència desfermada de la tramuntana, que va fer arribar la mar a la carretera a l'altura des Caló, va destruir completament els resultats d'una feina de diversos anys.

Aquest episodi s'hauria perdut de la memòria col·lectiva si D. Joaquín no hagués estat afeccionat a escriure, ja que l'hem pogut conèixer gràcies als documents que va redactar, salvats de la destrucció pel seny de Mateu Castelló, que no va seguir les instruccions ministerials de destruir la paperassa antiga acumulada a les oficines de l'Administració forestal.

Tenim indicis que, en els darrers temps, la freqüència de situacions meteorològiques excepcionals s'ha incrementat, però això no fa menys important seguir les passes dels mestres i deixar-ne constància escrita (i encara millor, impresa) perquè el coneixement d'aquests processos sigui precís i detallat. D'aquí la meva satisfacció en conèixer que aquesta obra es redactava, i la gratitud als col·legues que m'ofereixen la possibilitat de compartir-hi uns records i unes reflexions.

Em va tocar viure el temporal de 2001 com a responsable tècnic del Departament de Biodiversitat de la Conselleria de Medi Ambient. Era una situació extraordinària davant la qual ningú tenia experiència aplicable. La potència del vent havia estat general a tot Mallorca, i les notícies dels efectes catastròfics que arribaven, moltes de les quals a través de batles i rigidors, eren alarmants.

En qüestió d'hores, la Conselleria de Medi Ambient va ser la primera a poder avaluar provisionalment la magnitud de la catàstrofe: els guardes forestals (antecessors dels actuals Agents de Medi Ambient), havien recorregut bona part del territori, i havien transmès, a través de la seva eficient estructura jeràrquica, les informacions inicials de la situació: molts de milers d'arbres caiguts, no sols a la zona Nord, al Llevant i les marines, sinó també a tot el Pla. L'eficàcia d'aquests funcionaris "de bota" va ser essencial per comptar, en poc temps, amb dades que tot i ser incompletes feien possible afrontar una situació pràcticament inèdita per a tots nosaltres.

Els boscos mallorquins i molt especialment els pinars (la vegetació més afectada)

estaven en una situació d'especial vulnerabilitat, conseqüència d'una expansió molt ràpida, iniciada quaranta anys enrere amb la substitució de la llenya com a combustible domèstic i de moltes petites indústries per combustibles fòssils. Havia col·lapsat la gestió tradicional dels pinars (podes per millorar-ne el creixement, aclarides de les masses, eixarmades...) i en conseqüència, la pertorbació tenia efectes més greus dels que s'haguessin patit en un altre temps.

En pocs dies, les informacions arribades del territori i de la supervisió aèria de la situació pels enginyers amb els helicòpters d'incendis, demostraven la necessitat d'una resposta governamental potent: els arbres caiguts eren centenars de milers i els propietaris dels terrenys (recordem que més del 90 % de la superfície forestal balear és privada) no tenien capacitat per atendre l'emergència. Fins i tot arbres singulars, com el venerable Pi Gros de Porreres, amb diversos segles d'edat, varen ser víctimes de la ventada. Una tal quantitat de fusta i llenya a terra no sols deixava els boscos intransitables, sinó que en pocs mesos incrementaria exponencialment la seva combustibilitat, a més de provocar l'explosió demogràfica d'insectes perforadors, en perjudici dels arbres supervivents.

Afortunadament, els polítics del moment varen ser sensibles als arguments i propostes tècniques, i adoptaren tres mesures inèdites en la història forestal de les Illes Balears: atorgar una ajuda econòmica directa als propietaris per a la retirada dels arbres caiguts; complementar la tasca de les empreses forestals privades amb les actuacions d'empreses públiques; i establir una ajuda directa per a la sortida de part de la fusta retirada de Mallorca, on no hi havia capacitat per processar-la. Cadascuna d'elles mereix un comentari.

Abans dels combustibles fòssils (el butà i el gasoil, per simplificar), la llenya era una font energètica fonamental a les Balears. Els arbres caiguts eren un recurs valuós, i molt pocs arribaven a podrir-se sobre el terreny: la seva extracció –fins i tot amb tracció animal– era rendible. Però això havia canviat feia dècenns. Treure dels pinars la immensa quantitat de fusta i llenya caiguda tenia un cost prohibitiu per a la immensa majoria de propietaris, i el potencial perjudici social del previsible increment de focs i plagues hauria estat superior en diversos ordres de magnitud a la inversió necessària per subvencionar l'extracció de les restes vegetals que tal mesura estimulava.

Mentre que la superfície forestal s'havia multiplicat, els professionals dels aprofitaments dels boscos havien esdevingut una espècie críticament amenaçada. A principis de segle XXI hi ha menys talladors de pins en tot Mallorca que una generació enrere en un poble qualsevol. No hi havia cap poble sense una o diverses serradores. A la pràctica, el 2001, sols es mantenien tres empreses, la capacitat de les quals, tot i els seus esforços i la seva professionalitat, quedava amplament superada per la urgència de la tasca inacabable que el temporal havia creat. LIBANAT va posar

tots els mitjans per col·laborar, però, tot i això, no hi havia força humana i mecànica suficient. Afortunadament, va ser possible comptar amb la potència dels mitjans de TRAGSA, una eina de gran utilitat per a les administracions que si no existís, s'hauria d'inventar. L'encarcament de la burocràcia, la insensibilitat dels hiperbòlics mecanismes dels interventors i la profusió de normatives incompatibles amb la urgència fa pràcticament impossible abordar problemes com aquell per la via de la contractació d'empreses privades. TRAGSA va ser, com tantes vegades en la història recent, la vàlvula de seguretat d'un sistema que col·lapsaria sense la seva existència i la seva capacitat.

No es tractava sols de retirar els arbres, calia processar la fusta, i també aquí el problema era localment insoluble. Curiosament, una de les empreses forestals locals que transforma soques de pins en palets (una de les poques sortides per a aquest material), tenia contractada en el moment del temporal la càrrega d'un vaixell de pins de les Landes franceses, on s'havia produït una catàstrofe similar! Si no fos per la seva alopecía, el gerent de l'empresa s'hagués estirat els cabells: el mòbil no aturava de sonar amb propietaris forestals que li pagaven perquè s'endugués la fusta que sols uns dies abans no havia pogut comprar en tota l'illa, mentre navegava cap a Palma una càrrega que no sols ja no li feia falta, sinó que li feia nosa! Anècdotes a part, va ser necessària una bona dosi d'enginyeria administrativa per estimular finançament l'exportació a la Península de milers de tones de fusta que el magre teixit empresarial local no podia absorbir (també, per cert, amb la intervenció de TRAGSA).

Evidentment, ni tan sols la suma dels esforços de propietaris, empreses privades i públiques i administracions podia revertir una situació que podem qualificar de catastròfica a curt termini per a l'estat dels boscos i del paisatge (que forma part, cal no oblidar-ho, de la qualitat de vida dels illencs i del valor turístic del territori). Es varen retirar més de mig milió d'arbres caiguts, però no tots. Fins i tot va haver-hi parcel·les de les quals va ser impossible identificar o localitzar el propietari. La difícil campanya va ser objecte de crítiques polítiques oportunistes (com les que va rebre l'acopi temporal de soques a Son Ferriol, pendants de ser embarcades, per l'imaginari risc d'incendi que suposava per al poble!) "i fins i tot dels companys especialistes a crear mal ambient, que consideraven inacceptable utilitzar maquinària pesant per a la tasca.

El cas és que va passar, ha tornat a passar i que tornarà a passar, tal com s'explica en aquest llibre. La resposta, que en cada cas s'ha d'adaptar a les circumstàncies del moment, exigeix l'existència d'empreses i administracions amb capacitat d'actuació coordinada. En el cas del sector privat, és essencial que es mantengui un teixit local el més vigorós possible, amb eficiència tècnica i humana. Les empreses forestals són part del que podríem assimilar a una infraestructura sanitària dels boscos, s'han d'adaptar a aquest paper i actuar amb el mínim impacte. En aquests episodis, són imprescindibles i, per tant, convé trobar la manera de reforçar-les sistemàticament

i d'assegurar-ne la viabilitat. Els retorns econòmics dels productes forestals, actuals i potencials, no indueixen a cap previsió optimista, de manera que cal mantenir empreses públiques que actuïn subsidiàriament, per tal de cobrir les necessitats que les privades no puguin assolir, especialment en el cas de situacions excepcionals.

Tenim la sort de comptar, encara avui, amb una Administració forestal vocacional i compromesa, que no ha estat engolida per la deriva burocràtica d'una Administració ambiental en gran part allunyada de la realitat del món rural, fet dramàtic. M'he referit abans als funcionaris "de bota", de cada dia més minoritaris enfront dels funcionaris exclusius de pantalla (d'ordinador), que ignoren la importància d'entendre la gent i de trepitjar el territori, i que semblen pensar que les grans pertorbacions ambientals (i tots els problemes) poden solucionar-se amb un decret que les prohibeixi. Això sí, amb tots els dictàmens jurídics, la conformitat de la Intervenció General, del Consell Consultiu i els informes d'igualtat de gènere, entre d'altres. Em disculpareu la broma, però em sembla obligat cridar l'atenció en una deriva molt preocupant: la substitució progressiva dels criteris de professionalitat i especialització en la carrera administrativa per la meritocràcia virtual de curssets i mandangues que permeten aconseguir uns eurets més a cada concurs de trasllat en detriment de la preparació professional i tècnica en llocs de feina que exigeixen un esforç constant d'adquisició i aplicació de coneixements concrets, molts dels quals sols s'adquireixen amb l'experiència d'anys. Si no es creen els mecanismes per revertir la tendència perversa de l'actual degradació de la carrera administrativa, en pocs anys la dominaran els que dediquen el seu temps als infinits curssets de l'EBAP, però són incapaços de distingir un om d'un lledoner, ni de sentir cap empatia pels ciutadans afectats pels seus informes. Avís a navegants: aquesta també és una pertorbació major, de conseqüències potencials més catastròfiques.

Joan Mayol

Novembre 2021

1. INTRODUCCIÓ

- 1.1. Vulnerabilitat dels ecosistemes forestals mediterranis enfront de les pertorbacions naturals** 1
Joan Estrany, Adolfo Calvo-Cases
- 1.2. La gènesi del vent intens a les Illes Balears: la meteorologia dels temporals destructius** 3
Miquel Tomas-Burguera
- 1.3. Efectes ecològics, econòmics i socials dels temporals destructius** 9
Josep Fortesa, Jaume Company, Julián García-Comendador
- 1.4. La teledetecció com a eina d'observació terrestre** 10
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez
- 1.5. Gestió forestal posttemporal: de la regeneració a la resiliència** 12
Artur Barceló, Sandra Closa

2. MATERIALS I MÈTODES

- 2.1. Casos d'estudi** 25
Joan Estrany, Adolfo Calvo-Cases
- 2.2. Teledetecció: obtenció i tractament d'imatges satèl·lit** 28
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez
- 2.3. Anàlisi de l'evolució de la coberta forestal** 30
Miquel Febrer
- 2.4. Anàlisi dendrològica del temporal del 2001 a l'illa de Mallorca** 31
Jaume Company, Julián García-Comendador
- 2.5. Anàlisi ecològica, econòmica i social** 34
Josep Fortesa
- 2.6. La gestió forestal posttemporal** 35
Joan A. Santana

3. ANÀLISI GEOAMBIENTAL DELS QUATRE GRANS TEMPORALS DESTRUCTIUS DELS DARRERS DOS DECENNIS

3.1. El cicló mediterrani del 10 de novembre de 2001 a Mallorca	40
<i>3.1.1. Situació sinòptica</i>	41
Miquel Tomàs-Burguera	
<i>3.1.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal</i>	43
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez	
<i>3.1.3. Anàlisi dendrològica</i>	46
Jaume Company, Julián García-Comendador	
<i>3.1.4. Resposta de l'Administració pública i de la iniciativa privada</i>	50
Joan A. Santana, Anna Feuerbach	
3.2. El fibló del 28 d'octubre de 2018 a Menorca	64
<i>3.2.1. Situació sinòptica</i>	66
Miquel Tomàs-Burguera	
<i>3.2.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal</i>	67
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez	
<i>3.2.3. Resposta de l'Administració pública i de la iniciativa privada</i>	69
Mireia Vidal de la Cuesta	
3.3. La tempesta del 22 d'octubre de 2019 a Eivissa	80
<i>3.3.1. Situació sinòptica</i>	82
Miquel Tomàs-Burguera	
<i>3.3.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal</i>	84
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez	
<i>3.3.3. Resposta de l'Administració pública i de la iniciativa privada</i>	86
Miguel Soriano, Maria Inés Landa	
3.4. El fibló del 29 d'agost de 2020 a Mallorca	96
<i>3.4.1. Situació sinòptica</i>	97
Miquel Tomàs-Burguera	
<i>3.4.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal</i>	99
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez	
<i>3.4.3. Resposta de l'Administració pública i de la iniciativa privada</i>	101
Artur Barceló, Anna Feuerbach	

4. ELS IMPACTES ECOLÒGICS, ECONÒMICS I SOCIALS DELS TEMPORALS DESTRUCTIUS

Josep Fortesa, Joan Estrany

5. DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS



5.1. Pertorbacions naturals als boscos mediterranis en un context de canvi global	123
Joan Estrany, Adolfo Calvo-Cases	

5.2. Experiències de restauració dels hàbitats forestals afectats per temporals destructius	125
Joan Santana	

6. OBSERVACIONS FINALS I PROSPECTIVA DE FUTUR	135
Joan Estrany, Adolfo Calvo-Cases, Joan A. Santana	

7. REFERÈNCIES	137
-----------------------	------------

1. INTRODUCCIÓ



AUTORS PER APARTATS

1.1. Vulnerabilitat dels ecosistemes forestals mediterranis enfront de les pertorbacions naturals 1

Joan Estrany, Adolfo Calvo-Cases 10.3306/TDBIB.2022.1.1

1.2. La gènesi del vent intens a les Illes Balears: la meteorologia dels temporals destructius 3

Miquel Tomas-Burguera 10.3306/TDBIB.2022.1.2

1.3. Efectes ecològics, econòmics i socials dels temporals destructius 9

Josep Fortesa, Jaume Company, Julián García-Comendador 10.3306/TDBIB.2022.1.3

1.4. La teledetecció com a eina d'observació terrestre 10

Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez 10.3306/TDBIB.2022.1.4

1.5. Gestió forestal posttemporal: de la regeneració a la resiliència 12

Artur Barceló, Sandra Closa 10.3306/TDBIB.2022.1.5

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Vulnerabilitat dels ecosistemes forestals mediterranis enfront de les pertorbacions naturals

Es pot definir pertorbació natural a partir de la limitació que els factors externs efectuen sobre la biomassa vegetal i que en provoquen una destrucció parcial o total. Als boscos boreals i mediterranis, la principal pertorbació és el foc, mentre que als boscos centreeuropeus els temporals de vent són més freqüents (Hanewinkel *et al.*, 2011). No obstant això, els temporals de vent, pluja i neu també són freqüents en ambients mediterranis (ocurrència cada 1-7 anys; Piserra i del Río, 1994).

En els ecosistemes, una pertorbació es genera per un episodi puntual que alteren l'estructura de l'ecosistema, la comunitat o la població i canvien la disponibilitat de recursos o substrats, o el medi físic (Mitchell, 2013). Per tant, les forces externes pertorben els ecosistemes a una sèrie d'escalas espacials i temporals i donen lloc a variacions en els processos ecogeomorfològics com ara l'escorrentia, l'erosió i la distribució de la vegetació. La dinàmica de l'alteració de l'estat en els ecosistemes està determinada pels canvis en el tipus i la intensitat de les retroalimentacions biòtiques i abiòtiques després

d'un canvi en les forces externes (Turnbull *et al.*, 2012). En un context de canvi global, si la intensitat d'aquestes forces externes supera la resiliència d'un ecosistema, pot provocar una degradació irreversible, especialment en ecosistemes mediterranis (Estrany *et al.*, 2019).

Aquestes pertorbacions naturals, com els temporals de vent, esdevenen elements fonamentals de la dinàmica dels ecosistemes forestals naturals que alhora estimulen els processos de regeneració i adaptació. Així mateix, poden succeir catastròficament, però també permeten obrir bretxes al continuïm forestal a petita escala que modifiquen l'estructura arbòria i el microclima. Aquestes pertorbacions a petita escala —que afecten arbres individuals o grups reduïts d'arbres— poden provocar un augment de la quantitat de fusta morta i una diversificació de l'estructura arbòria amb beneficis positius per a la diversitat de fauna i flora. En els casos en què els episodis de tempesta són de major magnitud poden causar problemes considerables als boscos, i són qualificats de temporals destructius. D'aquesta forma, aquests temporals poden afectar els paisatges, la qualitat dels hàbitats de la fauna i l'estructura dels boscos i provocar grans alteracions en la gestió de les masses forestals (Gardiner *et al.*, 2010).

Els temporals destructius s'estan intensificant a escala mundial, amb la previsió que aquesta tendència continuï a l'alça per mor de l'escalfament global (Seidl *et al.*, 2011 i 2017). En aquest context, els boscos europeus s'estan veient cada vegada més afectats per aquest tipus de fenòmens (Schelhaas *et al.*, 2003; Senf *et al.*, 2021). Un augment en la freqüència i la força dels temporals podria posar en perill la capacitat dels boscos per a la captura i emmagatzematge de carboni (Lindroth *et al.*, 2009) i tenir un impacte negatiu sobre les activitats econòmiques dependents de la fusta i de productes no llenyosos, així com sobre els serveis ecosistèmics proporcionats pels boscos tals com la mitigació del canvi climàtic, la purificació de l'aigua, o la protecció del sòl enfront de l'erosió, entre d'altres (Senf *et al.*, 2021).

La conca mediterrània és una regió caracteritzada per una alta variabilitat climàtica (Lionello *et al.*, 2014) en la qual s'ha evidenciat un augment de les precipitacions extremes associades a tempestes (Dubrovský *et al.*, 2014), cada cop més intenses i concentrades en intervals de temps més curts (González i Bech, 2017; Olcina, 2017). Les tempestes de vent ciclòniques, també anomenades medicans, representen una amenaça substancial per a les illes i zones costaneres (IPCC, 2021). A més, es preveu que les tempestes de vent de major intensitat i de característiques extremes es donin cada vegada de forma més recurrent a l'àrea mediterrània (González-Alemán *et al.*, 2019; IPCC, 2021).

Des de mitjan segle XX, la superfície forestal a Europa s'ha incrementat notablement per mor de l'abandonament massiu de terres de cultiu en àrees marginals. S'estima que, durant el període 1950-2000, la superfície forestal a l'Europa Occidental va augmentar pràcticament en un 30 % (Gold *et al.*, 2006). A l'Europa Mediterrània, les masses forestals estan dominades per pins. Concretament, l'espècie més comuna és el pi blanc (*Pinus halepensis* Mill.) que és en molts ambients l'única espècie arbòria amb capacitat per desenvolupar boscos madurs i juga, per tant, un paper clau des d'un punt de vista ecològic, cultural i econòmic (Peñuelas i Boada, 2003). El problema de les masses forestals de pinar és la vulnerabilitat que presenten les seves estructures enfront dels danys causats per temporals destructius. Aquesta vulnerabilitat té el seu origen en la similitud en l'altura dels pins i a la seva elevada densitat a les masses forestals (Camarero *et al.*, 2021). Endemés, altres factors que poden influir en aquesta vulnerabilitat dels pinars són la topografia (Stadelman *et al.*, 2014) i les condicions del sòl (Mead, 2013). Els temporals destructius poden ser determinants en els patrons i les dinàmiques de la biodiversitat al sotabosc i a les comunitats microbianes del sòl a partir de l'alteració de la vegetació (Baldrian, 2017). Per tant, aquestes pertorbacions generen un efecte de cascada que té impacte en totes les escales de l'ecosistema; augmenta l'heterogeneïtat vertical del bosc i, en conseqüència, modifica les propietats del sòl (textura, pH, contingut de nutrients...) i n'afecta la composició microbiana (Baldrian, 2017).

Encara que existeixen estudis dels efectes dels temporals sobre les masses forestals i la seva recuperació postpertorbació a boscos boreals, temperats i tropicals (Mitchell, 2013; Ulanova, 2000), els efectes dels temporals sobre les masses forestals a l'Europa Mediterrània pràcticament no han estat estudiats. Per tant, abordar aquest buit de coneixement esdevé clau per determinar la resiliència de les masses forestals mediterrànies, la productivitat de les quals es basa principalment en l'escassetat d'aigua (Gazol *et al.*, 2018), que són vulnerables als efectes combinats de sequeres i temporals destructius.

1.2. La gènesi del vent intens a les Illes Balears: la meteorologia dels temporals destructius

El vent és un corrent d'aire que bufa com a conseqüència de la diferència de pressió entre dos punts. De fet, es pot entendre com a un procés natural que intenta equilibrar aquesta diferència, ja que mobilitza aire d'indrets amb alta pressió (on hi ha un "excedent" d'aire) cap a indrets amb baixa pressió (on hi ha un "dèficit" d'aire). Aquesta circulació no es produeix de

manera rectilínia, sinó que es dona en forma de gir, per mor principalment de la interacció de la força de Coriolis i de la força centrípeta. A l'hemisferi nord aquest gir té sentit horari a les altes pressions i sentit antihorari a les baixes pressions. La direcció final del vent també depèn del fregament amb la superfície terrestre o oceànica i de l'orografia.

En el context d'aquest treball, vent fort serà sinònim de vent intens. No s'ha de confondre aquest ús amb la categoria vent fort que apareix a l'escala de Beaufort, i que és la denominació que rep el vent de força 7, que equival a un vent sostingut entre els 51 i els 61 km h⁻¹. Cal també puntualitzar que quan es parla de la velocitat del vent cal diferenciar entre dos conceptes diferents, la velocitat sostinguda i la ratxa. El mateix nom n'evidencia la diferència, i és que el vent sostingut es refereix al vent que bufa de manera constant (es pot assimilar al vent mitjà), mentre que es parla de ratxes de vent per referir-se als pics de vent que bufen durant breus instants, pocs segons, i que superen de manera important la velocitat sostinguda.

A escala global, les situacions meteorològiques que generen els vents més intensos són les tempestes –associades a fenòmens també intensos com fiblons i esclafits– i els ciclons tropicals. Es tracta de fenòmens que causen prou destrucció, tal com palesen constantment els mitjans de comunicació i les xarxes socials. Ambdós fenòmens poden provocar ratxes de vent de més de 300 km h⁻¹, en casos molt excepcionals, superar els 400 km h⁻¹.

El principal risc associat al vent intens, tant a l'entorn urbà com en àrees naturals, és la caiguda d'arbres o d'objectes susceptibles de ser desplaçats pel vent. Als ecosistemes forestals, la caiguda d'arbres que provoca el vent pot arribar a afectar àrees realment extenses. A tall d'exemple, el pas dels ciclons Lothar i Martin per França, Alemanya i Suïssa a finals de desembre del 1999 generaren ratxes de vent que superaren els 170 km h⁻¹ a París i arribaren als 250 km h⁻¹ a zones dels Alps suïssos, amb greus impactes a les masses forestals de tota aquella regió. A França, s'estimà la pèrdua del 4 % de tota la massa forestal del país.

Precisament per la capacitat que té el vent de generar impactes negatius al territori, el vent intens és considerat un fenomen meteorològic advers (Pascual, 2016a i b). A més, és bastant habitual que el vent intens vagi acompanyat d'altres fenòmens meteorològics adversos, sent el més freqüent la pluja intensa o torrencial. La concurrència de diversos fenòmens meteorològics adversos provoca habitualment que els impactes negatius s'incrementin, no únicament com una suma dels impactes dels distints fenòmens, sinó que, de vegades, i especialment

amb el vent i la pluja, es pot produir un increment en l'impacte final per la coexistència d'ambdós fenòmens. Per exemple, un temporal combinat de pluja i vent té una major capacitat per fer caure arbres que un simple temporal de vent, ja que la capacitat del sòl per sustentar l'arbre es redueix si el sòl està molt humit (Usbeck *et al.*, 2010).

A les Balears, les tempestes i els ciclons extratropicals són els causants principals del vent intens. Pel que fa als ciclons extratropicals, el component de vent que genera més temporals a les Illes Balears és el nord, la tramuntana, que bufa amb una elevada recurrència i que afecta especialment Menorca i alguns indrets del nord de Mallorca. Les ratxes de vent més intenses s'assoleixen a les zones més exposades de les serres de Tramuntana i de Llevant. Aquests temporals van lligats a la presència d'un cicló a la Mediterrània, relativament proper a les Balears, però sempre ubicat cap a l'est o el nord-est (Jansà, 2014). Per tant, es tracta d'àrees de baixes pressions que habitualment afecten Europa i també la Mediterrània Occidental, anomenades adesiara borrasques. Tot i que no tots els ciclons extratropicals generen vent intens, sí que és relativament usual que succeeixi, especialment quan es tracta de ciclons profunds i/o que presenten un elevat gradient de pressió. Així, casos com Glòria (el gener de 2020) o el temporal del novembre de 2001, són alguns exemples de ciclons extratropicals que han generat impactes rellevants a les Balears i a la Mediterrània Occidental.

L'altre fenomen causant de vent intens a les Balears són les tempestes, amb fiblons i esclafits que s'hi associen. De fet, és habitual que amb vent intens es distingeixi entre aquells episodis que tenen un origen convectiu i aquells que tenen un origen no convectiu, ergo els ciclons (Ashley i Black, 2008). Per a l'anàlisi de tempestes destructives, se simplifica distingint entre episodis de vent intens vinculats a tempestes –els que tindrien un origen convectiu– i els vinculats als ciclons –els que serien d'origen no convectiu. Tot i que sigui una obvietat, esdevé necessari esmentar que no es tracta de fenòmens excloents. És a dir, es poden produir tempestes dins del radi d'acció d'un cicló, i així succeeix en moltes ocasions a les Balears. En aquest cas, caldria esbrinar si el responsable del vent intens és el pas de la tempesta o el cicló en si mateix. La mar Balear és un dels territoris que presenta una major freqüència de fiblons de tota la Mediterrània Occidental, però la majoria de vegades són febles i circulen per sobre de la superfície marítima (Gayà *et al.* 2001; Gayà 2011; Rodríguez i Bech, 2020). Esporàdicament emperò, algun d'ells acaba afectant terra ferma i és quan es poden produir impactes, que de vegades arriben a ser greus, tal com s'explicarà al llarg d'aquest llibre.

Tempestes: fiblons i esclafits

A les Balears són freqüents les tempestes, especialment a la tardor (setembre-octubre-novembre), estació en què s'assoleix el màxim anual, però són possibles durant tot l'any, amb un màxim desplaçat cap al nord de les Balears (Tomàs-Burguera i Grimalt, 2014; Núñez Mora *et al.* 2019). Aquesta distribució espacial i temporal té una gran influència en la possibilitat que un vent intens d'origen tempestuós afecti una determinada zona.

Els niguls de tempesta es caracteritzen per tenir fortes correnties verticals, tant ascendents com descendents. Aquestes correnties verticals són, en gran part, les responsables dels fenòmens intensos que, de manera habitual, acompanyen les tempestes, sent les ratxes fortes de vent un dels més comuns, però que freqüentment apareix de manera combinada amb altres fenòmens com la pluja intensa, la pedra (calabruix de més de 2 cm de diàmetre) o la forta activitat elèctrica. Dins d'una tempesta es poden donar diversos fenòmens de vent, que tenen una gènesi i unes conseqüències prou diferenciades. De manera genèrica es pot distingir entre els vòrtexs i els vents lineals, tot i que en aquest llibre –per evitar entrar en detalls meteorològics massa específics– se simplifiquen en caps de fibló (per referir-se als vòrtexs) i esclafits (per referir-se al vent lineal). La correspondència no és bidireccional, ja que és cert que tots els caps de fibló són vòrtexs, però no tots els vòrtexs són caps de fibló, i el mateix succeeix entre els esclafits i els forts vents lineals.

En moltes ocasions resulta prou complicat distingir entre els efectes d'un cap de fibló i un esclafit. Tot i ser dos fenòmens bastant diferents entre si, no sempre la distinció és clara. Per una part existeix una certa confusió en la societat i en alguns mitjans de comunicació que, de manera habitual, cataloguen com a cap de fibló qualsevol desperfecte originat per vent en situació de tempesta. Per altra part, la seva distinció no sempre resulta senzilla al terreny. Tot i que en teoria les diferències en els seus efectes haurien de ser clares hi ha diversos factors que en poden dificultar la identificació clara, com són: una zona d'orografia complexa, la possibilitat que durant una tempesta tinguin lloc els dos fenòmens o la freqüència de fiblons febles, que no deixen un rastre tan ben definit com els fiblons més importants.

Els esclafits estan provocats pel descens sobtat d'una correntia d'aire des de la tempesta, habitualment acompanyant la precipitació. Quan aquest aire xoca amb la superfície, s'origina un vent molt intens que pot generar greus desperfectes. Les anomenades tempestes seques, en què hi ha activitat elèctrica però gairebé no arriba pluja a la superfície, també poden generar esclafits. És molt habitual que el pas d'una tempesta provoqui una acceleració en el vent, però no sempre es tracta d'un esclafit. AEMET,

per exemple, estableix un llindar de 80 km h^{-1} en la velocitat del vent per introduir un esclafit dins de la base de dades de fenòmens atmosfèrics singulars del Sistema de Notificación de Observaciones Atmosféricas Singulares (SINOBAS).



Els fiblons, en canvi, són fenòmens de vent rotatori provocats pel pas d'un vòrtex que penja d'un nigul de tempesta. El centre del fibló és, de fet, un mínim de pressió relatiu respecte al seu entorn. De manera esporàdica a la mar es poden veure fiblons amb niguls cumuliformes sense que arribin a deixar tempesta, però es tracta habitualment de fiblons molt febles que es desfan ràpidament si arriben a la costa. Els fiblons més intensos van habitualment lligats a un tipus molt específic de tempestes, les supercèl·lules, que es caracteritzen per un elevat grau d'organització interna i és habitual que duguin temps extrem associat. El vent associat al fibló té tendència a succionar cap al seu interior i cap al nigul. Tant l'efecte xuclador com el corrent rotatori són dues característiques que solen deixar una marca evident per allà on passen. És important mencionar que el que s'observa de manera visual d'un fibló no és el vent en si. Per una part, s'hi observa la condensació de l'aire que gira, però també és habitual poder observar la matèria sòlida o escombraries (o l'aigua) que el fibló mobilitza. És habitual que aquestes escombraries, que viatgen a gran velocitat, actuïn de metralla, i generin també desperfectes considerables. Com a curiositat, es pot mencionar que el 1992 es produí un fibló de categoria F3 (en una escala de 5) a Menorca, i que es tracta del fibló més intens que ha afectat les Balears en les darreres dècades i un dels més intensos que ha afectat Espanya en època recent. També és digne de menció l'episodi del setembre de 1996, quan en poques hores fins a sis caps de fibló afectaren les Balears (Homar *et al.*, 2001).

Per tant, al territori els efectes són prou diferents. Mentre que els esclafits deixen els objectes caiguts ordenats en una mateixa direcció, el pas d'un cap de fibló tendeix a deixar una situació un poc més caòtica donada la seva rotació. Una altra diferència és que el cap de fibló deixa els desperfectes molt ben delimitats dins de la seva trajectòria, com si fos possible visualitzar un camí per on ha passat. En canvi, els efectes de l'esclafit solen ocupar una franja més ampla i no tan ben delimitada.

Ciclons extratropicals

Com ja s'ha explicat, els ciclons extratropicals poden generar vents molt intensos. De fet, a la majoria de temporals de pluja i vent que afecten les Balears hi ha present un cicló (Campins *et al.*, 2006). La intensitat i la direcció en què bufarà el vent depèn tant de la ubicació del cicló com del gradient que es generi. La ubicació de les Balears al bell mig de la Mediterrània occidental

afavoreix que es vegin afectades pel pas de ciclons extratropicals, ja que aquesta zona és una de les que presenta major densitat de formació de ciclons de la Terra (Wernli i Schwierz, 2006). La complexa orografia de la Mediterrània occidental és un dels principals factors que hi contribueix, perquè els ciclons generats a sotavent de les grans cadenes muntanyoses són nombrosos en aquesta àrea i es concentren principalment a sotavent dels Alps i de l'Àtlas. La majoria d'aquests ciclons són febles, però si les condicions atmosfèriques són idònies, poden patir un procés de ciclogènesi important i esdevenir ciclons mediterranis profunds. En aquests casos es tracta normalment de temporals de tramuntana o de llevant.

Ara bé, els ciclons atlàntics també tenen la capacitat de generar vent intens. Com que el seu radi d'acció és habitualment superior als dels ciclons mediterranis, en moltes ocasions, tot i que el cicló circuli plenament per la zona Atlàntica, el vent intens arriba fins a la Mediterrània. El fort vent que bufa associat a un cicló sol fer-ho de manera relativament constant amb una afectació espacial prou general. Tot i que poden produir-se ratxes de vent prou més intenses que el vent sostingut, és un vent que mostra continuïtat en el temps i, normalment, un comportament progressiu; és a dir, comença bufant més fluix i a mesura que passa el temps, la força del vent es va incrementant fins que assoleix el màxim i s'inicia el descens. En funció de la localització del centre del cicló es poden classificar els episodis de vent intens en (1) ciclons mediterranis, (2) ciclons atlàntics i (3) ciclons atlàntics amb nucli secundari dins de la Mediterrània.

Altres casos

A més dels ciclons extratropicals i les tempestes, a les Balears caldria mencionar dos fenòmens més, com a mínim, amb capacitat de generar fortes ratxes de vent.

1.2.1. Medicà

En comptades ocasions, a la Mediterrània es produeixen ciclons que presenten algunes característiques semblants a les dels ciclons tropicals, tot i que de menor intensitat i dimensions. Els darrers anys han rebut certa atenció mediàtica i, encara que no són gaire freqüents, un o dos casos l'any a tota la conca mediterrània (Tous i Romero, 2013), requereixen almanco ser anomenats. Donades les seves característiques tropicals no es poden classificar com a ciclons extratropicals típics, i a més, presenten habitualment vent molt fort entorn del seu centre, però amb un radi d'acció prou limitat. Això provoca que els efectes, quant a vent, siguin rellevants únicament si el centre del medicà passa a prop. Això va ocórrer tant l'octubre de 1986 com el setembre de 1996. El cas més rellevant va ser el del 1986, ja que el fort vent que va bufar a Palma va destruir la fira nàutica.

1.2.2. Episodis de fogony al nord de la Serra de Tramuntana

La costa nord de la serra de Tramuntana, amb presència de vent de xaloc en superfície amb entrada càlida vinculada, es pot veure afectada per ratxes intenses de vent que poden provocar petits desperfectes. Aquest vent sol coincidir amb episodis nocturns de temperatures elevades en aquell indret. El vent de xaloc remunta la serra de Tramuntana des del Raiguer, però quan arriba al cim aquest aire, en lloc de continuar el seu ascens, inicia un descens, molt sobtat per l'elevat pendent del vessant nord de la serralada, que contribueix a accelerar-ne el flux i també a disparar la temperatura.

1.3. Efectes ecològics, econòmics i socials dels temporals destructius

La Comissió Europea recomana el monitoratge i l'estudi de les pertorbacions naturals a llarg termini per tal de desenvolupar polítiques eficients per a la prevenció de desastres (CE, 2009). Així doncs, el seguiment de les pertorbacions naturals causades pel clima hauria de convertir-se en una prioritat per tal de comprendre millor l'evolució dels impactes que se'n deriven i el paper que hi juga el canvi climàtic (Bouwer *et al.*, 2007). Actualment, sembla que l'augment de les pèrdues en l'àmbit socioeconòmic a causa dels temporals és conseqüència majoritàriament de canvis en els factors socials (Barredo, 2010). No obstant això, els impactes socioeconòmics dels temporals destructius depenen de la combinació entre la pertorbació, l'exposició i la vulnerabilitat i estan subjectes a canvis en el temps (Keiler *et al.* 2006). L'avaluació d'aquests riscos és fonamental per a les companyies d'assegurances i per als governs locals, que s'encarreguen d'identificar mesures per minimitzar l'impacte dels perills naturals al cost més baix per a la societat (ECAWG, 2009). Per tal de fer estimacions sobre l'ocurrència de temporals de vent i el seu risc associat es requereix estudiar els impactes generats a escala regional i disposar d'una àmplia mostra d'episodis a través de la compilació de dades meteorològiques i de les pèrdues generades en l'àmbit socioeconòmic (Haas i Pinto, 2012). Mitjançant l'estudi dels efectes socioeconòmics dels temporals, s'ha demostrat que tenen un impacte negatiu sobre el creixement econòmic global a curt termini, perquè augmenten la pobresa i redueixen els indicadors de desenvolupament humà (Anttila-Hughes i Hsiang, 2014). Endemés, s'ha observat un efecte molt negatiu sobre el creixement econòmic durant el primer any posttemporal (Raddatz, 2009), tot i que hi ha estudis que indiquen efectes econòmics negatius persistents fins a 20 anys després del fenomen (Hsiang i Jina, 2014). D'aquesta manera, esdevé clau quantificar els efectes negatius dels temporals sobre els serveis i béns de l'ecosistema i la seva recuperació al llarg del temps, ja que tindran un impacte directe en el valor econòmic dels ecosistemes afectats (Costanza *et al.*, 1997).

Tot i que les pertorbacions naturals influeixen en el funcionament dels ecosistemes i tenen implicacions importants pel que fa a la conservació i planificació forestal (Heinonen *et al.*, 2009), els temporals destructius s'han estudiat principalment des del punt de vista dels efectes sobre els sistemes forestals (Hanson i Lorimer, 2007), les espècies vegetals (Von Oheimb *et al.*, 2007) i l'economia (Holmes *et al.*, 2008).

D'aquesta forma, és fonamental entendre l'ecologia de les pertorbacions naturals i els seus efectes sobre la dinàmica dels ecosistemes, especialment pel que fa al manteniment de la biodiversitat (Bengtsson *et al.*, 2000), sobretot donada la fragilitat i la sensibilitat de les zones semiàrides a l'activitat humana. Heus aquí on sorgeix la dendrocronologia, el mètode científic que, a partir de la combinació de diferents disciplines (ecologia i climatologia), permet datar els anells de creixement dels arbres i estudiar les interaccions clima-creixement a les masses forestals (De Luis *et al.*, 2010). Es tracta d'una tècnica que ha demostrat àmpliament la seva utilitat per a la reconstrucció de les respostes de masses forestals enfront de variacions en les condicions ambientals al llarg del temps, com canvis en el nivell de la mar (Kirwan *et al.*, 2007) o en els patrons de temperatura i precipitació (Tipton *et al.*, 2016). El gruix dels anells de creixement anual es veu afectat per diferents factors com l'edat i espècie de l'arbre, el grau de competitivitat amb els arbres veïns, les condicions del sòl, el clima, els diferents tipus de pertorbacions i la variabilitat anual entre els individus (Speer, 2010). En ambients mediterranis, s'ha observat que els anells de creixement anual presenten respostes a temporals (Baroni *et al.*, 2020; Camarero *et al.*, 2021). Els efectes d'aquestes pertorbacions naturals sobre el creixement dels arbres poden ser emprats per analitzar la resiliència de les masses forestals, entesa aquesta com a la capacitat dels arbres de sobreposar-se després del temporal i de recuperar la seva estructura i funció prepertorbació (Folke *et al.*, 2004).

1.4. La teledetecció com a eina d'observació terrestre

L'interès creixent per les tendències i els efectes dels fenòmens naturals sobre l'ecosistema en el context del canvi climàtic i l'augment en la disponibilitat de dades oferta pels satèl·lits espacials han derivat en la profusió d'estudis centrats en l'ús i l'anàlisi de dades espacials o teledetecció (Joyce *et al.*, 2009).

No és fins als anys seixanta del segle XX que es produeix el llançament del primer satèl·lit amb el propòsit d'observació de la superfície terrestre i, més concretament, per a l'observació de l'atmosfera terrestre. El satèl·lit

TIROS, posteriorment rebatejat NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), constitueix el primer satèl·lit meteorològic. Des d'aleshores són molts els satèl·lits que s'han anat llançant amb el mateix propòsit, entre els quals destaquen el satèl·lit GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) o la sèrie METEOSAT (MSG, *Meteosat Second Generation*), que és el satèl·lit de referència en aquest àmbit.

