



CCCC
Comissió de Coordinació
Cartogràfica de Catalunya



ICGC
Institut
Cartogràfic i Geològic
de Catalunya



Variables biofísiques de l'arbrat v1.1

Especificacions tècniques

02.05.2023



**Generalitat
de Catalunya**

Índex

1 Característiques principals	1
1.1 Contingut.....	1
1.2 Objectius	1
1.3 Entitats responsables.....	2
1.4 Àmbit.....	2
1.5 Tipus d'informació geogràfica	2
1.6 Classificació PCC-INSPIRE	2
1.7 Sistema de referència	2
1.8 Actualitzacions	2
1.9 Drets d'ús	2
2 Capes	3
2.1 Biomassa aèria total (BAT)	3
2.2 Carboni aeri total (CAT).....	3
2.3 Volum amb escorça (VAE).....	3
2.4 Biomassa foliar (BF).....	3
2.5 Àrea basal (AB).....	4
2.6 Recobriment arbori (CC)	4
2.7 Diàmetre normal mitjà (DBHm).....	4
2.8 Alçada Mitjana (Hmitjana).....	4
2.9 Índex d'àrea foliar (LAI).....	4
2.10 Densitat de peus per hectàrea (Den).....	5
3 Distribució.....	6
3.1 Canals i fitxers.....	6
3.1.1 Descàrrega – Web de l'ICGC	6
3.1.2 WMS.....	6
3.2 Metadades	7
3.3 Representació	7
3.3.1 Biomassa aèria total (BAT).....	7
3.3.2 Carboni aeri total (CAT).....	7
3.3.3 Volum amb escorça (VAE)	8
3.3.4 Biomassa foliar (BF)	8
3.3.5 Àrea basal (AB)	8
3.3.6 Recobriment arbori (CC)	8
3.3.7 Diàmetre normal mitjà (DBHm)	9

3.3.8 Alçada mitjana (Hmitjana)	9
3.3.9 Índex d'àrea foliar (LAI)	9
3.3.10 Densitat de peus per hectàrea (Den)	10
4 Elaboració	11
5 Qualitat	11
5.1 Completesa	11
5.2 Consistència lògica	11
5.3 Exactitud temàtica	11
Annex A. Referències normatives	12
Sobre la geoinformació	12
Annex B. Glossari de sigles i abreviatures	12
Annex C. Interval·ls de confiança mitjans.....	13
Interval·ls corresponents als mapes de 2016-2017 (v1.1).....	13
Biomassa aèria total (BAT).....	13
Carboni aeri total (CAT).....	13
Volum amb escorça (VAE)	14
Biomassa foliar (BF)	14
Àrea basal (AB)	15
Recobriment arbori (CC)	15
Diàmetre normal mitjà (DBHm)	15
Alçada mitjana (Hmitjana)	16
Índex d'àrea foliar (LAI)	16
Densitat de peus per hectàrea (Den)	16
Annex D. Procés d'elaboració detallat	17
D.1 Processat de dades LiDAR	17
D.2 Processat d'inventaris forestals.....	17
D.3 Processat del mapa de cobertes del sòl.....	17
D.4 Obtenció dels models estadístics	18
D.5 Generació de cartografia	21
D.6 Càlcul dels interval·ls de confiança	21
D.7 Ús dels mapes de variables biofísiques	22
Annex E. Canvis respecte la versió anterior.....	23

1 Característiques principals

1.1 Contingut

Representació, en forma de malla de 20 m de resolució, de les següents variables biofísiques de l'arbrat (l'identificat en el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya com a masses forestals arbrades), les quals permeten conèixer l'estructura de la massa arbrada:

- Biomassa aèria total
- Carboni aeri total
- Volum amb escorça
- Biomassa foliar
- Àrea basal
- Recobriment arbori
- Diàmetre normal mitjà
- Alçada mitjana
- Índex d'àrea foliar (disponible només en algunes edicions)
- Densitat de peus per hectàrea (disponible només en algunes edicions)

1.2 Objectius

Els objectius específics d'aquesta geoinformació són:

- Facilitar el coneixement i interpretació de l'estructura de la massa arbrada des de diversos àmbits, especialment l'ambiental i biològic.
- Facilitar informació d'àmplia cobertura i seguiment de polítiques aplicades en termes de serveis ecosistèmics, gestió forestal, ús i aprofitaments.
- Generar mètriques forestals objectives, reproduïbles en el temps i reducció de costos d'aproximacions basades en treball de camp.
- Facilitar l'anàlisi operacional en combinació amb altres productes temàtics i dades de camp, com per exemple els mapes de cobertes i d'hàbitats.
- Facilitar el coneixement de la distribució espacial de la coberta arbrada, ja que és un requeriment fonamental en l'anàlisi dels canvis, impactes i potencials evolucions de canvis de les cobertes en el temps.
- Prevenir incendis forestals, mitjançant el disseny d'infraestructures de prevenció i les actuacions sobre les càrregues de combustible que exerceixen els aprofitaments de fusta i biomassa forestal.

Alguns casos d'ús d'aquesta geoinformació són:

- Projecte PREVINCAT: Utilització de les variables biofísiques de l'arbrat per la realització de simulacions d'incendis forestals. Projecte desenvolupat pel CTFC conjuntament amb el Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural (DAC).
- Predicció de la humitat del sòl: S'utilitzen les variables d'alçada dominant i biomassa foliar, juntament amb informació del sòl i inventaris forestals, per realitzar prediccions de la humitat del sòl. El CTFC du a terme projectes en aquest àmbit.
- SIGPAC (DAC): Determinació de coeficients de pastura, en funció del recobriment arbori de cada parcel·la.

- Obtenció de models de creixement d'alzinars i castanyedes (Diputació de Barcelona): S'utilitzen el volum amb escorça i l'alçada dominant per a l'estratificació de les zones de mostreig.
- Redacció d'instruments d'ordenació de finques públiques (Diputació de Barcelona): Estratificació de l'inventari forestal i càlcul de variables dasomètriques en rodals monoespecífics poc accessibles.
- Valoració de finques per a la seva adquisició (Diputació de Barcelona).
- Redacció de Plans Forestals Municipals: Instruments d'Ordenació Forestal municipals i supramunicipals (Diputació de Girona).
- Estudis de potencial de producció d'estella a les comarques gironines (Diputació de Girona).
- Desenvolupament de models de paisatge que fan projecció al futur d'algunes de les variables biofísiques (CREAF-CTFC).
- Lligam de les variables biofísiques amb informació de biodiversitat (ocells forestals) amb l'objectiu de poder interpretar nous indicadors forestals de biodiversitat (CREAF-CTFC).
- Detecció a gabinet de boscos madurs (CREAF-CTFC): Les variables biofísiques aporten una informació complementària i prospectiva.
- Mapa de vulnerabilitat a la sequera per tot Catalunya: VULNEMAP (CREAF-CTFC).

1.3 Entitats responsables

- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
- CREAF

1.4 Àmbit

Catalunya.

1.5 Tipus d'informació geogràfica

Malla (*grid*).

1.6 Classificació PCC-INSPIRE

- Tema INSPIRE: Coberta terrestre
- Conjunt PCC: Cobertes del sòl
- Identificador semàntic: variables-biofísiques-arbrat

1.7 Sistema de referència

ETRS89 UTM 31 Nord, en l'ordre *Easting(X), Northing(Y)*, amb codi EPSG:25831.

1.8 Actualitzacions

Màxim cada 10 anys.

1.9 Drets d'ús

[CC BY 4.0](#) Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya i CREAM.

2 Capes

A continuació es detallen les capes que conté aquest conjunt d'informació (una per a cada variable biofísica).

En les següents descripcions, el diàmetre normal és el diàmetre del tronc d'un arbre mesurat a 1,30 m (a l'altura del pit) per sobre del terra.

2.1 Biomassa aèria total (BAT)

Malla (*grid*) on cada cel·la té associat el valor corresponent de biomassa (pes sec) de tota la part aèria de tots els arbres vius de diàmetre normal $\geq 7,5$ cm, mesurada en t/ha. Aquesta biomassa inclou el tronc, les branques i les fulles.

La BAT (biomassa aèria total) s'obté aplicant a cada arbre mesurat l'equació al·lomètrica que relaciona la BAT de l'arbre segons l'espècie, diàmetre normal i alçada. Els valors de les cel·les s'obtenen com la suma per a tots els arbres de la parcel·la, reescalant a valors per hectàrea.

Aquesta malla pot representar-se classificada per rangs, tal com es detalla en l'apartat 3.3.