Donada l'alta utilitat que tenen els satèl·lits meteorològics, varen aparèixer els primers satèl·lits amb característiques específiques per a l'observació de la superfície terrestre i els recursos naturals. En aquest context, a l'inici de la dècada dels setanta del segle XX, apareix el programa *Landsat*, que suposa una autèntica revolució. En aquest punt, el satèl·lit Landsat permet obtenir informació d'alta resolució espacial i també radiomètrica, incorporant un sensor multiespectral capaç de mesurar a diferents bandes de l'espectre (Chuvieco, 2002). De llavors ençà, s'han llançat una gran varietat de satèl·lits, entre els quals ressalten el satèl·lit SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*), els satèl·lits *Terra* i *Aqua* de la NASA i els múltiples satèl·lits del programa Copernicus de l'Agència Espacial Europea (ESA), destacant-ne les constel·lacions *Sentinel*. Aquesta nova generació de satèl·lits incorpora característiques més avançades, que es tradueixen en una major resolució espacial, temporal, radiomètrica i espectral, tot ampliant-ne les possibilitats i afavorint-ne, a més a més, de la liberalització de les imatges de satèl·lit. D'aquesta manera, la teledetecció demostra una gran utilitat en el monitoratge de fenòmens naturals. Així ho manifesten les tan diverses aplicacions, com ara l'anàlisi d'esllavissades, inundacions o incendis forestals, entre d'altres (Joyce *et al.*, 2009). A tall d'exemple, Zhang *et al.* (2016) utilitzaren imatges Landsat per analitzar l'evolució dels manglars a la península de Florida, freqüentment afectats per grans huracans; en la mateixa línia, Wang *et al.* (2010) caracteritzaren l'àrea d'afecció de l'huracà Katrina a zones forestals a partir d'imatges MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Altres estudis s'han centrat en l'anàlisi de les trajectòries de diferents tornados a partir d'imatges Sentinel-2 (Burow *et al.*, 2020). Tot i que aquests episodis poden ser associats a grans desastres naturals, la teledetecció també té un paper fonamental en l'anàlisi de fenòmens molt més específics i de major resolució. Un exemple és l'anàlisi de la coberta del dosser vegetal a boscos de fulla perenne a partir d'imatges Landsat i Sentinel-2 (Langner *et al.*, 2018), l'avaluació dels impactes sobre la massa forestal produïts per malalties o insectes a partir d'imatges MODIS i Landsat o la identificació de patrons que indiquin malalties en cebes de camp (Isip *et al.*, 2020).

Les imatges de satèl·lit permeten la mesura de l'espectre electromagnètic de

les diferents cobertures del sòl, que tenen una resposta espectral diferent depenent de les característiques físiques i, per tant, es poden diferenciar a partir de la informació obtinguda. En aquesta línia, han aparegut una sèrie d'índexs derivats, que permeten discriminar les característiques físiques de les diferents cobertes a partir de dues o més bandes d'informació espectral.

L'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) és un índex derivat de les bandes de l'infraroig proper i del vermell visible. Tal com detallen Pettorelli *et al.* (2005), l'NDVI és un excel·lent indicador de la productivitat i la dinàmica vegetals que permet mesurar els efectes dels diferents fenòmens naturals sobre la vegetació, a més de diferenciar-la de la resta de cobertures. Alguns estudis afirmen que l'NDII (*Normalized Difference Infrared Index*) pot ser de més utilitat per identificar els impactes sobre la vegetació a causa de la relació entre el contingut d'aigua i la productivitat vegetal (Wang *et al.*, 2010, Zhang *et al.*, 2016). Altres estudis han centrat el punt de mira en l'NBR (*Normalized Burn Ratio*) per identificar els impactes de possibles pertorbacions al cobricel forestal (Langner *et al.*, 2018); si més no, aquest índex ha estat utilitzat per comparar la situació de les àrees sotmeses a incendis forestals (Key i Benson, 2006). És tanta la importància d'aquests índexs en la detecció de canvis, que l'algoritme LandTrendr els utilitza combinats. Aquest algoritme per a la detecció de canvis píxel a píxel a partir de segmentació dinàmica fa ús de l'NBR, l'NDVI i la banda d'humitat, que pot ser correlacionada amb l'NDII, derivada de la transformació Tasseled-Cap (Kennedy *et al.*, 2010).

1.5. Gestió forestal posttemporal: de la regeneració a la resiliència

Les pertorbacions naturals que produeixen els temporals destructius, els incendis forestals, les inundacions, les plagues forestals, etc., són només un instant més en la vida dels ecosistemes afectats. Es tracta d'uns ecosistemes dinàmics, que van interrelacionant-se amb les condicions ambientals (Terradas, 2001), i que generen paisatges permanentment variables i dinàmics (Del Poza, 2014), en què els elements que els componen són essencialment els mateixos, però sense deixar de canviar i, en el cas dels éssers vius, sense deixar de néixer, créixer i morir. El punt de vista antròpic actual i l'ínfima durada de la vida humana en relació amb la longevitat de certs ecosistemes provoca que la societat sovint sobredimensioni la severitat de certes pertorbacions per la preocupació social que genera en tant que el paisatge afectat no torni a ser com abans de la pertorbació. Això atorga, implícitament, una immobilitat als boscos que no es correspon amb el dinamisme inherent a qualsevol ecosistema, exposat, cada cert temps, a diferents tipus de pertorbacions (figura 1).



Figura 1. Recurrència de pertorbacions al Coll de sa Bastida, Banyalbufar: en primer terme (verd més viu), zona afectada per un incendi l'any 1993, la joventut i flexibilitat dels pins els va salvar dels forts vents; en segon terme, els danys generats pel temporal de l'agost de 2020.

Dit d'una altra manera, els caps de fibló, les fortes nevades, les inundacions, les plagues forestals greus o altres pertorbacions naturals s'han produït recurrentment al llarg de la història de la Terra. Ara bé, les masses forestals no han desaparegut; ans al contrari. Basta pensar en quin era l'operatiu d'extinció d'incendis present fa centenars o milers d'anys, quan enmig d'una tempesta d'estiu, un llamp generava un gran incendi forestal que consumia el bosc. És obvi que, en el passat, els incendis seguien una evolució lliure; per tant, el foc ha estat un dels agents modeladors del nostre paisatge (Pausas, 2012).

Si ningú extingia aquells incendis de fa centenars o milers d'anys, és de suposar que ningú no restaurava aquells boscos afectats i, en canvi, no hem heretat unes illes desertes, ni ermes. Les espècies forestals mediterrànies estan adaptades a moltes de les pertorbacions naturals que han patit recurrentment al llarg de la història. Un exemple molt gràfic i proper per a qualsevol persona que visqui o visiti les Balears són les pinyes seròtines del pi, pi blanc o pi bord (*Pinus halepensis* Mill.), que s'obrin amb la calor de les flames per fer perviure el pinar futur tot i la mort dels pins actuals. Aleshores, si durant centenars i milers d'anys els ecosistemes forestals s'han

vist exposats a grans incendis forestals o vents intensos i han perdurat fins als nostres dies com a ecosistema, per què convé actuar avui en dia després d'una gran pertorbació?

Per una banda, l'escala temporal que suposava aquest escenari passat no és assumible per l'estructura socioterritorial actual. Els nivells de presència humana d'avui fan que certes pertorbacions –sobretot incendis forestals– tinguin un període de recurrència potencialment major, cosa que en pot comprometre la regeneració. Endemés, el context de canvi climàtic genera molta incertesa sobre la capacitat de regeneració natural d'algunes espècies quan es veuen afectades per pertorbacions naturals, sobretot si, com es preveu, en les dècades vinents el canvi climàtic ha de comportar una major freqüència de temporals de vent, una reducció de la disponibilitat hídrica, un augment de la intensitat dels incendis, entre d'altres (Serrada *et al.*, 2011). En zones vulnerables, això en genera un risc d'irreversibilitat en l'estat de conservació, fet que comporta la necessitat d'estructurar unes condicions de restauració postpertorbació que n'afavoreixin la recuperació en el context climàtic actual i que permetin la supervivència de la formació forestal afectada, amb independència que sigui present a altres zones.

Per altra banda, la principal diferència dels paisatges de les Balears de fa milers d'anys respecte als d'ara és, evidentment, la presència antròpica. Donada la limitada extensió del territori balear en termes de superfície i en sentit físic, per la mar, les diferents civilitzacions han anat convivint amb quasi tots els ecosistemes del nostre entorn, interactuant-hi i, en definitiva, aprofitant-los. Ja durant la dominació romana, l'espai forestal va quedar limitat a àrees marginals de baix rendiment agrícola, mentre que la ramaderia, els aprofitaments forestals i el foc romangueren com a eines de gestió de les masses forestals (Gil *et al.*, 2003). Aquest aprofitament històric ha comportat una interrelació tan intensa que fins i tot ha condicionat el paisatge de comarques que, tot i d'aparença natural com la serra de Tramuntana o es Amunts d'Eivissa, estan plens de signes d'aquesta empremta cultural; els més evidents són, segurament, els marges de pedra en sec (figura 2). Però no només s'observa aquesta interrelació en les construccions de pedra, també s'observa en molts dels boscos; per veure-ho, basta passejar per la majoria dels alzinars: en l'estructura s'hi aprecien senyes evidents de la recent gestió silvícola encarada a la producció de carbó. Es tracta, per tant, d'un paisatge cultural (UNESCO, 2012; IPCE, 2015).

Però és un paisatge cultural també per la presència molt significativa de cases, carreteres, infraestructures i persones: residents permanents o de cap de setmana, turistes, excursionistes, investigadors, caçadors, corredors i un llarg etcètera. Totes aquestes persones es fan seus aquell ecosistema

i aquell paisatge per unes hores, dies o anys. O sigui que els danys que generen les pertorbacions ambientals presenten un fort component econòmic —quanta gent no ve atreta pels paisatges?— i social: l'afectació que, directament o indirectament, poden generar en les persones, els seus béns i el seu paisatge. I el risc: conviure amb el bosc comporta uns riscos associats per a les persones, riscos que es manifesten clarament no només durant les pertorbacions, quan aquestes prenen certa magnitud, sinó també els primers anys posteriors, pels riscos associats als danys generats. I enfront d'aquest risc, l'Administració pública ha d'actuar.



Figura 2. Antigues marjades o feixes a la zona afectada, l'any 2019, a Eivissa.

Per tant, convé actuar per minimitzar el risc sobre les persones i per generar unes condicions que permetin la recuperació —en un temps relativament breu i en un lloc concret— de l'ecosistema afectat. Però ja s'ha comentat prèviament que aquestes pertorbacions han estat recurrents al llarg de la història de la Terra i de la humanitat i, a més, tot fa indicar que, amb l'actual context de canvi climàtic, les masses forestals poden patir-les més regularment i de manera més extrema, ja que es preveu que augmentin els danys causats per les pertorbacions com ara la sequera, els incendis forestals o els brots poblacionals d'insectes (Gardiner, 2013). En conseqüència, no es tracta només d'actuar per garantir la seguretat de les persones i els seus béns o per generar les condicions que permetin una recuperació de l'ecosistema afectat, sinó també de fer-ho generant unes condicions que aportin al futur ecosistema restaurat una major resiliència enfront de futures pertorbacions.

Els primers anys posteriors a una pertorbació ambiental, les zones afectades són vulnerables a altres pertorbacions ambientals secundàries que les poden degradar de manera encara més greu, període que es coneix com a “finestra màxima de pertorbació” (Prosser i Williams, 1998). Per exemple, en el cas d'una zona cremada per un incendi forestal d'elevada intensitat, el sòl ha perdut part de les arrels que el retenen i també bona part del seu recobriment vegetal, de manera que queda temporalment exposat a l'erosió hídrica derivada d'un episodi de pluges molt intenses. En zones cremades amb forts pendents, l'escorrentia superficial pot erosionar greument el sòl i posar en risc la regeneració de la zona afectada per la pertorbació inicial.

En el cas concret de tempestes destructives, l'acumulació de restes i la presència abundant d'arbres debilitats predisposen molts dels rodals afectats a pertorbacions secundàries (Mitchell, 2013). Amb aquestes pertorbacions, donat el fet que la major part de l'estrat herbaci i arbustiu sobreviu, en lloc de pluges intenses, les pertorbacions secundàries a les quals queden exposades les zones afectades són: per una banda, els incendis forestals que, per l'acumulació de restes vegetals seques, poden agafar molta intensitat i afectar seriosament tota la vegetació que ha sobreviscut a la tempesta; i, per altra banda, les explosions poblacionals d'insectes escolitins que poden esdevenir plaga forestal i generar mortalitats elevades en l'estrat arbori romanent que havia sobreviscut a la pertorbació primària.

Es tracta de restaurar els espais forestals i, alhora, de minimitzar-ne la vulnerabilitat a les pertorbacions ambientals més probables fent-los més resistents (que no els afecti la pertorbació) i resilients (en cas que els afecti, que ho faci menys intensament i que es puguin regenerar de manera natural). En definitiva, per conservar convé restaurar, i encara més: convé restaurar prevenint.

1.5.1. Principals riscos que cal gestionar

Les actuacions de restauració posteriors a una pertorbació s'han de planificar atenent l'impacte que s'ha originat sobre la massa forestal i als objectius de gestió forestal que es pretenen assolir (Moreira *et al.*, 2012, citat a Alloza *et al.*, 2014). Perquè la resposta sigui eficaç convé reaccionar amb rapidesa, fet que implica que s'ha de disposar, en el mínim temps possible, del màxim d'informació sobre els danys generats i les característiques de la zona afectada, per definir, en funció del pressupost disponible, les prioritats i les actuacions necessàries (Alloza *et al.*, 2014). En el cas de les pertorbacions per tempestes destructives, l'objectiu general sol ser la minimització dels riscos de degradació derivats dels danys que s'han generat.

1.5.1.1. Riscos per a la seguretat per a les persones

Tot i no formar part d'una actuació pròpiament de restauració forestal, és obvi que les actuacions destinades a garantir la seguretat de les persones i el funcionament dels serveis essencials bàsics són les prioritàries per a l'Administració pública i són les que s'executen en primer lloc. En concret, es duen a terme treballs destinats a protegir aquells béns d'ús públic o d'interès general, com puguin ser carreteres principals, infraestructures públiques, xarxes de distribució de telefonia, internet o electricitat, etc.

En el cas de les tempestes destructives, el principal objectiu se centra a retirar els obstacles que obstrueixen els accessos principals, retirar les restes que posen en perill les persones, els seus béns o les infraestructures públiques o privades que donen un servei essencial a les persones afectades.

1.5.1.2. Risc d'incendi forestal

A les zones forestals que presenten un estrat forestal dens, l'acumulació de les capçades, les branques i els arbres tombats, comporta que s'alteri l'estratificació de la vegetació. Això implica un canvi de model de combustible que augmenta la vulnerabilitat de la zona afectada enfront d'un hipotètic incendi forestal, en tant que l'acumulació de llenya seca faria que la severitat del foc fos extrema. Allà on inicialment hi havia un model 6 o 7 de combustible (és a dir, amb menor càrrega de combustible i on, en cas d'incendi, el foc es propaga generalment per l'estrat arbustiu), passa a haver-hi un model 12 o 13, sempre segons els models de combustible de Rothermel (1972), amb elevades quantitats de restes vegetals acumulades, on el foc agafa molta més intensitat i, aprofitant la continuïtat vertical que generen les restes caigudes, puja més fàcilment fins a les capçades. És a dir, augmenta la probabilitat que es generin incendis de severitat extrema, que poden quedar fora de la capacitat d'extinció dels mitjans de l'operatiu d'incendis forestals (per la inaccessibilitat i l'elevada intensitat de flama que comporten les restes caigudes). I aquests grans incendis forestals amplificarien els danys sobre la zona afectada per la tempesta destructiva, i posarien en perill, ara sí, la persistència del sòl i, de retruc, la regeneració natural.

Per tant, per retornar a un model de combustible de menor càrrega, es recomana o bé retirar el material caigut (desembosc) per reduir la càrrega de combustible, o bé estellar-lo o triturar-lo in situ, escampant el material triturat sobre el terreny (Mauri i Pons, 2019). En aquest segon cas, es podria objectar que el material queda allà mateix i no s'elimina càrrega de combustible, però com que queda capolat i escampat sobre el sòl, i crea una capa d'entre 5 i 30 cm de gruix, el combustible no és de

la mateixa gruixa, es permet el pas als equips d'extinció, se n'accelera la descomposició i també s'elimina la seva continuïtat vertical amb la vegetació romanent (figura 3).



Figura 3. Gestió de la càrrega de combustible: just després del cap de fibló (esquerra) i després d'actuar-hi (dreta).

Per això, donada la impossibilitat d'actuar en tota la superfície afectada, és important *fragmentar* tota aquesta acumulació de combustible per tal que, en un futur incendi, hi hagi zones sense aquesta càrrega de combustible que dificultin l'avanç del foc i permetin que els mitjans d'extinció terrestre puguin accedir amb seguretat fins a les flames de l'hipotètic incendi i actuar-hi. És a dir, generar espais de prevenció, de defensa i d'oportunitat d'extinció. Aquesta "fragmentació" s'aconsegueix creant faixes de defensa a banda i banda de la xarxa viària principal que travessa la zona afectada, així com actuant en els punts crítics de prevenció d'incendis forestals establerts en el IV Pla General de Defensa contra Incendis Forestals de les Illes Balears (Govern de les Illes Balears, 2015).

Com sempre, l'atenció del risc sobre les persones és prioritari, de manera que les carreteres que donen accés a nuclis de població o els voltants mateixos d'aquests nuclis són les zones per on es comença a gestionar el futur risc d'incendi forestal; entre altres, perquè normalment en aquestes zones es treballa de manera conjunta tant la prevenció del risc per a la seguretat de les persones, com la prevenció del risc d'incendi forestal i dels danys que se'n deriven.

1.5.1.3. Risc de mortalitat diferida provocada per escolitins

Els escolitins són petits insectes (en general de pocs mil·límetres de longitud), que conformen una subfamília (*Scolytinae*) de coleòpters polífags de la família *Curculionidae*.¹ Al món existeixen unes 6.000 espècies i 181 gèneres d'escolitins. A Europa n'hi ha 81 citades sobre coníferes; d'aquestes, 47 poden causar problemes econòmics i ambientals (López

¹ Històricament se'ls havia considerat una família taxonòmica, d'aquí que anteriorment se'ls anomenés escolitids (*Scolytidae*).

et al., 2007). A les Balears, els escolitins més abundants i potencialment perillosos són *Tomicus destruens* i *Orthotomicus erosus*.

Són insectes perforadors i endòfits, és a dir, viuen a l'interior dels teixits de la planta hoste, on romanen durant pràcticament la totalitat del seu cicle biològic. La gran majoria s'alimenten del floema, un teixit molt nutritiu que es localitza entre l'escorça i la fusta. Convé tenir ben present que aquests perforadors necessiten una mínima quantitat d'humitat per poder-se desenvolupar i, per tant, la fusta seca (ni els arbres morts, per tant) no els atreuen. Si les poblacions es mantenen en nivells endèmics, els escolitins tenen un paper ecològicament rellevant en els ecosistemes forestals, ja que inicien els processos de descomposició de la fusta que acabaran permetent la posterior incorporació de la matèria orgànica al sòl.

Dins dels escolitins cal diferenciar entre les espècies primàries (que afecten directament l'arbre, independentment del seu estat fitosanitari) i les secundàries (que l'afecten com a conseqüència d'un debilitament o d'una vulnerabilitat prèvia). La major part es comporten com a secundàries i afecten arbres moribunds, abatuts, tallats, danyats o debilitats per causes diverses. Hi ha, però, altres espècies que, donades unes circumstàncies determinades, poden esgotar els recursos que els proporcionen els arbres dèbils i danyats, i actuar com a espècies primàries, que colonitzen directament arbres sans i vigorosos, i que causen importants focus de mortalitat (Gil i Pajares, 1986).

El problema radica que quan es produeix una gran explosió o multiplicació d'aquests insectes, la densitat poblacional d'escolitins esdevé tan elevada que assoleix nivells epidèmics. En aquestes circumstàncies, tenen la capacitat de colonitzar i provocar la mort també de peus sans i vigorosos.

Per tot això, no és d'estranyar que aquests insectes siguin considerats una de les plagues més importants que poden causar greus danys als pinars mediterranis (Romanyk i Cadahia, 2001). En aquest segle, *Tomicus destruens* ha provocat nombrosos episodis de mortalitat greu de pins arreu de la conca mediterrània. Destaquen, entre d'altres, el cas dels aproximadament 250.000 pins pinyoners (*Pinus pinea* L.) morts al Maresme (Catalunya) l'any 2016, o més recentment, a una escala molt menor, a la Comuna de Bunyola, a Mallorca; sense oblidar, òbviament, el temporal del mes de novembre de 2001 que va tenir lloc també a Mallorca, i en què el 77 % de la superfície afectada va patir efectes secundaris pels escolitins.

1.5.1.3.1. Incidència de les perturbacions ambientals en les poblacions d'escolitins

Els episodis perllongats de sequera, els incendis i les tempestes destructives que han impactat en els darrers anys sobre les masses forestals de les Balears (Menorca, 2018; Eivissa 2019 i Mallorca 2020) són perturbacions que generen danys en l'estrat arbori, i en una gran quantitat d'arbres vulnerables (ferits, però no morts) i un debilitament generalitzat de la massa forestal arbrada, que pot desencadenar en una explosió poblacional d'escolitins. Els arbres, quan estan estressats, debilitats o afectats, emeten una gran quantitat d'olis essencials, substàncies volàtils que són molt atractives per aquest tipus d'insectes. Aleshores, aquests insectes colonitzen aquest tipus d'arbres i, quan hi ha abundància d'arbres danyats, poden incrementar-ne la població de forma alarmant i crear un reservori poblacional d'escolitins en aquests arbres debilitats de manera que a curt termini l'elevada població existent farà que també colonitzin els arbres sans i sense danys apreciables. Aquest fenomen s'ha denominat mortalitat diferida, i està àmpliament estudiat en el cas dels escenaris postincendi forestal (Sánchez *et al.*, 2007). En els mesos següents a una perturbació d'aquesta magnitud, pràcticament no s'observa mortalitat d'arbres associada a l'atac d'escolitins, sinó que més aviat el que s'està generant és una població latent que passa l'hivern sota l'escorça dels arbres. Un cop generat el fenomen d'explosió poblacional per mor de l'abundant quantitat d'aliment disponible, l'èxit de la colonització posterior i, per tant, del nivell d'afectació de la massa forestal, dependrà de la combinació de diversos factors (estrès hídric posterior a la perturbació, densitat arbòria prèvia, etc.), que entren en joc en els escenaris posttemporal. Si es dona aquesta explosió poblacional, que succeeix la primavera següent (especialment a partir del següent estiu i la tardor), els efectes seran importants i constatables, ja que es podran observar peus afectats que s'estan assecant (figura 4).



Figura 4. Arbres afectats per escolitins, identificables per l'engrogiment de les capçades

El principal símptoma dels danys és l'assecament ràpid de les acícules del pi que, en poques setmanes, passen de colors verds pàl·lids a tonalitats grogues i vermelloses. Finalment, amb el temps els pins s'acaben defoliant completament. En el cas de *Tomicus destruens* també són visibles uns petits volcans de resina a l'escorça del pi; són petits forats d'entrada en què el pi, com a mecanisme de defensa, ha secretat compostos tòxics i antifúngics que han generat aquesta curiosa forma. L'existència de branquetes o brotets caiguts a terra són un clar indicatiu de la seva presència, ja que aquests insectes necessiten alimentar-se de la medul·la de les branquetes sanes de pi per madurar sexualment.

1.5.1.3.2. Actuacions de prevenció i de lluita enfront de les explosions poblacionals

Les actuacions que cal executar en aquests escenaris es poden classificar en dos grups: (a) mesures de prospecció i vigilància, tant de la zona afectada com del seu perímetre (fins a una distància de 500 m); (b) actuacions d'erradicació i control de la plaga. Aquestes actuacions s'han de mantenir durant els 3 anys posteriors a la pertorbació.

La vigilància i prospecció periòdica de les zones afectades i del seu perímetre és essencial per detectar focus inicials abans que causin perjudicis greus. Aquestes prospeccions s'intensifiquen a la primavera i a la tardor, èpoques amb major risc de proliferació dels escolitins. Això es duu a terme amb l'observació directa a camp i també mitjançant la instal·lació de trampes amb substàncies atractives com a esquer per als insectes que es volen controlar (figura 5). La funció d'aquestes trampes és doble, ja que permeten monitorar el cicle biològic de la plaga i la seva densitat així com capturar i, per tant, reduir-ne la població.



Figura 5. Reacció del pi a l'entrada dels escolitins al tronc (esq.), i trampa tipus Theysohn®.

Com que els seus cicles biològics alternen en el temps, les trampes s'esquen amb substàncies atraients específiques segons l'època de l'any: d'octubre a abril amb kairomones d'agregació per atreure *Tomicus destruens* i d'abril a octubre amb feromones d'agregació per a *Orthotomicus erosus*. Per tant, el període de trampeig serà tot l'any.

Si es confirmen nivells d'afectació significatius, entren en joc les operacions de control i erradicació com la *lluïta silvícola*, combinada també amb la lluita biotecnològica (instal·lació de trampes). La lluita silvícola es basa en la tala i eliminació (o desembosc) de tots aquells peus que hagin quedat afectats i greument danyats per la tempesta destructiva, operació que esdevé la tasca principal dels treballs de restauració després dels danys causats pel vent, però també d'aquells arbres que mostrin ja els primers símptomes d'atac pels perforadors dels pins.

La fusta recentment talada és molt atractiva per als insectes perforadors, per la qual cosa la tala dels arbres danyats ha d'anar seguida de la seva ràpida eliminació (mitjançant trituració o crema) o, si no és possible, del seu desembosc (a més de 500 metres de qualsevol pinar). L'eliminació de l'escorça del pi tallat també és una mesura efectiva, ja que exposa les larves a la dessecació i a l'acció dels organismes depredadors (Gil i Pajares, 1986).

1.5.14. Risc d'alteració del paisatge

El risc d'alteració del paisatge és potser de caire més intangible que els anteriors, però té una importància innegable a les Balears, tant per al benestar de les persones residents com per al rendiment econòmic derivat del turisme. En la restauració posterior a una tempesta destructiva, el paisatge afectat sovint es treballa indirectament, com a una conseqüència derivada de les tasques forestals que persegueixen un altre objectiu prioritari que no és un altre que la minimització dels riscos per a les persones o del risc d'incendi forestal, però que lògicament també ajuden a la recuperació del paisatge (figura 6).

Això no obstant, segons la partida pressupostària disponible i en funció dels condicionants operatius, en alguns casos es destinen recursos a intervencions principalment paisatgístiques, tot i que també tenen altres beneficis, com ara augmentar la velocitat de descomposició i incorporació al sòl de la matèria orgànica, generar discontinuïtat vertical de combustible, facilitar l'accés, etc. En qualsevol cas, és un element que convé tenir en compte de cara a prioritzar les actuacions, ja que, donades dues zones amb nivells similars d'afectació i d'utilitat pública dels treballs de restauració, aquest criteri permet decidir en quina zona actuar, en funció de la que es trobi en una conca visual més exposada.



Figura 6. Paisatge posttemporal, a Son Coll i Son Valentí, baixant cap al Port des Canonge (Banyalbufar).

1.5.1.5. Risc per a espècies protegides i arbres catalogats

És important revisar tota la cartografia disponible en relació amb les espècies protegides i amb els arbres catalogats de cara a planificar-hi, si se'n confirma la presència, les actuacions de conservació que es considerin adients, principalment pel que fa a les espècies vegetals. Les tempestes destructives generen danys en els arbres, i més en els catalogats que solen ser exemplars vells i, per tant, més vulnerables a la força del vent, que en sol tombar cimals o, fins i tot, l'arbre sencer. També es revisen zones sensibles, on hi havia una població d'una espècie singular, repoblacions, punts de nidificació, etc., per avaluar-ne els danys i, si s'escau, fer-hi les actuacions de restauració que pertoqui.

2. MATERIALS I MÈTODES



25

AUTORS PER APARTATS

2.1. Casos d'estudi	25
Joan Estrany, Adolfo Calvo-Cases	10.3306/TDBIB.2022.2.1
2.2. Teledetecció: obtenció i tractament d'imatges satèl·lit	28
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez	10.3306/TDBIB.2022.2.2
2.3. Anàlisi de l'evolució de la coberta forestal	30
Miquel Febrer	10.3306/TDBIB.2022.2.3
2.4. Anàlisi dendrològica del temporal del 2001 a l'illa de Mallorca	31
Jaume Company, Julián García-Comendador	10.3306/TDBIB.2022.2.4
2.5. Anàlisi ecològica, econòmica i social	34
Josep Fortesa	10.3306/TDBIB.2022.2.5
2.6. La gestió forestal posttemporal	35
Joan A. Santana	10.3306/TDBIB.2022.2.6

2. MATERIALS I MÈTODES

2.1. Casos d'estudi

Aprofitant el vintè aniversari del temporal de vent del novembre de 2001 que afectà de manera general l'illa de Mallorca, es farà una anàlisi geoambiental així com un exercici de valoració de la gestió posttemporal de l'actuació duta a terme per les administracions públiques i la iniciativa privada. Tot i que durant aquest període han tengut lloc altres temporals destructius que són perfectament qualificables com a fenòmens meteorològics adversos, només seran tractats aquells que han provocat impactes més greus a les masses forestals de les Balears (taula 1).

A la taula 1 s'han inclòs alguns episodis que, sigui per la seva rellevància social o per la seva magnitud, requereixen ser mencionats tot i que l'impacte a les masses forestals no fos de gran rellevància. Val a dir, emperò, que la majoria d'episodis apareixen lligats al pas de tempestes i no a ciclons, amb un pes molt rellevant dels fiblons. Les Balears són un dels indrets amb major ocurrència d'aquests fenòmens meteorològics de la Mediterrània occidental.

Data	Localització impacte	Velocitat màxima	Tipologia
10-11-2001	Mallorca	150 km h⁻¹	Cicló mediterrani
15-09-2004	Port de Valldemossa		Tempesta (fibló)
04-10-2007	Palma	109 km h ⁻¹ (F2-F3)	Tempesta (fibló i esclafit)
12-09-2012	Lluc	148 km h ⁻¹ (F1-F2)	Tempesta (fibló)
29-10-2013	Migjorn de Mallorca	90 km h ⁻¹	Tempesta (esclafit)
01-04-2017	Ciutadella		Tempesta (fibló)
28-10-2018	Menorca	140 km h⁻¹ (EF1)	Tempesta (fibló)
27-08-2019	Mallorca	95 km h ⁻¹	Tempesta (esclafit)
22-10-2019	Eivissa	82 km h⁻¹ (enregistrat)	Tempesta
20-01-2020	Illes Balears	110 km h ⁻¹	Cicló 'Glòria'
29-08-2020	Banyalbufar	171 km h⁻¹ (EF2)	Tempesta (fibló)
22-01-2021	Illes Balears	186 km h ⁻¹	Cicló 'Hortense' amb tempesta associada

Taula 1. Episodis de vent intens a les Illes Balears que han generat impactes rellevants. En negreta i cursiva els temporals que seran objecte d'anàlisi geoambiental.

Dels quatre temporals destructius se n'analitzaran els efectes i es durà a terme una descripció sinòptica meteorològica. Cal destacar que la majoria de casos tenen lloc a la tardor, quan les tempestes solen tenir una major virulència. Donat el caràcter local de les tempestes, resulta complicat disposar de dades de la velocitat màxima que realment s'ha assolit durant l'episodi. En dues ocasions, al fibló de Lluc de 2012 (episodi no analitzat en aquest llibre) i al de Banyalbufar de 2020, sembla que el cap de fibló va passar ben per damunt de l'estació meteorològica, cosa que permet tenir-ne una bona aproximació. S'ha de tenir en compte però, que la velocitat màxima del vent fou segurament superior. Cal mencionar també l'absència de temporals purs de tramuntana o mestral a la taula. Certament, en una anàlisi climàtica exhaustiva del vent intens a les Balears, aquests episodis tindrien rellevància.

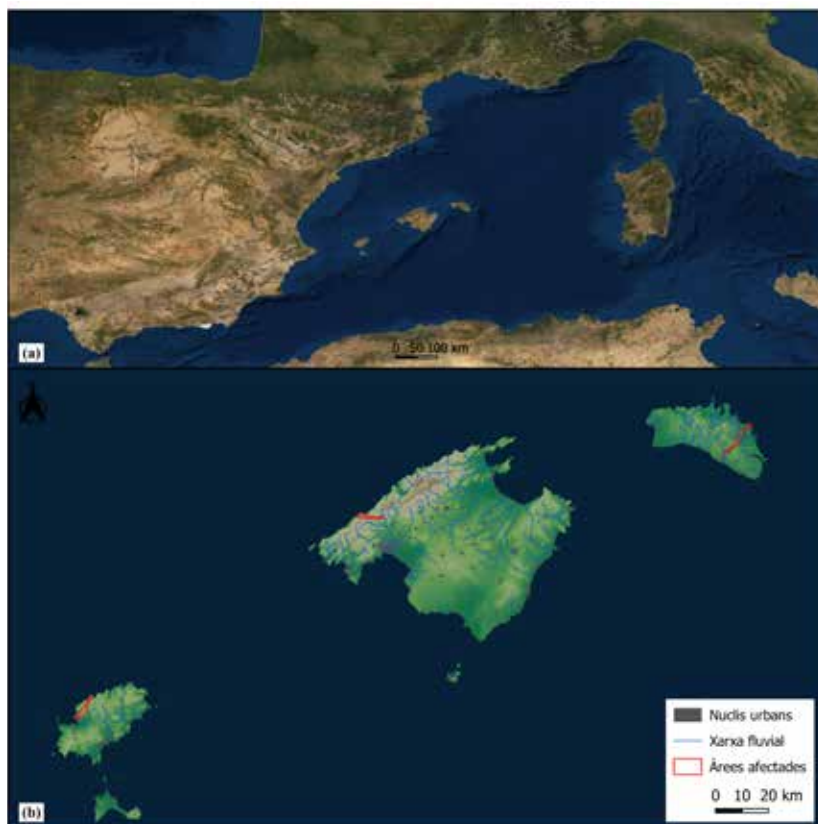


Figura 7. Localització de les zones afectades pels temporals destructius analitzats, considerant que l'ocorregut el 2001 afectà tot el territori balear, en especial l'illa de Mallorca.

Amb tot, aquest estudi se centrarà a analitzar-los de manera detallada ecològicament, econòmicament i socialment, així com a estudiar la resposta de l'Administració pública als efectes dels quatre temporals destructius que han provocat importants perturbacions a les masses forestals de les Balears (establint com a criteri que l'afectació hagi superat les 500 ha de superfície forestal).

Els casos d'estudi específics per a aquests episodis són els següents (figura 7):

- Cicló mediterrani a Mallorca, novembre de 2001. Comprèn tota l'illa de Mallorca.
- Fibló a Menorca, octubre de 2018.
- Tempesta a Eivissa, octubre de 2019.
- Fibló a Mallorca, agost de 2020.

2.2 Teledetecció: obtenció i tractament d'imatges satèl·lit

Cada episodi ha estat objecte d'una anàlisi específica per seleccionar el tipus d'imatge (satèl·lit) que s'adapta millor a l'objectiu principal que no és un altre que detectar els canvis a la massa vegetal (taula 2).

Pel que fa als fenòmens del període 2018-2020, s'han seleccionat els satèl·lits Sentinel-2 del Programa Copernicus de l'ESA, que són els satèl·lits espacials de referència en l'àmbit europeu. Aquesta constel·lació, formada per dos sensors llançats el 2015 i el 2017, ofereix una alta resolució espacial de fins a 10 metres a les bandes del visible i l'infraroig proper (NIR) i 20 metres per a les bandes *red-edge* o l'infraroig d'ona curta (SWIR). La resolució temporal a les nostres latituds és d'entre 4 i 5 dies.

A més de les imatges *Sentinel-2*, s'han utilitzat imatges de la constel·lació *PlanetScope*. Aquesta compta amb més de 180 satèl·lits comercials que permeten obtenir una gran quantitat d'imatges per a qualsevol punt en un mateix dia i que proporcionen una resolució espacial molt elevada. Les imatges presenten una resolució espacial de 3 metres i compta amb 4 bandes, tres per al canal visible i una per a l'infraroig proper.

Per a l'episodi del 2001 només s'ha pogut treballar amb la sèrie *Landsat*: *Landsat 5 TM* i *Landsat 7 ETM+*. Ambdós sensors, llançats el 1984 i 1999

Pertorbació	Satèl·lit	Imatge prèvia	Imatge posterior
Mallorca (11-12 de novembre del 2001)	Landsat 5 TM i Landsat 7 ETM+	Novembre 2000 a març 2001	Novembre 2002 a març 2001
Menorca (28 d'octubre del 2018)	Sentinel 2 PlanetScope	03/08/2018 02/08/2018	03/08/2019 02/08/2019
Eivissa (22 d'octubre del 2019)	Sentinel 2 PlanetScope	29/11/2018 2019/08/02	24/11/2019 02/08/2020
Mallorca (29 d'agost del 2020)	Sentinel 2 PlanetScope	06/07/2020 02/08/2020	N16/07/2021 03/08/2021

Taula 2. Resum de les imatges pre- i postpertorbació emprades per a cada temporal destructiu.

respectivament, ofereixen una resolució espacial de fins a 30 metres en les bandes del visible o l'infraroig i de 60 metres al canal tèrmic. La resolució temporal és de 16 dies, fet que dificulta la disponibilitat d'imatges a l'època humida. Per tal d'evitar aquesta mancança de dades s'ha utilitzat la combinació dels dos satèl·lits, fet que comporta un avantatge considerable a l'hora d'obtenir imatges sense núvols (Kovalskyy i Roy, 2013).

Independentment del satèl·lit, les imatges han estat obtingudes amb nivells de reflectivitat corregida en la superfície (BOA, *Bottom Of Atmosphere*), sense artefactes produïts per la dispersió atmosfèrica i aptes per poder efectuar comparacions entre diferents dates i, fins i tot, sensors.

Tenint en compte que l'època de major incidència d'aquests esdeveniments s'associa, a la vegada, a la de major inestabilitat meteorològica i que s'hi fa evident una limitació per obtenir imatges sense núvols, s'ha considerat la selecció d'una imatge prèvia i una de posterior de característiques semblants. A fi i efecte d'evitar els canvis fenològics que es deriven dels cicles i la dinàmica estacional, s'ha optat per seleccionar la imatge posterior, un any després de la imatge prèvia a l'esdeveniment. No obstant això, aquesta metodologia no s'ha pogut utilitzar per a l'episodi del 2001 a causa que la disponibilitat d'imatges el 2002 és molt limitada per la presència de núvols i, a més, existeix una marcada anomalia positiva de precipitació, fet que comporta una alteració evident de la reflectància espectral associada a cobertures forestals. Per aquest motiu, s'ha realitzat una combinació d'imatges dels dos sensors Landsat disponibles, seleccionant totes les imatges sense presència de núvols des del novembre del 2000 al març del 2001 i del mateix període per al 2002 i 2003. Així mateix, ha estat necessari

aplicar una màscara a les zones afectades per núvols i calcular el valor central de la sèrie o la mediana i intentar assolir un valor comparable entre els dos períodes. Aquest tractament permet resoldre, en certa manera, el biaix produït per l'anomalia de precipitació, que comporta una alteració significativa dels valors de reflectivitat a les àrees forestals.

El tractament de les dades s'ha fet amb l'eina *Google Earth Engine*. Es tracta d'una plataforma que permet l'accés a les dades d'una gran quantitat de sensors multispectrals com ara *Landsat* o *Sentinel*, entre d'altres, i també en permet l'anàlisi i processament de la informació. Per tal de facilitar i optimitzar el càlcul d'informació, s'utilitza un sistema de processament en paral·lel, a partir de computació en núvol, que proporciona un major rendiment per a tasques d'anàlisi píxel a píxel de gran complexitat (Gorelick *et al.*, 2017).

2.3. Anàlisi de l'evolució de la coberta forestal

Amb l'objectiu de quantificar els canvis de la massa forestal, s'ha utilitzat el Segon Inventari Forestal Nacional (IFN2) a escala 1:50.000, el Mapa Forestal d'Espanya a escala 1:25000 (MFE25) i cartografia base de referència del Quart Inventari Forestal Nacional (IFN4).

Per a la quantificació del desenvolupament de les cobertures forestals, s'ha usat l'índex de vegetació de diferència normalitzada, conegut com a NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), proposat inicialment per Rouse *et al.* (1974). Aquest índex posa en relació les bandes de l'infraroig proper i la banda del vermell a l'espectre visible i les relaciona amb el contingut de clorofil·la de la fulla (Chuvieco, 2002).

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

L'índex normalitzat d'àrea cremada, també conegut com a NBR (*Normalized Burn Ratio*), és un índex utilitzat per mesurar àrees cremades en incendis forestals. Aquest índex empra les bandes espectrals de l'infraroig proper i les bandes de l'infraroig d'ona curta i permet, d'aquesta manera, contrastar característiques de vigorositat vegetal associades a l'activitat fotosintètica amb la humitat (López García i Caselles, 1991; Key i Benson, 2006).

$$NBR = (NIR - SWIR_2) / (NIR + SWIR_2) \quad (2)$$

La necessitat d'identificar els canvis produïts pels incendis forestals fa que s'utilitzi el mètode FIREMON, aplicat mitjançant l'índex CBI (*Composite Burn Index*), que permet comparar els diferents graus de gravetat a partir

de les diferències entre l'índex NBR prepertorbació i postpertorbació (Key i Benson, 2006).



L'índex de diferència normalitzada a l'infraroig, també conegut com a NDII (*Normalized Difference Infrared Index*) o NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*), és un índex que relaciona l'infraroig proper amb l'infraroig d'ona curta i és força emprat per identificar el contingut d'aigua de les diferents cobertures, especialment útil per detectar l'estress hídric (Hunt i Rock, 1989).

$$\text{NDII} = (\text{NIR} - \text{WIR}_1) / (\text{NIR} + \text{SWIR}_1) \quad (3)$$

Per a cadascun d'aquests indicadors i amb la finalitat d'obtenir l'evolució del fenomen, es calcula la diferència entre l'any postpertorbació i prepertorbació. Després d'analitzar els resultats i com a conseqüència de la menor resolució espacial de les bandes de l'infraroig d'ona curta del satèl·lit *Landsat*, s'han descartat els indicadors NBR i NDII per al temporal del 2001. Per la mateixa raó, s'ha decidit centrar l'anàlisi en les àrees forestals extrems del Segon Inventari Nacional Forestal, i aplicar un filtre espacial de majoria per a una matriu de 5x5 per tal de reduir l'efecte "sal i pebre" de les imatges *Landsat*, amb el resultat que una gran majoria píxels no poden ser definits com a píxels purs. Davant la limitació d'imatges i la menor resolució espacial i temporal dels satèl·lits *Landsat*, es planteja la selecció de parcel·les d'estudi per a l'anàlisi de l'evolució dels valors NDVI a les zones més afectades pel temporal: Llevant, Migjorn i Pla de Mallorca.

La selecció de les parcel·les s'ha fet a partir de la fotointerpretació d'ortofotografies aèries de l'any prepertorbació (2001) i postpertorbació (2002). Les parcel·les control, no afectades pel fenomen, han estat seleccionades a prop de la parcel·la objectiu afectada i, en la mesura que ha estat possible, amb una cobertura forestal similar, tenint en compte la densitat i la tipologia de la vegetació. Totes les parcel·les seleccionades són de *Pinus halepensis* Mill., amb unes dimensions que van des d'1 a 4 hectàrees. Per a l'obtenció dels valors *Landsat*, s'han utilitzat novament els satèl·lits *Landsat 5* i *Landsat 7* i se n'han seleccionat tots els valors NDVI possibles de la sèrie 1995-2009. En cas que la imatge tengués núvols, s'ha aplicat una màscara basada en la banda de qualitat dels píxels. Finalment, se n'han obtingut els valors mitjans anuals per fer la comparativa.

2.4. Anàlisi dendrològica del temporal del 2001 a l'illa de Mallorca

L'objectiu de l'anàlisi dendrològica és determinar si el temporal ocorregut l'any 2001 va tenir efectes significatius sobre el creixement de la vegetació

a partir de les particularitats reflectides pels anells de creixement de les espècies arbòries dominants. Per aquest motiu, se seleccionaren tres parcel·les afectades pel temporal de l'any 2001 localitzades a diferents indrets de l'illa de Mallorca amb règims pluviomètrics diferenciats (figura 8, taula 3).

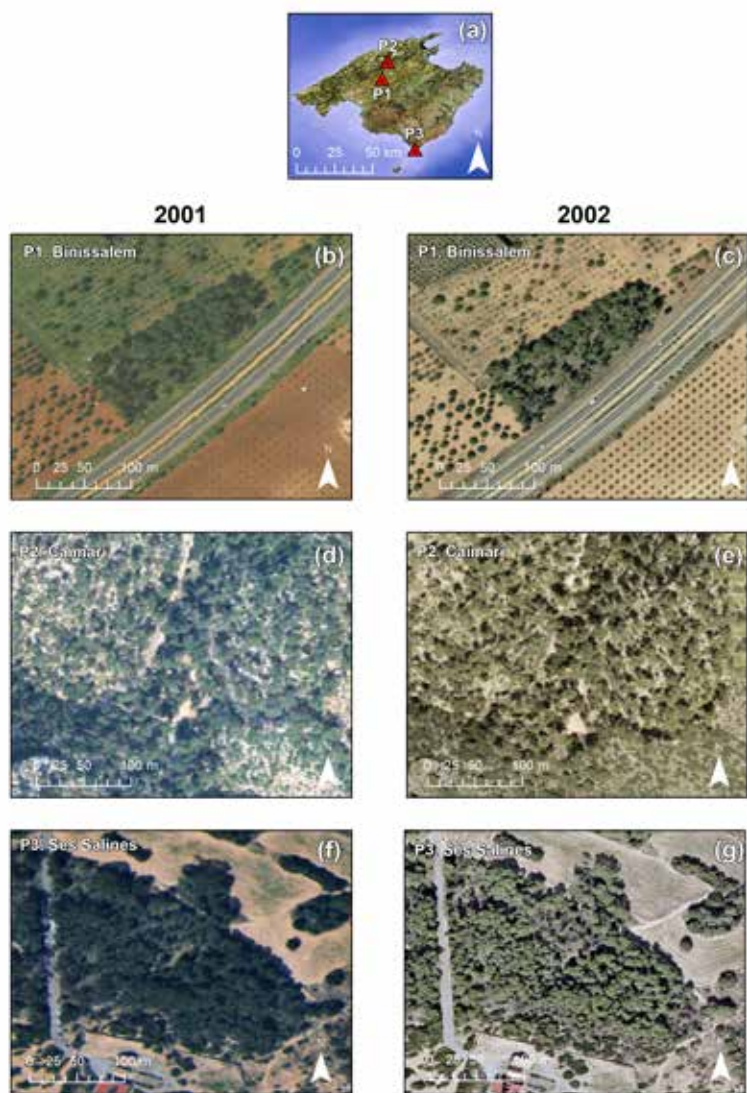


Figura 8. (a) Localització de les parcel·les mostrejades a l'illa de Mallorca per a l'anàlisi dendrològica; ortofotografies de la P1-Binissalem corresponents als anys (b) 2001 i (c) 2002; ortofotografies de la P2-Caimari corresponents als anys (d) 2001 i (e) 2002; ortofotografies de la P3-Ses Salines corresponents als anys (f) 2001 i (g) 2002.

Localització	Coordenades	Nombre d'individus	Nombre de mostres	Precipitació mitjana anual (mm)
Binissalem	39,685509 N 2,858216 E	3	26	560,8
Caimari	39,790368 N 2,891134 E	13	26	755,8
Ses Salines	39,266469 N 3,05369 E	12	23	289,9

Taula 3. Localització, nombre d'arbres mostrejats i de mostres recollides, i precipitació anual per al període 1971-2000 (Guijarro, 2007) a cadascuna de les parcel·les.

Les mostres per a l'anàlisi dendrològica foren obtingudes utilitzant una barrina de tipus *Pressler* de 5 mm de secció i 300 o 400 mm de longitud. Els testimonis s'extragueren del tronc de 13 arbres vius a les parcel·les de Binissalem i Caimari, i de 12 a la de ses Salines a una altura d'uns 130 cm, agafant dues pseudorèpliques de cada arbre amb diferent orientació o pendent per tal de compensar les variacions que pot exercir el creixement sobre aquests factors i facilitar-ne la sincronització. Els testimonis es varen assecar a temperatura ambient durant 10 dies i, després, varen ser col·locats a suports de fusta per evitar que es deterioressin. A continuació, varen ser tallats de manera longitudinal i polits amb paper de vidre de gra successivament més fi fins a aconseguir una bona visió de la seqüència de creixement anual o anells. Les mostres varen ser fotografiades i sincronitzades (datació) a través de la comparació de les característiques anatòmiques de cada anell de creixement en relació amb la resta de mostres obtingudes a cada parcel·la de mostreig. Seguidament, es va calcular el gruix de cada anell amb una precisió de 0,01 mm a una taula de mesura LinnTab mitjançant el *software* TSAP Win. Les sèries de mesures varen ser sotmeses, posteriorment, a un procés de verificació amb el *software* COFECHA (Holmes, 1992), que ajuda a identificar segments de la mostra en què s'han produït errors de sincronització o mesura i a verificar estadísticament la bondat del procés. Una vegada sincronitzat, mesurat i verificat el gruix de cada anell, les sèries de creixement varen ser estandarditzades per tal d'extreure l'efecte de l'edat sobre el creixement radial de l'arbre mitjançant el *software* ARSTAN (Holmes, 1992). Per a això, en primer

lloc, es varen eliminar les tendències de baixa freqüència (edat/mida de l'arbre) a partir de l'ajustament de la sèrie de creixement a una funció exponencial negativa o a una línia de regressió. A continuació, es varen aplicar splines cúbics de 30 anys de freqüència i es va dur a terme una modelització autoregressiva de cada sèrie per eliminar la influència del gruix de l'anell de l'any anterior en el creixement.

S'ha establert una relació entre el creixement dels individus i les principals variables climàtiques que el determinen, per comprovar, a posteriori, si la disminució de la competència derivada de l'eliminació de massa forestal després de la tempesta ha modificat la tendència mitjana de creixement anual. Per a això, es varen seleccionar tres índexs de sequera amb l'objectiu d'observar la relació entre el creixement dels anells i la disponibilitat d'aigua al sòl. Aquests índexs es basen en dades meteorològiques, a partir de les quals s'obté un valor que permet comparar la severitat de les sequeres a diferents escales espaciotemporals. L'índex de precipitació estandarditzat (SPI; McKee *et al.*, 1993) està basat sols en dades de precipitació. L'índex d'evapotranspiració de precipitació estandarditzada (SPEI; Vicente-Serrano *et al.*, 2010), a més de dades de precipitació, també inclou dades de latitud i temperatura a partir de les quals es pot calcular l'evapotranspiració. L'índex de severitat de sequera de Palmer (SPDI; Palmer, 1965) es basa en el càlcul del balanç hídric, tenint en compte variables com la precipitació, l'evapotranspiració, l'escorrentia i la humitat del sòl. A partir d'una anàlisi de correlació de Pearson (R) per al període 1961-2011, s'ha establert una relació dendroclimàtica entre les variables meteorològiques que determinen els índexs de sequera (SPI, SPEI i SPDI) a escala anual i el creixement anual, determinat per l'índex de creixement mitjà anual, a cada parcel·la.

2.5. Anàlisi ecològica, econòmica i social

Per avaluar els efectes ecològics, econòmics i socials de les zones afectades del temporal s'analitzaren informes tècnics i els plans de restauració dels diferents temporals elaborats pel Servei de Gestió Forestal, una anàlisi espacial de quina ha estat l'afectació dels valors ecològics i paisatgístics mitjançant les àrees afectades dels temporals que compten amb diferents figures de protecció del medi i avaluació de la cobertura vegetal de cada una de les zones dels temporals.

Dels plans de restauració s'ha extret el tipus de gestió (biomassa, repoblacions, feixines de restauració hidrològicoforestal) que s'ha dut a terme després dels temporals i com pot afectar el medi. S'ha calculat el

cost per hectàrea dels diferents temporals a partir de les hectàrees on han tengut lloc les actuacions i de la inversió total dels plans de restauració.

Per tal d'analitzar l'efecte del temporal sobre els valors ecològics i paisatgístics de les zones estudiades s'ha computat el percentatge d'àrea afectada pels temporals de Menorca, Eivissa i Banyalbufar-Esporles-Valldemossa, que han afectat diferents figures de protecció ambiental. D'aquesta manera s'ha superposat l'àrea d'aquests temporals amb àrees incloses dins de la Llei 1/1991 d'Espais Naturals de la Comunitat Autònoma de les Illes Balears, la Llei 5/2005, de 26 de maig, per a la conservació dels espais de rellevància ambiental (LECO) i zones declarades Xarxa Natura 2000.

De les àrees compreses dins de la Llei 1/1991 d'Espais Naturals s'ha desglossat l'afectació a partir de les tres figures de protecció incloses dins de la llei: (1) Àrea Natural d'Especial Interès, ANEI (espais amb singulars valors naturals), (2) Àrees Rurals d'Interès Paisatgístics, ARIP (espais transformats per activitats tradicionals i amb valors paisatgístics) i (3) Àrees d'Assentaments dins de Paisatge d'Interès, AAPI (espais destinats a usos i activitats de la naturalesa urbana amb singulars valors paisatgístics o per la seva situació).

Per tal d'avaluar el grau d'afectació del temporal sobre la cobertura vegetal s'han superposat la cartografia de les àrees afectades del temporal amb el Mapa Forestal a escala 1:25.000 del Quart Inventari Forestal Nacional (2012). A partir d'aquesta superposició s'ha obtingut el percentatge de cobertura vegetal, l'altura mitjana arbustiva, el model de combustió segons Rothermel (1972) i la càrrega de combustible amb tones per hectàrea de les zones afectades pels temporals de Menorca, Eivissa i Banyalbufar-Esporles-Valldemossa.

2.6. La gestió forestal posttemporal

Amb la finalitat d'avaluar la gestió forestal duta a terme després dels diferents temporals destructius seleccionats que han tengut un impacte significatiu sobre els boscos de les Balears, s'han utilitzat diverses fonts d'informació que estaven a l'abast. Els criteris que s'han utilitzat per a la selecció de la informació han estat, en primer lloc, les fonts oficials, com ara els plans i els informes tècnics, les memòries d'actuació, les certificacions finals i els peritatges, entre d'altres (figura 9). En segon lloc, les dades no processades però recollides i emmagatzemades a les diferents bases de dades de l'Administració forestal.



Figura 9. Plans tècnics preliminars de restauració ambiental dels temporals de (a) Menorca i (b) Banyalbufar-Esporles-Valldemossa elaborats pel Servei de Gestió Forestal de la Conselleria de Medi Ambient com a documents de referència de les actuacions d'intervenció pública.

Finalment, s'han seleccionat les principals notícies publicades als diaris i a la premsa escrita de les Balears que es varen fer ressò dels diferents temporals, en especial del temporal de 2001, d'impacte generalitzat i de gran repercussió mediàtica (figura 10).



Figura 10. Notícies sobre el temporal de 2001 que va afectar les Illes Balears publicades als diaris insulars.

Cal destacar que la major part de les iniciatives de restauració posttemporal que es recullen en aquest llibre són de caire públic, efectuades per l'Administració forestal de la Comunitat Autònoma, que és qui ha invertit més esforços, a excepció dels propietaris forestals privats afectats pel temporal del 2001, en especial d'aquells propietaris que varen rebre qualche tipus d'ajuda per poder dur a terme les actuacions.

Així, la informació utilitzada per a l'anàlisi de les actuacions forestals de restauració ambiental de les àrees afectades pel temporal de 2001, es basa en diferents fonts:

- Les notícies publicades a la premsa escrita durant l'any 2001 i següents, que resten a les principals hemeroteques dels diaris insulars, feien referència als danys provocats pel temporal, als recursos invertits en la restauració, les reaccions dels propietaris i dels consistoris municipals afectats, etc.
- La informació existent a la base de dades del Servei de Gestió Forestal de la Conselleria de Medi Ambient, en què es varen recollir les dades dels propietaris de finques forestals afectades pel temporal i que varen declarar haver sofert danys. De la mateixa base de dades, també se n'ha extret informació dels beneficiaris de subvencions (expedients de subvenció tramitats), de les intervencions d'ajuda de recursos, del nombre d'arbres retirats i de les intervencions de restauració executades pels beneficiaris de les ajudes, entre altra informació rellevant.
- La ubicació cadastral, a través del polígon i parcel·la, de les intervencions de restauració forestal executades durant els anys 2001 i següents, tant per part dels propietaris privats que varen percebre qualche tipus d'ajuda com de les actuacions de l'Administració forestal.
- Memòria de les actuacions de restauració dutes a terme per l'empresa pública de l'IBANAT, amb la licitació de subhasta pública dels lots de fusta extrets, la subcontractació dels treballs, especialment a l'empresa pública de *Transformación Agraria, S.A.* (TRAGSA). D'aquí s'ha extret informació sobre els recursos humans destinats i la maquinària emprada.
- El pla de restauració i estudi elaborat per SITIBSA [documents inèdits de l'any 2003, dos anys després del temporal] en què s'havien identificat, una vegada fetes les actuacions d'emergència, les zones d'intervenció prioritària.

Per a la resta dels temporals estudiats (Menorca 2018, Sant Antoni 2019 i Banyalbufar 2020), la informació per elaborar els capítols següents referents a la gestió posttemporal, s'ha basat en les següents fonts:

- Les dades recollides als plans preliminars de restauració ambiental dels diferents temporals que ha elaborat el Servei de Gestió Forestal [documents inèdits]. En aquests plans, tot i que eren preliminars i no es varen executar totes les actuacions planificades, s'hi recullen els principals danys i l'abast del temporal sobre les masses forestals, la prioritització de les intervencions –fent especial èmfasi en les actuacions de gestió immediata de l'emergència necessàries per restablir els serveis bàsics–, la proposta d'actuacions de gestió de restauració per zones d'intervenció prioritària i una estimació econòmica dels costos d'execució.
- Per analitzar la inversió pública destinada a la restauració posttemporal s'ha utilitzat la informació existent en els expedients econòmics d'encàrrec de mitjans propis de la Conselleria de Medi Ambient i Territori a l'empresa pública TRAGSA, que va realitzar la restauració dels tres temporals estudiats.
- A partir de la informació disponible a les bases de dades i a les memòries d'actuacions de l'IBANAT s'han pogut recollir en els capítols següents les intervencions de restauració forestal dutes a terme per aquesta empresa pública a cadascun dels temporals de vent, en especial de les actuacions d'emergència dels primers dies dels episodis.

Així mateix, tota aquesta informació detallada anteriorment s'ha complementat amb les dades, notes i valoracions de camp recollides pels diferents tècnics forestals responsables del seguiment dels treballs a cada una de les zones d'intervenció, imprescindibles per avaluar els rendiments, la idoneïtat i l'eficàcia de les tècniques utilitzades, així com els recursos emprats (maquinària i personal).

3. ANÀLISI GEOAMBIENTAL DELS QUATRE GRANS TEMPORALS DESTRUCTIUS DELS DARRERS DOS DECENNIS

AUTORS PER APARTATS

3.1. El cicló mediterrani del 10 de novembre de 2001 a Mallorca	40
<i>3.1.1. Situació sinòptica</i>	41
Miquel Tomàs-Burguera	10.3306/TDBIB.2022.3.1.1
<i>3.1.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal</i>	43
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez	10.3306/TDBIB.2022.3.1.2
<i>3.1.3. Anàlisi dendrològica</i>	46
Jaume Company, Julián García-Comendador	10.3306/TDBIB.2022.3.1.3
<i>3.1.4. Resposta de l'Administració pública i de la iniciativa privada</i>	50
Joan A. Santana, Anna Feuerbach	10.3306/TDBIB.2022.3.1.4
3.2. El fibló del 28 d'octubre de 2018 a Menorca	64
<i>3.2.1. Situació sinòptica</i>	66
Miquel Tomàs-Burguera	10.3306/TDBIB.2022.3.2.1
<i>3.2.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal</i>	67
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez	10.3306/TDBIB.2022.3.2.2
<i>3.2.3. Resposta de l'Administració pública i de la iniciativa privada</i>	69
Mireia Vidal de la Cuesta	10.3306/TDBIB.2022.3.2.3
3.3. La tempesta del 22 d'octubre de 2019 a Eivissa	80
<i>3.3.1. Situació sinòptica</i>	82
Miquel Tomàs-Burguera	10.3306/TDBIB.2022.3.3.1
<i>3.3.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal</i>	84
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez	10.3306/TDBIB.2022.3.3.2
<i>3.3.3. Resposta de l'Administració pública i de la iniciativa privada</i>	86
Miguel Soriano, Maria Inés Landa	10.3306/TDBIB.2022.3.3.3
3.4. El fibló del 29 d'agost de 2020 a Mallorca	96
<i>3.4.1. Situació sinòptica</i>	97
Miquel Tomàs-Burguera	10.3306/TDBIB.2022.3.4.1
<i>3.4.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal</i>	99
Miquel Febrer, Maurici Ruiz-Pérez	10.3306/TDBIB.2022.3.4.2
<i>3.4.3. Resposta de l'Administració pública i de la iniciativa privada</i>	101
Artur Barceló, Anna Feuerbach	10.3306/TDBIB.2022.3.4.3

3. ANÀLISI GEOAMBIENTAL DELS QUATRE GRANS TEMPORALS DESTRUCTIUS DELS DARRERS DOS DECENNIS

En aquest capítol, s'analitzaran des del punt de vista geoambiental aquests temporals destructius mitjançant descripció de la situació sinòptica de la meteorologia alhora que s'explicarà exhaustivament l'abast dels danys provocats sobre la massa forestal a través de teledetecció. També es descriurà i es reflexionarà sobre l'actuació i el paper de l'Administració pública en el moment del succés i en la gestió posterior, que es va perllongar durant anys.

3.1. El cicló mediterrani del 10 de novembre de 2001 a Mallorca

Es tracta d'un cicló mediterrani profund que va afectar les Balears els dies 10 i 11 de novembre de 2001 i va causar un temporal combinat de pluja i vent, a més d'un temporal marítim molt intens. A més dels impactes i desperfectes, que foren molt nombrosos, a les Balears va provocar 4 morts i desenes de ferits, però la regió més afectada va ser Algèria, on moriren prop de 700 persones per les inundacions que s'hi produïren (Llasat *et al.*, 2010).

Aquest temporal de pluges torrencials persistents i vents huracanats va afectar pràcticament la totalitat de l'illa de Mallorca en major o menor mesura i especialment els municipis de les comarques de Llevant i del



Figura 11. Abatuda de pins a Can Picafort, Mallorca.

Pla, així com algunes zones del Migjorn o la Badia d'Alcúdia (figura 11). La resta d'illes foren afectades de forma més lleu. A més de les conseqüències tràgiques per la pèrdua de vides humanes, l'impacte socioeconòmic del temporal fou molt gran i l'estimació dels danys fou milionària.

El temporal va afectar de manera greu infraestructures viàries (29 carreteres tallades), ports, habitatges, indústries, esteses elèctriques i de comunicació, etc. Es calcula que unes 175.000 persones varen quedar sense subministrament elèctric i la població va quedar aïllada pel tall de carreteres i per la suspensió de les connexions marítimes. Les activitats escolars es varen suspendre durant tota la setmana.

3.1.1. Situació sinòptica

Segons Campins *et al.* (2006) es tracta del cicló mediterrani més intens patit a les Balears des del 1979, any en què es produí al desembre un cicló mediterrani molt semblant al de 2001, però amb un impacte menor. Aquesta recurrència, juntament amb el pas de ciclons com Glòria el gener de 2020 evidencia que els ciclons mediterranis d'alt impacte formen part del clima de les Balears.

La velocitat sostinguda del vent va superar els 100 km h⁻¹ i es mesuraren ratxessuperiorsals150kmh⁻¹. Algunsobservatorisde la serra de Tramuntana superaren els 300 mm de precipitació acumulada en aquests dos dies i els registres foren superiors als 700 mm en tan sols una setmana. A més, la pluja intensa va ser prou general, especialment durant la matinada de dia 10 a dia 11, amb molts registres per damunt dels 50 mm. Cal mencionar també que aquesta ploguda va provocar una revinguda a diversos dels torrents del sud-est de Mallorca. Tot i que la descripció del temporal se centra en els dies 10 i 11 de novembre, en realitat, la situació meteorològica adversa es va perllongar des de dia 9 fins a dia 16.

A la figura 12 es mostra una seqüència de mapes que mostren al mateix temps la situació en superfície (mitjançant isòbares) i a 500 hPa (mitjançant l'altura geopotencial: el color) i que permeten entendre l'evolució de la situació meteorològica entre els dies 9 i 12 de novembre de 2001.

El dia 9 de novembre (figura 12a) al matí s'observa una forta irrupció d'aire fred que viatja des del nord d'Europa cap a la península Ibèrica i la Mediterrània occidental. Aquesta irrupció es veié afavorida per la posició allargassada nord-sud que agafà l'anticicló de les Açores i que afavorí l'establiment d'un passadís de vent de component nord.

El dia 10 de novembre (figura 12b) la irrupció d'aire fred arribà al seu punt màxim i es va endinsar cap al nord d'Àfrica, va afectar indrets del Marroc

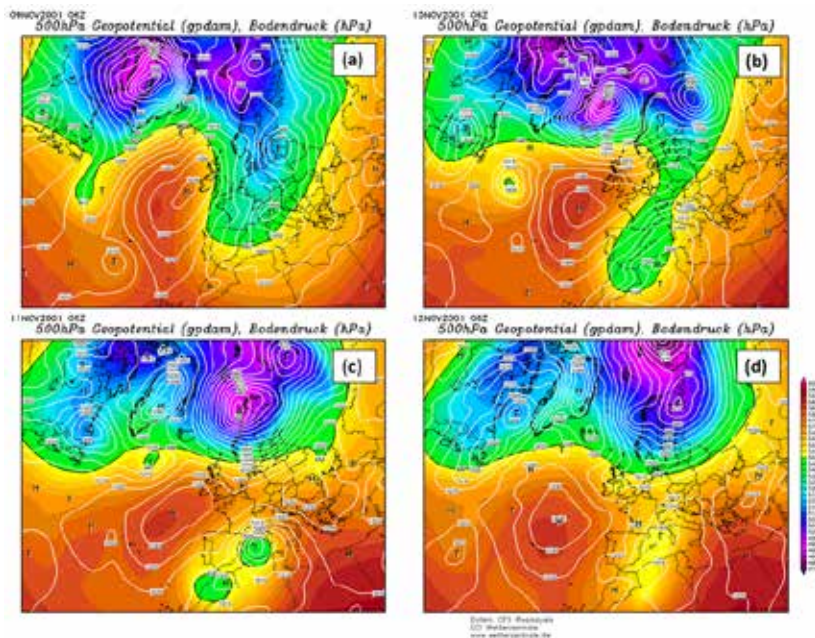


Figura 12. Evolució de la situació atmosfèrica dels dies 9 al 12 de novembre de 2001. S'hi inclou la representació de l'altura geopotencial a 500 hPa (en colors) i de la pressió en superfície (isòbares). Font: Reanàlisi CFS consultat al portal web wetterzentrale.de

i Algèria. En superfície destaca una àrea de baixes pressions general a la Mediterrània occidental, amb un nucli no gaire profund centrat a sotavent de l'Àtles. La nuvolositat associada ja era molt destacable i cobria pràcticament tota la Mediterrània occidental (figura 13).

El dia 11 de novembre (figura 12c) la descàrrega d'aire fred des del nord d'Europa es tallava, però, en canvi, el cicló que el dia abans es trobava a Algèria patia una ciclogènesi (aprofundiment) gràcies a les condicions dinàmiques idònies pel seu desenvolupament i assolía una pressió central inferior als 995 hPa. Això genera un gradient de pressió molt destacable l'entorn de tota la Mediterrània occidental, que queda palès amb unes isòbares que es troben molt juntes al mapa d'aquell dia.

El dia 12 de novembre (figura 12d) el cicló mediterrani estava ja en fase de dissipació, se n'incrementava la pressió central i en disminuïa el gradient de pressió alhora que també els seus impactes.

En dies posteriors, una segona entrada d'aire fred generà un nou cicló que deixava greus conseqüències al litoral mediterrani de la península Ibèrica.



Figura 13. Imatge de satèl·lit del dia 10 de novembre de 2001. Font: MODIS

Així, entre el 9 i el 14 de novembre de 2001, dos ciclons mediterranis tenen un impacte greu a la regió mediterrània occidental. Es tracta, sens dubte, d'una situació excepcional.

3.1.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal

L'any 2002 fou un any especialment humit a les Balears. Aquest fet implica que els valors NDVI estiguin alterats significativament a l'alça, i quasi amaguen els efectes del temporal. Així, es troba que, tot i la gran quantitat d'arbres caiguts, els valors de l'activitat fotosintètica derivats de l'índex NDVI són pràcticament homogenis per als períodes estudiats. No obstant això, es pot comprovar que en algunes de les zones més afectades hi ha una lleugera disminució dels valors NDVI. Aquesta disminució segueix un patró espacial evident que coincideix amb les àrees de major impacte i caiguda d'arbres, principalment a la zona del Llevant mallorquí, als municipis de Son Servera, Capdepera, Artà i Santa Margalida. Per altra banda, s'hi pot apreciar com al nord-oest de l'illa hi ha un increment de l'activitat fotosintètica que es relaciona amb l'àrea de menor afecció del temporal pel que fa a la pèrdua de massa forestal (figura 14).

Cal destacar que, a més de la caiguda de gran part de la massa forestal, una altra quantitat considerable d'arbres van quedar en situació d'inestabilitat o trencats parcialment. Tot i que això suposa, en certa mesura, la pèrdua de l'estructura forestal òptima, no implica directament la mort de l'arbre i, en conseqüència, els valors d'activitat vegetal es mantenen malgrat la destrucció parcial de l'individu.

S'ha realitzat una estimació de l'àrea forestal afectada a partir de la pèrdua, almanco, d'un 0,1 en valors NDVI en àrees forestals. Aquests càlculs han retornat una àrea aproximada d'unes 12.849 hectàrees afectades significativament. Malgrat tot, segons els càlculs de SITIBSA (vegeu secció 3.1.4, pàg. 50), es varen considerar afectades prop de 10.000 hectàrees en major o menor grau. Aquesta diferència es pot entendre si es té en compte que les àrees afectades lleument, almenys en part, no varen ser reportades pels propietaris i, per tant, no van ser incloses com a pèrdues significatives i no van ser computades.

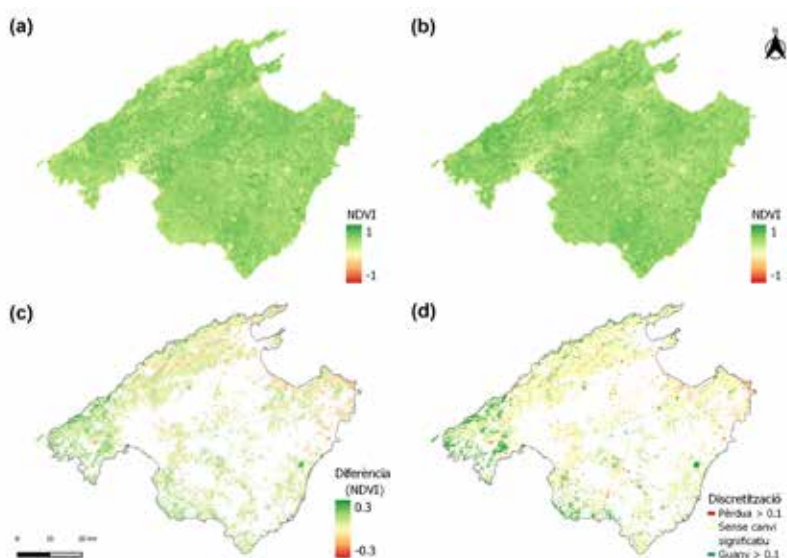


Figura 14. (a) Valors NDVI per a la composició del novembre del 2000 al març del 2001. (b) Valors NDVI per a la composició del novembre del 2002 al març del 2003. (c) Diferència en valors NDVI entre la composició prepertorbació i postpertorbació per a les àrees forestals definides per l'IFN2. (d) Categorització de les diferències NDVI aplicant un filtre de majoria per a una matriu de 5x5: pèrdua superior a 0,1, canvis no significatius i guany superior a 0,1 per a les àrees forestals.

A partir de les parcel·les d'estudi per a l'anàlisi comparativa d'NDVI, es pot observar com aquestes es localitzen a les zones de major impacte. A la figura 15, s'evidencien els efectes sobre les masses forestals de *Pinus halepensis* Mill. de les parcel·les de cala Gat i de cala Agulla i es pot comparar l'escassa alteració de les parcel·les control, situades a curta distància. Tot i que les conseqüències són evidents arreu de l'illa, s'ha observat que les àrees que patiren en major mesura els efectes del temporal coincideixen amb les masses forestals de major exposició al vent, perifèriques i/o fragmentades.

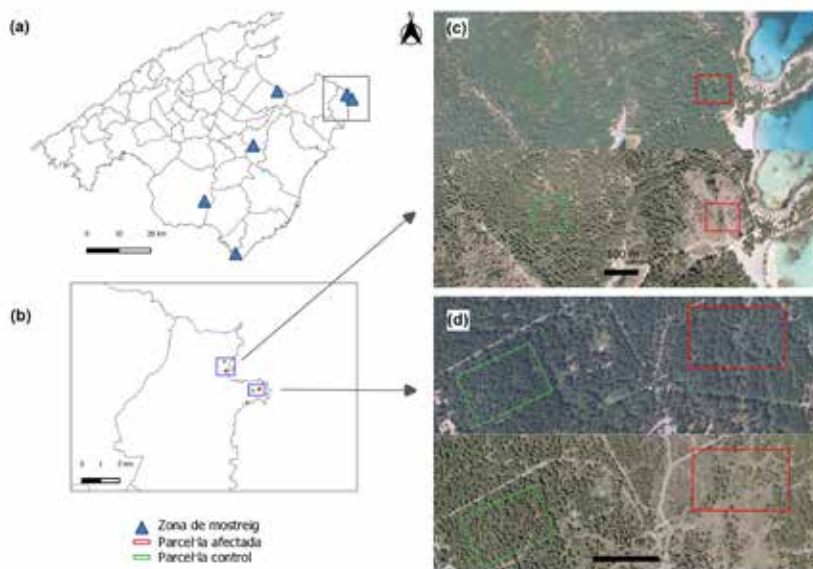


Figura 15. (a) Localització de les zones de mostreig. (b) Zones de mostreig de cala Gat i de cala Agulla i localització de parcel·les. (c1) Parcel·la control no afectada per temporal a cala Agulla, ortofotografia 2001 (c2) Parcel·la control no afectada per temporal a cala Agulla, ortofotografia 2001 (d1) Parcel·la afectada per temporal a cala Agulla, ortofotografia 2002 (d2) Parcel·la afectada per temporal a cala Agulla, ortofotografia 2002 (e) Parcel·les a cala Gat, ortofotografia 2001 (f) Parcel·les a cala Gat, ortofotografia 2002.

La figura 16 mostra l'evolució dels valors NDVI de les parcel·les afectades pel temporal. En contraposició, a la figura 17 veiem l'evolució de les parcel·les no afectades. Així, podem distingir dos patrons clarament diferenciats, amb un gran matís els anys 2002 i 2003, immediatament després de la pertorbació. Aquesta disminució dels valors NDVI descrita a les parcel·les afectades es deu a la pèrdua d'activitat fotosintètica com a resultat de la desaparició de gairebé la totalitat de la massa arbòria i deixant-ne, solament, una activitat vegetal residual que es pot associar a la resposta espectral de la massa arbustiva preexistent. Aquesta situació marca una ruptura força significativa en la tendència observada fins aleshores.

També es pot apreciar com a les parcel·les control no apareix una disminució de l'activitat vegetal, cosa que mostra clares divergències en l'evolució de l'NDVI a parcel·les afectades i no afectades.

Si més no, el 2002, es pot discernir un pic màxim a les parcel·les no afectades. Aquesta és la resposta de la vegetació a l'anomalia positiva de precipitació, que fou particularment rellevant a l'estiu i que va evitar l'estress hídric característic dels mesos d'estiu al Mediterrani.

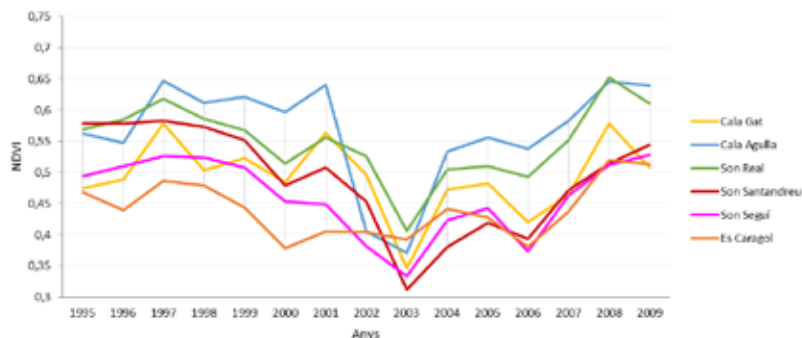


Figura 16. Evolució dels valors NDVI a les parcel·les afectades pel temporal del 2001.

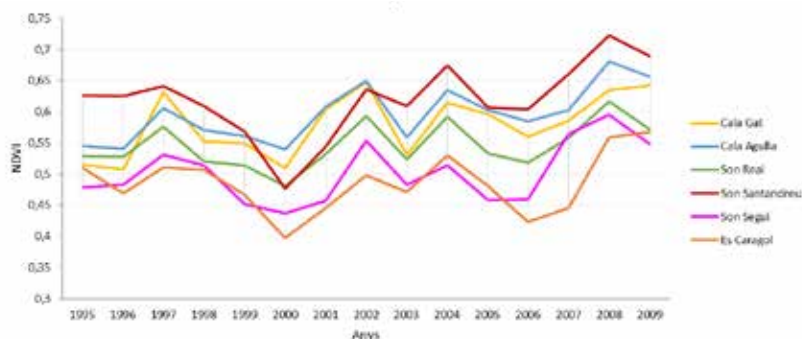


Figura 17. Evolució dels valors NDVI a les parcel·les control no afectades pel temporal del 2001.

Pel que fa a l'evolució dels valors NDVI després de la pertorbació, cap als dos anys del succés s'hi observa una recuperació important tot mantenint-se un increment de valors NDVI fins al final de la sèrie. No obstant això, la recuperació de valors prepertorbació no és sinònim de recuperació de la massa forestal prèvia. En la majoria d'aquestes zones, encara avui dia, no hi ha hagut una recuperació de la massa forestal, tan sols el creixement d'una massa arbustiva densa que pot arribar a tenir valors espectrals pròxims al que ofereixen les àrees cobertes per *Pinus halepensis* Mill. a l'infraroig pròxim.

3.1.3. Anàlisi dendrològica

Els tres índexs de sequera seleccionats (SPI, SPEI i SPDI) presenten correlacions estadísticament significatives ($p < 0,05$) amb l'índex de creixement anual mitjà a les tres parcel·les seleccionades (taula 4). Independentment del valor purament estadístic, que indica la rellevància

de la disponibilitat d'aigua en el desenvolupament dels individus mostrejats, els valors de R, malgrat ser positius, no són gaire elevats, fet que evidencia la rellevància d'altres variables ambientals sobre el creixement dels arbres (per exemple la competència o la disponibilitat de sòl).

	Índex de Precipitació Estandarditzat (SPI)	Índex d'evapotranspiració de precipitació estandarditzada (SPEI)	Índex de Severitat de Sequera de Palmer (SPDI)
P1-Binissalem	0,47	0,44	0,49
P2-Caimari	0,48	0,51	0,49
P3-Ses Salines	0,36	0,34	0,40

Taula 4. Coeficients de correlació de Pearson entre el creixement anual dels anells a cadascuna de les parcel·les mostrejades i els índexs de sequera (període 1961-2011). Els coeficients en negreta són estadísticament significatius a $p < 0,01$ i en cursiva a $p < 0,05$.

L'anàlisi dendrològica mostra com la parcel·la P1-Binissalem presenta un índex de creixement mitjà anual a tota la sèrie (1961-2011, figura 18) de $0,01 \pm 1$, mentre que a la sèrie prèvia a la tempesta de 2001 (1961-2001) aquesta dada és de $-0,005 \pm 1,04$. El major pic de creixement es localitza el 2002 (3,1), just un any després del temporal de 2001, i el seu valor es troba més d'un punt per sobre del segon major pic enregistrat, que data de l'any 1986 (2,1). Per altra banda, la parcel·la P2-Caimari, presenta un índex de creixement mitjà anual per a tota la sèrie (1961-2011, figura 18) de $-0,02 \pm 1,01$. Per la seva part, l'índex de creixement mitjà anual de la sèrie prèvia a la tempesta de 2001 (1961-2001) és de $-0,16 \pm 0,97$. El major pic de creixement també data de l'any 2002 (3,2), més de tres punts per damunt la mitjana, i seguit per l'enregistrat l'any 2010 (2,5). Finalment, la parcel·la P3-Ses Salines presenta un índex de creixement mitjà anual a tota la sèrie (1961-2011, figura 18) de $-0,01 \pm 1,01$. En canvi, l'índex de creixement mitjà anual de la sèrie prèvia a la tempesta de 2001 (1961-2001) és de $-0,05 \pm 1,08$. En aquest cas, a diferència de les dues parcel·les anteriors, el major pic anual de l'índex de creixement no s'enregistrà l'any 2002, sinó el 1991 (3,03), seguit del 2003 (1,8).