2.2 Carboni aeri total (CAT)

Malla (*grid*) on cada cel·la té associat el valor corresponent de carboni aeri total (CAT) en t C/ha. Es tracta de l'estoc de carboni corresponent a la biomassa aèria total (BAT).

Els valors s'obtenen multiplicant el valor de la BAT de cada espècie present en la parcel·la per la concentració de carboni corresponent.

Aquesta malla pot representar-se classificada per rangs, tal com es detalla en l'apartat 3.3.

2.3 Volum amb escorça (VAE)

Malla (*grid*) on cada cel·la té associat el valor corresponent al volum del tronc des de la base fins a l'àpex de tots els arbres vius de diàmetre normal $\geq 7,5$ cm, mesurat en m^3/ha .

Els valors s'obtenen a partir de la fórmula que permet calcular el volum del tronc de cada arbre mesurat en la parcel·la de mostreig segons el seu diàmetre normal, la seva alçada i el seu coeficient de forma.

Aquesta malla pot representar-se classificada per rangs, tal com es detalla en l'apartat 3.3.

2.4 Biomassa foliar (BF)

Malla (*grid*) on cada cel·la té associat el valor corresponent de biomassa (pes sec) de fulles dels arbres vius, mesurada en t/ha.

La BF (biomassa foliar) s'obté aplicant a cada arbre mesurat l'equació al·lomètrica que relaciona la biomassa de fulles segons l'espècie i el diàmetre normal. Els valors de les cel·les s'obtenen com la suma per a tots els arbres vius de diàmetre normal $\geq 7,5$ cm de la parcel·la, reescalant a valors per hectàrea.

Aquesta malla pot representar-se classificada per rangs, tal com es detalla en l'apartat 3.3.

2.5 Àrea basal (AB)

Malla (*grid*) on cada cel·la té associat el valor corresponent a la suma de la superfície corresponent a tots els troncs dels arbres vius de diàmetre normal $\geq 7,5$ cm, mesurada en m^2/ha .

Aquesta malla pot representar-se classificada per rangs, tal com es detalla en l'apartat 3.3.

2.6 Recobriment arbori (CC)

Malla (*grid*) on cada cel·la té associat el valor corresponent a la suma de la superfície de les capçades de tots els arbres vius de diàmetre normal $\geq 7,5$ cm, mesurada en percentatge.

Els valors s'obtenen aplicant a cada arbre mesurat en la parcel·la de mostreig l'equació al·lomètrica que relaciona el diàmetre de capçada segons l'espècie amb el seu diàmetre normal. El recobriment així calculat és un valor que pot superar el 100% a causa del solapament de les capçades.

Aquesta malla pot representar-se classificada per rangs, tal com es detalla en l'apartat 3.3.

2.7 Diàmetre normal mitjà (DBHm)

Malla (*grid*) on cada cel·la té associat el valor corresponent a la mitjana del diàmetre normal corresponent a l'àrea basal mitjana dels arbres vius de diàmetre normal $\geq 7,5$ cm, és a dir, de l'àrea basal (AB) dividida pel nombre d'arbres per hectàrea, mesurada en centímetres.

Aquesta malla pot representar-se classificada per rangs, tal com es detalla en l'apartat 3.3.

2.8 Alçada Mitjana (Hmitjana)

Malla (*grid*) on cada cel·la té associat el valor corresponent a la mitjana de l'alçada de tots els arbres vius de diàmetre normal $\geq 7,5$ cm mesurats a la parcel·la, mesurada en metres.

Aquesta malla pot representar-se classificada per rangs, tal com es detalla en l'apartat 3.3.

2.9 Índex d'àrea foliar (LAI)

Malla (*grid*) on cada cel·la té associat el valor corresponent a la superfície de fulles per cada m^2 de sòl. No té unitats.

Els valors es calculen com la relació entre la biomassa foliar i la massa específica foliar de cada espècie, que és el quocient entre la massa d'una mostra de fulles i la seva superfície.

Aquesta malla pot representar-se classificada per rangs, tal com es detalla en l'apartat 3.3.

Disponible només en algunes edicions.



2.10 Densitat de peus per hectàrea (Den)

Malla (*grid*) on cada cel·la té associat el valor corresponent a la suma de tots els peus majors (DBH \geq 7,5 cm) mesurats en la parcel·la, reescalada a valor per hectàrea i mesurada en peus/ha.

Aquesta malla pot representar-se classificada per rangs, tal com es detalla en l'apartat 3.3.

Disponible només en algunes edicions.

3 Distribució

3.1 Canals i fitxers

3.1.1 Descàrrega – [Web de l'ICGC](#)

Cadascuna de les capes d'aquesta geoinformació es distribueix en un fitxer diferenciat, en format GeoTIFF (BigTIFF) de 32 bits, amb *tiles* i piràmides incloses, i on els píxels sense dades associades prenen el valor 0.

El nom dels fitxers té la següent forma: *variables-biofísiques-arbrat-v1r1-bat-2016-2017*, on

- *variables-biofísiques-arbrat*: acrònim semàntic invariable del conjunt d'informació.
- *v1r1*: versió de les especificacions tècniques del conjunt d'informació (versió 1.1).
- *bat*: variable biofísica a què correspon la imatge, on
 - *bat*: biomassa aèria total
 - *cat*: carboni aeri total
 - *vae*: volum amb escorça
 - *ab*: àrea basal
 - *bf*: biomassa foliar
 - *cc*: recobriment arbori
 - *dbhm*: diàmetre normal mitjà
 - *hmitjana*: alçada mitjana
 - *lai*: índex d'àrea foliar
 - *den*: densitat de peus per hectàrea
- *2016-2017*: període representat.

3.1.2 WMS

URL de connexió: <https://geoserveis.icgc.cat/servei/catalunya/variables-biofísiques-arbrat/wms>

Inclou una capa per a cada variable biofísica i període disponible, en escala de grisos i en color. També inclou una capa per a cada variable biofísica, en escala de grisos i en color, per a ser utilitzada amb el paràmetre TIME. Totes són visibles a totes les escales:

Capa	Nom de capa
Variable específica (en escala de grisos) per a cada període disponible	<variable>_<període>
Variable específica en color per a cada període disponible	<variable>_color_<període>
Variable específica (en escala de grisos) per ser utilitzada amb el paràmetre TIME	<variable>_serie_temporal
Variable específica en color per ser utilitzada amb el paràmetre TIME	<variable>_serie_temporal_color

<variable> pot prendre els següents valors:

- *biomassa_aeria_total*: biomassa aèria total
- *carboni_aeri_total*: carboni aeri total
- *volum_escorca*: volum amb escorça
- *area_basal*: àrea basal
- *biomassa_foliar*: biomassa foliar

- *recobriment_arbori*: recobriment arbori
- *diametre_normal_mitja*: diàmetre normal mitjà
- *alcada_mitjana*: alçada mitjana
- *index_area_foliar*: índex d'àrea foliar
- *densitat_peus_hectarea*: densitat de peus per hectàrea

<període> pot prendre valors segons la disponibilitat d'informació, com ara 2005 o 2016_2017.

Mitjançant la petició WMS *GetFeatureInfo* es pot obtenir el valor de la variable corresponent en el punt seleccionat.

3.2 Metadades

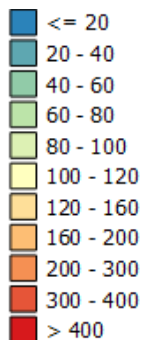
Les metadades d'aquesta geoinformació estan catalogades a la [IDEC](#).

Les metadades donen informació sobre les dades, el sistema de referència i les pròpies metadades. Per a la seva generació, s'utilitza el perfil IDEC de l'estàndard [ISO 19115:2003 \(Geographic information - Metadata\)](#) vigent en el moment de la seva generació.

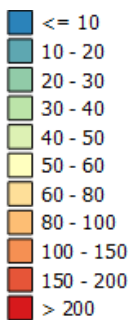
3.3 Representació

Totes les capes de variables biofísiques de l'arbrat, en ser de tipus malla (*grid*), poden representar-se en escala de grisos i també classificades per rangs per a facilitar-ne una visualització de síntesi, per exemple com es descriu a continuació.