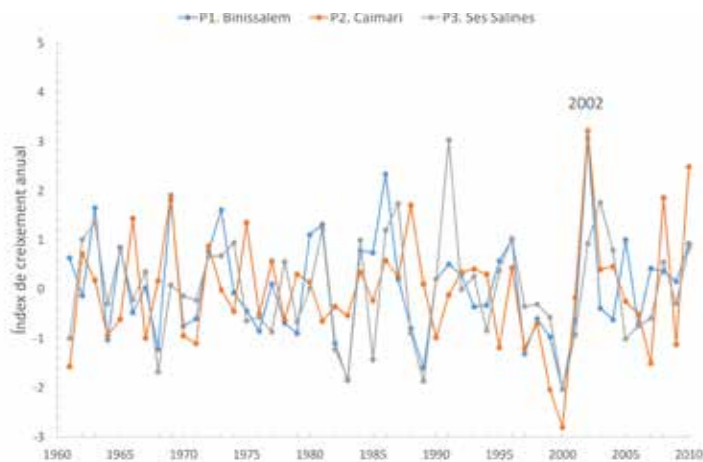


Figura 18. Índex de creixement mitjà anual (sèrie temporal 1961-2010) a P1-Binissalem (blau), P2-Caimari (taronja) i P3-Ses Salines (gris)

Els pics de creixement enregistrats a les parcel·les P1-Binissalem i P2-Caimari l'any 2002 indiquen un creixement significativament superior respecte a la mitjana, sent els pics més elevats de tota la sèrie temporal. No és així a la P3-Ses Salines, que no mostra un creixement significatiu un any després del temporal. Els índexs de sequera durant els anys 2001 i 2002 mostren uns valors similars als tres indrets. Els valors enregistrats de SPDI, SPEI i SPI el 2001 són negatius a les tres zones de mostreig (P1-Binissalem [SPDI: -0,43; SPEI: -0,65; SPI: -0,21]; P2-Caimari [SPDI: -0,17; SPEI: -0,4; SPI: -0,02]; P3-Ses Salines [SPDI: -0,59; SPEI: -0,97; SPI: -0,38]) i evidencien un balanç hídric anual negatiu, mentre que el 2002 els valors enregistrats són positius com a conseqüència d'un estiu excepcionalment humit i es mostren aproximadament un punt per damunt de la mitjana (taula 5) de tota la sèrie temporal (P1-Binissalem [SPDI: 1,56; SPEI: 1,48; SPI: 1,54]; P2-Caimari [SPDI: 1,58; SPEI: 1,65; SPI: 1,61]; P3-Ses Salines [SPI: 0,81; SPEI: 1,28; SPI: 1,1]). Aquests valors positius evidencien disponibilitat d'aigua i, per tant, condicions òptimes per al creixement dels individus. Aquesta tendència de creixement vinculada amb la disponibilitat d'aigua es veu reflectida als valors d'NDVI de les parcel·les seleccionades (figura 18), que tendeixen a augmentar significativament després d'una vall com a conseqüència de l'estrès hídric esdevingut l'any 2000 (valors SPDI per a P1-Binissalem, P2-Caimari i P3-Ses Salines de -1,86, -1,59 i -1,31 respectivament), on es varen registrar els valors de creixement anual més baixos de tota la sèrie temporal (figura 18).

Aquesta relació entre disponibilitat d'aigua i índex de creixement es podria haver potenciat per la disminució de la competència derivada de la

mort d'individus (Camarero et al., 2021) que explicaria, en part, els pics de creixement assolits a P1-Binissalem i P2-Caimari. No obstant això, aquesta tendència no és replicada a P3-Ses Salines. Les parcel·les mostrejades no es troben a les zones més afectades pel temporal (figura 14, secció 3.1.2, pàg. 44). A més, les imatges aèries de l'any 2002 (figura 8, secció 2.4, pàg. 32) no mostren una pèrdua significativa d'individus a cap de les parcel·les. Per tant, els pics de creixement han de ser derivats, en gran mesura, de la disponibilitat d'aigua durant tot l'any 2002. Les diferències mostrades a P3-Ses Salines, en contraposició amb P1-Binissalem i P2-Caimari probablement són causa dels valors significativament inferiors de precipitació en relació amb les altres dues parcel·les (taula 5 i figura 19).

	Índex de Precipitació Estandarditzat (SPI)	Índex d'evapotranspiració de precipitació estandarditzada (SPEI)	Índex de Severitat de Sequera de Palmer (SPDI)
P1-Binissalem	0,02 ± 1,01	0,03 ± 1,00	0,00 ± 1,05
P2-Caimari	0,00 ± 1,01	0,01 ± 1,01	-0,01 ± 1,02
P3-Ses Salines	-0,01 ± 1,02	0,02 ± 1,01	-0,02 ± 1,01

Taula 5. Valors mitjans i desviació estàndard d'SPI, SPEI i SPDI a P1, P2 i P3 (sèrie temporal 1961-2011).

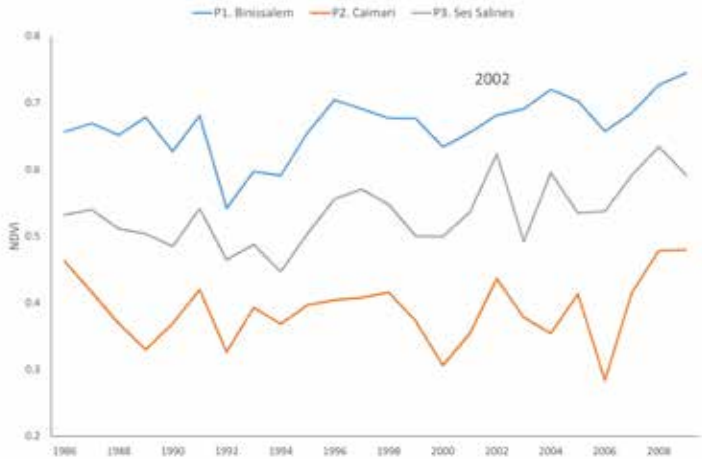


Figura 19. NDVI (sèrie temporal 1986 - 2009) calculat a P1-Binissalem (blau), P2-Caimari (taronja) i P3-Ses Salines (gris).

3.1.4. Resposta de l'Administració pública i de la iniciativa privada

3.1.4.1. Valoració de danys sobre els ecosistemes forestals

Els danys sobre la massa forestal es varen produir majoritàriament entre els dies 11 i 12 i posteriors, moments en els quals, després de les abundants precipitacions de dia 10, especialment la nit del 10 a l'11, en què foren torrencials, el fort vent afectà de manera seriosa l'estrat arbori dels boscos de l'illa de Mallorca. Aquests danys sobre la massa forestal foren bàsicament l'abatuda i rompuda dels arbres, majoritàriament pins (*Pinus halepensis* Mill.), encara que també es varen veure afectades altres espècies; alzines (*Quercus ilex* L.) i ullastres (*Olea europaea* var. *sylvestris* L.), en molts casos com a conseqüència de la caiguda de pins de grans dimensions. El sòl forestal, completament saturat després dels dies de pluja, minvava la resistència d'ancoratge de les arrels de l'arbrat forestal, motiu que explica que la majoria dels arbres caiguessin i quedessin totalment arrabassats per la força del vendaval, havent aixecat tot el pa de terra amb les arrels en la majoria dels casos. Alguns arbres es varen trencar per la força directa del vent i els troncs varen quedar drets, encara que el percentatge d'aquests arbres era molt menor que el dels completament arrabassats. A més, molts dels arbres que varen tenir la sort de suportar la força del vent es varen veure afectats també perquè se'ls varen rompre o esqueixar els cimals o les branques.

La disposició dels arbres abatuts era, en moltes ocasions, en el mateix sentit, coincidint en el sentit de màxima intensitat de vent (figura 20). En alguns casos, la disposició dels arbres era desordenada, aleatòria. L'afectació va ser des d'uns pocs metres quadrats, a pocs exemplars d'arbres, fins a grans extensions de superfície, amb centenars d'arbres tombats.



Figura 20. Arbres tombats pel vendaval a Canyamell (Capdepera).



Figura 21. (esquerra) Arbres tombats al Comú de Muro i (dreta) arbres arrabassats amb el pa de terra a Mondragó.

La vegetació de sotabosc no presentava danys per l'acció directa del temporal de vent, encara que es va veure ocasionalment afectada pels treballs de desembosc dels arbres abatuts. El fet que els arbres tinguessin el pa de terra completament tret (figura 21), en va condicionar el desembosc i el processament posterior de la fusta, així com la restauració forestal. Cal matisar que el fort temporal va fer que les masses forestals quedassin en situació d'inestabilitat, i això va provocar que un nombre indeterminat d'arbres —gens menyspreable—, anés caient amb qualsevol nou fenomen meteorològic advers. A més, la gran quantitat de biomassa acumulada els feia vulnerables a la proliferació de plagues d'escolitins.

Una altra de les conseqüències del temporal foren els desperfectes dels elements patrimonials, històrics i arquitectònics de gran valor sentimental. Un dels exemples va ser el dels danys que patiren les necròpolis de Son Real i de s'Illot des Porros (Santa Margalida) on les lloses es varen fer malbé i algunes tombes, que encara no s'havien excavat, varen quedar al descobert. Així mateix, alguns cementiris i llocs sagrats de les Balears també varen tenir desperfectes: es van trencar pedres, creus, làpides, etc.

Des del punt de vista ambiental, a part de l'afectació greu i extensa de la massa forestal que en va modificar substancialment el paisatge, es varen veure malmesos en major o menor mesura els arbres singulars. És el cas del Pi del Torrent de Son Roig, a Porreres, que va caure per la força del vent. Un pi estimat pel poble de Porreres, de característiques excepcionals especialment per la seva longevitat, calculada en més de 200 anys, i pels seus més de 34 metres d'alçària, motius pels quals havia merescut la catalogació i protecció per la Llei 1991 d'Arbres Singulars de les Illes Balears.

3.1.4.2. Actuacions de gestió immediata de l'emergència

La resposta de gestió ambiental de l'Administració en aquest fenomen destructiu va ser immediata, encara que la magnitud i l'abast dels danys varen col·lapsar la capacitat per atendre la situació d'emergència. Les actuacions que es varen dur a terme per part de l'Administració forestal es poden diferenciar entre la fase d'emergència dels dies posteriors al fenomen i la fase de restauració de les masses forestals afectades que es varen executar durant els quatre anys següents (figura 22).



Figura 22. Massa forestal després de la retirada dels arbres afectats pel temporal. Els arbres romanents queden amb un risc important de desestabilització. El triturat protegeix el sòl.

Una de les tasques immediates per part de l'Administració forestal va ser la d'intentar estimar els danys del cicló, especialment la quantificació del nombre d'arbres caiguts i malmesos amb la finalitat de dimensionar les tasques de restauració. Era important determinar quins arbres es trobaven en llocs d'intervenció urgent i prioritària, és a dir, els que dificultaven o impossibilitaven el trànsit o tallaven esteses elèctriques o de comunicació, i quins es trobaven en els espais forestals on faria falta dur a terme tasques de restauració. Les estimacions de l'abast dels danys anaven variant a mesura que s'anava obtenint informació a partir de les prospeccions de camp, dels vols de reconeixement amb helicòpter i de la informació que proporcionaven els propietaris a través de les declaracions de danys. Cal matisar que molts propietaris forestals no varen declarar els danys que havien sofert o els varen declarar més tard, motiu pel qual durant molt de temps es va treballar amb dades estimades.

Les actuacions d'emergència es varen centrar a restablir les infraestructures

bàsiques d'electricitat i telecomunicacions, recuperar carreteres, camins i vials per permetre el trànsit dels veïnats. Cal destacar el paper dels ajuntaments més afectats, que es varen centrar en els danys ocasionats en els respectius nuclis urbans, mentre que l'Administració autonòmica es va centrar en els llocs d'interès general.

En un primer moment, es va mantenir un dispositiu de vigilància continuada format per Agents de Medi Ambient i per tècnics forestals de la Conselleria de Medi Ambient, a més de tots els serveis de Protecció Civil, Bombers de Palma i Bombers dels Consells Insulars, Guàrdia Civil i Policia Local i especialment de l'IBANAT.

A mesura que s'anaven avaluant els danys sobre la massa forestal, es va dimensionar la resposta de l'Administració. Algunes de les actuacions que es varen fer inicialment foren:

- L'obertura d'una nova via de comunicació directa amb els afectats que permetia centralitzar-ne i atendre'n les trucades i a través de la qual podien reportar els danys i es recollia i classificava tota la informació.
- Convocatòria de reunions informatives als ajuntaments dels municipis més afectats.
- Elaboració d'impresos i models per a la recollida estandarditzada d'informació dels danys per part dels propietaris, amb l'establiment de punts de recollida prèviament estipulats i de proximitat (ajuntaments i conselleries).
- Elaboració d'un pla de restauració del temporal per poder adoptar amb rapidesa i eficàcia les mesures excepcionals necessàries per a la gestió de l'emergència, així com per facilitar la coordinació de les diferents administracions (Conselleria de Medi Ambient, ajuntaments, consells insulars) i particulars.
- Creació i mobilització de 17 brigades forestals de la Conselleria de Medi Ambient, a través de l'Institut Balear de la Natura (IBANAT), formades per més de 100 persones entre capatassos, motoserradors especialistes i peons per a la retirada de material forestal de les vies de comunicació i torrents.
- L'activació del personal operatiu i material de l'empresa pública TRAGSA com a mitjà propi de l'Administració, que en va multiplicar significativament la capacitat d'intervenció.

L'any 2003, després de 2 anys d'intervencions d'urgència i de retirada d'arbres afectats pel temporal, el Servei Territorial de les Illes Balears (SITIBSA) va tractar d'identificar les zones on encara era visible l'afectació pel temporal de 2001 i les va classificar segons si la densitat d'arbres tombats era alta o

baixa. A partir de fotografies aèries es va poder concloure que la superfície forestal afectada pel temporal en major o menor intensitat va ser de 9.248 ha, que suposen un 28 % menys de la superfície estimada amb teledetecció, tal com s'ha explicat a la secció 3.1.2 (pàg. 43), amb una quantificació de 12.849 ha. En tot cas, l'ordre de magnitud territorial d'ambdós mètodes és totalment coherent amb la intensitat del temporal. En el cas de SITIBSA, la metodologia d'estudi va consistir en, una vegada eliminats els polígons de baixa entitat mostrat —aquells d'una superfície inferior a 100 m²— es varen agrupar les unitats geogràfiques amb superfície similar afectada. Es varen seleccionar 493 parcel·les de mostreig del nombre total dels polígons amb afectació, que es varen prospectar amb helicòpter. D'igual forma, es varen prospectar de manera terrestre 213 parcel·les distribuïdes en diferents unitats geogràfiques en funció del grau de superfície afectada respecte del total. D'aquest mostreig es va obtenir la variable densitat de peus per hectàrea, que es va estimar en uns 159 peus ha⁻¹. Així, es va poder estimar el nombre d'arbres que encara restaven tombats, que era d'1.136.044 arbres.

Pel que fa a la distribució geogràfica dels efectes del temporal sobre la massa forestal, l'estudi va concloure que varen ser molt irregulars. La pràctica totalitat de l'illa de Mallorca es va veure afectada pels efectes del temporal en major o menor mesura. Així, els municipis més afectats varen ser els del nord i sud-est, en especial els municipis de Lluçmajor, Campos, Porreres, Santa Margalida i Son Servera (figura 23).

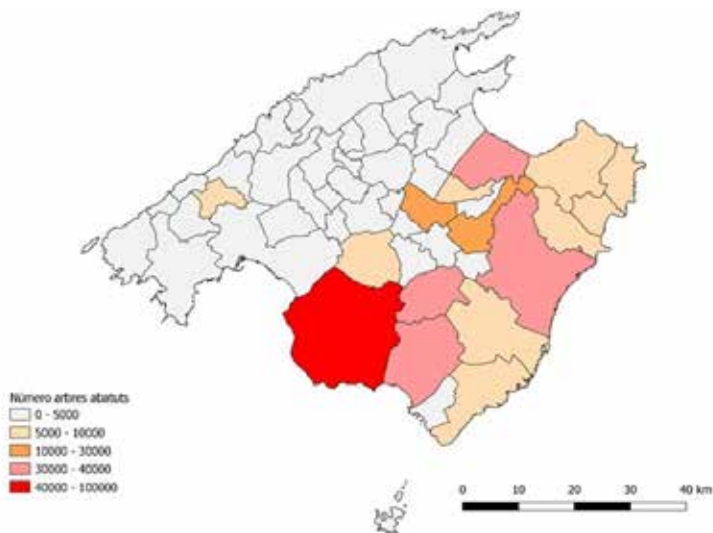


Figura 23. Municipis de Mallorca on encara hi havia presència d'arbres caiguts i pendents de retirar segons l'estudi de SITIBSA (2003).

3.14.3. Actuacions de restauració executades

Paral·lelament a les actuacions d'emergència que s'estaven duent a terme per restablir els serveis bàsics, es començaren els treballs de restauració dels hàbitats afectats, consistents sobretot en la retirada de pins i la instal·lació de punts esquer per al control de plagues i de malalties, especialment dels perforadors del pi (*Tomicus sp* i *Orthotomicus sp*). Aquestes actuacions es varen anar executant fins ben entrat l'any 2005, encara que el gruix dels treballs es va fer entre el 2001 i el 2003.

Les actuacions que es desenvoluparen per part de l'Administració autonòmica durant els anys posteriors al cicló es podien classificar en:

- a) Actuacions de suport jurídic
- b) Actuacions de suport financer als propietaris afectats
- c) Actuacions de suport tècnic i de prestació de recursos públics a la restauració ambiental per a propietaris i Ajuntaments

a) Actuacions de suport jurídic

Amb caràcter d'urgència, el dia 20 de novembre de 2001 es va publicar al Butlletí Oficial de les Illes Balears (BOIB) l'acord del Consell de Govern pel qual es fixaven les actuacions urgents necessàries com a conseqüència dels danys produïts pel temporal dels dies 10 i 11 de novembre. S'hi va acordar elaborar un cens d'afectats i impulsar les ajudes i compensacions econòmiques per als damnificats.

En un annex l'acord es va publicar un model d'autodeclaració de danys amb la finalitat de facilitar que els propietaris poguessin comunicar a l'Administració els danys soferts i passessin a formar part del cens, requisit indispensable per poder rebre les ajudes.

En segon lloc, l'acord encarregava a totes les conselleries l'elaboració d'informes sobre els danys produïts en els sectors de les seves respectives competències. Finalment, encarregava a la Conselleria d'Hisenda i Pressuposts, amb caràcter d'urgència, l'elaboració d'un projecte de llei de crèdit extraordinari per permetre el finançament d'un pla d'ajudes autonòmic destinat als afectats.

El 20 de desembre del mateix any es va publicar al BOIB el Decret 133/2001, de 7 de desembre, pel qual es va regular un règim d'ajudes per pal·liar els efectes del temporal de pluja i vent del mes de novembre de 2001. S'establiren ajudes en matèria d'agricultura, ramaderia i pesca professional, habitatge, medi ambient i comerç i indústria.

La Conselleria de Medi Ambient va crear dos tipus d'ajudes (suport financer) destinades als propietaris que varen decidir encarregar-se dels treballs de restauració per compte propi, amb els seus recursos privats i, a diferència de la resta de Conselleries, va oferir suport en recursos humans i execució dels treballs per a la retirada d'arbres afectats en el cas dels propietaris que no tenien mitjans per poder ocupar-se de les tasques de restauració.

b) Actuacions de suport financer als propietaris afectats

Les ajudes econòmiques als propietaris es varen estipular en funció de la tipologia del dany. Així, es varen crear tres línies d'ajudes forestals: les destinades a la rehabilitació d'infraestructures, les de restauració forestal i les de suport al sector forestal. Es detallen, tot seguit, les tres línies d'ajuda que es varen obrir:

1. Ajudes destinades a la rehabilitació d'infraestructures, tals com marges, parets seques, paret de marès i reixes metàl·liques, amb el següent import:

- Marges: 60 euros m²
- Parets seques: 54 euros m²
- Parets de marès: 36 euros m²
- Reixes: 8 euros m¹

El percentatge subvencionable variava entre el 85 % del cost de restauració en aquelles parcel·les ubicades en espais naturals protegits, el 79 % en terrenys rústics i el 75 % en altres terrenys forestals. L'import màxim a percebre per propietari en aquest apartat era de 15.000 € en espais naturals, 13.500 € en terrenys rústics i 12.000 € en altres terrenys forestals.

2. Ajudes destinades a la restauració de la coberta arbrada consistents, bàsicament, en la retirada d'arbres tombats. En aquesta línia es va optar per establir un import per cada arbre extret i processat que en feia la propietat:

- 12 € per arbre en espais naturals, fins a un màxim de 50.000 € per beneficiari
- 10,5 € per arbre en terrenys rústics, fins a un màxim de 40.000 € per beneficiari
- 9 € per arbre en altres terrenys, fins a un màxim de 30.000 € per beneficiari

3. Ajudes destinades a l'adquisició de maquinària forestal i suport a les empreses i sector forestal. Per a aquest cas, es va decidir arribar a subvencionar el 30 % del cost de l'adquisició de maquinària forestal específica, fins a un màxim de 90.000 €. En aquesta línia, es va incloure una partida d'ajuda per al transport de la fusta desemboscada cap a la Península.

El pagament de les darreres ajudes als propietaris afectats es va fer l'any 2005 i es varen concedir un total de 4,2 milions d'euros, dels quals més de la meitat varen servir per restaurar les masses forestals, mentre que la resta es varen destinar a la reparació d'infraestructures i a l'adquisició de maquinària forestal específica. A la taula 6 es detalla l'import de les ajudes concedides en cadascuna de les línies i per cada illa.

Illa/tipus	Arbrat	Infraestructures	Maquinària	Total per illa
MALLORCA	2.599.747,10 €	1.459.984,74 €	58.739,75 €	4.118.471,59 €
MENORCA	15.474,00 €	35.730,65 €	2.269,56 €	53.474,21 €
EIVISSA	2.274,00 €	22.127,44 €	- €	24.401,44 €
FORMENTERA	607,50 €	4.950,84 €	- €	5.558,34 €
ILLES BALEARS	2.618.102,60 €	1.522.793,67 €	61.009,31 €	4.201.905,58 €

Taula 6. Resum dels ajuts dineraris per illa.

Cal destacar que, malgrat que les ajudes eren per a totes les illes, la majoria es varen concedir a l'illa de Mallorca, ja que fou la més afectada pel temporal.

c) Actuacions de suport tècnic i de prestació de recursos públics a la restauració ambiental per a propietaris i ajuntaments

Tal com s'ha esmentat anteriorment, una de les ajudes que més èxit varen tenir foren les actuacions de suport tècnic a la restauració que la Conselleria de Medi Ambient oferia als propietaris afectats. Per això va ser necessària la contractació de més equips tècnics, humans i materials, tant a la mateixa Conselleria de Medi Ambient, com a l'IBANAT i a TRAGSA, entitats de dret públic dependents de l'Administració. Feia falta dimensionar l'equip forestal (tècnic i administratiu) del Govern de les Illes Balears per planificar, gestionar i executar els treballs de restauració ambiental dels boscos afectats pel cicló, així com tramitar els més de 1.500 expedients de sol·licitud d'ajudes als propietaris forestals afectats. Un volum de feina del tot inabastable amb els recursos de que es disposava en aquell moment.

A la taula 7 es detalla el nombre d'expedients tramitats a cada illa en funció de la seva tipologia.

EXPEDIENTS TRAMITATS	Ajuda dinerària	Ajuda en recursos	Ajuda en recursos i dinerària	TOTAL PER ILLA
MALLORCA	931	322	222	1475
MENORCA	34	1	4	39
EIVISSA	7	0	1	8
FORMENTERA	8	0	0	8
TOTAL PER TIPUS	980	323	227	1.530

Taula 7. Expedients tramitats en funció de l'ajuda sol·licitada per illa.

D'aquesta forma, la Conselleria de Medi Ambient va gestionar la restauració ambiental directa de 323 expedients de sol·licitud d'ajuda de recursos i 227 expedients d'ajuda de recursos i dinerària, majoritàriament en finques privades que n'autoritzaven a l'Administració forestal i en cedien els productes forestals que se n'obtenien. De la mateixa manera que va passar amb les ajudes dineràries, la gran majoria d'ajudes de recursos es varen concedir a Mallorca.

Per poder dur a terme amb un cert ordre i èxit les actuacions de restauració que suposava aquesta ajuda, va ser necessari elaborar un procediment per a la retirada de l'arbrat de les finques privades afectades pel temporal en què s'establien els criteris tècnics per a la restauració, com ara la tipologia de maquinària que s'havia d'utilitzar en cada cas, la metodologia de desembosc, l'estimació del personal necessari, el tractament de les restes forestals, etc.

d) Metodologia del treball de restauració

Després de la planificació tècnica de cadascun dels treballs que calia executar es procedia, amb motoserra, a separar la part aèria de l'arbre (capçada) del pa de terra o arrels, per procedir posteriorment al desbrancat i el processament (tall) dels canons a la mida normalitzada de serradora (2,10 m). Aquest procés requeria personal altament qualificat i especialitzat, amb un gran domini de treball amb motoserra i eines específiques, ja que comportava riscos importants, atès l'estat i disposició dels arbres, sotmesos a grans tensions que podien repercutir en moviments bruscos i perillosos

per al personal intervinent. A més, es tractava d'un treball penós per la seva duresa, i per les condicions del terreny on s'intervenia, sovint amb pendents elevats i terrenys abruptes, entre gran quantitat de branques i matolls, que dificultaven de manera significativa el trànsit i la mobilitat dels treballadors. Posteriorment al desbrancat i trossejat dels canons, els troncs s'extreien fins als carregadors, llocs prèviament estipulats per a l'acumulació i càrrega en camions o desembosc intermedi. Aquest transport es realitzava mitjançant tractors equipats amb grapes o skidders que duïen la càrrega de troncs suspesa, semisuspensa o arrossegada.

En casos molt particulars, per mor de la impossibilitat de treure els arbres per mètodes convencionals i per la singularitat dels espais a restaurar (especialment en alguns espais naturals protegits o finques públiques), es va procedir a la treta dels arbres sencers de manera suspesa a través de càrregues d'helicòpters.

Les branques i el material forestal sense valor comercial, en els casos en què era possible, s'extreien normalment de manera suspesa amb pines de tractors fins a les zones habilitades per a la seva trituració mitjançant biotrituradores que es varen contractar o adquirir específicament per a aquests treballs. El producte que se n'extreia resultat de la trituració es deixava in situ per al compostatge i la posterior incorporació al sòl de manera natural.

Si el terreny era accidentat, el desembosc dels arbres es feia amb tractors d'erugues dotats d'un ormeig específic de trituració de restes forestals. En aquest cas, les restes s'escampaven pel terreny, es passava l'ormeig de trituració acoblat al tractor, i es deixaven les restes triturades per a la posterior incorporació al sòl.

Derivats dels treballs de gestió de l'arbrat afectat (processament, desembosc i trituració) se'n obtingueren diferents productes, que es podrien classificar en:

- Troncs de fusta per a serradora. Aquest era el producte de major valor comercial. Es processaven a 2,10 m de longitud, aptes per a serra.
- Llenya de fusta prima, de les branques i els cimals dels arbres. Es processa a una longitud de 40-60 cm i, en funció del cost de processament i d'extracció, o bé quedava de manera ordenada al bosc, o bé era aprofitada pel propietari o pels veïnats de la zona.
- Brancatge més prim que normalment es tritura i es deixa per incorporació natural al terreny.

Els equips d'intervenció estaven formats per personal propi de les entitats dependents de la Conselleria de Medi Ambient (IBANAT i TRAGSA), a més del personal de les empreses privades que es va contractar específicament per poder dur a terme totes les peticions. Així, es varen formar 4 equips formats per 3 *skidders* i 1 processadora (figures 24 i 25), que varen intervenir en 757 localitzacions (parcel·les) diferents i de 56 municipis (50 de l'illa de Mallorca, 4 de Menorca, 1 d'Eivissa i al municipi de Formentera). S'estima que uns 500 propietaris es varen beneficiar d'aquesta ajuda.

L'any 2005, any en què es varen donar per finalitzats els treballs de retirada dels arbres abatuts pel cicló, es va comptabilitzar la retirada de 555.288 arbres en tota la geografia insular, la immensa majoria dels quals eren pins de l'illa de Mallorca. D'aquests, 327.344 arbres es varen treure per iniciativa exclusivament privada a través de les ajudes, i la resta (227.944 arbres) a través dels recursos de l'Administració autonòmica. Restaven, encara, moltes zones forestals amb els arbres a terra, ja sigui perquè no s'hi havia pogut accedir o bé perquè els propietaris no havien declarat els danys soferts.



Figura 24. Extracció de tronc semi suspès amb tractor (esquerra) i retirada d'arbres abatuts mitjançant maquinària forestal específica –processadora– (dreta).

Als efectes de concentrar el gran volum de fusta que es va processar, fruit dels treballs de desembosc de totes les parcel·les adherides a les ajudes de recursos, es va aconseguir fer un punt d'acumulació important a Son Ferriol (Mallorca), que permeté l'adjudicació a un rematant mitjançant una subhasta pública de la fusta desemboscada. Encara que es varen adjudicar 44.416 esteris de fusta per 320.390 € en un primer lot, varen sorgir greus problemes per aconseguir el transport marítim de tot el volum de biomassa, per mor dels elevats costos que suposava el seu trasllat a la Península, i va resultar palesa la carència d'infraestructures adequades per dipositar grans quantitats de volum de biomassa, així com la falta d'adequació dels serveis portuaris necessaris per fer front a situacions excepcionals.



Figura 25. Treballs de processament de la biomassa forestal mitjançant maquinària forestal específica (trituratora Forus).



Figura 26. Parc de Son Ferriol (Palma) destinat a l'acumulació del material extret per l'Administració forestal.

Posteriorment, es va convocar una segona subhasta de 31.612 esteris de fusta en roll apilada a Son Ferriol (figura 26), a més d'uns 28.000 esteris apilats en diversos punts de treballs. La fusta que restava va ser directament processada pels recursos de la Conselleria de Medi Ambient, que en va assumir el cost de la retirada i trituració.

3.1.4.4. Lliçons apreses

El temporal destructiu del novembre de 2001, per la magnitud dels danys que va generar, en especial als boscos de Mallorca, i per l'abast geogràfic que va tenir, va ser un temporal sense precedents recents, amb una força destructiva molt important. Aquesta circumstància va fer que fos necessari per part de l'Administració forestal de la Comunitat Autònoma donar una resposta extraordinària per a la qual no estava dimensionada ni tenia els recursos suficients. L'allau de peticions i de sol·licituds d'ajuda per part dels afectats va ser tan important que, amb els mitjans públics disponibles en aquell moment, va ser imprescindible incrementar els mitjans humans i materials de què disposava l'Administració. A mesura que s'anava rebent informació de l'abast dels danys, fou necessari adoptar i contractar més personal tècnic i d'intervenció, a més de maquinària forestal específica.

La contractació de personal forestal especialitzat, la compra de nova maquinària forestal i la contractació d'empreses forestals per poder dur a terme els treballs de restauració que va desenvolupar l'Administració forestal va ser tan important, que no hi ha hagut precedents en la història de l'Administració forestal pública de les Balears de cap situació assimilable. Aquest fet va servir per consolidar els mitjans (tant humans com materials) de l'Administració forestal (de l'IBANAT, del Servei de Gestió Forestal i de TRAGSA) i va esdevenir un vertader punt d'inflexió en la capacitat operativa de la gestió pública forestal. Una consolidació que perdura encara avui, en especial pel que fa a l'IBANAT i al Servei de Gestió Forestal. El temporal de 2001 va suposar una oportunitat per a la consolidació de llocs de treball en els serveis forestals de l'Administració autonòmica, tant en el personal especialitzat de l'IBANAT, que va reforçar la plantilla de tècnics i brigades forestals, com el Servei de Gestió Forestal, que va redimensionar la seva estructura. A més, l'adquisició de nova maquinària per part de l'IBANAT amb la finalitat de fer front a les tasques de restauració del temporal, com ara tractors, biotrituradores, camions per al transport de troncs, etc., va suposar un increment i una modernització de la flota de vehicles mai vistos. La immensa majoria d'aquesta maquinària forma part del catàleg de mitjans i recursos de què l'IBANAT disposa avui en dia, i s'utilitzen habitualment per atendre les feines ordinàries i extraordinàries que l'entitat desenvolupa: treballs de gestió a les finques públiques, infraestructures de prevenció d'incendis forestals, restauració d'àrees degradades, etc.

Així mateix, el sector forestal existent aleshores a les Balears no tenia els mitjans ni l'estructura necessaris per fer front al volum d'arbres que s'havien de processar i posar en circulació en el mercat local de la fusta. Va ser un motiu més pel qual l'Administració forestal va haver d'assumir part de la gestió amb les ajudes de recursos als propietaris, d'una banda, i amb la venda de la fusta mitjançant subhasta, d'una altra. Era tal la saturació del mercat local de fusta que no hi havia interès per part de les serradores per la fusta resultant dels treballs, per la qual cosa els propietaris havien de pagar pel servei, sense rebre res a canvi de la venda del producte. Per aquest mateix motiu, com que no es disposava d'una cadena de valor dels productes forestals, de serradores o d'aprofitament de biomassa per a l'ús energètic, la biomassa resultant dels treballs de restauració, o bé va acabar triturada i abandonada a les mateixes finques afectades (com a adob orgànic per a millora de l'estructura i fertilitat del sòl), o bé es va exportar a la Península per l'empresa que la va adquirir a través de la subhasta.

El gran abast geogràfic del cicló, que va afectar un gran nombre de municipis i de propietaris i va provocar una gran destrossa a les masses forestals, va generar una forta pressió política dels batles dels municipis afectats cap al Govern de les Illes Balears, instant que s'accelerés la gestió dels treballs d'emergència i de restauració, així com la tramitació de les ajudes. Fins i tot es va plantejar demanar ajuda a l'Exèrcit per a la retirada dels arbres tombats, una opció que finalment es va descartar.

Per la gravetat dels fets, va ser imprescindible donar una resposta multidisciplinària, que anava des de l'assessorament tècnic a la tramitació d'ajudes o a l'execució dels treballs de restauració. Tot això requeria establir procediments per garantir una plena coordinació amb altres administracions públiques (tant per la resposta a l'emergència com durant la fase de restauració).

La concessió de subvencions específiques per als propietaris forestals tampoc tenia precedents fins aleshores, fet que va suposar una oportunitat per incentivar la gestió per part de la propietat forestal, una gestió gairebé inexistent durant els darrers anys previs al temporal. Malauradament, les ajudes no es varen consolidar i, després d'aquest episodi, varen deixar d'existir fins als anys 2018 i 2019, moment en el qual la Conselleria d'Agricultura va treure dues línies específiques per a la gestió forestal amb fons de l'Impost de Turisme Sostenible (ITS) i via el Pla de Desenvolupament Rural (PDR). Les ajudes en general varen ser ben rebudes pels propietaris afectats, ja que permetien la contractació d'empreses del sector per dur a terme les feines. Ara bé, la qualitat dels treballs de restauració depenia en gran part de la professionalitat i la capacitat de les empreses del sector que,

en alguns casos, no varen complir les expectatives dels clients. Una de les ajudes més importants va ser per a l'adquisició de maquinària forestal específica, aprofitada per les empreses del sector forestal local per a la renovació de la maquinària. Aquestes ajudes varen ser molt ben rebudes per un sector cada vegada més obsolet i amb una inversió en millora tecnològica quasi inexistent. Algunes de les empreses forestals que es varen beneficiar d'aquestes ajudes encara avui en dia utilitzen la maquinària forestal adquirida arran del temporal, ara ja obsoleta després de 20 anys.

Amb el gran volum d'arbres que es va obtenir fruit dels treballs de restauració forestal i la saturació del mercat local, va ser necessari treure un procés de licitació pública mitjançant subhasta per tal de generar una oportunitat d'aprofitament dels productes forestals obtinguts i costejar, en part, els treballs públics de retirada de l'arbrat afectat. La complexitat burocràtica d'aquest tipus de procediments, juntament amb la dèbil estructura del sector forestal balear, va fer que el seu aprofitament necessàriament hagués de realitzar-se a la Península. L'absència de demanda de fusta per part del mercat local de les anteriors dècades havia provocat la impossibilitat de gestionar el gran volum de biomassa disponible per efectes del temporal, tant la processada com l'aprofitable als boscos afectats, cosa que va fer que el procediment de licitació de la fusta resultant dels treballs de restauració no pogués efectuar-se amb l'eficàcia esperable.

La contractació de nou personal que mai havia treballat a les Balears i de maquinària forestal específica com ara processadores i skidders, que, a més, havien d'estar treballant simultàniament en diverses finques, va suposar un repte tècnic per a la gestió de la restauració, ja que va ser necessari establir nous procediments i noves metodologies de treball que varen suposar una complexitat afegida en tot el procés de gestió. A pesar de l'extensió i amplitud de les operacions de desembosc, el treball es va fer amb la supervisió tècnica i la sensibilitat ambiental precises com per tenir el suport social majoritari, tant dels ajuntaments implicats com per part del moviment ecologista.

3.2. El fibló del 28 d'octubre de 2018 a Menorca

El 28 d'octubre de 2018 una tempesta intensa va afectar Menorca, i de manera més important els municipis d'Alaior i Maó. El pas de la tempesta va provocar un cap de fibló de categoria EF1, segons l'AEMET. El fibló va entrar ràpidament per cala en Porter, es va concentrar en el barranc homònim i va dibuixar un camí serpentejant de fins a 5 quilòmetres. En aquest punt, va abandonar el canal en direcció a la urbanització de l'Argentina i, després

d'afectar el disseminat, va travessar la carretera de Maó a Ciutadella, punt on el temporal va incrementar el seu potencial i superfície d'afectació, va prendre forma d'esclafit i va afectar una massa forestal d'elevada densitat; va tombar i trencar gran part dels arbres que trobava al seu pas. Part d'aquesta massa es trobava dins dels límits del parc natural de s'Albufera des Grau. Finalment, el fibló va sortir de nou al mar pel cap de Favàritx (figura 27). El temporal afectà greument els sistemes agroforestals (figura 28), els béns etnològics i les zones urbanitzades (l'Argentina) i, a més, va provocar danys als sistemes elèctric i telefònic, així com a béns immobles.



Figura 27. Localització de la tempesta destructiva del 28 d'octubre de 2018 a l'illa de Menorca.



Figura 28. Efectes del temporal sobre la massa forestal de Menorca.

3.2.1. Situació sinòptica

La situació meteorològica estava caracteritzada per l'arribada d'aire fred a tots els nivells (figura 29a i b), tant a la Mediterrània occidental com a la península Ibèrica. En superfície s'identificava una situació clàssica d'entrades de vent de component nord, amb un passadís entre l'anticicló de les Açores, ubicat a l'oest de la península Ibèrica, i un cicló mediterrani amb una pressió central inferior als 1.000 hPa. En aquest cas, l'entrada d'aire fred va ser tan contundent que el dia següent va nevar als cims de la serra de Tramuntana.

El dia en què es produí la tempesta, Menorca es trobava a la frontera entre l'aire més fred que arribava del nord i l'aire més càlid que se'n retirava cap a l'est a mesura que entrava l'aire més fred. És a dir, el front fred s'ubicava ben proper a Menorca, i és habitual que el pas d'un front fred els mesos de tardor provoqui tempestes, com va ser el cas.

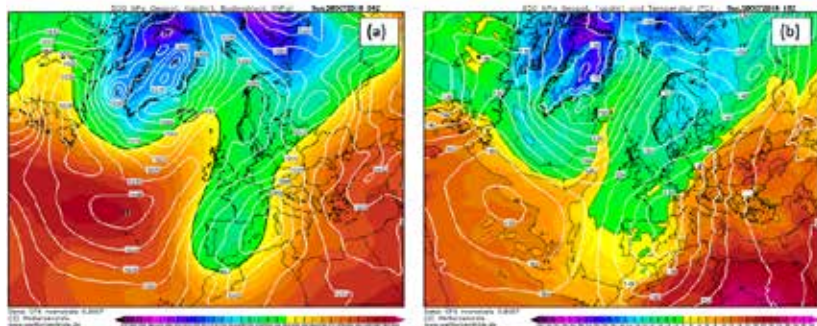


Figura 29. Models meteorològics que representen la temperatura i l'altura geopotencial a 500 hPa (a) i 850 hPa (b). Font: Reanàlisi CFS consultat a wetterzentrale.de.

El que s'observa a les imatges de radar és que la precipitació afectava tant la zona de Menorca com el nord de Mallorca i la serra de Tramuntana. La zona més compacta de precipitació es va detectar a prop de Menorca (figura 30a). La imatge dels echotop del radar (figura 30b) ofereix una estimació del grau de desenvolupament vertical dels núvols que generaven la pluja. Es pot observar un contrast ben pronunciat entre els núvols que provocaven la pluja a Mallorca i els de Menorca. Mentre que a Mallorca els núvols tenien poc desenvolupament vertical, els que afectaven Menorca tenien un gran desenvolupament vertical, com queda palès a la imatge amb els colors grocs i taronges que hi apareixen, tret característic de les tempestes.