3.3.1 Biomassa aèria total (BAT)

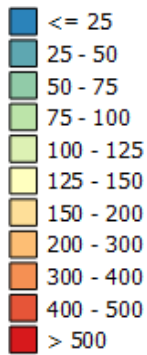


3.3.2 Carboni aeri total (CAT)

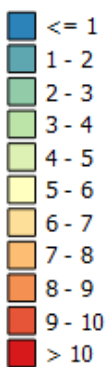




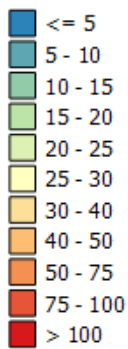
3.3.3 Volum amb escorça (VAE)



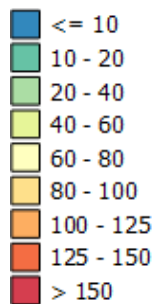
3.3.4 Biomassa foliar (BF)



3.3.5 Àrea basal (AB)

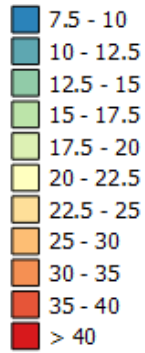


3.3.6 Recobriment arbori (CC)

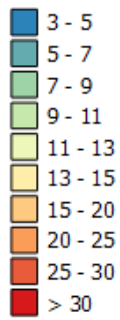




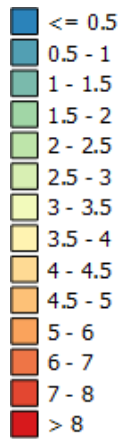
3.3.7 Diàmetre normal mitjà (DBHm)



3.3.8 Alçada mitjana (Hmitjana)

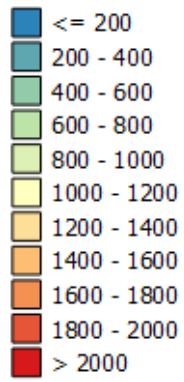


3.3.9 Índex d'àrea foliar (LAI)





3.3.10 Densitat de peus per hectàrea (Den)



4 Elaboració

Els mapes de variables biofísiques de l'arbrat de 20 m de resolució s'obtenen principalment a partir de dades LiDAR, dades d'inventaris forestals i el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya, seguint la metodologia descrita a continuació.

Més concretament:

1. Es processen les dades LiDAR per a obtenir una bona classificació dels punts de vegetació i terreny i es calculen les mètriques LiDAR que defineixen les característiques estructurals de les masses forestals arbrades.
2. S'apliquen les equacions al·lomètriques per a cada espècie a nivell d'arbre dels inventaris forestals per a obtenir l'estimació de variables biofísiques.
3. Es processen els mapes de cobertes del sòl per assignar a cadascuna de les cel·les de 20x20 m la coberta arbòria corresponent.
4. A partir de les mètriques LiDAR es calculen els models estadístics que millor s'ajusten a l'inventari forestal.
5. Es genera la cartografia aplicant a les mètriques LiDAR els models obtinguts en funció de les espècies i categories arbrades indicades en el mapa de cobertes.
6. Es calculen els intervals de confiança.

5 Qualitat

5.1 Completesa

- **Requisit de qualitat:** La imatge cobreix totes les zones classificades com a massa forestal arbrada en el Mapa de Cobertes del Sòl vigent en el moment de la seva elaboració. Per comprovar-ho, es revisa visualment que no hi hagi cap zona forestal arbrada sense dades, i es completa si és necessari.

5.2 Consistència lògica

- **Requisit de qualitat:** Les dades estan emmagatzemades correctament segons els requisits del format GeoTIFF. Per comprovar-ho, es fa una lectura i visualització manual dels arxius GeoTIFF mitjançant eines pròpies i també amb programari estàndard de procés d'imatges.

5.3 Exactitud temàtica

- **Requisit de qualitat:** Els valors indicats estan dins del rang corresponent a un interval de confiança del 95%, detallats en l'Annex C. Es fa servir un model de regressió lineal generalitzada per a explicar la variable resposta corresponent utilitzant com a variables explicatives les diferents mètriques derivades de les dades LiDAR.

Annex A. Referències normatives

Sobre la geoinformació

- Decret 53/2022, de 22 de març, pel qual s'aprova la revisió del Pla cartogràfic de Catalunya
- Directiva 2007/2/EC del Parlament Europeu i del Consell de 14 de març de 2007 per la qual s'estableix una Infraestructura d'informació espacial a la Comunitat Europea (INSPIRE)
- ISO 19115:2003, Geographic information – Metadata
- ISO 19115:2003/Cor 1:2006, Geographic information – Metadata
- ISO 19131:2007, Geographic Information – Data product specifications
- ISO 19131:2007/Amd 1:2011, Geographic Information – Data product specifications, Amendment 1
- ISO/TS 19139:2007, Geographic information – Metadata – XML schema implementation
- ISO 19157:2003, Geographic information – Data quality

Annex B. Glossari de sigles i abreviatures

- AB: Àrea basal
- BAT: Biomassa aèria total
- BF: Biomassa foliar
- CAT: Carboni aeri total
- CC BY 4.0: Llicència Creative Commons (CC) de Reconeixement (BY) 4.0 Internacional
- ETRS89: *European Terrestrial Reference System* 1989 (Sistema de referència terrestre europeu 1989)
- ICGC: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
- IDEC: Infraestructura de Dades Espacials de Catalunya
- INSPIRE: *Infrastructure for Spatial Information in Europe* (Infraestructura d'informació espacial a Europa)
- ISO: *International Organization for Standardization* (Organització internacional per a l'estandardització)
- LAI: Índex d'àrea foliar
- PCC: Pla Cartogràfic de Catalunya
- VAE: Volum amb escorça

Annex C. Interval de confiança mitjans

La informació que es mostra en les taules següents és una estimació de l'error per cada rang de valors de la llegenda del mapa corresponent, a excepció de la darrera classe que no correspon al darrer rang de la llegenda. Per cadascun d'aquests rangs es dona el valor inferior i superior d'un interval de confiança del 95% en percentatge i per un valor al mapa corresponent al valor mitjà del rang a la llegenda es dona el valor inferior i superior de l'interval de confiança del 95% corresponent en valor absolut.

Per exemple, en el cas de l'interval de confiança associat al Carboni Aeri Total, pel rang de valors al mapa de 20-30 t C/ha, el valor mitjà del qual és 25 t C/ha, l'interval de confiança en percentatge està entre -15.42% i +17.01%, que en valor absolut correspon a 21.14 t C/ha i 29.25 t C/ha.

Per conèixer els intervals corresponents a mapes diferents dels següents, consulteu les especificacions pertinents (2005 v1.0, etc.).

Interval de confiança corresponents als mapes de 2016-2017 (v1.1)

Biomassa aèria total (BAT)

Rang (t/ha)	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa (t/ha)	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior (t/ha)	Superior (t/ha)
0-20	-37.6	27.0	10.0	6.2	12.7
20-40	-33.3	29.5	30.0	20.0	38.8
40-60	-19.8	20.8	50.0	40.1	60.4
60-80	-14.9	15.7	70.0	59.5	81.0
80-100	-12.5	13.5	90.0	78.8	102.1
100-120	-10.7	11.7	110.0	98.3	122.9
120-140	-9.6	10.8	130.0	117.5	144.0
140-160	-9.1	10.3	150.0	136.3	165.4
160-180	-8.8	10.3	170.0	155.0	187.4
180-200	-8.8	10.1	190.0	173.2	209.2
200-250	-11.6	16.6	225.0	198.8	262.3
250-300	-11.9	14.5	275.0	242.2	314.8
300-350	-11.6	15.8	325.0	287.2	376.2
350-400	-11.0	14.5	375.0	333.6	429.2
400-600	-20.8	31.4	500.0	396.0	657.0

Carboni aeri total (CAT)

Rang (t C/ha)	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa (t C/ha)	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior (t C/ha)	Superior (t C/ha)
0-10	-38.5	27.2	5.0	3.1	6.4
10-20	-33.4	29.7	15.0	10.0	19.5
20-30	-19.8	20.7	25.0	20.1	30.2
30-40	-15.4	15.6	35.0	29.6	40.4
40-50	-12.2	12.9	45.0	39.5	50.8
50-60	-10.8	11.5	55.0	49.0	61.3
60-70	-9.4	11.0	65.0	58.9	72.1
70-80	-8.8	10.1	75.0	68.4	82.6
80-90	-8.8	10.1	85.0	77.5	93.6
90-100	-8.7	9.6	95.0	86.8	104.1

Rang (t C/ha)	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa (t C/ha)	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior (t C/ha)	Superior (t C/ha)
100-125	-12.0	17.3	112.5	99.0	132.0
125-150	-11.8	15.0	137.5	121.3	158.1
150-175	-12.5	16.5	162.5	142.3	189.4
175-200	-11.2	13.1	187.5	166.5	212.0
200-300	-21.0	31.7	250.0	197.6	329.2