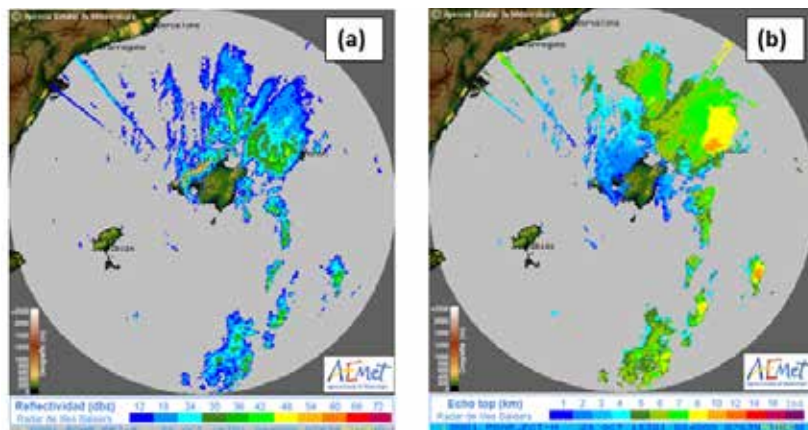


Figura 30. Imatge de radar a les 10:40 hora local. Reflectivitat (a) i echotop (b). Font: AEMET.

3.2.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal

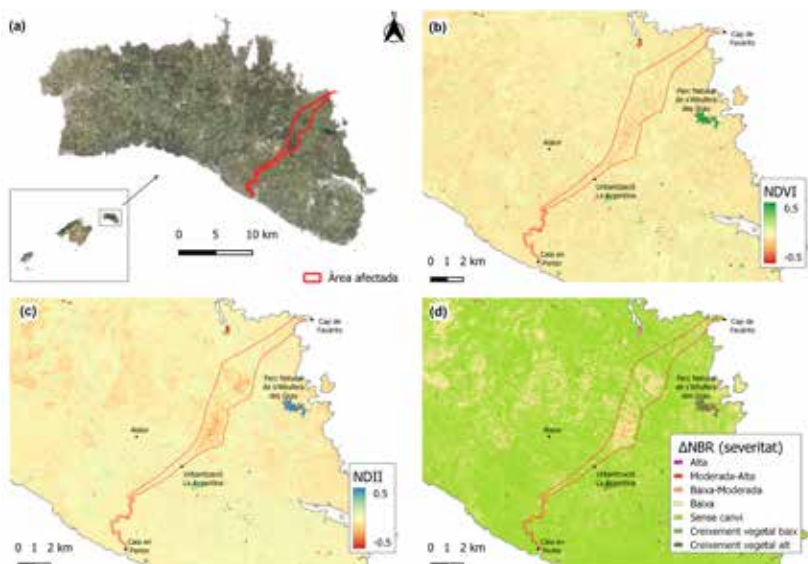


Figura 31. (a) Localització de la tempesta destructiva del 28 d'octubre de 2018 a l'illa de Menorca. (b) Diferència entre valors NDVI pre- i postpertorbació. (c) Diferència entre valors NDII pre- i postpertorbació. (d) Diferència entre valors NBR pre- i postpertorbació.

A partir de la figura 31 s'hi observen les diferències entre els valors NDVI, NDII i NBR. S'hi poden diferenciar algunes zones a partir de les característiques i intensitats:

- Des de l'inici a cala en Porter fins a la sortida del barranc homònim i l'entrada a la massa forestal, al nord de la urbanització de l'Argentina; marcada per una intensitat moderada més visible a les zones del barranc a causa de la pèrdua de massa forestal en contrast amb les zones d'urbanització que, tot i mantenir la intensitat, és menys detectable a partir de la informació espectral.
- Des de la urbanització de l'Argentina fins al límit nord del parc natural de s'Albufera des Grau. És la zona més afectada, coincidint amb l'àrea de massa forestal, principalment de *Pinus halepensis* Mill. i puntualment de *Quercus ilex* L. i *Olea europaea* L. En aquesta àrea, s'hi observen grans diferències entre els valors dels índexs previs i posteriors, particularment a l'índex NDII. En aquest cas, el sensor és capaç de caracteritzar en major mesura la pèrdua d'humitat que la disminució de l'activitat vegetal de la massa arbòria.
- Del nord del parc natural de s'Albufera des Grau al Cap de Favàritx. Es tracta d'una zona ocupada principalment per cultius i amb certs indrets d'arbrat i forestal de petites dimensions. Fou la zona menys afectada i gairebé no en són apreciables els impactes.

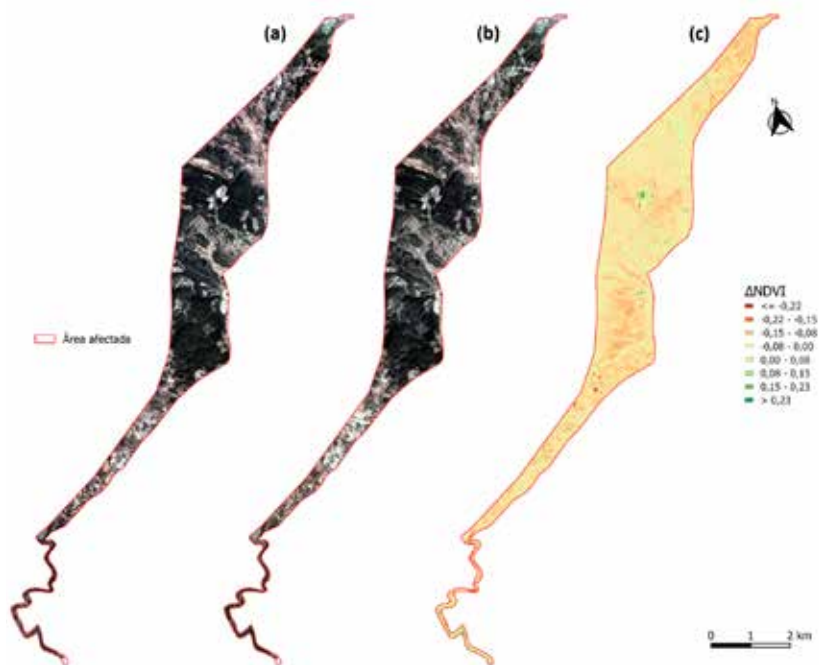


Figura 32. (a) Imatge RGB prepertorbació i (b) postpertorbació. (c) Diferència entre valors NDVI pre- i postpertorbació. Font: Planet.com.

A partir de les imatges de la constel·lació PlanetScope s'obtenen els resultats de la figura 32. Es pot observar que la massa forestal segueix caracteritzada com a l'àrea de major afecció. Pel que fa a l'àrea total afectada, no s'han pogut evidenciar diferències en l'extensió seleccionada a partir d'imatges Sentinel 2.

Sembla que el cap de fibló va conviure amb un esclafit d'alta intensitat, amb incidència des de la sortida del barranc de Cala en Porter fins al límit nord de s'Albufera des Grau. Així s'explica l'ampli abast i la magnitud dels impactes en aquesta zona, especialment a la massa forestal entre el camí d'en Kane i el camí des Pontarro. És important destacar que el cap de fibló va assolir la categoria EF1 segons l'AEMET. Així, els danys ocasionats, poden ser comparables, en alguns punts, als d'un incendi de moderada intensitat. A partir de l'índex CBI, s'estimen 976 ha afectades sense conseqüències destacables, mentre que 660 ha patiren impactes significatius: des de baixa intensitat (93 %) a una intensitat baixa-moderada (6,84 %) i, finalment, intensitat moderada-alta (0,14 %). Les dades oficials, estimades igualment amb tècniques de teledetecció, difereixen lleument del còmput realitzat en aquest estudi, sent un 5,7 % superiors i abastant 1.035 ha, tal com s'explica a la subsecció següent 3.2.3.1

3.2.3. Resposta de l'Administració pública i la iniciativa privada

3.2.3.1. Valoració de danys sobre els ecosistemes forestals

La vegetació forestal més afectada varen ser peus de pi blanc (*Pinus halepensis* Mill.), que varen quedar escapçats per la meitat, o arrencats de soca-rel quan el seu sistema radicular no podia aguantar l'embranchida del vent. Els peus d'alzina (*Quercus ilex* L.), ullastre (*Olea europaea* var. *Sylvestris* L.), savina (*Juniperus phoenicea* L.), algun exemplar arbustiu de major envergadura i alguns exemplars d'arbres singulars, degut al seu port aeri de menor alçada i esveltesa i al fet que presentaven una major profunditat radicular, varen ser afectats en menor proporció, sent només ferits o puntualment arrencats.

Aquesta afectació del temporal destructiu a la superfície forestal es pot classificar en tres zones segons la intensitat:

- Intensitat baixa: zona on l'afectació va ser més puntual, amb la presència d'alguns arbres trencats o tombats (ullastres, pins i algunes savines) i especialment amb presència de branques trencades. Es tracta d'una zona d'aproximadament un quilòmetre d'amplada, formada principalment per grans extensions agroforestals, situada dins del parc natural de s'Albufera des Grau.

- Intensitat moderada: zona que abasta part del barranc de Cala en Porter, així com dels plans on es troba el poblat talaiòtic de Torralba, que acaba a la urbanització de l'Argentina. La massa forestal en aquesta zona es distribueix irregularment en forma de petits bosquets en el fons de barranc i entre els camps de cultiu dels plans, i es veu afectada amb diferents intensitats. En aquesta zona varen patir danys també arbres singulars, com la mata de Turrubench Nou, que va ser arrencada per la base, o els pacaners de s'Hort de s'Esquella", als quals el vent va trencar algunes branques.
- Intensitat elevada: són les zones amb major presència, i de forma més contínua, de massa forestal arbrada, formada majoritàriament per masses mixtes de pi blanc en l'estrat alt, i d'alzina i ullastre en l'estrat baix. És alhora la superfície forestal amb danys més greus. Es correspon amb la zona que va des del camí d'en Kane, fins a les finques més forestals dins del parc natural de s'Albufera des Grau. Aquesta zona té una superfície forestal d'aproximadament 340 ha i presenta més de 90.000 peus afectats. Dins d'aquesta zona d'elevada intensitat, els danys a les formacions forestals varen provocar l'abatuda de l'arbrat en els següents percentatges:
 - o Afectació de menys del 30 % dels peus arboris: es correspon a unes 139 ha forestals i a uns 20.850 arbres.
 - o Afectació d'entre un 30 % i un 70 % dels peus arboris: es correspon a unes 82 ha forestals i a uns 20.500 arbres.
 - o Afectació d'entre un 70 % i un 100 % dels peus arboris: es corresponen a unes 118 ha i a uns 50.000 arbres.

Una vegada analitzades les imatges de satèl·lit disponibles pocs dies després del temporal, en total es confirma l'afecció d'una superfície total de 1.737,33 hectàrees. Segons la cartografia d'hàbitats forestals elaborada per l'Observatori Socioambiental de Menorca (OBSAM) en el marc del projecte LIFE+Boscos del Consell de Menorca (2013), 1.034,75 hectàrees de les totals corresponen a hàbitats forestals, mentre que la resta es tractaria de sòls sense correspondència hàbitat, agrícoles o urbans. Dels hàbitats forestals afectats, la gran majoria corresponen a les màquies d'ullastre (*Olea europaea* var. *Sylvestris* L.), amb un 37 % de la superfície forestal afectada, i el 36 % a l'hàbitat de pinedes mediterrànies, on la presència del pi (*Pinus halepensis* Mill.) és molt significativa. La resta d'hàbitats forestals afectats correspon als matollars mediterranis, amb un 14 % de la superfície forestal afectada, i als alzinars, amb un 13 %.

De les 1.737 ha de superfície total que va afectar el temporal destructiu, 1.424 ha es troben dins de la Xarxa Natura 2000 (el 81 % de la superfície), de les

quals, 730,22 hectàrees estan catalogades com a Zona d'Especial Protecció per a les Aus (ZEPA) i 693,77 hectàrees com a Llocs proposats d'Importància Comunitària (LIC) i ZEPA.

A part de l'extensa afecció a la massa forestal, no es produïren ferits ni decessos a causa d'aquest fenomen. Així i tot, el cap de fibló-esclafit va causar danys molt significatius a algunes infraestructures viàries, que varen quedar tallades per la caiguda de peus arboris (figura 33 esquerra), com dues carreteres principals de Menorca (la Me-7 de Maó a Fornells i la cm-363 d'Alaior a Me-12), a més d'altres vies secundàries d'accés a habitatges.

Una altra conseqüència del cap de fibló va ser la caiguda i l'afectació de pals d'alta tensió d'energia elèctrica de Red Eléctrica (figura 33 dreta), que va deixar sense subministrament elèctric les subestacions d'Endesa de Ciutadella i es Mercadal i que va afectar els municipis de Ciutadella, Ferreries, es Migjorn Gran i Alaior, que es varen quedar sense electricitat des de les 10 hores del matí del dia 28 d'octubre de 2018 fins al vespre del dia 30 d'octubre (56 hores). S'estima que més de 50.000 usuaris es varen veure perjudicats. Red Eléctrica va col·laborar amb Endesa en la localització de grups electrògens que permetessin el restabliment elèctric temporalment i a través de la xarxa de distribució.



Figura 33. Arbres tombats sobre vies de comunicació (esquerra) i línies elèctriques greument afectades (dreta).

Alhora, un nombre indeterminat d'habitatges i edificacions rurals es varen veure afectades amb més o menys gravetat, així com també les línies de telefonia, amb la consegüent tallada de comunicació d'un gran nombre d'usuaris.

3.2.3.2. Actuacions de gestió immediata de l'emergència

La seguretat i la restauració de les comunicacions (elèctriques, telefòniques i viàries) varen ser les prioritats davant aquesta emergència (figura 34). La incomunicació de diverses vies i l'afectació d'infraestructures per la caiguda de peus arboris varen requerir en primera instància el desplegament dels serveis d'emergència per reconduir-ne l'obertura i l'accés. El personal de la Direcció General d'Emergències i Interior, de Bombers del Consell Insular de Menorca i de l'Institut Balear de la Natura (IBANAT), així com de Red Eléctrica, varen actuar durant els primers dies posteriors a l'incident per tal de restablir-ne una mínima normalitat. Alhora, va ser necessari el trasllat de generadors a Menorca per donar accés elèctric als diferents abonats de la major part de l'illa mentre es duïen a terme actuacions de reparació de la xarxa elèctrica. Les actuacions principals varen consistir en la tallada de peus arboris caiguts o amb imminent perill de caiguda sobre les vies de comunicació primàries, secundàries i d'accés a habitatges, o sobre els habitatges mateixos o edificacions agrícoles. Les restes vegetals s'anaven acumulant a banda i banda de vies o vora les edificacions. També es va iniciar la reparació de torres elèctriques, de cablejat malmès i de connexions telefòniques, i es varen cercar grups electrògens que permetessin el restabliment elèctric temporalment i a través de la xarxa de distribució.



Figura 34. Arbres tombats objecte de les actuacions d'emergència.

3.2.3.3. Actuacions de restauració executades

Un cop transcorreguts els primers dies d'intervenció postcatàstrofe, amb actuacions d'emergència per tal de facilitar l'accés a béns i immobles i de millorar-ne la seguretat, va ser necessària una segona intervenció per disminuir-ne els riscos i els efectes negatius sobre el medi, establint un ordre de prioritats. La zona perjudicada va ser de gran abast, i amb molta superfície forestal afectada (unes 340 ha a la zona més arbrada). Durant els dies posteriors a l'esdeveniment, els tècnics forestals de l'Administració varen visitar diverses localitzacions per dur a terme una primera valoració de l'afectació, en algunes de les quals els equips d'emergència ja havien treballat eliminant-ne arbres prioritaris i urgents. Aquesta informació es va contrastar amb l'obtinguda mitjançant la inspecció aèria a partir d'un vol d'helicòpter i va servir per elaborar el *Pla preliminar per a la restauració ambiental dels danys causats pel cap de fibló-esclafit de dia 28 d'octubre de 2018 sobre hàbitats forestals en els municipis d'Alaior i Maó de l'illa de Menorca*. En aquest document tècnic, a més de valorar els danys sobre la massa forestal menorquina, es varen determinar, planificar i pressupostar el conjunt d'actuacions necessàries per a la restauració. Finalment, amb el fons disponible de la Conselleria de Medi Ambient i Territori per a la restauració forestal d'aquest temporal es varen poder executar actuacions prioritàries en una superfície total de 40 hectàrees, centrades en la treta d'arbres en risc, la prevenció d'incendis forestals i el control d'escolitins mitjançant la instal·lació de trampes i feromones.

A les tasques de restauració dutes a terme per l'Administració, s'hi varen sumar les actuacions de propietaris de finques forestals afectades, amb finançament de les ajudes que va treure la Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació, a través del Fons de Garantia Agrària i Pesquera de les Illes Balears (FOGAIBA). Durant aquesta fase de restauració, va ser imprescindible la conciliació amb els diferents gestors del territori, especialment amb el gran nombre de propietaris afectats, les administracions i entitats implicades, els ajuntaments d'Alaior i Maó i el Consell de Menorca amb la gestió del Camí de Cavalls i el parc natural de s'Albufera des Grau. També va ser imprescindible la comunicació constant amb les associacions, els grups ecologistes i la ciutadania en general implicada.

a) Objectius

- Reduir el risc de caigudes d'arbres damunt persones, vies de circulació, habitatges o altres béns: les actuacions d'emergència varen ser essencials per restablir els accessos i els serveis bàsics de comunicació i electricitat. Tot i això, aquestes actuacions no havien incidit en els peus danyats i amb perill d'acabar col·lapsant que estaven situats a banda i banda de les vies afectades, i que podien

malmetre de nou les infraestructures o posar en perill les persones. Alhora, era necessari tractar les restes forestals resultants dels treballs d'emergència, ja que incrementaven el risc d'incendi forestal i fomentaven la proliferació de plagues.

- Minimitzar el risc d'incendi forestal, per la gran quantitat present de combustible de gran mida. El model de combustible inicial, 6 o 7, passà a ser un model 12 o 13, amb quantitats de combustible acumulat de 100 a 150 tones ha⁻¹. És a dir, si es declarava un incendi forestal a la zona sense que se n'haguessin retirat els arbres afectats, seria de major intensitat de flama i de major dificultat d'extinció i, per tant, tendria major capacitat per provocar danys a persones, béns i a la mateixa massa forestal.
- Seguiment de l'abast de l'afecció de plagues d'escolitins, per mor de la presència d'arbres debilitats al costat de grans restes de fusta verda a terra (arbres danyats o tombats, però encara verds), la qual cosa podia servir d'atraient, provocar episodis d'explosió demogràfica d'aquests perforadors del pi i afavorir una plaga que malmetés els arbres que no s'havien vist afectats pel temporal inicialment. S'ha de tenir en compte que en època estival es poden generar explosions demogràfiques d'escolitins *Orthotomicus erosus*, mentre que a la tardor hi pot haver explosions demogràfiques de *Tomicus destruens*. Aquests insectes poden afectar els arbres que no han mort pel cap de fibló però que han quedat debilitats i, per tant, poden provocar que morin més arbres dels que ja han mort com a conseqüència directa d'aquest fenomen.
- Millora silvícola de la massa forestal que restava en peu, principalment de l'estrat arbori baix, format per alzina i ullastre, que requeria l'extracció d'arbres afectats per mantenir-ne l'evolució ecosistèmica.
- Minimitzar l'impacte paisatgístic que suposen tantes hectàrees afectades, amb molts pins tombats.

b) Actuacions executades

Per assolir els objectius que marcava el Pla de restauració es varen executar les següents actuacions en unes 40 hectàrees de superfície d'intervenció per part de la Conselleria de Medi Ambient i Territori, sense incloure-hi la superfície treballada per compte propi de cadascun dels propietaris, alguns d'ells incentivats per les subvencions del FOGAIBA. Les actuacions de restauració foren:

- Labatiment dels arbres greument afectats pel temporal (trencats, ferits, desarrelats o amb risc de caiguda, o afectats per l'atac d'escolitins).
- El processament (desbrancat i trossejat) d'aquests arbres.

- L'extreta dels arbres als marges de camins, clarianes o tanques de cultiu.
- La selecció dels arbres per estellat in situ o per al trasllat a planta de processament.
- L'estellat de la biomassa resultant de les operacions anteriors, de la qual una part es va aprofitar i, per tant, es va extreure de la zona, i una part es va deixar en el lloc per a incorporació al sòl com a adob.
- La instal·lació i manteniment de 100 trampes d'escolitins en el perímetre de la zona d'actuació.
- La creació de feixines perpendiculars en vies de tretxa d'elevat pendent, per evitar pèrdua de sòl per escorrentia.

Les actuacions executades en aquesta quarantena d'hectàrees varen ser idònies des d'un punt de vista ecològic i varen permetre que la massa que restava en peu evolucionés correctament i que fos més resistent des del punt de vista sanitari, alhora que es va millorar la seguretat en les vies rodades que travessaven aquestes masses afectades davant el risc de caiguda de peus ferits o trencats. Les actuacions de restauració, en general, no varen causar un impacte paisatgístic excessivament significatiu, ja que es partia d'un sistema forestal totalment alterat i devastat, amb gran impacte. Per aquest motiu, es va intentar no augmentar-lo, així que es va prendre temps suficient per a l'execució i es va fer una bona planificació inicial. Es varen escollir molt bé:

- Zones amb pendent mitjà i moderat, on es pogués treballar amb una certa comoditat i s'evités crear efectes erosius pronunciats.
- Maquinària adaptada a la zona d'actuació, de mida i maniobrabilitat adequades.
- Personal qualificat i coneixedor de la zona.
- Planificació inicial de les vies de tretxa.



Figura 35. Feixines amb trituració manual del material forestal per a la prevenció de l'erosió per escorrentia.

Tot i que gràcies a aquesta planificació inicial els impactes de la restauració es varen suavitzar, en algunes zones on el pendent era més elevat i la maquinària emprada més agressiva per poder accedir i desemboscar, l'impacte erosiu del terreny va augmentar, per la qual cosa fou necessari afegir mesures de contenció, com feixines en les vies de tretxa (figura 35).

Les grans acumulacions de restes per gestionar (triturar in situ o retirar) creaven alhora impacte mentre romanien a les finques a l'espera del tractament pertinent i ocupaven espais de cultiu que no podien ser llaurats durant aquest temps o reblien siques. Es va gestionar la situació amb els afectats (propietaris i pagesos) i s'acordaren conciliacions i esmenes posteriors. A més, el fet que hi hagués parets seques en moltes de les zones on calia treballar va provocar que fos necessària l'obertura de passos per a maquinària (figura 36), que en finalitzar les actuacions es varen reparar.



Figura 36. Maquinària forestal específica utilitzada: processadora (esquerra) i skidder (dreta).



Figura 37. Aprofitament de fusta per a serradora (esquerra) i trituració de la biomassa per a producció d'estella (dreta).

Es calcula que els treballs de restauració varen suposar el desembosc i el processament de quasi 8.000 pins en les 40 hectàrees forestals intervingudes ubicades entre les dues zones d'actuació, que varen generar un volum de 6.600 m³ de biomassa (figura 37). El 20,5 % de la biomassa processada va ser utilitzada per a aprofitament tèrmic (uns 850 m³ d'estella

forestal i uns 500 m³ de llenya per a xemeneia). En canvi, el 9,5 % de la producció de biomassa (uns 625 m³ d'estella) es varen aprofitar com a encoixinament agrícola (*mulching*) en un cultiu d'oliveres. Per tant, el 30 % de la biomassa generada (uns 1.955 m³) fruit dels treballs de restauració va tenir un aprofitament; la resta es va deixar triturada al mateix lloc com a adob orgànic (figura 38).



Figura 38. Zona després de les actuacions de restauració: s'han retirat i processat els arbres, i s'ha deixat la biomassa triturada al lloc.

c) Principals dificultats en la gestió de la restauració

Durant l'execució de la fase de restauració de les masses forestals afectades, varen sorgir certes dificultats que varen limitar o impossibilitar les actuacions. Tot seguit es detallen els condicionants més significatius:

- Problemes d'accessibilitat: l'existència de camins i pistes forestals transitables per a vehicles rodats així com de diverses zones de cultiu va permetre l'accessibilitat de la maquinària a moltes de les zones afectades. En zones on no hi havia camins ni pistes d'accés, va ser necessari obrir vies de treta temporals (prèviament planificades i aprofitant les aclarides de la pertorbació). A més, l'amplada dels camins existents limitava també la tipologia de maquinària que es podia emprar. La zona afectada del terme municipal de Maó disposava de més pistes forestals i en millor estat, la qual cosa va permetre una actuació més intensa en aquesta zona. El pendent de les vies era també un factor a tenir en compte. Certs trams puntuals amb pendent superior al 25 % impediien el trànsit adequat de maquinària en algunes zones, especialment per a l'extracció de fusta o estella. A les zones on no es va poder dur a terme l'extracció, l'estella es va incorporar al terreny in situ i la fusta es va trossejar. Una

altra infraestructura que va limitar en gran mesura les actuacions era la presència de parets seques mitgeres, que impediren puntualment el trànsit. Es varen aprofitar els esbaldrecs per passar o es va optar per l'ús de maquinària amb braç articulat per salvar aquest obstacle. Altres factors limitants foren la presència de canonades d'aigua soterrades o la presència de trànsit regularitzat i continu, que va fer necessari el tall de les carreteres.

- Condicionants orogràfics: la zona d'actuació es caracteritzà per presentar una orografia ondulada, formada per turons de pendents de moderats a pronunciats (entre el 10 % i més del 45 %) i valls i planes agrícoles. El límit màxim de pendent per treballar amb les condicions òptimes de seguretat amb la maquinària forestal emprada era del 25 %, per aquesta raó es descartaren els terrenys que superaven aquest pendent.
- Estructura de la vegetació forestal: la massa mixta present, formada per un estrat alt greument afectat de pi blanc i un estrat baix puntualment afectat d'alzina i ullaastre, condicionà en gran mesura les actuacions i la maquinària emprada. Aquest tipus de massa és present especialment a les finques del terme municipal de Maó. Es requeria anar extraient el pi, l'alzina i l'ullaastre afectats, mantenint els arbres que restaven en peu, especialment alzines. Per això, va ser molt important definir sobre el terreny les vies de treta per minimitzar els danys, contractar personal especialitzat i sensibilitzat en els treballs forestals per garantir la màxima cura possible i evitar ferides als peus restants i realitzar una selecció acurada de la maquinària forestal, per tal que fos el més adaptada possible a les condicions del terreny afectat.
- Espècies de fauna singular i protegida: l'existència de nius d'espècies protegides de rapinyaires va condicionar l'ordre d'actuació. El fet de no poder fer feines que causessin renou i trasbals en aquestes aus durant l'època de nidificació (de febrer a juny) va impossibilitar els treballs de restauració de la zona d'Alaior durant el mes de febrer.
- Limitacions de propietat privada: la totalitat de la superfície afectada pel temporal es trobava dins de finques privades, per la qual cosa en va ser necessària l'autorització dels propietaris. Per això, s'organitzà una reunió amb els propietaris afectats per informar de les gestions que s'hi haurien de dur a terme i de les ajudes forestals que es posarien en marxa a través del FOGAIBA.
- Limitacions de les figures de protecció ambiental: gran part de la superfície de caire forestal afectada pel cap de fibló es trobava dins del parc natural de s'Albufera des Grau i/o dins de la Xarxa Natura 2000, espais amb un alt grau de protecció. Una petita part del recorregut del Camí de Cavalls es veure també afectat. Per aquest

motiu, va ser imprescindible la coordinació i consens entre els gestors d'aquests espais.

- Manca de sector forestal menorquí i de maquinària específica: el reduït sector forestal empresarial de l'illa de Menorca compta amb poc personal especialitzat per dur a terme treballs de tanta magnitud i dificultat com els necessaris per a la restauració dels espais forestals afectats pel temporal; tampoc disposa de maquinària específica per a aquestes actuacions, ni té capacitat d'absorció ni de tractament de tota la biomassa extreta. El perfil de l'empresa menorquina especialitzada en treballs forestals és el d'una empresa familiar, amb poc personal contractat i amb maquinària de petites dimensions, adaptada al volum habitual dels treballs que, sovint, es combinen amb els agrícoles. És per aquest motiu que es va optar per l'execució a través de l'entitat pública TRAGSA, que va compensar la falta de personal propi subcontractant una empresa de treballs forestals menorquina i una empresa valenciana especialitzada en treballs forestals. Per a l'empresa menorquina contractada això va suposar una gran oportunitat, ja que va aprofitar per invertir en la compra d'una processadora forestal de la qual no disposava i, alhora, va assumir part de la fusta extreta per al seu aprofitament com a biomassa forestal per a ús energètic i es va situar així com a un nou comercialitzador d'estella i pèllet locals.

3.2.3.4. Lliçons apreses

De la gestió de la resposta a la catàstrofe natural originada pel fibló d'octubre de 2018 a l'illa de Menorca es poden extreure certes lliçons de gran importància que s'hauran de tenir en compte en futures respostes a fenòmens meteorològics extrems, que cada vegada seran més recurrents, afavorits per la crisi climàtica que afecta de forma significativa el Mediterrani. D'aquesta manera, es fa imprescindible protocol·litzar la resposta, tant la fase d'emergència com la de postemergència (restauració). Per això, és necessari agilitzar els procediments administratius i de gestió per donar una resposta ràpida a la ciutadania i al medi ambient.

La resposta a catàstrofes naturals d'aquesta magnitud requereix una inversió d'acord amb les actuacions per restablir els ecosistemes forestals al seu estat inicial o similar, per la qual cosa és necessari que el capital invertit sigui per a la totalitat de la superfície afectada i pel valor de les actuacions corresponents. Endemés, és imprescindible tenir una actitud conciliadora amb els afectats i amb els gestors dels espais forestals implicats i tractar el tema amb total transparència.

Per a la planificació eficient de les actuacions de resposta a l'emergència i

de restauració d'aquests fenòmens resulta molt útil la visualització aèria, a través de vols de reconeixement o d'imatges de dron. Alhora, cal fer una planificació inicial acurada amb dades de camp i de gabinet, però suficientment flexible per anar adaptant-la a la realitat a mesura que es van materialitzant les actuacions.

Per poder dur a terme les actuacions de restauració de forma ràpida, eficaç i econòmicament sostenible, és necessari donar suport a les empreses forestals de les Balears i impulsar-ne l'especialització i la modernització (en personal i en maquinària). Això permetria potenciar un sector forestal local amb capacitat de valoritzar el producte obtingut com a resultat dels treballs de restauració. La maquinària forestal emprada en aquestes actuacions, tot i tenir una filosofia genèrica per al conjunt de les Balears, s'ha d'adaptar a la idiosincràsia de cada territori per tal de millorar-ne el rendiment i de reduir-ne els impactes.

Un dels efectes d'aquests temporals és la disponibilitat immediata de milers de tones de fusta a les quals és necessari donar sortida. A les Balears el consum de fusta és menor perquè no existeix gairebé indústria de primera transformació i les empreses forestals són escasses, la majoria de caire familiar i de dimensions reduïdes. És per això que és necessari iniciar noves formes de consum de la fusta; per exemple, a través de producció de biomassa per a ús energètic (estella i pèl·let locals). Alhora, per poder consumir aquesta biomassa, s'ha de potenciar la instal·lació de calderes que l'emprin com a combustible, tant en l'àmbit d'administracions i entitats locals, com entre els particulars. Facilitar l'adquisició d'aquestes calderes mitjançant ajudes a la compra podria ajudar a fomentar el sector.

3.3. La tempesta del 22 d'octubre de 2019 a Eivissa

Durant el matí de dia 22 d'octubre de 2019, el municipi de Sant Antoni de Portmany, a l'illa d'Eivissa (figura 39), es va veure afectat per una pertorbació meteorològica amb pluges i vents molt intensos, que varen afectar una zona considerable que anava des del caló des Moro i cala Gració (Sant Antoni de Portmany) fins a la part sud de la cala Albarca (Sant Mateu d'Albarca), en direcció sud-oest i d'amplada variable. El recorregut lineal va ser d'11,3 km i, malgrat que en un primer moment la superfície forestal greument afectada s'havia fixat en unes 297,27 ha, posteriorment es va fixar a partir d'imatges de satèl·lit en 392 ha forestals afectades significativament, tal com s'esmenta en la subsecció 3.3.2 (pàg. 84).

L'entrada del fibló va ser per la costa i va arribar a la urbanització Cala

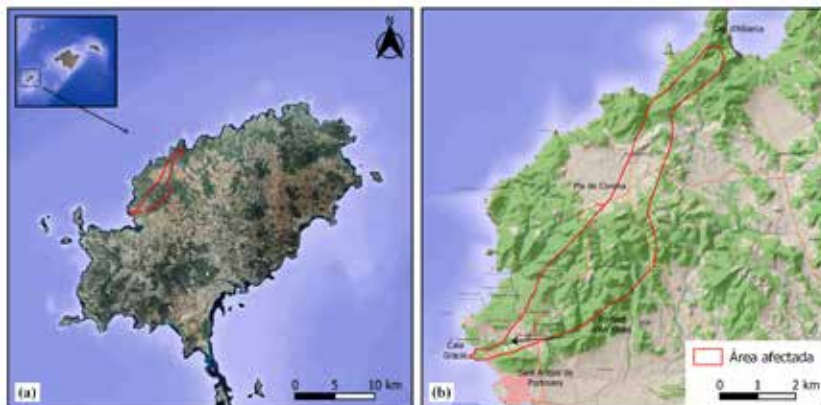


Figura 39. Localització de la tempesta destructiva del 28 d'octubre de 2018 a l'illa de Menorca.

Gració, des d'on es va endinsar cap a la massa de pinar del vessant nord de la Talaia de Sant Antoni, a prop del torrent de Cala Gració. L'amplada inicial en tocar terra des de la mar va ser de poc més de 300 m, però a mesura que progressava terra endins es va anar eixamplant. Els primers danys varen ser al vessant nord de sa Talaia de Sant Antoni, zona malmesa ja per l'incendi de 2017 (figura 40). En creuar una zona agrícola al nord de sa Talaia, va arribar a la urbanització de Can Germà, on es varen concentrar gran quantitat de danys tant a l'arbrat de la zona urbana (format majoritàriament per espècies forestals) com en la zona pròpiament forestal.



Figura 40. Vista d'helicòpter de part de la zona afectada: Carretera de Sant Antoni de Portmany a Santa Agnès de Corona a la part superior.

Va provocar la caiguda d'arbres als vials públics que van afectar greument els serveis d'electricitat, telefonia i internet. En creuar la urbanització de Can Germà els efectes del temporal es varen eixamplar i van arribar a superar els 2.300 m d'amplada a la zona forestal fins arribar al pla de Corona. En creuar aquest pla, eminentment agrícola, va tornar a afectar de nou la massa forestal, en concret els pinars existents des de l'extrem septentrional del pla de Corona fins a la mar, per les Torres d'en Lluc (figura 41), al sud de cala Aubarca, per on finalment en va sortir. En aquesta darrera zona els danys es redueixen en quantitat i en superfície, presumiblement per una minoració en la velocitat del vent.



Figura 41. Efectes del temporal a la zona de Torres d'en Lluc on el temporal ja va perdre força.

3.3.1. Situació sinòptica

El matí del 22 d'octubre de 2019 una línia de torbonada afecta les Pitiüses i en deixa greus impactes, especialment pel vent intens que va bufar durant l'episodi. A la base de dades de fenòmens singulars SINOBAS de l'AEMET, es qualifica l'episodi com a un esclafit que va assolir ratxes de vent de fins a 140 km h^{-1} , tot i que les estacions meteorològiques només varen mesurar un cop màxim de 82 km h^{-1} . Per tant, es tracta d'una velocitat de vent estimada. Ja s'ha comentat anteriorment com de difícil resulta disposar de mesures acurades del vent màxim en presència d'un fenomen d'aquest estil.

A partir d'una anàlisi bàsica d'imatges i vídeos a les xarxes socials, és difícil establir si realment fou un esclafit o un cap de fibló. En concret, les informacions que es poden consultar en alguns mitjans de comunicació ens diuen que el vent fou capaç d'aixecar i desplaçar una casa d'obra i que va deixar tres ferits. Es tracta d'un fet que ja s'havia produït a les obres de l'hospital de Son Espases de Palma, Mallorca, el 2007. En aquell episodi, sí que es va confirmar que es tractava d'un fibló. Sigui com sigui, el cert és que es produïren impactes rellevants, concentrats especialment al municipi de Sant Antoni de Portmany.

La situació atmosfèrica d'aquell dia té algunes semblances amb la d'octubre de 2007. Un embossament d'aire fred s'ubica al sud de la península Ibèrica (figura 42a). A la part est, és a dir, cap a la zona de les Balears, es combina una entrada càlida en superfície (figura 42b) amb el forçament dinàmic necessari per fer créixer tempestes virulentes. L'energia disponible per a la convecció (CAPE) mostrava valors molt elevats (figura 42c). Tot i que la presència d'una CAPE elevada no ens garanteix que es formi cap tempesta, sí que és un bon indicador de la probabilitat que, en cas de generar-se una tempesta, arribi a produir temps extrem, com va ser el cas d'aquell dia. Amb aquesta situació, es genera una tempesta important a l'oest de les Pitiüses que avança d'oest cap a est i les creua completament.

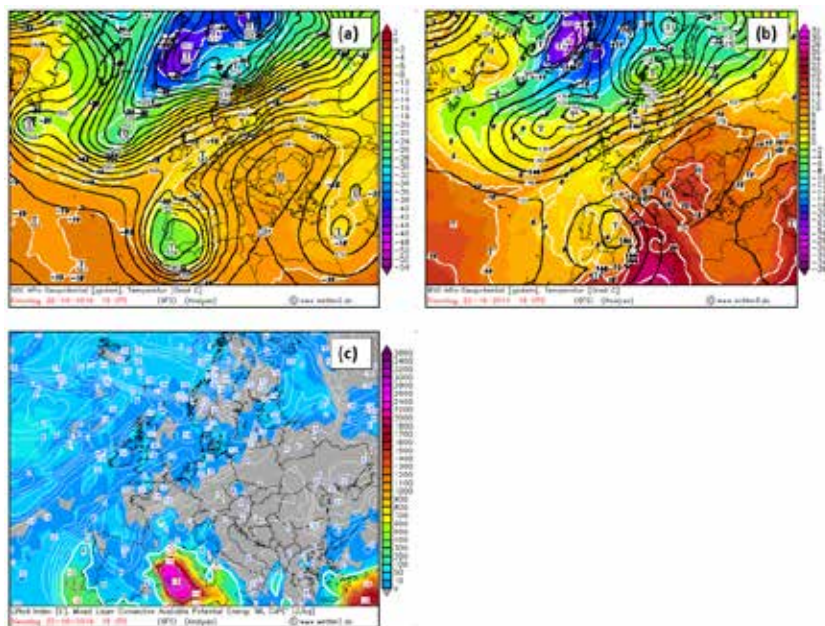


Figura 42. Model meteorològic que representa l'altura geopotencial i la temperatura a 500 hPa (a), 850 hPa (b), i els índexs CAPE i LI (c). Font: Model GFS consultat al portal web Wetterzentrale.

La imatge de radar permet visualitzar l'estructura que tenia la tempesta, que presentava diversos nuclis de màxima activitat que passaren per les Pitiüses. L'estructura recorda molt un sistema convectiu de mesoescala amb una línia de torbonada (figura 43a). El desenvolupament vertical fou molt important (figura 43b), amb màxims que sobrepassaven els 14 km, el que indica que probablement la tempesta ocupava tota la troposfera.

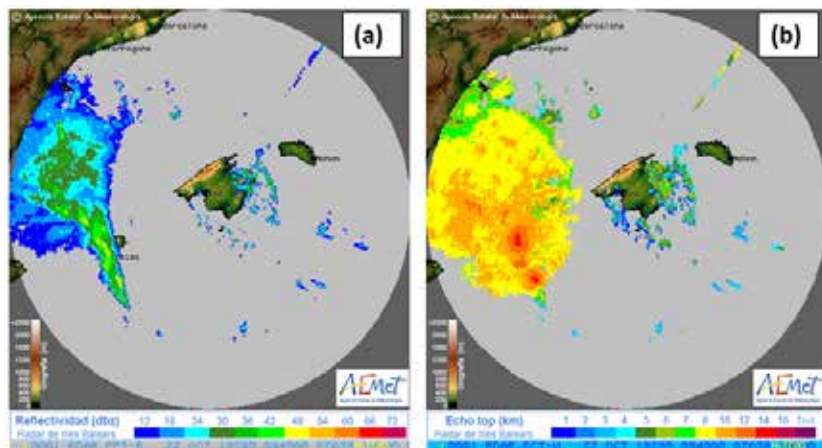


Figura 43. Imatge de radar. Reflectivitat (a) i echotop (b). Font: AEMET.

3.3.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal

A través dels valors espectrals s'hi identifiquen diferents zones de major impacte a les masses forestals localitzades a l'àrea pròxima a cala Gració, al puig d'en Racó i a la zona forestal immediata a la carretera de Sant Antoni a Santa Agnès. Comparant els tres índexs, en destaca la capacitat de l'NDII

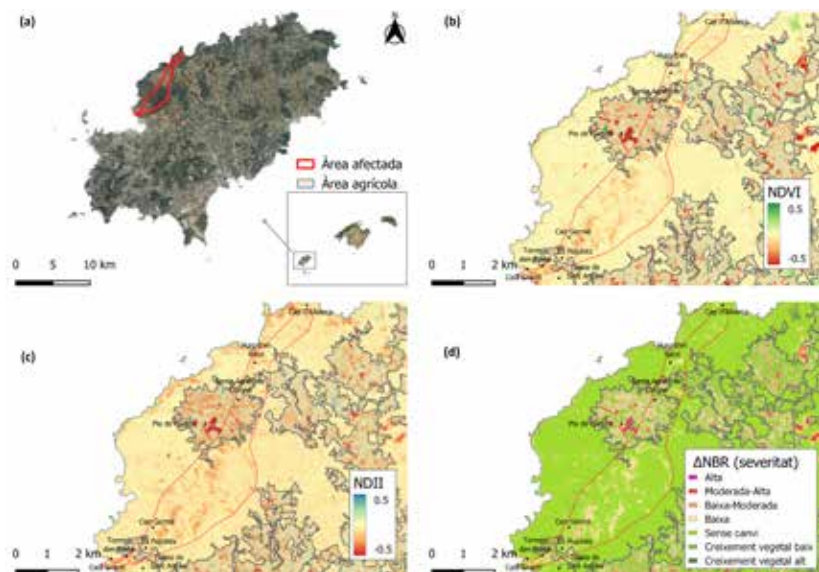


Figura 44. (a) Localització del fenomen del 22 d'octubre de 2019 a l'illa d'Eivissa. (b) Diferència entre valors NDVI pre- i postpertorbació. (c) Diferència entre valors NDII pre- i postpertorbació. (d) Diferència entre valors NBR pre- i postpertorbació.

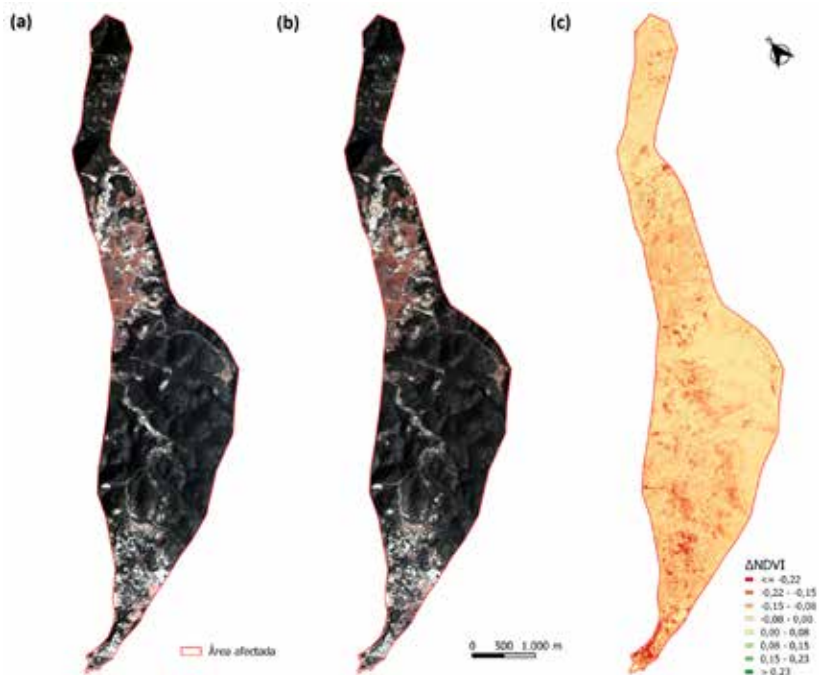


Figura 45. (A) Imatge RGB prepertorbació i (B) postpertorbació. (C) Diferència entre valors NDVI pre- i postpertorbació. Font: Planet.com.

per accentuar les àrees afectades, molt més que l'NDVI i l'NBR (figura 44). A partir dels valors espectrals, en destaquen algunes parcel·les agrícoles del pla de Corona que presentaren una alta variació en els tres índexs. Aquest contrast no es deu a l'efecte de la tempesta, sinó al fet que en el moment de la presa de la imatge postpertorbació, les parcel·les encara no hi tenien un cultiu avançat.

A la figura 45 s'hi visualitzen les imatges i l'NDVI d'alta resolució que, en aquest cas, foren seleccionades a l'agost. La selecció de dates diferents permet comprovar una variació dels valors NDVI obtinguts respecte de les imatges *Sentinel 2*, principalment a l'àrea forestal. Així, la pèrdua d'activitat clorofil·lica és més evident, cosa que demostra que existeix una atenuació dels valors per la selecció d'imatges en l'època humida. Aquestes diferències també són apreciables a les àrees de cultiu, ja que en ambdues dates, l'activitat agrària és baixa, sense demostrar grans variacions pel que fa a les parcel·les.

A partir de les imatges satèl·lit s'ha efectuat una aproximació de l'àrea afectada. En la totalitat ha afectat unes 1.157,8 ha, de les quals 185,9 eren

zones agrícoles i 971,9 eren forestals. Així, segons les intensitats extretes de l'índex CBI, 765 ha (agrícoles i forestals) han patit un impacte lleu o sense conseqüències destacables, mentre que unes 392 ha forestals han estat impactades significativament. D'aquestes, el 88,9 % ha patit impactes de baixa severitat, el 10 % baixa-moderada i un 1 % una severitat moderada-alta. Si es compara amb els valors espectrals, destaquen algunes parcel·les agrícoles del pla de Corona amb una alta variació en els tres índexs. Aquest contrast no és per mor de l'efecte de la tempesta, sinó perquè en el moment de la presa de la imatge postpertorbació, les parcel·les encara no tenien un cultiu en avançat estadi de creixement.

3.3.3. Resposta de l'Administració pública i la iniciativa privada

3.3.3.1. Valoració de danys sobre els ecosistemes forestals

El temporal afectà la massa forestal de pi blanc (*Pinus halepensis* Mill.), mesclat amb savina (*Juniperus phoenicea* L.) i espècies de sotabosc pròpies de la garriga eivissenca, com ara la mata (*Pistacea lentiscus* L.), o el ginebre (*Juniperus oxycedrus* L.), entre d'altres. La densitat de l'arbrat forestal canviava en funció de les condicions del medi i dels usos històrics de la parcel·la en qüestió, depenent de la presència de feixes agrícoles abandonades o de si es tractava de terreny forestal històric. Majoritàriament, es varen veure afectats els pins més grans. En general les savines no patiren danys significatius, tot i que les més grans sí que es van veure afectades, igual que l'estat arbustiu, sobretot per la caiguda dels arbres més alts o de part de les seves capçades.

Segons el Mapa Forestal, el 90 % de la superfície total afectada correspon a terrenys arbrats per masses mixtes de coníferes autòctones (de pi i de savina), mentre que la superfície restant roman ocupada per les diferents zones urbanes, agrícoles, per roquissars, etc. En canvi, només 28,89 ha de les totals pertanyien a la Xarxa Natura 2000 al nord, on l'afecció del vent va tenir menor impacte. Per tant, l'afectació del temporal a les masses forestals va dependre de la força puntual del vent i del tipus de vegetació que trobava. S'apreciava un patró de danys més intensos a determinades parts dels torrents, possiblement pel canvi en la velocitat del vent influït per la topografia.

Els danys i la seva intensitat foren molt variables, els exemplars de menors dimensions patiren poca afectació, presumiblement perquè oferien menys resistència al vent tot aguantant en peu. Per contra, als exemplars de majors dimensions se'ls varen trencar branques, varen ser arrabassats o se'ls va escapar i trencar el tronc a una certa altura. Així, els danys varen ser de major intensitat en els peus arboris més grans, amb extensions irregulars

d'afectació. D'igual manera, hi va haver arbres completament arrabassats i arbres afectats només en algunes branques o cimals, molt condicionats per la resistència al vent i la profunditat del sistema radicular, amb coherència amb l'escassa profunditat del sòl. Cal tenir en compte que les masses forestals més antigues d'Eivissa es desenvolupen en sòls pedregosos poc profunds. Per tant, s'observaren nivells d'afectació molt diferents en redols adjacents (figura 46): des de zones amb danys lleus que no suposaven un risc per a la supervivència de l'arbre, fins a altres zones amb danys greus. Segons la intensitat, els danys es poden agrupar en tres nivells:

- Intensitat baixa: zona on l'afectació va ser més puntual, amb la presència d'alguns arbres trencats o tombats (pins i algunes savines) i branques trencades. Aquests danys es trobaven als marges de les zones més afectades.
- Intensitat alta: zones que presentaven arbres greument afectats juntament amb altres poc o gens afectats. Eren zones de distribució heterogènia, entre àrees més o menys afectades.
- Intensitat elevada: són les zones amb danys generalitzats, amb presència d'arbres arrabassats i tombats i d'altres escapçats. Predomina a les zones amb arbrat adult i adjacents a la carretera EI-651.



Figura 46. Pins arrencats a l'àrea recreativa de sa Talaia de Sant Antoni (esquerra) i camins tallats (dreta).

Per sort, no hi va haver danys personals per l'activitat d'aquesta pertorbació. Per contra, els béns i el conjunt d'infraestructures varen patir danys de diferent consideració. La circulació al trànsit rodat va quedar interrompuda en bona part de la xarxa viària, en particular, es van tallar la carretera de Sant Antoni a Santa Agnès (EI-651) i la carretera que envolta la Talaia de Sant Antoni, així com bona part dels vials de la urbanització de Can Germà i nombrosos camins forestals.

La urbanització de Can Germà va quedar greument afectada per la caiguda dels pins existents als jardins de grans dimensions, que van afectar el mobiliari urbà, sobretot terrats i murs (figura 47). També es varen veure molt afectades les línies elèctriques i de comunicacions d'aquestes urbanitzacions (figura 48), que varen ser objecte dels primers treballs de la fase d'emergència.



Figura 47. Els mitjans actuant en fase d'emergència a la urbanització de Can Germà (esquerra) i detall d'alguns dels danys (dreta).



Figura 48. Afectació als vials i xarxes de comunicacions dins de les urbanitzacions.

3.3.3.2. Actuacions de gestió immediata de l'emergència

La magnitud dels danys va obligar totes les administracions a intervenir; des de la local fins a l'estatal, passant per la insular i l'autonòmica.

Durant la fase d'emergència (primers dies després de la catàstrofe) diferents entitats relacionades amb l'emergència van col·laborar en el restabliment de la normalitat: la Direcció General d'Emergències i Interior, els Bombers del Consell Insular d'Eivissa, personal de la Conselleria de Medi Ambient i Territori (a través de l'IBANAT, de la Direcció General d'Espais Naturals i Biodiversitat i dels Agents de Medi Ambient), el personal de l'Ajuntament de Sant Antoni de Portmany i els agents de la Guàrdia Civil. Aquestes primeres actuacions foren coordinades per tècnics de l'IBANAT, de la Direcció General d'Emergències i de la Direcció General d'Espais Naturals. A la vegada, personal tècnic de GESA va treballar també en el restabliment del servei elèctric (figura 49).

Les primeres actuacions se centraren en l'alliberament de les vies de comunicació i els serveis essencials. Durant la primera jornada varen quedar restablertes gairebé la totalitat de les vies de comunicació i la major part dels serveis d'electricitat i telefonia.



Figura 49. Operaris de l'IBANAT treballant en les primeres hores de la fase d'emergència.

3.3.3.3. Actuacions de restauració executades

Les actuacions de restauració que va desenvolupar la Direcció General d'Espais Naturals i Biodiversitat a través de l'empresa pública TRAGSA com a mitjà propi es varen centrar en les zones amb major interès i accessibilitat i sempre amb l'autorització de les persones o entitats propietàries de les finques. Es va intervenir en una superfície total de 21,31 hectàrees, amb un pressupost de 151.800 €. A més dels treballs finançats per aquest pressupost, s'hi han de sumar els executats per l'IBANAT, pel Servei de Sanitat Forestal,

per la Direcció General de Recursos Hídrics i, per descomptat, pels propietaris afectats que, per compte propi, varen executar treballs de restauració a les seves parcel·les.

a) Objectius

Els principals objectius que perseguien els treballs de restauració del temporal foren minimitzar, prioritàriament, el risc per a la seguretat de les persones, així com els riscos per a la seguretat de la mateixa massa forestal. Per això, resultava imprescindible gestionar l'increment del risc d'incendi forestal generat per la major continuïtat i disponibilitat del combustible, que podia incrementar la virulència del foc en cas d'incendi forestal a la zona. També era important generar escenaris per facilitar l'extinció en cas d'incendi. A més, es pretenia reduir l'impacte paisatgístic en entorns turístics i controlar les plagues forestals.

b) Actuacions executades

Una vegada restablerts els serveis bàsics queda la restauració de la resta de béns afectats. Aquesta restauració es pot classificar en tres grups: edificacions i serveis bàsics, danys a l'agricultura i danys al medi ambient. Tot seguit es detallen les actuacions per a la restauració ambiental.

• Planificació de les zones d'intervenció

La planificació dels treballs consistí a seleccionar les possibles zones de treball, classificar-les segons la prioritat i detectar-ne les limitacions a l'execució. Les principals limitacions que varen condicionar la selecció foren:

- La tipologia del terreny; les actuacions es van centrar en el terreny forestal, encara que es van prioritzar també les zones amb marcat caràcter d'interfície urbà-forestal
- L'orografia, amb pendents notables en algunes zones, torrents i la manca d'accessibilitat. Aquests factors complicaven l'operativa i, en conseqüència, el rendiment de les feines.
- La manca d'accés adequat obligava a disposar de maquinària específica amb bona capacitat de desplaçament per dins del terreny forestal.
- La presència d'antics murs de pedra (parets i feixes) dificultava el moviment de la maquinària i les tasques, especialment les de desembosc.
- La dispersió dels danys també presentava un inconvenient afegit, principalment per la dificultat de concentrar tota la superfície d'actuació en una única zona. L'heterogeneïtat en el grau d'intensitat dels danys va complicar la planificació i la gestió de les autoritzacions de les finques, alhora que va fer disminuir el rendiment general dels

treballs, atesa la major quantitat de desplaçaments.

- El tipus de material a desemboscar i processar, amb una distribució aleatòria i complexa inherent a les zones afectades per fortes ventades, també complicava els treballs, ja que en una mateixa zona no sempre es requereix actuar de la mateixa forma. A diferència de l'extracció de la fusta d'un aprofitament forestal, la d'un temporal ha caigut sense cap ordre i, per tant, treure-la és més complicat, perquè gairebé s'ha d'anar obrint pas permanentment, de manera que els treballs presents permeten l'accés a les zones de treball futur. La presència de branques trencades sol dificultar el pas i augmenta el risc dels operaris de patir un accident.
- A part de les condicions del terreny que en limitaven les actuacions, un altre dels factors limitants va ser l'obtenció de les autoritzacions pertinents per part de la propietat per tal que l'Administració pogués intervenir-hi. Pel fet que els danys del temporal eren exclusivament en terrenys forestals privats, sorgia la necessitat que cada propietari autoritzés la conformitat dels treballs. La gran quantitat de parcel·les afectades (254, de les quals 229 eren rústiques amb vegetació forestal) i, per tant, de propietaris implicats va ser un factor més que en va limitar significativament la gestió posttemporal i la selecció de les parcel·les que calia intervenir.

• Metodologia del treball de restauració

Per tots els condicionants exposats anteriorment, es va decidir emprar maquinària específica i adaptada als factors limitants del terreny abans esmentats i personal altament qualificat. Es calcula que els treballs de restauració forestal varen suposar l'extracció i processament d'uns 11.000 esteris de biomassa (uns 7.500 m³ de fusta), que es varen acumular en el punt d'apilament, amb diferents destins. Per una banda, un terç d'aquest volum de biomassa (uns 3.700 esteris) es va estellar, es va deixar in situ i va ser aprofitada majoritàriament pels propietaris (figura 50). Una petita part d'aquesta biomassa es va deixar escampada al sòl com a adob orgànic. Per altra banda, els dos terços del volum restant (uns 7.300 esteris) es van aprofitar per a ús energètic per part de dues empreses locals gestores de biomassa, que en varen treure majoritàriament dos productes: llenya i estella per a ús domèstic. Finalment, es va procedir a instal·lar 90 trapes per al control poblacional d'escolitins com a mesura preventiva de plagues en el perímetre de la zona d'actuació.

• Treballs de restauració per zones

Els treballs varen començar el mes de juny de 2020. Les actuacions es varen ubicar en diferents llocs, en funció de la prioritització de les zones efectuada en la fase de planificació:



Figura 50. Treballs forestals amb autocarregador apilant la biomassa extreta.

Urbanització de Can Germà. Els treballs de tall i processament dels arbres afectats es van fer amb una brigada de motoserradors, complementats amb la feina de l'autocarregador forestal per extreure la fusta i apilar-la en dos punts diferents per al triturat posterior. Dins del torrent proper a la urbanització, es va treballar amb el tractor agrícola i cabrestant, que arrossegava els arbres fins al camí. Donades les dificultats d'aquesta zona (de pendent i per les feixes existents), part del material no es va poder extreure, ja que l'autocarregador no hi podia maniobrar.

Vessants de Can Mestre. Zona molt afectada pel temporal però idònia per al treball de l'autocarregador. En aquesta zona la maquinària treballava a ple rendiment, a excepció de les zones amb feixes, i l'impacte de la maquinària sobre el sòl fou mínim. Aprofitant aquesta circumstància, es varen baixar els arbres sencers i es varen formar diversos munts de llenya al llarg del camí.

Vessants de Can Mestre (Can Rova). Zona treballada majoritàriament amb autocarregador i puntualment amb el tractor arrossegador, excepte a la part baixa per la presència de murs.

Finca de Can Bernat. Parcel·la de grans dimensions i amb danys d'elevada intensitat. Es va executar tota la superfície amb autocarregador i, posteriorment, tot el material extret es va triturar. La propietat n'aprofità el material (figures 51 i 52).

A banda de les actuacions descrites anteriorment i executades per TRAGSA, l'IBANAT va retirar els pins caiguts per la ventada dins de les faixes de defensa contra incendis del Pla Comarcal de Prevenció. Per contra, el Servei



Figura 51. Troncs apilats a zona executada de la faixa del Pla Comarcal a la finca Can Bernat.



Figura 52. Zona executada a Can Bernat.

de Sanitat Forestal, a través de l'IBANAT, va fer el seguiment i el control de les plagues d'escolitins (*Orthotomicus erosus* i *Tomicus destruens*) i va instal·lar i revisar periòdicament 90 trampes específiques per a aquests insectes. Un seguiment que continua encara avui en dia (figura 53).



Figura 53. Instal·lació de trampes per al control de perforadors en llocs sensibles i zones per apilar biomassa.

Com a treballs complementaris, la Direcció General de Recursos Hídrics de la Conselleria de Medi Ambient i Territori es va encarregar, dins del seu àmbit competencial, de la retirada de restes forestals que havien quedat dins del torrent de Cala Gració, van llevar la part del material que obstruïa el Torrent i que podia suposar un perill, en cas de torrentada, per a la platja de Cala Gració.

Les actuacions dels propietaris varen ser molt irregulars, ja que alguns varen actuar amb els mitjans de què disposaven i d'altres no actuaren, ja fos per falta de mitjans, per impossibilitat d'accés o per no assumir el cost derivat dels treballs, que no quedava compensat pel preu de la llenya (figura 54).



Figura 54. Zona en què no s'havien dut a terme tasques de restauració, a la finca de Can Bernat.

3.3.3.4. Lliçons apreses

L'execució de les obres de restauració en l'abast que pressupostàriament era possible venia precedida de la redacció d'un pla de restauració així com de l'aprovació d'un encàrrec de gestió a mitjà propi (a l'empresa pública TRAGSA), per tal de dur a terme les actuacions planificades de restauració ambiental dels danys sobre hàbitats forestals. La redacció dels dos documents va requerir un cert temps, tot i que cal dir que l'existència d'una experiència similar l'any 2018 a Menorca va facilitar el procediment i en va reduir el temps de tramitació.

La totalitat de la superfície afectada pel temporal es trobava dins de finques privades. Per dur a terme la restauració de part de la zona afectada, hi va haver una altra dificultat rellevant: aconseguir que les propietats de les finques autoritzessin l'Administració perquè hi actués. Aquesta és una tasca que resulta complexa, ja que sovint és difícil conèixer el titular actual de la propietat, bona part del terreny afectat era de propietaris que viuen fora de l'illa, altres havien mort i se'n desconeixien els hereus, etc. De vegades, fins i tot si es localitzaven els propietaris, costava transmetre'ls el missatge que les intervencions eren per minvar el risc d'incendi i d'afectacions futures d'escolitins i, en definitiva, pel bé de la seva propietat. Varen ajudar, en aquest sentit, les reunions informatives realitzades a l'Ajuntament de Sant Antoni de Portmany, en les quals es va poder comunicar la situació als propietaris de les parcel·les afectades i, a la vegada, obtenir-ne les autoritzacions per entrar a treballar-hi si es requeria tècnicament.

Les actuacions de restauració varen ser en general positives per al paisatge, ja que es partia d'un sistema forestal totalment devastat, amb un impacte paisatgístic gran i, per mor de la sensibilitat en què es varen realitzar les actuacions de retirada de l'arbrat, no es va alterar significativament el sotabosc. L'ús d'un autocarregador va suposar una mínima alteració del sòl, sense que s'apreciessin danys a les vies de tret. El nivell de satisfacció en l'assoliment dels objectius és molt alt, ja que es va fer servir el mínim de maquinària i s'aconseguí un bon rendiment tenint en compte les limitacions geogràfiques existents. El tractor agrícola amb cabrestant va tenir una limitació en l'abast, atès que té una llargada de només 50 m. És remarcable que una part important de la biomassa processada resultant dels treballs de restauració (dues tercers parts, el que suposava uns 5.000 m³) es va valoritzar com a producte forestal en el mercat local per part de dues empreses gestores de biomassa, malgrat que el seu aprofitament no repercutís en un increment de la superfície de restauració (cedida a cost zero).

Els treballs executats han tengut una gran importància en la reducció del

risc d'incendi i en la millora de l'ecosistema forestal han facilitat el creixement de les espècies no afectades i han evitat els danys futurs per la caiguda de l'arbrat mort i l'erosió. En les zones danyades amb un menor recobriment previ, la reducció de la densitat del pinar permetrà l'arribada de més llum al sòl i facilitarà el creixement de les espècies més heliòfiles. També afavorirà el creixement d'una nova generació de pins en les noves clapes obertes pels vents, on fins ara la regeneració era més difícil per la manca de llum. En llocs on ha desaparegut el pi i no la savina, fins i tot es podria produir un canvi d'espècie dominant.

Cal dir que tant els ajuts com les subvencions de l'any 2019 del FOGAIBA (subvencions per a prevenció dels danys causats als boscos per incendis forestals, desastres naturals i catàstrofes, 2019-2020) són una bona eina per ajudar en la restauració i per dinamitzar el teixit empresarial local, d'escassa entitat a Eivissa, i que tant es troba a faltar just després de grans perturbacions com aquesta. Per tant, el repte és fer que aquestes subvencions arribin, dins de la zona afectada, al major nombre possible de persones o entitats beneficiàries, per tal que es tradueixin en una important superfície treballada i que es consolidin llocs de treball a l'illa.

3.4. El fibló del 29 d'agost de 2020 a Mallorca

El matí del 29 d'agost de 2020 l'àrea de Banyalbufar, Esporles i Valldemossa va rebre l'impacte d'una tempesta intensa, que va penetrar per la cala Banyalbufar i va irrompre terra endins cap a la urbanització de Nova Valldemossa (figura 55).



Figura 55. Localització de la tempesta destructiva del 29 d'agost de 2020 a l'illa de Mallorca.

En aquest punt, les extensions de massa forestal foren greument afectades, especialment les del puig de Son Planes (figura 56), Son Bunyola, el comellar dels Ossos de Son Valentí i Son Coll, àrea de predominança de *Pinus halepensis* Mill. En aquesta zona, el fenomen es va estendre fins a gairebé els 2 km d'amplada i va afectar el Port des Canonge i altres zones properes. A l'àrea pròxima a la urbanització de Nova Valldemossa, la pertorbació es va reduir en amplada, però es va mantenir en intensitat i va afectar seriosament les masses forestals dels voltants de Son Cabaspre i el pla de sa Mola. Finalment, amb menys intensitat, va afectar el puig dels Boixos, però a partir d'aquell punt els danys foren lleus o aïllats.



Figura 56. Vista general dels danys a la zona de sa Bastida i ses Planes (Banyalbufar).

3.4.1. Situació sinòptica

El matí del 29 d'agost de 2020 una tempesta intensa afectà la costa nord de Mallorca: s'hi produïren un esclafit amb vent intens, un fibló que provocà greus destrosses i pedra (calabruix de més de 2 cm de diàmetre). En aquest cas sembla prou segur que es tracta d'una supercèl·lula, un tipus de tempesta que mostra un alt grau d'organització interna i corrents verticals molt vigorosos, el que provoca que habitualment siguin responsables de fenòmens extrems. De fet, les supercèl·lules són les tempestes responsables dels tornados més importants, els que assoleixen categories EF4-5. El fibló fou qualificat d'EF2 per part de l'AEMET, i va generar un impacte rellevant a la massa forestal, amb una clara marca del trajecte que va seguir entre la zona del Port des Canonge i Son Cabaspre.

La situació meteorològica mostra l'arribada d'un tàlveg cap a l'oest de la Península (figura 57a), al mateix temps que roman molt d'aire càlid en superfície damunt la Mediterrània (figura 57b). Com ja s'ha observat en els anteriors episodis estudiats, és una situació clàssica de temps extrem a les

Balears. És cert que l'entrada d'aire fred no era tan contundent com en altres ocasions, però s'ha de tenir en compte que ens trobàvem a finals d'agost, amb unes temperatures en superfície més elevades que si ens trobéssim a finals de setembre o al mes d'octubre. Amb aquesta situació, de nou, s'hi observen valors molt elevats de CAPE (figura 57c). Arribats en aquest punt, es pot tenir la impressió que els valors elevats de CAPE garanteixen la presència de tempestes intenses, però no és així. De fet, valors elevats de CAPE no garanteixen tan sols que hi hagi tempesta. La relació que sí que es compleix de manera habitual és que quan hi ha una tempesta severa, l'índex CAPE és elevat. A la imatge de satèl·lit (figura 57d) s'hi observa la tempesta quan ja afectava l'est de Mallorca i Menorca en el seu trajecte d'oest a est.

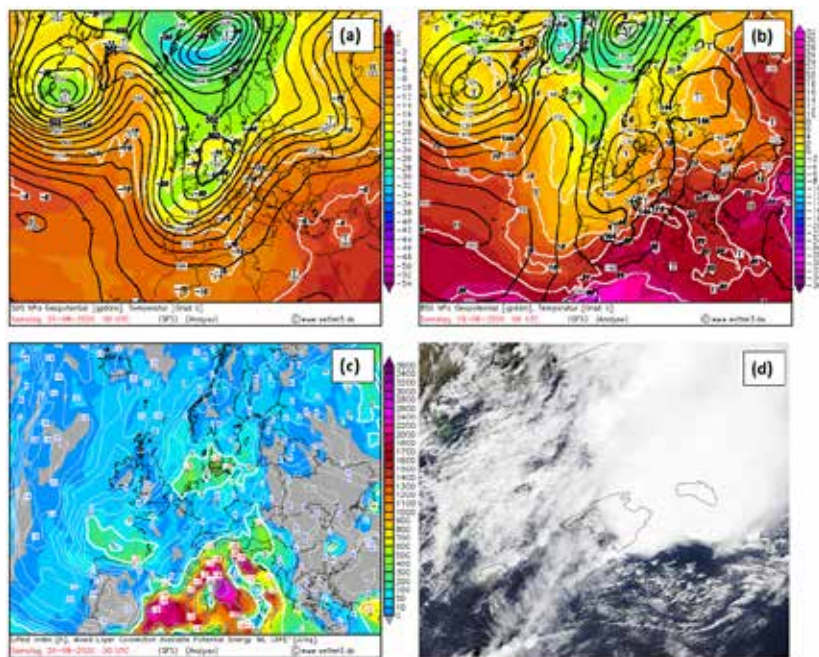


Figura 57. Model meteorològic que representa la temperatura i l'altura geopotencial a 500 hPa (a) i 850 hPa (b), així com els paràmetres convectius CAPE i LI (c). Font: Model GFS consultat al portal web wetter3.de. d) Imatge de la tempesta captada pel satèl·lit MODIS. Font: NASA.

Com en moltes altres ocasions, la tempesta es va generar damunt la mar, a l'oest nord-oest de Mallorca i va anar avançant cap a la serra de Tramuntana. En el seu avanç, el radar mostra un nucli de tempesta que pot semblar petit, però prou intens. S'hi intueix una certa estructura en forma de coma (figura 58a), característica de les supercèl·lules. A més, s'hi pot veure com presentava un desenvolupament vertical molt important, amb echotop

que anaven més enllà dels 12 km (figura 58b). A més, la tempesta va anar acompanyada d'una gran quantitat d'aparat elèctric (figura 58c).

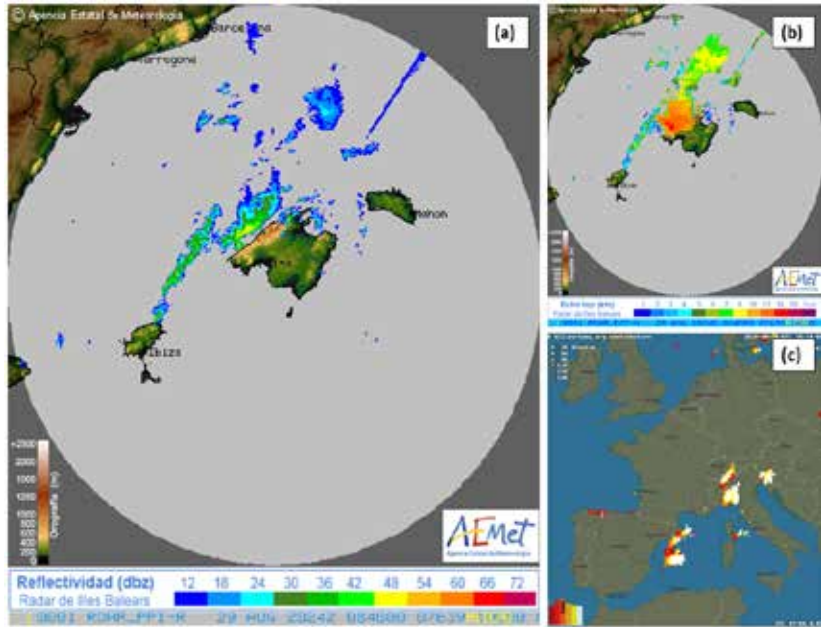


Figura 58. Imatges de radar de reflectivitat (a) i echotop (b). Font: AEMET. c) Mapa de llamps. Font: blitzortung.org.

3.4.2. Magnitud, abast i evolució de la coberta vegetal

Es pot veure com en aquesta pertorbació hi ha una major variació dels índexs treballats respecte de l'àrea no afectada. Novament, s'hi identifiquen diferències més evidents mitjançant l'índex NDII. També s'obté un impacte relatiu força marcat a les zones de major altitud, coincidint amb les àrees més exposades per l'accidentada orografia. L'NBR, en consonància amb la resta d'índexs, identifica clarament les àrees més afectades (figura 59).

A continuació, a la figura 60 es poden visualitzar les imatges prèvies i posteriors al fenomen, juntament amb l'índex NDVI a una resolució de 3 m. L'àrea afectada ha estat incrementada a través de fotointerpretació de zones d'impacte a partir de les imatges d'alta resolució. També s'hi han observat altres punts susceptibles d'haver patit un impacte lleu, que han estat identificades com àrees d'incertesa. En alguns casos, aquestes zones corresponen a zones nues o amb vegetació escassa, difícils d'apreciar, ja que sols apareixen indrets puntuals impactats; en aquest cas, per reduïdes d'arbres que varen desaparèixer. Així, a partir dels valors NDVI i de les

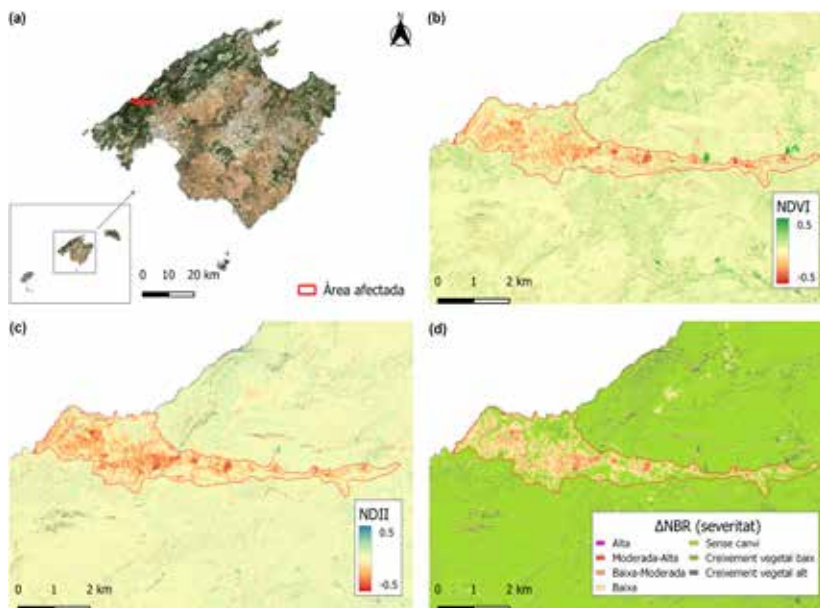


Figura 59. (a) Localització del fenomen del 29 d'agost de 2020 a l'illa de Mallorca. (b) Diferència entre valors NDVI pre- i postpertorbació. (c) Diferència entre valors NDII pre- i postpertorbació. (d) Diferència entre valors NBR pre- i postpertorbació.

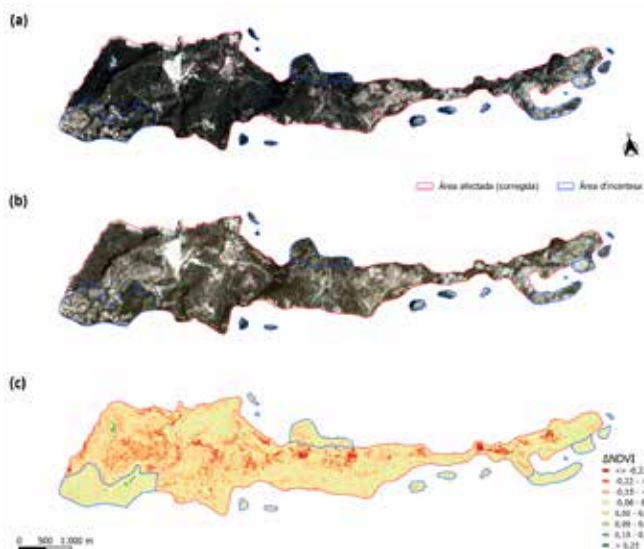


Figura 60. (A) Imatge RGB prepertorbació i (B) postpertorbació. (C) Diferència entre valors NDVI pre- i postpertorbació. Font: Planet.com.

imatges RGB, és possible identificar altres zones d'impacte que no havien estat observades per mor de les dimensions del píxel i que permeten visualitzar canvis a píxels d'uns 10 metres d'àrea, en contraposició amb les imatges Sentinel 2, que permeten el tractament de píxels amb una àrea aproximada de 100 metres apreciables a la composició RGB.

S'ha fet una aproximació de la superfície afectada pel fenomen. L'àrea total afectada va ser de 892,2 ha, de les quals, 383,9 no varen tenir un impacte significatiu. Aquesta dada coincideix amb l'estimació realitzada per l'Administració forestal dies posteriors a l'impacte (vegeu subapartat 3.4.3.1; pàg. 101). De les 415,3 ha restants, el 73,3 % corresponen a àrees de baixa severitat, el 24,8 % baixa-moderada i en menor mesura, s'hi distingeixen algunes zones de severitat moderada-alta (1,77 %) i alguns indrets puntuals de severitat alta, que suposen el 0,1 % de la superfície, afectada de forma considerable. Si s'hi agreguen aquelles àrees susceptibles d'haver estat afectades, se n'obtenen unes noves 179,5 ha possiblement afectades, tot i que en menor mesura.

3.4.3. Resposta de l'Administració pública i de la iniciativa privada

3.4.3.1. Valoració de danys sobre els ecosistemes forestals

Una vegada efectuada l'anàlisi mitjançant les imatges de satèl·lit disponibles, es constata que en total es varen veure afectades 415 ha forestals, amb diferent grau d'intensitat. Segons el IV Inventari Forestal Nacional, en un 85 % d'aquesta superfície hi havia presència significativa de pi (*Pinus halepensis* Mill.), bé formant pinars o bé formant masses forestals mixtes amb una mescla de pi i alzina (*Quercus ilex* L.), en què normalment els pins formen l'estrat superior (més alt) i les alzines formen un estrat inferior (per davall les capçades dels pins). Un 8 % de la superfície afectada era alzarar i la resta eren matollars, zones de cultiu, roquissars i zones urbanes. Gairebé la totalitat de la superfície afectada forma part del paratge natural de la serra de Tramuntana i 263 de les hectàrees afectades s'integren a la Xarxa Natura 2000.

L'afectació es va concentrar majoritàriament en l'estrat superior de la vegetació forestal de la zona, és a dir, en els pins més grossos. I dins d'aquest estrat forestal més alt, es varen veure afectats els pins de major diàmetre i capçades més grosses, mentre que els pins dominats (més esvelts –alts i prims– i amb capçades esquifides), així com els més joves, varen poder resistir els forts vents. En les zones de major intensitat, gairebé tots els pins es varen veure afectats.

La major part dels arbres afectats estaven escapçats, és a dir, que el vent

havia tombat i desplaçat la capçada de l'arbre i només en quedava en peu el tronc (d'una alçària que en general oscil·lava entre els 2 i els 8 metres) esqueixat a la part superior, com es pot observar a la figura 61.



Figura 61. Vista detallada dels danys en l'estrat arbori.

Afortunadament, no hi va haver cap víctima mortal i les incidències en la salut de les persones es varen limitar a ferides en general lleus. Pel que fa als danys materials, les cases varen patir sobretot danys en teulades, així com en vidrieres, portes i obertures en general, terrasses, instal·lacions i estructures exteriors, etc. També varen patir danys bona part dels cultius agrícoles. La xarxa de telefonia i internet també va patir desperfectes, ja que molts arbres o capçades varen caure a damunt la instal·lació telefònica i, en menor mesura, sobre la xarxa de distribució elèctrica a la zona; el Port des Canonge va romandre unes hores incomunicat, perquè l'únic accés per carretera estava tallat i no hi havia servei de telefonia ni electricitat.

Pel que fa a la xarxa viària, els danys es varen concentrar en les infraestructures annexes, com ara petits marges, parets de protecció, senyals, etc., però ni a la carretera Ma-10 (entre els punts quilomètrics 75 i 88) ni la carretera del Port des Canonge i la carretera Ma-1100 (entre Esporles i el creuer amb la Ma-10 en el desviament cap a Valldemossa, a ses Mosqueres), no es varen produir ni grans esllavissaments ni grans esbaldrecs de marges sustentadors de la carretera.

3.4.3.2. Actuacions de gestió immediata de l'emergència

A les 10.52 h del matí de dia 29 d'agost va entrar el primer avís al 112, a les 10.57 h, ja amb uns quants avisos més, el 112 va reportar l'incident als diferents organismes implicats en la gestió d'emergències, entre ells a la Conselleria de Medi Ambient i Territori (mitjançant la Central de comunicacions d'incendis forestals), que es va posar a treballar in situ amb un equip de 47 persones, que es varen incorporar al grup d'intervenció format també pels Bombers de Mallorca, i pels voluntaris de Protecció Civil, Policia Local, Guàrdia Civil, personal de la Direcció General d'Emergències i Interior, de la Direcció Insular de Carreteres del Consell de Mallorca i del OGI.

L'objectiu prioritari era la reobertura de la xarxa viària per permetre l'accés dels vehicles d'emergència i de serveis (electricitat i telecomunicacions), així com la sortida dels veïns atrapats en vehicles als nuclis de Banyalbufar, Port des Canonge i en habitatges aïllats. Les principals actuacions varen consistir en la tala i la retirada dels arbres caiguts a la xarxa viària i als carrers del Port des Canonge, així com també la retirada de terra i pedres de la xarxa viària (figura 62).



Figura 62. (a) Obertura de la xarxa viària a la Ma-10 i (b) baixant al Port des Canonge.

3.4.3.3. Actuacions de restauració executades

La Conselleria de Medi Ambient i Territori va començar a treballar en la tramitació administrativa i en la planificació tècnica dels treballs de restauració a partir del dilluns dia 31 d'agost, una vegada acabades les principals actuacions de gestió de l'emergència. Es va sobrevolar el terreny per fer les primeres aproximacions cartogràfiques de la zona afectada i poder-ne avaluar el nivell d'afectació. A partir d'aquesta informació – completada amb les visites per terra així com per tota la informació que varen aportar els Agents de Medi Ambient, les persones afectades, els ajuntaments i el personal que hi havia fet feina els dies 29 i 30 d'agost – els dies següents es varen planificar les actuacions prioritàries (aquelles necessàries per garantir o maximitzar la seguretat allà on confluïssin un ús públic intens i una elevada intensitat dels danys), que s'havien d'executar

de manera urgent. Paral·lelament, es varen anar definint i planificant la resta d'actuacions necessàries, però ja a curt i mitjà termini, tot realitzant la tramitació ordinària pertinent. En aquesta planificació ja es disposava d'imatges de satèl·lit posteriors al temporal destructiu sense níguls, cosa que va permetre precisar millor la planificació.