Volum amb escorça (VAE)

Rang (m ³ /ha)	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa (m ³ /ha)	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior (m ³ /ha)	Superior (m ³ /ha)
0-25	-58.7	46.0	12.5	5.2	18.3
25-50	-32.7	31.7	37.5	25.2	49.4
50-75	-19.1	22.1	62.5	50.6	76.3
75-100	-14.8	16.0	87.5	74.5	101.5
100-125	-11.5	13.1	112.5	99.6	127.3
125-150	-10.2	11.9	137.5	123.4	153.8
150-200	-14.2	17.3	175.0	150.2	205.3
200-250	-12.2	13.5	225.0	197.5	255.5
250-300	-11.0	13.0	275.0	244.8	310.7
300-400	-13.9	20.4	350.0	301.5	421.5
400-500	-12.5	16.1	450.0	393.6	522.6
500-600	-11.9	14.2	550.0	484.8	628.4
600-700	-11.5	11.7	650.0	575.3	726.2
700-800	-11.0	12.5	750.0	667.2	844.0

Biomassa foliar (BF)

Rang (t/ha)	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa (t/ha)	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior (t/ha)	Superior (t/ha)
0-1	-26.8	21.7	0.5	0.4	1.2
1-2	-34.3	26.8	1.5	1.0	3.3
2-3	-20.6	20.8	2.5	2.0	5.2
3-4	-15.5	16.5	3.5	3.0	7.2
4-5	-12.5	13.1	4.5	3.9	9.1
5-6	-10.3	11.6	5.5	4.9	11.1
6-7	-9.1	10.3	6.5	5.9	13.1
7-8	-7.3	10.1	7.5	6.9	15.1
8-9	-8.5	10.0	8.5	7.8	17.1
9-10	-9.0	11.1	9.5	8.6	19.1
10-11	-9.4	10.8	10.5	9.5	21.1
11-12	-9.2	12.1	11.5	10.4	23.1
12-13	-8.5	10.1	12.5	11.4	25.1
13-14	-8.1	10.6	13.5	12.4	27.1
14-15	-7.7	8.6	14.5	13.4	29.1
15-16	-7.6	8.5	15.5	14.3	31.1
16-17	-7.1	7.8	16.5	15.3	33.1
17-18	-7.6	8.4	17.5	16.2	35.1
18-19	-6.9	7.6	18.5	17.2	37.1
19-20	-7.2	7.9	19.5	18.1	39.1

Àrea basal (AB)

Rang (m ² /ha)	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa (m ² /ha)	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior (m ² /ha)	Superior (m ² /ha)
0-5	-23.7	16.2	2.5	1.9	2.9
5-10	-32.6	26.9	7.5	5.1	9.5
10-15	-20.6	20.0	12.5	9.9	15.0
15-20	-14.7	15.2	17.5	14.9	20.2
20-25	-12.1	13.2	22.5	19.8	25.5
25-30	-10.3	11.5	27.5	24.7	30.7
30-40	-12.7	17.8	35.0	30.6	41.2
40-50	-11.0	15.8	45.0	40.0	52.1
50-60	-10.9	12.2	55.0	49.0	61.7
60-70	-10.6	11.1	65.0	58.1	72.2

Recobriment arbori (CC)

Rang (%)	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa (%)	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior (%)	Superior (%)
5-10	-17.0	19.2	5	4.1	6.0
10-20	-36.8	24.9	15	9.5	18.7
20-30	-21.7	21.7	25	19.6	30.4
30-40	-17.3	18.1	35	29.0	41.3
40-50	-13.3	13.9	45	39.0	51.2
50-60	-12.2	12.5	55	48.3	61.9
60-70	-9.9	10.8	65	58.6	72.0
70-80	-9.2	10.2	75	68.1	82.7
80-100	-12.1	12.6	90	79.1	101.4
100-120	-9.7	11.0	110	99.3	122.1
120-140	-8.5	11.7	130	118.9	145.2
140-160	-13.0	16.4	150	130.5	174.6
160-180	-14.1	19.9	170	146.0	203.8
180-200	-12.3	14.0	190	166.6	216.7
>200	-24.0	36.0	260	197.6	353.5