El pressupost disponible, 1.130.000 euros, no permetia actuar en tota la superfície afectada, així que va ser necessari establir prioritats. Per això, es varen ubicar les actuacions en aquelles zones que tenien un interès comú o estratègic i en les quals, comptant que no hi va haver finques públiques afectades, lògicament la Conselleria disposàs de la pertinent autorització de la propietat per executar-hi les tasques necessàries.

Tenint en compte el que s'acaba d'exposar i seguint els criteris bàsics detallats en l'apartat 2.6 d'aquest llibre, en aquest temporal destructiu les feines planificades es poden classificar en 4 eixos d'actuació, que pretenien assolir els següents objectius:

- Reduir el risc per a la seguretat de les persones i els seus béns: tot i la reobertura de la xarxa viària i dels accessos als habitatges feta els primers dos dies, quedava encara molt de material inestable en les zones d'ús públic (a banda i banda de les carreteres, sobretot, però també devora les cases). Aquest material podia caure les setmanes següents amb una hipotètica nova ventada, motiu pel qual era prioritari generar unes faixes o franges de seguretat a banda i banda de la xarxa viària, en aquells trams que es consideressin més rellevants segons l'afectació i el nivell d'ús públic del tram (volum de circulació).
- Gestionar l'augment del risc d'incendi forestal: com es pot veure a la figura 63, aproximadament un 95 % de la zona afectada estava classificada com a zona d'alt risc d'incendi forestal (ZAR), que comprèn risc alt, molt alt o extremadament alt –aquest darrer, a més a més, representava el 75 % de la superfície afectada. Tenint en compte que aquesta classificació era abans del temporal, si s'hi afegeix tot el material tombat o caigut i que amb els mesos es va assecant, es pot copsar la problemàtica que pot comportar l'acumulació de tota aquesta fusta si no es duia a terme cap actuació.

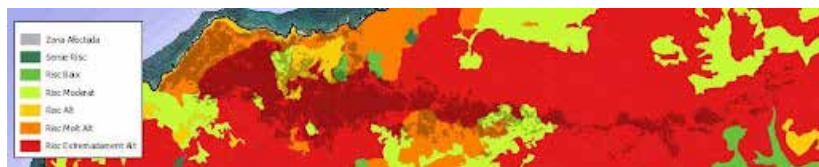


Figura 63. Risc d'incendi forestal en la zona afectada.

- Fer un seguiment de les poblacions d'insectes escolitins: com s'ha comentat a l'apartat 1.5 del llibre, l'acumulació de material caigut i, sobretot, la presència dels pins debilitats (que han sobreviscut però que han quedat ferits i que, durant els mesos següents, són vulnerables a aquests insectes) genera la necessitat de fer-ne un seguiment poblacional que permeti detectar a temps, si és el cas, un increment poblacional extraordinari que faci necessari plantejar futures actuacions de control.
- Minimitzar l'impacte paisatgístic: el temporal va afectar una zona molt sensible des del punt de vista del paisatge. Hi ha vessants afectats que tenen una conca visual molt impactant, des del poble de Banyalbufar o des del Port des Canonge. A més a més, sent la serra de Tramuntana patrimoni de la humanitat pel seu paisatge cultural i l'elevat ús turístic de la carretera Ma-10 que creua la serra, fa que la zona afectada quedàs molt impactada paisatgísticament.

3.4.3.4. Actuacions executades

Es varen executar treballs en un total de 111,16 hectàrees, i en 18 d'aquestes hectàrees, a més a més del treball pertinent, es va dur a terme una poda de les alzines afectades. La superfície executada es distribueix tal com s'exposa a continuació, segons l'objectiu que es pretenia assolir amb les actuacions.

· Minimitzar el risc per a la seguretat i també el risc d'incendi forestal

Faixa de seguretat / faixa de defensa: 62,91 hectàrees. Es varen obrir unes franges, paral·leles a la xarxa viària principal, d'una amplada fixa (20 o 30 metres a banda i banda, segons la zona), per tractar d'eliminar el risc de caiguda sobre la carretera del material tombat pel cap de fibló i per generar discontinuïtat de combustible forestal i contribuir a fragmentar o compartimentar les zones afectades. És a dir, amb aquesta actuació es donava resposta als dos primers objectius esmentats abans. En aquestes zones, un equip de motoserradors feia una primera passada rebaixant els brancams caiguts i tombant els troncs esqueixats que quedaven en peu; a continuació l'skidder estirava els troncs cap a la carretera (figura 64), i després es trituraven les capçades. Els troncs acumulats a la vora de carretera es trossegaven i es carregaven a camió.

Pel que fa a la trituració, s'han de diferenciar dos procediments en funció de la maquinària utilitzada. A la carretera del Port des Canonge es va fer amb retroaranya, de manera que, una vegada que l'skidder havia retirat els troncs talats, passava la retroaranya per tota la zona (figura 65a) i, amb un capçal triturador, capolava tant les capçades com també alguns pins esqueixats de diàmetre inferior als 25 cm, que el capçal podia triturar tot i haver quedat



Figura 64. Skidder arrossegant troncs danyats, prèviament talats.

en peu. A la resta de la xarxa viària, la trituració es va fer amb Forus (figura 65b), una trituradora incorporada al xassís d'un autocarregador. Aquesta màquina no té la capacitat de la retroaranya per treballar en zones de pendent pronunciat i en trams de difícil accés treballava des de la carretera; per tant, quan el braç de la grua de Forus no hi arribava, necessitava que l'skidder li acostés el brancam romput fins a la vorera de la carretera o el camí.



Figura 65. Retroaranya (a) i trituradora Forus (b), màquines emprades per triturar les restes vegetals.

IBANAT va treballar en unes 8,50 hectàrees de la carretera Ma-10, en bona part del tram comprès entre el desviament de la carretera d'Esporles (punt quilomètric 79,2 de la Ma-10) i el coll d'en Claret (punt quilomètric 75,5), retirant el material caigut i després eixermant la vegetació arbustiva per tal de deixar repassada la faixa d'incendis de la Ma-10 en aquella zona (figura 66).



Figura 66. Fotografia aèria de la Ma-10 (punt quilomètric 76); s'hi aprecia clarament la faixa executada.

Obertura de camins públics: 4,08 ha. Es varen obrir els traçats del camí de sa Volta des General i del camí des Pescadors, que baixa des de Mirant de Mar fins al Port des Canonge a través de Son Coll. Pel que fa a sa Volta des General, que rep un major nombre de persones (sobretot en la tardor i en l'hivern), les feines les va executar l'IBANAT ja a partir de dia 1 d'octubre de 2020 (figura 67). Una brigada, recolzada per un tractor amb grapa i cabrestant, va començar a fer feina per reobrir aquest camí públic que connecta l'aparcament adjacent a la Ma-10 (punt quilomètric 85,3, aproximadament) i el Port des Canonge. Es van començar les feines des de la Ma-10 cap al Port des Canonge. Donat l'elevat pendent de la zona, es va fer una petita franja de seguretat, d'entre 3 i 5 metres, a la part de dalt del camí, per minimitzar el risc de caiguda del material sobre el traçat de la via. Per davall es va treballar el primer metre i es van prioritzar sobretot aquells arbres o restes de brancam que tenien risc de caure al camí tot i estar a la part baixa. Es trossejaven els troncs i els materials més primers es redistribuïen sobre el camí formant cordons, que posteriorment eren triturats amb una trituradora de martells acoblada a un tractor. En el cas del camí des Pescadors, una brigada de TRAGSA va obrir el traçat del camí retirant tots els brancams i troncs caiguts o perpendiculars al camí o adjacents que tenien un risc evident de caure-hi.



Figura 67. El mateix punt del camí de sa Volta des General, abans (esquerra) i després de l'actuació (dreta).

Trituració de caramulls de restes: amb les trituradores disponibles (d'IBANAT i de TRAGSA), es varen triturar diferents punts d'acumulació de restes durant un total de 461 hores entre les dues trituradores. Pel seu volum, convé destacar els dos caramulls ubicats al Port des Canonge, generats per donar una resposta a les parcel·les afectades en la urbanització i que no estaven ubicades en la faixa de defensa (que és annexa a la carretera o al carrer principal, però que no segueix els carrers transversals de la urbanització). Un camió llogat per l'Ajuntament de Banyalbufar va anar acaramullant aquestes restes i posteriorment es varen triturar. També es va triturar un caramull a ses Barraques, provinent de restes de la carretera que es varen acumular allà els dies immediats al temporal, durant les tasques d'obertura de l'accés al Port des Canonge.

• Gestió del risc d'incendi forestal

Gestió de combustible forestal en punts crítics: 12,82 hectàrees. Es varen localitzar els punts crítics definits pel IV Pla General de Defensa contra Incendis Forestals de les Illes Balears, en concret ubicats al coll de sa Bastida i a ses Planes (figura 68; Banyalbufar). Al seu voltant es va fer el mateix tractament que per a les faixes: tallar i extreure el tronc i triturar la capçada in situ mitjançant Forus.



Figura 68. La mateixa ubicació, devora els punts crítics de ses Planes, abans (esquerra) i després de l'actuació (dreta).

· Minimitzar l'impacte paisatgístic

Tala i trossejat manual: 23,20 hectàrees. En les zones més inaccessibles per a la maquinària i amb pendent, però que entraven dins del camp visual de les zones classificades com a paisatgístiques, es va decidir talar els troncs esqueixats que quedaven drets, trossejar-los un pic a terra, i trossejar també les capçades, per rebaixar tot el material afectat i deixar-lo in situ, en contacte directe amb el sòl (figura 69a). Com que eren zones on no era difícil extreure el material, amb aquesta actuació s'accelera la incorporació de la matèria orgànica al sòl, es rebaixa l'altura del material sec (i es redueix la continuïtat vertical de combustible), alhora que es guanya en qualitat paisatgística de les zones més transitades.

Feixines: 8,15 hectàrees. Com ja s'ha exposat, a diferència del que passa després d'un incendi forestal, els estrats herbaci i arbustiu no s'han vist afectats fins al punt de deixar el sòl exposat a l'erosió hídrica. Tot i això, en algunes zones de pendent elevat i amb poc recobriment del sòl, es va considerar oportú fer una caiguda ordenada dels troncs esqueixats en peu, així com de les branques més gruixades de les capçades caigudes (figura 69b). Aquesta actuació consistia a tombar els troncs en el sentit de les corbes de nivell per generar un petit *marge orgànic*, que ajudés a retenir el sòl en cas de pluges intenses que generin escorrentia superficial. En aquelles zones denses on els troncs eren més prims se n'agrupaven uns quants en cada feixina.



Figura 69. Zona de tala i trossejat manual (esquerra) i zona de feixines (dreta).

Poda d'alzinar: 18 hectàrees. En bona part de la zona afectada hi ha una proporció significativa d'alzines danyades, sovint no directament pel vent, sinó a conseqüència de la caiguda de les capçades dels pins. Per afavorir-ne la recuperació, aprofitant la capacitat de rebrotar que té aquesta espècie, es varen podar les alzines ubicades en les zones més accessibles (properes a la xarxa viària), en zones ja treballades. Per evitar que les noves brostes fossin pasturades per les cabres assilvestrades presents a la Serra de Tramuntana, en aquells casos en què l'exemplar estava severament afectat, en lloc de tallar-lo arran de soca, s'ha tallat a una altura tal que els nous brots no estiguessin a l'abast de les cabres.

· Seguiment de les poblacions d'escolitins

Control i seguiment poblacional d'escolitins: es varen instal·lar 170 trampes per al seguiment i el control poblacional dels escolitins *Tomicus destruens* i *Orthotomicus erosus*. Es varen distribuir per tota la zona afectada, prioritzant els extrems, és a dir, les zones de transició entre la zona no afectada i l'afectada. La finalitat era detectar un increment poblacional extraordinari que pogués repercutir en l'estat fitosanitari dels pins que sobrevisqueren al temporal, així com dur a terme un primer control poblacional. Les trampes es varen revisar cada dos mesos, moment en què s'aprofitava també per substituir l'atraient (kairomona en el cas de *Tomicus destruens* i feromona en el cas d'*Orthotomicus erosus*).

Fruit d'aquest seguiment i de les visites periòdiques a la zona, durant la tardor de 2021 s'han detectat pins amb capçades engroguides en diferents punts de les zones afectades. Aquest fet és, en el moment de redacció d'aquest llibre, motiu d'anàlisi per tal de determinar-ne el nivell d'afectació i, si escau, el tipus d'actuació necessària.

· Seguiment d'espècies protegides i d'arbres catalogats

En la zona d'afectació, el Servei de Protecció d'Espècies va fer un seguiment d'una població de *Gennaria diphylla*, una espècie de la família de les orquídies molt rara a Mallorca que s'havia localitzat devora el Port des Canonge. En concret, es varen retirar les restes acumulades damunt els diferents exemplars i es varen revisar les reixes protectores que tenien.

3.4.3.5. Lliçons apreses

En tant que per assumir aquestes actuacions normalment es necessiten partides pressupostàries extraordinàries, és fonamental una primera resposta tècnica àgil i intensa que recopili tota la informació disponible per fer-ne un primer diagnòstic, una primera planificació i un pressupost estimat. Traslladar la situació als càrrecs polítics, així com la primera planificació tècnica (en forma de pla preliminar de restauració) aporta confiança i ajuda a fer entendre la necessitat d'actuar com més aviat millor. Això permet obtenir recursos extraordinaris i, en conseqüència, actuar al cap de poques setmanes; en cas contrari, la tramitació administrativa ordinària implica començar a executar les feines amb mesos de retard.

L'avantatge innegable que va representar poder actuar al cap de 16 dies del temporal també va comportar la dificultat d'haver d'executar actuacions amb poques visites de camp i disposant només d'una planificació preliminar. Donada la recurrència d'aquests fenòmens els darrers anys a les Balears, s'han de capitalitzar les diferents experiències tècniques de manera que es disposi d'una guia d'actuació que relacioni diagnòstic (tipus

i gravetat del dany) i actuació de restauració (tipus d'actuació recomanada i maquinària òptima). Alhora, es podria contemplar tota la relació de lliçons apreses, tant pel que fa a l'execució tècnica com pel que fa a la coordinació i la gestió administrativa. Això permetria optimitzar la resposta immediata i també la resposta a curt i mitjà termini.

Donat el fet que en els darrers tres temporals destructius no hi ha hagut cap declaració d'interès general, la distribució de la propietat és també un element clau: com major és el nombre de parcel·les o de propietats diferents, major nombre d'autoritzacions es requereixen per entrar-hi a actuar. Això normalment sol comportar una execució possibilista que s'ajusta no tant a les prioritats tècniques de restauració, sinó a les parcel·les disponibles (les que han autoritzat l'Administració). En el cas d'aquest cap de fibló, la concentració parcel·laria i la voluntat dels propietaris d'autoritzar l'Administració per executar-hi els treballs va facilitar significativament la tramitació prèvia a l'execució i va permetre actuar amb coherència tècnica.

Un aspecte fonamental de la planificació dels treballs forestals és el grau d'aprofitament del material vegetal afectat: en aquest cas, dels troncs i les capçades afectats. El grau de demanda d'aquest material implica que passi a ser tractat com a *resta vegetal* o com a *producte forestal*. Més enllà de les valoracions socioeconòmiques, ecològiques o fins i tot polítiques que d'això es puguin derivar, té una connotació pragmàtica o tècnica bàsica: l'organització dels treballs que cal executar. En aquest cas, excepte casos puntuals i a petita escala, si es contempla la zona afectada en conjunt, hi va haver un escàs aprofitament dels brancams i els troncs afectats. Si hi hagués hagut una forta demanda des del sector forestal de Mallorca per aprofitar totes les restes generades (almanco les processades en les feines de la Conselleria de Medi Ambient i Territori), s'hauria pogut optar per una organització diferent, basada en la treta de troncs, brancams o arbres sencers a carregador (punts on poder acaramullar el material), i allà triturar-los o trossejar-los de manera que el material processat es carregués directament dins d'una caixa de camió per fer-ne el transport.

A les zones gestionades per la Conselleria, la presència d'empreses de la Península tampoc ha servit per dur a terme aquest aprofitament per falta d'acord amb les propietats afectades. Aquesta situació va provocar que la gran majoria del material afectat quedés triturat in situ o, en molta menor mesura, trossejat. Òbviament, és molt positiu deixar material triturat in situ, en tant que representa una aportació de matèria orgànica al sòl a mitjà termini. Emperò, donada l'elevada acumulació de restes, s'hauria pogut compatibilitzar perfectament un aprofitament forestal amb

el processament de restes destinat a accelerar-ne la descomposició i la incorporació al sòl.

Des de l'Administració forestal s'ha de fer una avaluació dels motius que provoquen que aquests fenòmens no generin una interrelació a gran escala o a escala de *gran finca* entre el sector forestal de Mallorca i els propietaris de les finques. Amb qualche notable excepció, els treballs de les empreses privades forestals s'han centrat en la reobertura dels camins i a alliberar les infraestructures més crítiques, un fet normal perquè que és el prioritari; però en aquest cas, en què hi havia finques extenses amb una predisposició a actuar en una superfície significativa, es pot concloure que s'ha perdut una oportunitat per generar sector i tecnificar-lo amb personal qualificat i, qui sap si, com a conseqüència, amb maquinària nova.

Convé posar en valor el paper de dues màquines; per una banda, l'*skidder*, ja que la seva potència, l'abast dels 2 cabrestants (fins a 50 metres sense dificultat i de vegades fins a 60 metres) i la perícia del maquinista varen fer del tractor forestal la màquina clau sobre la qual va pivotar tota l'execució de les feines. Per altra banda, a la trituradora Forus, que va treballar la major part del temps en la mateixa xarxa viària o a prop, cosa que va fer que tengués molta mobilitat i que no es quedés triturant en uns llocs fixos. Tot i que les interrupcions pel trànsit i pels continus desplaçaments en van comportar una pèrdua del rendiment, sí que va suposar un benefici ambiental, en tant que aquesta mobilitat es va traduir en una major dispersió de les restes triturades, fet que va evitar crear una capa massa gruixuda de triturat. Pel que fa a la retroaranya, el seu rendiment va anar molt lligat a la perícia del maquinista: va ser molt bo al Port des Canonge però una vegada que, desgraciadament, no es va poder seguir comptant amb el primer maquinista, els dos que varen venir després no varen rendir de la manera esperada i es va haver de prescindir de la màquina.

L'actuació de tala i trossejat manual es va dur a terme a conseqüència de la impossibilitat de seguir disposant d'una retroaranya eficient com la que havia executat les feines al Port des Canonge. Una vegada sense retroaranya, es va decidir actuar en aquestes zones igualment, ja que eren punts sensibles des del punt de vista del paisatge i també des del punt de vista d'incendis forestals i es va optar per aquesta opció perquè era barata i permetia abastar una major superfície en zones on no era possible dur a terme una altra actuació; o era molt costós i comportava concentrar el pressupost en una superfície considerablement menor. Ha estat una actuació debatuda entre els tècnics de la mateixa Administració forestal, ja que queda molta càrrega de combustible in situ dels primers anys i vist de prop pot semblar que no s'hi ha actuat. Per tant, i com a part de l'exercici

de capitalització d'experiències esmentat abans, és convenient, dins del seguiment periòdic de la zona treballada, avaluar com evolucionen les zones on s'ha executat aquesta actuació en concret i en el seu entorn immediat per poder treure'n les conclusions oportunes de cara a futurs temporals destructius.

4. ELS IMPACTES ECOLÒGICS, ECONÒMICS I SOCIALS DELS TEMPORALS DESTRUCTIUS

AUTORS

Josep Fortesa, Joan Estrany

4. ELS IMPACTES ECOLÒGICS, ECONÒMICS I SOCIALS DELS TEMPORALS DESTRUCTIUS

10.3306/TDBIB.2022.4

4.1. Anàlisi dels impactes ecològics

El principal impacte ecològic és la rompuda més o menys greu de l'estrat arbori, ja sigui amb caiguda completa des de la soca (arrabassats) o parcial (rompuda de branques i cimals). Aquesta caiguda inicial d'arbres suposa un increment del risc d'incendi forestal, ja que el contingut d'humitat i l'estructura de la biomassa existent es veuen afectats i s'hi incrementa el combustible forestal. Així doncs, resulta fonamental desembosc o processar la biomassa per tal de reduir el risc d'incendi en aquelles zones estratègiques; és a dir, convé minimitzar el potencial d'una possible pertorbació secundària (Mitchell, 2013). No obstant això, l'arrossegament de troncs afavoreix l'erosió del sòl. Per aquesta raó, i en funció de la vulnerabilitat del sòl, pot ser convenient dur a terme el desembosc de manera suspesa fins a zones habilitades per a processar-los o, en zones de fort pendent i amb menor recobriment de la vegetació, deixar-los in situ formant feixines per prevenir-ne l'erosió tal com s'ha explicat als subapartats dedicats a la resposta de l'Administració pública de cada temporal analitzat. El producte forestal que se n'extreu com a resultat del seu processament pot tenir diferents destins en funció de les oportunitats del sector forestal per aprofitar el producte en el mercat, sigui com a font d'energia o com a matèria primera per a la construcció. Ara bé, especialment en el cas de les Illes Balears, on no hi ha un mercat de la biomassa estructurat i amb capacitat de generar un valor afegit als productes forestals resultants de la restauració, en la majoria dels casos la biomassa es tritura i es deixa in situ per al seu compostatge i la seva posterior incorporació al sòl de manera natural. Pel que fa a la vegetació de sotabosc, en general no es veu afectada per efectes directes dels temporals, encara que sí que es pot veure afectada en major o menor grau d'intensitat pels treballs de desembosc dels arbres abatuts. Per això, és important una bona planificació de les vies de desembosc, ja que, tot i la capacitat rebrotadora de la gran majoria d'espècies arbustives

presentes a les zones afectades, convé minimitzar l'afectació a la vegetació romanent (Mauri i Pons, 2019), excepte en aquelles zones estratègiques per a la prevenció d'incendis recollides en el IV Pla de Defensa contra Incendis (Govern de les Illes Balears, 2015); és a dir, punts crítics, faixes de prevenció adjacents a la xarxa viària principal, etc., on convé deixar una menor densitat de la vegetació arbustiva romanent per generar discontinuïtat entre el combustible vegetal.

Un altre efecte dels temporals és el canvi de l'estructura del sistema forestal, perquè s'elimina una gran part de l'estrat arbori. En alguns casos, quan la regeneració natural de les espècies arbòries afectades no ha estat exitosa, ha acabat predominant una formació arbustiva sense arbrat i, per tant, se n'han vist alterades les dinàmiques ecològiques. En altres casos, l'efecte del temporal ha suposat una substitució de les espècies dominants de l'arbrat. Per exemple, allà on hi predominava una formació arbrada de pinar amb sotabosc d'alzina, aquesta darrera s'ha vist afavorida per l'eliminació de la competència que li suposava el pinar i ha passat a ser-ne l'espècie principal. Un altre impacte important dels temporals als sistemes forestals és que n'augmenten la vulnerabilitat a les plagues i a les malalties. Com ja s'ha explicat en els capítols anteriors, la potencial explosió d'escolitins és crítica després d'un fenomen que ha tombat centenars o milers d'arbres. Els escolitins poden afectar els arbres que han quedat vius després del temporal i agreujar-ne els efectes negatius. A banda d'això, també cal remarcar el greu perjudici sobre els sistemes forestals que poden fer les superpoblacions d'herbívors, com per exemple la cabra assilvestrada a la serra de Tramuntana, que suposa un risc seriós per a la regeneració natural de les espècies arbrades i provoca danys greus sobre la vegetació romanent (Mayol, 2017).

Un altre dels impactes que presenten els temporals descrits en aquest llibre és el gran canvi paisatgístic que generen. Les àmplies extensions devastades per l'efecte del vent afecten grans conques visuals de molts d'indrets habitats —per exemple tot el recorregut de la carretera Ma-10, a Banyalbufar, Mallorca, que és molt valorat pel turisme perquè ha estat declarat patrimoni de la humanitat per la UNESCO— i fan necessari planificar actuacions de restauració. A més, les masses arbrades queden fortament desestabilitzades després del fenomen, fet que n'incrementa la vulnerabilitat davant qualsevol altre episodi de vent o d'inclemència meteorològica.

4.2. Anàlisi dels impactes econòmics i socials

En relació amb els efectes econòmics i socials, els temporals que tomben un gran nombre d'arbres suposen un cost econòmic elevat i una dificultat

afegida per a la gestió, el processament i la treta del material forestal atesa la disposició dels arbres, que estan sotmesos a grans tensions, que requereixen moltes mesures de protecció personal i de seguretat en el treball, molts treballadors i maquinària especialitzada en terrenys abruptes i amb presència de gran quantitat de vegetació. De la gestió de l'arbrat afectat, se n'obtenen diferents productes amb diferent valor comercial. El producte amb major valor són els troncs de fusta (2,1 m de longitud) per a serradora. A continuació, la llenya de fusta prima (40-60 cm) derivada de branques i cimals, en funció del cost de processament i extracció, o bé queda de manera ordenada al bosc o bé habitualment és aprofitada com a llenya per a estufes i xemeneies pels propietaris o els veïnats de la zona. Finalment, el brancatge més prim en general es tritura i es deixa per a la incorporació natural al sòl, atès el poc valor comercial que té.

Allà on el terreny és abrupte, en alguns casos puntuals pot ser necessari desemboscar els arbres sencers mitjançant un helicòpter o amb instal·lacions de desembosc amb cable aeri, la qual cosa implica un cost econòmic afegit.

Ara bé, el principal cost dels treballs de restauració és el dels mitjans mecànics i els recursos humans. Per al cas del temporal del 2001, la plantilla operativa de l'IBANAT arribà a un total de 84 persones de brigada i 16 persones que s'encarregaren de tasques de maneig i conducció de maquinària específica. Cal afegir que en funció de la tipologia dels treballs, del personal disponible o per raó d'urgència o de cost, es decideix si l'execució serà amb mitjans propis o bé per contractació externa. En cas de contractació externa s'elaboren lots d'adjudicació tan homogenis com sigui possible a les empreses privades, en funció de l'agrupament de les finques (ubicació geogràfica), de la metodologia de treball (tritració, construcció de feixines) o dels sistemes de desembosc (arbre suspès o arrossegament).

Tal com s'ha descrit en els capítols anteriors, els impactes socials dels temporals són diversos i de diferent magnitud. Per al cas del temporal de l'any 2001, per la gravetat dels danys i l'extensa superfície d'afectació (més de 12.000 ha), va ser necessari perllongar les actuacions de restauració fins a l'any 2005, cosa que va suposar una despesa estimada de 6.152.907 € per a les arquitectures públiques i que va comportar l'extracció i el processament d'uns 138.716 arbres.

El temporal de Menorca ocasionà una fallida en el subministrament elèctric que afectà 38.000 clients d'Endesa, alguns dels quals varen estar fins a 48 hores sense aigua ni subministrament elèctric. Per tal de revertir la situació i de reactivar el subministrament elèctric, la Unitat Militar d'Emergències

traslladà 60 grups electrògens a l'illa de Menorca. A Eivissa, el temporal afectà 100 habitatges i 5 vehicles a causa de la caiguda d'arbres, a més de deixar 50 habitatges sense subministrament elèctric.

El temporal del 2020, que afectà els termes municipals de Banyalbufar, Esporles i Valldemossa, va deixar sense subministrament elèctric 4.770 abonats i es van haver de tallar les carreteres que connecten els tres municipis (GOIB, 2020). Totes aquestes circumstàncies varen generar uns perjudicis econòmics molt difícils de quantificar, però que en tots els casos s'estima que són milionaris.

4.3. Impacte dels temporals als espais naturals protegits de les Illes Balears (ENP)

Cal destacar que els principals temporals destructius de les masses forestals de les Illes Balears, que s'han descrit en aquest llibre, han afectat de manera significativa àrees protegides per les principals figures de protecció ambiental, amb valors ecològics, geològics i paisatgístics excepcionals. Provocaren importants danys en les àrees protegides incloses a la *Llei 1/1991 d'Espais Naturals, Espais Naturals Protegits* (LEN), tals com les Àrees Natural d'Especial Interès (ANEI), espais amb singulars valors naturals; les Àrees Rurals d'Interès Paisatgístics (ARIP), espais transformats per activitats tradicionals i amb valors paisatgístics; i les Àrees d'Assentaments dins Paisatge d'Interès (AAPI), espais destinats a usos i activitats de la naturalesa urbana amb singulars valors paisatgístics o per la seva situació. Així, les àrees afectades pels temporals de Mallorca el 2001, Menorca el 2018, Eivissa el 2019 i Banyalbufar-Esporles-Valldemossa el 2020 comptaven amb un 58,6 %, 83,7 %, 86,7 % i 100 %, respectivament, d'àrees que inclouen alguna de les tres figures de protecció de la LEN esmentades anteriorment.

A més, els espais forestals afectats també estan sotmesos, en major o menor mesura, a les figures d'Espais Naturals Protegits (ENP) que declara la *Llei 5/2005, de 26 de maig, per a la Conservació dels Espais de Rellevància Ambiental* (LECO), segons la representativitat, la singularitat, la fragilitat o l'interès dels seus elements o sistemes naturals. En aquest cas, el 29 %, 42,3 % i el 93,8 % de les àrees afectades pels temporals de Mallorca, Menorca i Banyalbufar-Esporles-Valldemossa respectivament es consideren Espais Naturals Protegits (ENP). Només els terrenys afectats pel temporal d'Eivissa de l'any 2019 no estan inclosos en cap figura de protecció segons la LECO. Finalment, els temporals també afectaren zones protegides per la Xarxa Natura 2000. Aquesta és una xarxa ecològica europea integrada per Zones Especials de Conservació (ZEC), Llocs d'Importància Comunitària (LIC) i Zones d'Especial Protecció per a les Aus (ZEPA). La declaració d'aquestes

zones té com a objecte contribuir a garantir la biodiversitat en el marc europeu mitjançant la conservació dels hàbitats naturals i de la fauna i la flora silvestres existents d'acord amb la Directiva Hàbitats (Consell d'Europa, 1992), tenint en compte les exigències econòmiques, socials i culturals de cada territori. El 36,9 %, 86,5 %, 13,2 % i 57,1 % de les àrees afectades pels temporals de Mallorca, Menorca, Eivissa i Banyalbufar-Esporles-Valldemossa respectivament eren espais de la Xarxa Natura 2000.

A la taula 9 es resumeix l'àrea de cada temporal destructiu inclosa en alguna de les figures de protecció ambiental.

Any	Lloc	Àrea afectada (ha)	Àrea LEN afectada (%)	Àrea ENP afectada (%)	Àrea Xarxa Natura 2000 afectada (%)
2001	Mallorca	12.839,5	58,6	29,0	36,9
2018	Menorca	1.636,0	83,7	42,3	86,5
2019	Eivissa	1.157,6	86,7	0,0	13,2
2020	Mallorca	891,2	100,0	93,8	57,1

Taula 9. Percentatge d'àrea afectada inclosa dins de les figures de protecció Llei 1/1991 d'Espais Naturals, Espais Naturals Protegits i Xarxa Natura 2000 per als temporals de Mallorca 2001, Menorca 2018, Eivissa 2019 i Mallorca 2020.

Una manera de poder avaluar els danys que els temporals han ocasionat als sistemes forestals és analitzar-ne el grau de cobertura vegetal, les espècies predominants, l'altura mitjana arbustiva i els models del combustible (Rothermel, 1972) que presentaven les zones afectades abans del fenomen, a partir de les dades del IV Inventari Forestal Nacional (MITECO, 2012). Però aquesta avaluació no s'ha pogut fer per a la tempesta destructiva de 2001 a Mallorca, atès que la cartografia utilitzada és posterior al fenomen.

Així, el 53,2 % de l'àrea afectada pel temporal a Menorca tenia una cobertura vegetal superior al 75 %. En aquesta zona les espècies predominants foren el pi blanc i l'ullastre (*Pinus halepensis* Mill. i l'*Olea europaea* L.). El 13,1 % de l'àrea tenia una cobertura vegetal d'entre el 51 i 75 %, sent majoritàriament vegetació arbustiva inferior a 1 m. El 33 % de l'àrea tenia una cobertura vegetal inferior al 25 %, que corresponia majoritàriament a zones de cultiu. L'altura mitjana de la vegetació arbustiva era d'1,12 m. Pel que fa al model de combustió, el 30 % de l'àrea es categoritza com a model arbustiu amb

cobertura vegetal elevada i amb una càrrega de combustible de 25-35 tones ha⁻¹. Un 19 % de l'àrea es categoritza com a model arbustiu de sotabosc d'entre 0,5 i 2 m d'altura, molt inflamable en bosc en masses de coníferes, un 7 % de zones de pastures denses amb altures de més d'1 m, 7 % de model arbustiu dens i verd (altura < 1 m) i 2 % arbustiu (altura > 2 m) molt dens amb propagació del foc per les copes dels arbres. La càrrega de combustible dels models de combustió descrits oscil·la entre 10 i 35 tones ha⁻¹.

El 74,4 % de l'àrea afectada pel temporal a Eivissa tenia una cobertura vegetal superior al 75 % i es tractava de zones amb predominança de pi blanc (*Pinus halepensis* Mill.). El 23,6 % de l'àrea afectada correspon a zones de cultiu amb una cobertura vegetal inferior al 25 %. L'altura mitjana de la vegetació arbustiva era d'1,14 m. Pel que fa al model de combustió, el 70 % de l'àrea es categoritza com a model arbustiu amb cobertura vegetal elevada amb una càrrega de combustible de 25-35 tones ha⁻¹.

El 86,1 % de l'àrea afectada pel temporal a Mallorca el 2020 tenia una cobertura vegetal superior al 75 %. Les espècies predominants d'aquesta zona foren el pi blanc i l'alzina (*Pinus halepensis* Mill. i *Quercus ilex* L.). El 13,9 % de l'àrea afectada pel temporal tenia una cobertura vegetal inferior al 25 %, que corresponia majoritàriament a zones de cultiu. L'altura mitjana de la vegetació arbustiva és d'1,23 m. Pel que fa al model de combustió, el 57 % i 23 % de l'àrea estan categoritzades com a model arbustiu dens i verd, i arbustiu amb cobertura vegetal elevada respectivament. Ambdós models es caracteritzen per una propagació del foc superficial (fullaraca i herbàcies) amb una càrrega de combustible de 25-35 tones ha⁻¹.

Temporal	Hectàrees	Àrea <25 % de cobertura vegetal	Àrea 25-50 % de cobertura vegetal	Àrea 51-75 % de cobertura vegetal	Àrea > 75 % de cobertura vegetal
Menorca 2018	1.636,0	33,1 %	0,6 %	13,1 %	53,2 %
Eivissa 2019	1.157,6	23,6 %	0,0 %	2,0 %	74,4 %
Mallorca 2020	891,2	13,9 %	0,0 %	0,0 %	86,1 %

Taula 10. Percentatge d'àrea afectada segons els intervals de cobertura vegetal (< 25 %, 25-50 %, 51-75 %, > 75 %) dels temporals de Menorca-2018, Eivissa-2019 i Banyalbufar-Esporles-Valldemossa-2020.

Així, tal com es resumeix a la taula 10, la major part de la superfície afectada pels tres temporals analitzats presentava una cobertura vegetal superior al 75 % en què l'espècie principal era el pi blanc (*Pinus halepensis* Mill), fet que explica, en part, la gran afectació d'aquesta espècie en aquests esdeveniments. A més, dos dels tres temporals presentaven una càrrega de combustible forestal superior a les 25 tones ha⁻¹, assimilable al model 4 de Rothermel (1972), dels més perillosos pel que fa al risc i al comportament d'un hipotètic incendi forestal. A la figura 70 es pot veure representat el grau de cobertura forestal de les àrees afectades pels tres temporals recents a les Illes Balears, segons les dades del IV Inventari Forestal Nacional (MITECO, 2012).

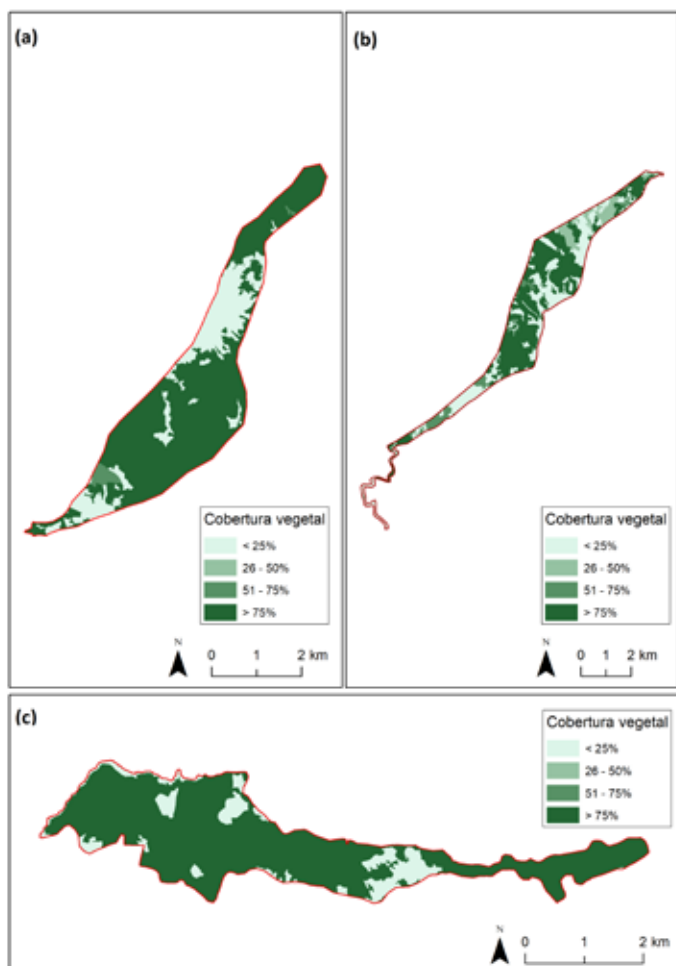


Figura 70. Interval·ls de cobertura vegetal (< 25 %, 25-50 %, 51-75 %, > 75 %) de les zones afectades pels temporals de (a) Menorca, (b) Eivissa i (c) Banyalbufar-Esporles-Valldemossa.

5. DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

AUTORS PER APARTATS

5.1. Pertorbacions naturals als boscos mediterranis en un context de canvi global

123

Joan Estrany, Adolfo Calvo-Cases

10.3306/TDBIB.2022.51

5.2. Experiències de restauració dels hàbitats forestals afectats per temporals destructius

125

Joan Santana

10.3306/TDBIB.2022.45.2

5. DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

Aquesta obra és el resultat de l'exercici col·laboratiu –ahora que agosarat, engrescador però també necessari– de divulgació de la gènesi i l'impacte ambiental i territorial dels temporals destructius a les Balears, duta a terme per científics del Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis (MEDhyCON) de la Universitat de les Illes Balears i pels tècnics del Servei de Gestió Forestal i Protecció del Sòl del Govern de les Illes Balears. Aquesta comesa s'ha fet a partir d'una anàlisi geoambiental i de la gestió forestal dels quatre temporals més importants ocorreguts en el que es duu de segle XXI.

El treball dut a terme ha permès palesar la necessitat d'un coneixement integral dels temporals destructius a les Balears, amb l'obligació científicotècnica de desenvolupar i aplicar eines tan precises com sigui possible, que permetin el desplegament i l'optimització dels recursos públics, i també els privats, amb l'objectiu de restaurar els hàbitats forestals en el termini més breu possible. També ha evidenciat la necessitat d'establir mecanismes de resiliència ecosistèmica mitjançant solucions a llarg termini que siguin eficients i eficaces, en un context en què l'encalament global i els canvis en els usos del sòl fan necessari, més que mai, que els hàbitats forestals siguin resistents enfront d'aquest tipus de pertorbacions ambientals extremes.

5.1. Pertorbacions naturals als boscos mediterranis en un context de canvi global

De l'estudi dels quatre temporals destructius de major abast territorial que han afectat les Balears durant el segle XXI se'n desprèn que causen pertorbacions greus en les masses forestals de forma cada pic més recurrent i intensa. Això és el resultat de la interacció de diversos factors

desencadenants com, per exemple, l'increment dels fenòmens meteorològics adversos en combinació amb el procés d'aforestació ocorregut durant la segona meitat del segle XX amb la transició forestal, que confereix una major vulnerabilitat als boscos mediterranis, especialment als pinars.

Les condicions meteorològiques o situacions sinòptiques que desencadenaren els temporals analitzats foren un profund cicló mediterrani en el cas de l'episodi del 2001, mentre que en els episodis del 2018 a Menorca, de 2019 a Eivissa i de 2020 a la serra de Tramuntana, a Mallorca, es tractà de tempestes intenses acompanyades de fenòmens meteorològics adversos tals com fiblons en combinació amb esclafits en la majoria dels casos. De manera general, el vent associat al cicló mediterrani del 2001 afectà una àrea important de manera continuada. Just al contrari, les tempestes intenses generaren vent més localitzat tant en l'espai com en el temps i, habitualment foren fenòmens sobtats amb ratxes de vent fortes però amb velocitats sostingudes no gaire elevades.

De l'anàlisi amb teledetecció se n'observa una tendència a la disminució dels valors de vigrositat de la vegetació com a conseqüència dels temporals destructius, que afecta principalment a les masses forestals de *Pinus halepensis* Mill. D'aquesta forma, s'ha determinat que només aquests quatre temporals han arribat a afectar una superfície total de 16.636 ha, un 3,3 % de la superfície de les Balears. Respecte a la superfície boscosa de les Balears, aquests temporals n'han afectat de manera significativa el 8,2 % (IFN4, 2012). A tal efecte, s'ha desenvolupat una metodologia per al reconeixement d'àrees afectades per temporals de vent a les Balears. Dels diversos índexs espectrals aplicats, se n'han trobat diferències que permeten identificar les àrees d'afecció de forma ràpida i establir una clara correlació entre la resolució espacial dels diversos sensors i la capacitat per caracteritzar aquests canvis. En la mateixa sintonia, s'ha demostrat que els sensors multispectrals, amb capacitat per treballar a diverses àrees de l'espectre electromagnètic, permeten una major delimitació de l'espai afectat. Així, s'ha evidenciat que l'NDII pot ser utilitzat en aquesta mateixa línia com a indicador per mesurar l'impacte associat als esdeveniments (Wang *et al.*, 2010) i, fins i tot, per a inferir-ne la gravetat amb major precisió respecte d'altres índexs com l'NDVI (Zhang *et al.*, 2016). Un fet que cal ressaltar és l'escassa capacitat dels indicadors emprats per comparar els efectes o danys d'un episodi respecte d'un altre. Aquesta circumstància es deu, principalment, al fet que les condicions i els usos del sòl preexistents condicionen la resposta dels sensors al canvi. L'índex NBR i la classificació CBI, són eines útils per a mesurar-ne la severitat, encara que tampoc constitueixen un indicador aplicable per fer comparatives.

L'anàlisi dendrològica feta amb motiu del temporal destructiu del 2001 a tres localitzacions de l'illa de Mallorca (Binissalem, Caimari i ses Salines) ha permès establir una relació estadística entre la vigorositat de la vegetació estimada per teledetecció (NDVI) i l'aplicació d'índexs de sequera. El que no ha permès aquesta anàlisi és establir una relació causal entre el creixement dels anells dels individus analitzats i l'impacte de la tempesta destructiva, perquè es tractava d'un mostreig la finalitat del qual no era el reconeixement dels impactes que causà aquest temporal en la vegetació. En aquest sentit, cal tenir en compte que cap d'aquestes localitzacions – les parcel·les mostrejades – no es trobaven a les zones més afectades pel temporal, amb la qual cosa els pics de creixement que s'observen el 2002 el més probable és que fossin causats pel caràcter extraordinàriament humit de l'estiu d'aquell any i no per la disminució de la competència derivada de la mort d'individus propers.

Finalment, de l'anàlisi d'impactes ecològics, econòmics i socials –descrita al capítol 4– destaca que un 65 % de la superfície afectada pels quatre temporals destructius s'inclou dins de figures de protecció de la Llei 1/1991 d'Espais Naturals. D'aquests espais protegits, afectats pels temporals del 2018, 2019 i 2020, segons el IV Inventario Forestal Nacional elaborat el 2012, un 68 % de la superfície afectada tenia més d'un 75 % de cobertura vegetal. Aquestes dades corroboren que els hàbitats forestals amb gran quantitat de biomassa acumulada com a resultat del procés de transició forestal, bàsicament pinars, són els més vulnerables a patir processos de degradació en cas de temporals destructius. Els escenaris futurs de canvi climàtic, per tant, aconsellen una gestió activa de les masses forestals que eviti processos de retroalimentació que condueixin a canvis irrecuperables d'aquests ecosistemes, tal com es conclourà en els següents subapartats.

5.2. Experiències de restauració dels hàbitats forestals afectats per temporals destructius

La restauració dels hàbitats forestals afectats pels temporals destructius han permès als gestors forestals adquirir experiència i habilitats fruit de la pràctica de les tècniques emprades i de la presa de decisions. Unes lliçons que s'intenten transferir i compartir amb la resta de tècnics i del personal implicat en la gestió de la conservació dels boscos a través de xerrades, jornades de camp, resums divulgatius, etc. (figura 71). Aquest llibre pretén també ser un recull d'aquesta experiència i un intent de divulgar el coneixement adquirit amb els treballs de restauració executats.



Figura 71. Jornada tècnica de discussió dels treballs de restauració del temporal de Banyalbufar i de transferència d'experiències (2020).

Al llarg dels anys d'experiència com a Administració forestal sobre la gestió dels temporals destructius i malgrat les particularitats de cadascun dels esdeveniments –ja que no és el mateix la serra de Tramuntana que la serra de Sant Josep, o l'abast geogràfic del temporal de 2001 amb la singularitat del temporal de Menorca–, s'han pogut compilar generalitats i problemes que han estat recurrents en tots aquests fenòmens. Val la pena remarcar que el que s'intenta és recopilar l'experiència dels treballs executats des de l'òptica de l'Administració forestal sense entrar en les lliçons que hagin pogut tenir els propietaris i veïns afectats o en les actuacions de restauració que s'hagin pogut desenvolupar en el marc de les competències les administracions locals (ajuntaments i consells insulars).

Algunes de les conclusions i vivències que s'expliquen en aquest apartat són resultat del debat, l'anàlisi i la posada en comú d'informació entre els gestors implicats en la restauració dels temporals destructius, en el marc del Grup Tècnic de Boscos de la Conselleria de Medi Ambient i Territori.

5.2.1. Episodis imprevisibles però recurrents

La naturalesa d'aquests episodis, de difícil predicció quant a intensitat i localització, els converteix en uns fenòmens altament complexos a l'hora d'anticipar-ne la gestió de la restauració i dels procediments necessaris per

a una resposta eficient de l'Administració. És per això que resulta molt útil tenir alguns aspectes predefinits o prèviament preparats per tal d'oferir una resposta eficient i millorar la diligència que requereixen aquests fenòmens.

Resulta especialment útil establir i aplicar protocols d'intervenció prèviament estipulats: tenir predefinides les passes a seguir en cas d'un temporal, tant les administratives (tramitació del Pla de restauració, contractació de mitjans d'emergència, autorització de propietaris, formularis de recollida d'informació, etc.), com les d'intervenció (criteris de prioritització dels treballs, maquinària disponible de ràpida intervenció, personal especialitzat i format de primera intervenció, etc.) per a cadascuna de les illes. De la mateixa manera, resulta eficient tenir predefinides les actuacions amb caràcter d'urgència que són comunes en la gestió d'aquests esdeveniments i recollir en un pla preliminar els treballs prioritaris, que s'han de fer a curt termini, enfront dels treballs de segona intervenció, prevists a mitjà i llarg termini. En aquest sentit, ajuda definir i consensuar tècnicament el material de suport a la presa de decisions, com pot ser el fet de disposar d'una guia de bones pràctiques per a la restauració forestal. Atesa la recurrència d'aquests fenòmens en els ecosistemes mediterranis i la poca agilitat que té l'Administració per a la contractació pública, seria especialment útil tenir una partida pressupostària de la Conselleria de Medi Ambient reservada per atendre la restauració amb la celeritat que aquests esdeveniments requereixen. Sembla necessari estudiar una fórmula administrativa, del tipus projecte d'inversió de fons finalista amb disposició de crèdit permanent o similar, que permeti una resposta amb certa celeritat.

Una de les eines que més bé ha funcionat i que ha resultat més eficient ha estat el canal de comunicació i centralització de la informació (correu electrònic, telèfon, web, etc.) al qual es podien dirigir els ciutadans afectats, tant en el transcurs de les feines urgents, com durant l'execució dels treballs de restauració. Ha estat especialment útil a l'hora de recopilar informació de l'abast i la magnitud dels danys, tant per a la fase d'emergència (generalment a través del 112) com per a la fase de restauració.

5.2.2. Especificitat dels treballs

La naturalesa dels treballs de restauració ambiental del desastre provocat per l'acció d'aquests temporals és especialment singular, ja que suposa treballar en ambients de muntanya complexos, sovint en condicions dures de terreny (forts pendents, exposició a les inclemències del temps, dificultat de trànsit, etc.). A més, la presència d'arbrat caigut i l'ús de la maquinària forestal que s'utilitza habitualment per fer aquestes tasques incrementen el perill d'accidents laborals, sobretot per talls, caigudes o per atrapaments

d'elements rodats (roques, arbres, etc.) (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2018).

Per això, és imprescindible disposar d'equips humans d'intervenció degudament especialitzats i formats per treballar en aquests ambients forestals. Malgrat que el personal de camp de l'IBANAT i de TRAGSA no es dedica permanentment al treball de restauració d'aquests desastres, és imprescindible que disposin de brigades forestals amb les habilitats necessàries per a l'ús de maquinària forestal, altament qualificades i especialitzades per fer feina en aquests ambients perillosos i d'elevada dificultat. De la mateixa manera, és essencial que la maquinària forestal específica per a aquest tipus de treballs estigui en bon estat de manteniment i sigui utilitzada per personal degudament format (figura 72).



Figura 72. Maquinària forestal específica, autocarregador (esquerra) i treballadors forestals obrint vials (dreta).

5.2.3. Fenòmens complexos

Tal com s'ha explicat en els capítols anteriors en la descripció de la resposta generada per part de l'Administració, aquest tipus d'episodis sovint requereixen una resposta multidisciplinària. Un fenomen meteorològic advers com els temporals destructius sol afectar els interessos i els béns de múltiples sectors econòmics i socials, amb diversitat d'elements malmesos, tant en entorns urbans (parcs, jardins, indústries, cases, línies elèctriques, carreteres, etc.), com rurals (arbrat forestal i agrícola, flora i fauna protegida, elements etnològics, tanques, bestiar, etc.). Tal com s'ha explicat al capítol 4, coexisteix en el territori insular una quantitat gens menyspreable de figures i normativa de protecció ambiental que dificulta (i en determinats casos impossibilita) la gestió i la conciliació en la presa de decisions tècniques de restauració, ja que no s'entenen com a mesures de conservació pròpies per a l'hàbitat afectat. És important tenir present que tant la gestió com la no gestió (abandonament) tenen conseqüències en la conservació dels boscos.

Per això, resulten imprescindibles la coordinació i la corresponsabilitat administrativa en la resposta a l'episodi, en especial en la fase d'emergència, en què urgeix restaurar els serveis bàsics de la ciutadania afectada. En aquest sentit, resulta extremadament eficient tenir definida una direcció unificada dels treballs de restauració, que és com ja es treballa en el moment de l'emergència, amb un equip coordinador de tots els agents implicats en la restauració amb la finalitat de prioritzar els treballs i de millorar l'eficiència dels recursos públics que s'hi destinen.

5.2.4. El sector forestal local, estratègic en la gestió dels temporals

Cada vegada que hi ha hagut una pertorbació natural recent a les masses forestals de certa envergadura —no només temporals destructius, sinó també incendis forestals, inundacions o boscos afectats per plagues i malalties—, ha quedat palesa la situació marginal per la qual està passant actualment el sector forestal de les Balears. Les empreses forestals locals no tenen capacitat per a la gestió d'aquests esdeveniments, especialment per una situació agonitzant del mercat local de la fusta que ofega qualsevol iniciativa emprenedora de valorització dels productes forestals insulars. El fet que sigui més rendible importar la fusta i la biomassa de la Península que treure-la dels boscos illencs és un greu problema que no només posa en perill el sector, sinó que contribueix a l'abandonament de l'activitat rural i a incrementar la vulnerabilitat del paisatge insular davant els incendis forestals i altres fenòmens naturals i en posa seriosament en risc la conservació. Tant és així que en la gestió dels tres temporals recents exposats (Menorca 2018, Sant Antoni 2019 i Banyalbufar 2020) es va perdre una gran oportunitat per aprofitar la biomassa forestal que havia quedat malmesa amb el temporal i per contribuir, així, a la bioeconomia de les Balears.

Amb la premissa que conservar és gestionar i que no hi ha res més allunyat de la conservació que l'abandonament de les masses forestals, resulta imprescindible que les Balears disposin d'un sector forestal tecnificat, professionalitzat, modern i adaptat a la singularitat dels boscos insulars. Per això, cal dignificar el sector potenciant les cadenes de valor del mercat forestal local i fomentant la bioeconomia amb l'ús de la biomassa provinent dels boscos illencs, per gestionar-los i adaptar-los al canvi climàtic. Només així es podrà donar una resposta eficient als greus problemes de conservació dels boscos mediterranis, com són els incendis forestals, els temporals recurrents, l'increment dels períodes de sequera i de plagues i malalties, entre d'altres.

El sector forestal illenc pot ser estratègic per garantir una adaptació progressiva i ordenada dels ecosistemes forestals a l'actual escenari de canvi

global, amb una reducció significativa de l'actual dependència energètica dels combustibles fòssils, que es podria substituir per una energia renovable i local, cosa que contribuiria a la mitigació del canvi climàtic i milloraria la vitalitat i la resiliència dels boscos. La bioeconomia serà clau per a aquesta transformació mitjançant la producció forestal com a part de la solució cap a un model econòmic més respectuós i sostenible amb els equilibris biològics. Es tracta d'utilitzar el conjunt de recursos forestals que ofereixen els boscos i els sistemes forestals illencs com a substituïts dels productes no renovables i de fomentar així l'economia verda i circular (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2018)

Després d'una pertorbació ambiental, el paper de l'Administració forestal ha de ser la prioritització dels treballs d'emergència i els necessaris per a la restauració dels llocs d'interès general, com són les finques i camins públics, punts estratègics de prevenció d'incendis forestals, llocs de difícil accés o espais singulars pel seu valor cultural o ambiental. També pot tenir un paper incentivador a la propietat privada per tal que restauri els seus boscos malmesos, tal com es va fer en el temporal de 2001. Per a la resta d'espais on no pot arribar l'Administració, és necessari que ho faci el sector forestal privat. Això només és possible si es disposa d'unes empreses forestals adaptades i tecnificades que siguin capaces de treure una rendibilitat econòmica dels recursos forestals resultants de la gestió, i això comportaria una reducció dels elevats costos de restauració i una millora de l'eficiència de la intervenció (figura 73).



Figura 73. Valorització dels productes forestals resultants dels treballs de restauració (fusta i estella).

5.2.5. La complexa estructura de la propietat forestal insular

Es calcula que a les Balears hi ha 13.299 propietaris de finques forestals i 22.969 propietaris de finques agroforestals, finques que tenen una superfície mitjana inferior a les 5 hectàrees en el cas de les forestals, i inferior a les 11 hectàrees en les agroforestals. La propietat privada suposa el 91 % de la

superfície forestal insular, i això constitueix una limitació legal important per a qualsevol actuació de restauració forestal que l'Administració vulgui impulsar per a l'interès general. Aquesta circumstància se li suma la inexistència d'associacions i agrupacions de propietaris, fet que dificulta la interlocució amb l'Administració, així com la manca d'instruments tècnics de planificació forestal a escala de finca; fets que no ajuden a la diagnosi de l'estat de conservació de les masses forestals.

Una de les actuacions que poden ajudar a implicar i a incentivar els propietaris forestals en la gestió dels boscos i en la restauració dels hàbitats forestals degradats per fenòmens meteorològics adversos és la concessió d'ajudes a la gestió forestal, tal com es va fer en el temporal de 2001. Per això, les línies d'ajudes específiques per a la gestió forestal i prevenció d'incendis recentment convocades per part de la Conselleria d'Agricultura (FOGAIBA) i destinades als propietaris forestals són una bona mesura per assolir aquests objectius.

5.2.6. La gestió forestal activa, clau per adaptar els boscos al canvi climàtic

Davant aquest escenari de masses forestals vulnerables als episodis de fenòmens meteorològics adversos i a les conseqüències del canvi climàtic que agreuja el risc de desertificació i degradació ambiental (IPCC, 2018), resulta necessària una gestió proactiva del paisatge forestal (figura 74) que possibiliti uns boscos més adaptats a les noves condicions climàtiques, amb major capacitat de resistir els períodes adversos i, en el cas que es generin fenòmens meteorològics pertorbadors, que tinguin la capacitat de recuperar-se més fàcilment. La silvicultura adaptativa, les mesures de gestió per a la prevenció d'incendis forestals i el control de plagues i de malalties són una bona solució per millorar les masses forestals i per aconseguir una transició progressiva d'adaptació al nou escenari climàtic (Serrada *et al.*, 2011). En cas contrari, la no intervenció i l'abandonament de les masses forestals, les fa més vulnerables a les conseqüències del canvi global, en especial als incendis forestals, que es preveuen més intensos, extensos i perillosos.

5.2.7. La comunicació i divulgació dels treballs forestals

Un dels reptes a què s'enfronten els gestors forestals és que els treballs de restauració siguin compresos i acceptats socialment. En un moment o altre en la resposta de tots i cadascun dels temporals analitzats, hi va haver alguna crítica o oposició als treballs de restauració que s'hi varen dur a terme, crítiques que indiquen que la societat es preocupa per l'estat de conservació dels nostres ecosistemes, i que sempre s'intenten interpretar de tal manera que ajudin a créixer i a millorar. Una de les causes d'aquesta percepció negativa dels treballs és l'escala d'actuació o l'ordre de magnitud.



Figura 74. Gestió forestal activa per a l'adaptació dels boscos al canvi climàtic.

Sovint, per restaurar o conservar un ecosistema s'han d'eliminar exemplars. Si bé és important tenir en compte les sensibilitats dels interessats i, en especial, els valors ambientals singulars dels exemplars, els diferents punts de vista en l'escala de les actuacions i en la contextualització dels objectius que es persegueixen amb els plans de restauració generen problemes en la presa de decisions. És important remarcar que qui ha generat els danys

és una pertorbació ambiental (el temporal) i els treballs tenen per objectiu restaurar l'ecosistema; ni els treballs ni la maquinària emprada són el problema, sinó que són part de la solució (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2018).

Sovint, la percepció negativa per part d'algunes associacions veïnals o col·lectius ecologistes dels treballs forestals ha passat per la desconfiança en l'ús de maquinària forestal pesant en les tasques de restauració dins del bosc, tals com tractors, *skidders*, processadores, etc. Val a dir que per als treballs de restauració ambiental els beneficis de l'ús d'aquesta maquinària són molt majors que els inconvenients: a part de millorar l'efectivitat i la rendibilitat dels treballs (i, per tant, poder abastar major superfície afectada), és imprescindible per garantir la seguretat i la qualitat de feina dels operaris, ja que en millora les condicions laborals. Ara bé, en l'anàlisi cost-benefici previ a l'elecció, cal tenir en compte els possibles efectes negatius que provoquen –com ara les rodades, l'erosió ocasionada pel transport de la fusta o els danys a l'arbrat romanent i al matollar–, i procurar minimitzar-ne els impactes.

Per això és essencial actuar amb rigor tècnic i comunicar i divulgar eficientment les actuacions que es desenvoluparan amb l'execució del Pla de restauració, així com corresponsabilitzar als agents socials de la presa de decisions que s'adoptin (figura 75). Incrementar la cultura forestal de la societat resulta del tot essencial per tenir una societat informada i compromesa amb les mesures de governació forestal. En aquest cas, les xarxes socials o les jornades informatives són bones eines per arribar a la ciutadania. Aquest llibre és, també, una altra iniciativa en aquesta direcció.



Figura 75. Reunió amb la premsa per tal de comunicar i divulgar els treballs de restauració a sa Volta des General, després del temporal destructiu.

6. OBSERVACIONS FINALS I PROSPECTIVA DE FUTUR

AUTORS

Joan Estrany, Adolfo Calvo-Cases, Joan A. Santana

10.3306/TDBIB.2022.6

6. OBSERVACIONS FINALS I PROSPECTIVA DE FUTUR

Aquesta obra ha permès establir un marc conceptual científicotècnic dels temporals destructius a les Balears, tot sintetitzant les següents idees bàsiques, útils per a la gestió i la interpretació de futurs episodis:

a) A les Balears, els vents forts que causen temporals destructius a les masses forestals es relacionen amb ciclons —especialment els de ciclogènesi mediterrània— i alhora amb tempestes que generen fiblons i/o esclafits. Estructura d'un fenomen recurrent i intrínsec al clima insular, però l'impacte del qual s'ha agreujat en les darreres dècades a causa del canvi global, provocat pels efectes de l'encalament global i de la profunda transformació en la distribució geogràfica dels usos del sòl.

b) Pel que fa a l'encalament global, la comunitat científica està observant com a la conca mediterrània s'hi produeix un increment en la freqüència i intensitat de fenòmens meteorològics adversos que generen vents forts. Alhora, les precipitacions cada vegada són més intenses i concentrades en períodes més breus, amb intercalació de períodes secs més perllongats. Aquesta combinació acaba suposant un perill per a l'estat de les masses forestals i causa una major vulnerabilitat enfront dels temporals destructius.

c) Pel que fa als usos del sòl, els canvis socioeconòmics profunds ocorreguts durant la segona meitat del segle XX han provocat un procés d'aforestació derivat de l'abandonament agrícola de terres marginals, conegut com a transició forestal, que ha suposat un increment de superfície forestal, inèdit des d'època romana. Endemés, l'assoliment d'estadis superiors de successió vegetal amb la transició forestal fa que les masses forestals —especialment pinars— siguin cada vegada més vulnerables davant els potencials danys causats per temporals destructius. De fet, de l'anàlisi espacial dels quatre grans temporals destructius se'n desprèn que les àrees afectades amb major intensitat són pinars en mosaics fragmentats i de major exposició al vent.

d) Davant aquest escenari de masses forestals vulnerables als episodis de fenòmens meteorològics adversos i a les conseqüències del canvi climàtic que agreuja el risc de desertificació i degradació ambiental, resulta necessària una gestió proactiva del paisatge forestal. En aquest sentit, esdevé essencial incentivar la bioeconomia amb l'ús de la biomassa provinent dels boscos illencs per gestionar-los i adaptar-los al canvi climàtic. Només així es podrà donar una resposta eficient als greus i recurrents problemes de conservació dels boscos mediterranis, com són els incendis forestals, els temporals destructius, l'increment dels períodes de sequera i de plagues i malalties.

7. REFERÈNCIES

Alloza JA, García, S, Gimeno T, Baeza J, Vallejo VR, Rojo L, Martínez, A. 2014. *Guía técnica para la gestión de montes quemados. Protocolos de actuación para la restauración de zonas quemadas con riesgo de desertificación*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

Anttila-Hughes J, Hsiang S. 2013. Destruction, disinvestment, and death: Economic and human losses following environmental disaster. Available at SSRN 2220501.

Ashley WS, Black AW. 2008. Fatalities associated with nonconvective high-wind events in the United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47 (2), 717-725.

Baldrian P. 2017. Forest microbiome: diversity, complexity and dynamics. *FEMS Microbiology reviews*, 41(2), 109-130.

Baroni C, Brunetti M, Cerrato R, Coppola A, Betti G, Salvatore MC. 2020. A long-term chronology of *Pinus pinea* L. from Parco della Versiliana (Pietrasanta, Italy) derived from treefall induced by a windstorm on March 4th-5th, 2015. *Dendrochronologia*, 62, 125710.

Barredo JI. 2010. No upward trend in normalised windstorm losses in Europe. *Natural Hazards i Earth System Sciences*, 10, 97-104.

Bengtsson J, Nilsson SG, Franc A, Menozzi P. 2000. Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. *Forest Ecology and Management*, 132(1), 39-50.

Burow D, Herrero HV, Ellis KN 2020. Damage analysis of three long-track tornadoes using high-resolution satellite imagery. *Atmosphere*, 11(6), 613.

Bouwer LM, Crompton RP, Faust E, Hoppe P, Pielke Jr, RA. 2007. Disaster Management: Confronting Disaster Losses. *Science*, 318.

Calvo JF, Martínez JE, Abellán MD, Carreño F, González C, Jiménez MV, León M, Pagán I, Palazón JA. 2009. *Incidencia de los daños forestales ocasionados por los temporales de enero de 2007 en la comunidad de rapaces forestales de la ZEPA Sierras de Burete, Lavia y Cambrón*. Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. Murcia. Informe inédito.

Camarero JJ, Colangelo M, Gazol A, Pizarro M, Valeriano C, Igual, JM. 2021. Effects of Windthrows on Forest Cover, Tree Growth and Soil Characteristics in Drought-Prone Pine Plantations. *Forests*, 12(7), 817.

Campins J, Jansà A, Genovés A. 2006. Heavy rain and strong wind events and cyclones in the Balearics. *Advances in Geosciences*, 7, 73-77.

Chuvieco E. 2002. Teledetección ambiental. *La observación de la Tierra desde el espacio*, 1.

Consell d'Europa 1992. Directiva 92/43/EEC del 21 de maig de 1992 relativa a la conservació d'hàbitats naturals i de la fauna i flora. CONSLEG: 1992LO043 - 01/05/2004.

Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B,...Van Den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), 253-260.

Dajoz R. 2001. *Entomologia forestal. Los insectos y el bosque*. Ediciones Mundi-Prensa.

De Luis M, Sánchez MÁ, Novak K, Aladrén LAL, Bonvehí JR. 2010. Creación y análisis de una red dendroclimática de *Pinus Halepensis* Mill. en el ámbito mediterráneo. A: *Clima, ciudad y ecosistemas: ponencias y conferencias invitadas al VII Coloquio de la Asociación Española de Climatología*, 367-378.

Dubrovský M, Hayes M, Duce P, Trnka M, Svoboda M, Zara P. 2014. Multi-GCM projections of future drought and climate variability indicators for the Mediterranean region. *Regional Environmental Change*, 14(5), 1907-1919.

Economics of Climate Adaptation Working Group (ECAWG). 2009. *Shaping climate-resilient development: a framework for decision-making*. Informe realitzat per ClimateWorks Foundation, Global Environmental Facility, European Commission, McKinsey i Company, The Rockefeller Foundation, Standard Chartered Bank and Swiss Re. Disponible a: http://media.swissre.com/documents/rethinking_shaping_climate_resilient_development_en.pdf

Estrany J, Ruiz M, Calsamiglia A, Carriquí M, García-Comendador J, Nadal M, Fortesa J, López-Tarazón JA, Medrano H, Gago, J. 2019. Sediment connectivity linked to vegetation using UAVs: High-resolution imagery for ecosystem management. *Science of The Total Environment*, 671, 1192-1205.

Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffe, M, Elmqvist T, Gunderson L, Holling CS. 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35, 557-581.

Gallego D. 2013. El uso de feromonas y caïromonas en el control de plagas forestales y del jardín. A: *III Jornadas internacionales sobre feromonas, atrayentes, trampas y control biológico: herramientas para la gestión integrada*. Universidad de Alicante.

Gardiner B, Blennow K, Carnus JM, Fleischner P, Ingemarson F, Landmann G, Lindner M, Marzano M, Nicoll B, Orazio C, Peyron JL, Revirón MP, Schelhaas M, Schuck A, Spielmann M, Usbeck T. 2010. *Destructive storms in European Forests: Past and Forthcoming Impacts*. Final report to European Commission - DG Environment. European Forest Institute - 138.

Gardiner B, Schuck A, Schelhaas MJ, Orazio C, Blennow K, Nicoll B. (eds) 2013. Living with storm damage to forests. *What Science Can Tell Us* 3. European Forest Institute.

Gayà M, Homar V, Romero R, Ramis C. 2001. Tornadoes and waterspouts in the Balearic Islands: phenomena and environment characterization. *Atmospheric Research*, 56(1-4), 253-267.

Gayà M. 2011. Tornadoes and severe storms in Europe. *Atmospheric Research*, 100 (4), 334-343.

Gazol A, Camarero JJ, Vicente-Serrano SM, Sánchez-Salguero R, Gutiérrez E, De Luis M,... Galván JD. 2018. Forest resilience to drought varies across biomes. *Global Change Biology*, 24(5), 2143-2158.

Gil L, Manuel C, Díaz-Fernández P. 2003. *La transformación histórica del paisaje forestal en las Islas Baleares*. Egraf. Madrid.

Gil LA, Pajares JA. 1986. Los escolítidos de las coníferas en la Península Ibérica. *Colección Monografías INIA*, 53. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Gold S, Korotkov A, Sasse V. 2006. The development of European forest resources, 1950 to 2000. *Forest Policy and Economics*, 8(2), 183-192.

Govern de les Illes Balears (GOIB) 2012. *Pla de restauració dels danys ocasionats pel fenomen meteorològic advers en el clot d'Albarca dia 12 de setembre de 2012*. Direcció General de Medi Natural, Educació Ambiental

Govern de les Illes Balears (GOIB). 2015. *IV Pla general de defensa contra incendis forestals de les Illes Balears*. Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient i Territori. Palma

Govern de les Illes Balears (GOIB). 2020. *Pla preliminar per a la restauració ambiental dels danys causats pel cap de fibló-esclafit de dia 29 d'agost de 2020 sobre els hàbitats forestals en els municipis de Banyalbufar, Esporles i Valldemossa*. Direcció General d'Espais Naturals i Biodiversitat. Conselleria de Medi Ambient i Territori.

Govern de les Illes Balears (GOIB). 7 de setembre de 2020. [El Govern sol·licita al Estado que declare Banyalbufar, Esporles y Valldemossa zona gravemente afectada por el temporal.](#)

González-Alemán JJ, Pascale S, Gutierrez-Fernandez J, Murakami H, Gaertner MA, Vecchi GA. 2019. Potential increase in hazard from Mediterranean hurricane activity with global warming. *Geophysical Research Letters*, 46(3), 1754-1764.

Gonzalez S, Bech J. 2017. Extreme point rainfall temporal scaling: a long term (1805-2014) regional and seasonal analysis in Spain. *International Journal of Climatology*, 37(15), 5068-5079.

Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D, Moore R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27.

Guijarro JA. 2007. *Termopluviometria media de Baleares del treintenio 1971-2000*.

Hanewinkel M, Hummel S, Albrecht A. 2011. Assessing natural hazards in forestry for risk management: a review. *European Journal of Forest Research*, 130(3), 329-351.

Hanson JJ, Lorimer CG. 2007. Forest structure and light regimes following moderate wind storms: Implications for multi-cohort management. *Ecological Applications*, 17(5), 1325-1340.

Haas R, Pinto JG. 2012. A combined statistical and dynamical approach for downscaling large-scale footprints of European windstorms. *Geophysical Research Letters*, 39, L23804.

Heinonen T, Pukkala T, Ikonen VP, Peltola H, Venäläinen A, Dupont S. 2009. Integrating the risk of wind damage into forest planning. *Forest Ecology and Management*, 258(7), 1567-1577.

Holmes RL. 1992. *Dendrochronology program user's manual*. Tucson, AZ. Laboratory.

Holmes TP, Huggett RJ, Pye JM. 2008. Forest economics, natural disturbances and the new ecology. A: *The Economics of Forest Disturbances*, 15-32. Springer, Dordrecht.

Homar V, Gayà M., Ramis C. 2001. A synoptic and mesoscale diagnosis of a tornado outbreak in the Balearic Islands. *Atmospheric Research*, 56 (1-4), 31-55.

Hsiang SM, Jina A. 2014. The causal effect of environmental catastrophe on long-run economic growth: evidence from 6700 cyclones. *NBER Working Paper* 20352.

Hunt Jr ER, Rock BN. 1989. Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. *Remote sensing of environment*, 30(1), 43-54.

IPCC 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the *Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu i B. Zhou (eds.). Cambridge University Press. In Press.

Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE) 2015. *Plan Nacional de Paisaje Cultural*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Isip MF, Alberto RT, Biagtan AR. 2020. Exploring vegetation indices adequate in detecting twister disease of onion using Sentinel-2 imagery. *Spatial Information Research*, 28(3), 369-375.

Jansà A. 2014. *El clima de les Illes Balears*. Ed. Lleonard Muntaner

Joyce KE, Belliss SE, Samsonov SV, McNeill SJ i Glassey PJ 2009. A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters. *Progress in physical geography*, 33(2), 183-207.

Keiler M, Sailer R, Jörg P, Weber C, Fuchs S. i coautors 2006. Avalanche risk assessment a multi-temporal approach, results from Galtur, Austria. *Natural Hazards i Earth Systems Sciences*, 6, 637-651.

Kennedy RE, Yang Z, Cohen WB. 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr—Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2897-2910.

Key CH, Benson NC. 2006. Landscape assessment (LA). A: Lutes, Duncan C.; Keane, Robert E.; Caratti, John F.; Key, Carl H.; Benson, Nathan C.; Sutherland, Steve; Gangi, Larry J. 2006. *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.* LA-1-55, 164.

Kirwan ML, Kirwan JL, Copenheaver CA. 2007. Dynamics of an estuarine forest and its response to rising sea level. *Journal of Coastal Research*, 23(2), 457-463.

Kovalskyy V, Roy DP. 2013. The global availability of Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ land surface observations and implications for global 30 m Landsat data product generation. *Remote Sensing of Environment*, 130, 280-293.

Langner A, Miettinen J, Kukkonen M, Vancutsem C, Simonetti D, Vieilledent G. i Stibig HJ. 2018. Towards operational monitoring of forest canopy disturbance in evergreen rain forests: A test case in continental Southeast Asia. *Remote Sensing*, 10(4), 544.

Lindroth A, Lagergren F, Grelle A, Klemetsson L, Langvall OLA, Weslien PER, Tuulik J. 2009. Storms can cause Europe-wide reduction in forest carbon sink. *Global Change Biology*, 15(2), 346-355.

Lionello P, Abrantes F, Gacic M, Planton S, Trigo R, Ulbrich U. 2014. The climate of the Mediterranean region: research progress and climate change impacts. *Reg Environ Change* 14, 1679-1684

Llasat MC, Llasat-Botija M, Prat M, Porcu F, Price C, Mugnai A, Lagouvardos K, Kotroni V, Katsanos D, Michaelides S. 2010. High-impact floods and flash floods in the Mediterranean countries: the FLASH preliminary database. *Advances in Geosciences*, 23, 47-55

López S, Romón P, Iturrondobeitia JC, Goldaracena A. 2007. Los escolíticos

de las coníferas del País Vasco. Guía práctica para su identificación y control. *Colección LUR*, 11; Gobierno Vasco.

López-García M, Caselles V. 1991. Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data. *Geocarto International*, 6(1), 31-37.

Mauri E, Pons P. 2019. *Manual de bones pràctiques per a la gestió forestal postincendi*. 2a ed., Projecte Anifog I+D+i CGL2014-54094-R, Universitat de Girona. 169.

Mayol J. 2017. *La cabra, espècie invasora a les Balears*. Lleonard Muntaner Editor.

McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. A: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179-183.

Mead DJ. 2013. *Sustainable management of Pinus radiata plantations*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Menorca. 29 d'octubre de 2018. [Menorca vive su segundo día sin luz.](#)

Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2018. Plan national de gestion de crise tempête pour la filière forêt-bois [en línia]. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Disponible a: <https://agriculture.gouv.fr/plan-national-de-gestion-de-crise-tempete-pour-la-filiere-foret-bois>

Mitchell SJ. 2013. Wind as a natural disturbance agent in forests: a synthesis. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 86(2), 147-157.

Nuñez Mora JA, Riesco Martin J, Mora García MA. 2019. *Climatología de descargas eléctricas y de días de tormenta en España*. Agencia Estatal de Meteorología.

Olcina J. 2017. Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante. *Sémata. Ciencias Sociales e Humanidades*, 29, 143-163.

Palmer WC. 1965. *Meteorological drought* (Vol. 30). US Department of Commerce, Weather Bureau.

Pascual R. 2016a. Fenómenos Meteorológicos Adversos (1). *Tiempo y clima*, 52, 44-47.

Pascual R. 2016b. Fenómenos Meteorológicos Adversos (2). *Tiempo y clima*, 53, 46-49.

Pausas J. 2012. *Incendios forestales*. Catarata-CSIC. Madrid.

Peñuelas J, Boada M. 2003. A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology*, 9(2), 131-140.

Periódico de Ibiza. 25 d'octubre de 2019. [El Govern solicita que se declare Sant Antoni zona afectada gravemente por una emergencia.](#)

Pettorelli N, Vik JO, Mysterud A, Gaillard JM, Tucker CJ, Stenseth NC. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology i Evolution*, 20(9), 503-510.

Piserra MT, del Río J. 1994. Study of the strong winds phenomenon hazard in Spain. *Informes de la Construcción*, 45, 5-12.

Prosser IP, Williams L. 1998. The effect of wildfire on runoff and erosion in native Eucalyptus forest. *Hydrological Processes*, 12(2), 251-265.

Raddatz C. 2009. The wrath of god macroeconomic costs of natural disasters. *Policy Research Working Papers*, No. 5039, World Bank, Washington DC.

Romanyk N, Cadahia D. (coord.) 2001. *Plagas de insectos en las masas forestales*. Mundi-Prensa Editorial.

Rodríguez O, Bech J. 2020. Tornadic environments in the Iberian Peninsula and the Balearic Islands based on ERA5 reanalysis. *International Journal of Climatology*, 41 (S1), E1959-E1979.

Rothermel RC. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. *Res. Pap. INT-115*. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Intermountain Forest and Range Experiment Station.

Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*, 351(1974), 309.

Sánchez G, Campaña C, González E. 2007. Efectos secundarios de grandes incendios forestales: situación de alerta fitosanitaria. Modelización y control de agentes dañinos oportunistas. *4th International Wildfire Conference*, Sevilla.

Schelhaas MJ, Nabuurs GJ, Schuck A. 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9(11), 1620-1633.

Seidl R, Schelhaas MJ, Lexer MJ. 2011. Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology*, 17(9), 2842-2852.

Seidl R, Thom D, Kautz M, Martin-Benito D, Peltoniemi M, Vacchiano G,... Reyer CP. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature climate change*, 7(6), 395-402.

Senf C, Seidl R. 2021. Mapping the forest disturbance regimes of Europe. *Nature Sustainability*, 4(1), 63-70.

Serrada R, Aroca MJ, Roig S, Bravo A, Gómez V. 2011. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal. *Notas sobre gestión adaptativa de las masas forestales ante el cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid

Speer JH. 2010. *Fundamentals of tree-ring research*. University of Arizona Press.

Terradas J. 2001. *Ecología de la vegetación*. Omega. Barcelona.

Tipton J, Hooten M, Pederson N, Tingley M, Bishop D. 2016. Reconstruction of late Holocene climate based on tree growth and mechanistic hierarchical models. *Environmetrics*, 27(1), 42-54.

Tomàs-Burguera M, Grimalt Gelabert M. 2014. Maritime, coastal and microcontinental thunderstorm activity in insular areas. A geographycal analysis in Mallorca. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 66, 463-471.

Tous M, Romero R. 2013. Meteorological environments associated with medicane development. *International Journal of Climatology*, 33(1), 1-14.

Turnbull L, Wilcox BP, Belnap J, Ravi S, D'Odorico P, Childers D, Gwenzi W, Okin G, Wainwright J, Caylor KK and Sankey T. 2012. Understanding the role of ecohydrological feedbacks in ecosystem state change in drylands. *Ecohydrology*, 5(2), 174-183.

Ulanova NG. 2000. The effects of windthrow on forests at different spatial scales: a review. *Forest Ecology and Management*, 135(1-3), 155-167.

UNESCO 2012. *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*. UNESCO World Heritage Centre. Paris. Disponible a: <https://whc.unesco.org/en/guidelines/>

Usbeck T, Wohlgemuth T, Dobbertin M, Pfister C, Bürgi A, Rebetez M. 2010. Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 47-55.

Vaz PG, Warren DR, Pinto P, Merten EC, Robinson CT, Rego FC. 2011. Tree type and forest management effects on the structure of stream wood following wildfires. *Forest Ecology and Management*, 262(3), 561-570.

Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.

Von Oheimb G, Friedel A, Bertsch A, Härdtle W. 2007. The effects of windthrow on plant species richness in a Central European beech forest. *Plant Ecology*, 191(1), 47-65.

Wang, W, Qu, JJ, Hao X, Liu Y, Stanturf JA. 2010. Post-hurricane forest damage assessment using satellite remote sensing. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1), 122-132.

Wernli H, Schwierz C. 2006. Surface cyclons in the ERA-40 dataset (1958-2001). Part I: novel identification method and global climatology. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 63, 2486-2507.

Zhang K, Thapa B, Ross M, Gann D. (2016). Remote sensing of seasonal changes and disturbances in mangrove forest: a case study from South Florida. *Ecosphere*, 7(6), e01366.

Žmihorski M. 2010. The effect of windthrow and its management on breeding bird communities in a managed forest. *Biodiversity and Conservation*, 19(7), 1871-1882.



G CONSELLERIA
O MEDI AMBIENT
I TERRITORI
B DIRECCIÓ GENERAL
/ ESPAIS NATURALS
I BIODIVERSITAT



Universitat
de les Illes Balears



Medhycon
Mediterranean
Ecogeomorphological And
Hydrological Connectivity
Research Team