Diàmetre normal mitjà (DBHm)

Rang (cm)	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa (cm)	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior (cm)	Superior (cm)
7.5-10.0	-7.2	5.5	8.75	8.1	9.2
10.0-12.5	-12.6	8.2	11.25	9.8	12.2
12.5-15.0	-9.4	9.1	13.75	12.5	15.0
15.0-17.5	-8.4	7.9	16.25	14.9	17.5
17.5-20.0	-7.2	7.2	18.75	17.4	20.1
20.0-22.5	-6.3	7.0	21.25	19.9	22.7
22.5-25.0	-5.9	7.0	23.75	22.3	25.4
25.0-30.0	-8.0	12.4	27.50	25.3	30.9
30.0-35.0	-8.9	12.4	32.50	29.6	36.5

Alçada mitjana (Hmitjana)

Rang (m)	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa (m)	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior (m)	Superior (m)
3-5	-17.1	12.1	4.0	3.3	4.5
5-7	-17.1	15.1	6.0	5.0	6.9
7-9	-12.4	12.4	8.0	7.0	9.0
9-11	-9.7	10.2	10.0	9.0	11.0
11-13	-7.7	9.2	12.0	11.1	13.1
13-15	-6.8	8.4	14.0	13.1	15.2
15-20	-11.0	18.6	17.5	15.6	20.8
20-25	-8.0	8.4	22.5	20.7	24.4
25-30	-4.0	4.0	27.5	26.4	28.6

Índex d'àrea foliar (LAI)

Rang	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior	Superior
0-0.5	-19.7	14.6	0.25	0.20	0.40
0.5-1.0	-33.7	27.8	0.75	0.50	1.03
1.0-1.5	-20.3	21.0	1.25	1.00	1.46
1.5-2.0	-15.4	16.6	1.75	1.48	1.92
2.0-2.5	-12.5	13.8	2.25	1.97	2.39
2.5-3.0	-11.0	12.4	2.75	2.45	2.87
3.0-4.0	-15.3	17.3	3.50	2.96	3.67
4.0-5.0	-12.6	14.3	4.50	3.93	4.64
5.0-6.0	-12.3	18.4	5.50	4.82	5.68
6.0-7.0	-14.6	20.3	6.50	5.55	6.70
7.0-8.0	-11.6	14.2	7.50	6.63	7.64
8.0-9.0	-9.8	10.2	8.50	7.67	8.60

Densitat de peus per hectàrea (Den)

Rang (peu/ha)	Interval de confiança del 95%		Valor al mapa (peu/ha)	Interval de confiança del 95%	
	Inferior (%)	Superior (%)		Inferior (peu/ha)	Superior (peu/ha)
0-200	-15.8	25.0	100	84	125
200-400	-33.6	26.8	300	199	380
400-600	-22.0	20.8	500	390	604
600-800	-16.1	17.0	700	587	819
800-1000	-13.7	15.2	900	777	1036
1000-1200	-11.8	14.0	1100	971	1254
1200-1400	-10.8	12.1	1300	1160	1457
1400-1600	-10.5	12.2	1500	1343	1682
1600-1800	-10.2	11.3	1700	1527	1892
1800-2000	-8.9	10.2	1900	1731	2094
2000-2500	-11.1	14.8	2250	2000	2584
2500-3000	-8.7	12.1	2750	2510	3082

Annex D. Procés d'elaboració detallat

Per conèixer el procés d'elaboració d'altres versions de mapes (de variables biofísiques), consulteu les especificacions pertinents (2005 v1.0, etc.).

D.1 Processat de dades LiDAR

S'utilitzen les dades de les cobertures LiDAR de Catalunya (LIDARCAT), o d'altres cobertures amb les mateixes característiques, el processat de les quals consisteix en:

1. Classificació del núvol de punts LiDAR en terreny, vegetació, edificis, torres i línies elèctriques, altres torres i soroll.
2. Normalització d'alçades: Transformació d'altituds ortomètriques en alçades sobre el terreny de cadascun dels punts.
3. Càlcul de mètriques LiDAR que defineixen característiques estructurals de les masses forestals arbrades: Es calculen les mètriques de l'arbrat considerant que tots els punts classificats com a vegetació i amb alçada superior a 3 m sobre el terreny pertanyen a la massa arbrada, amb l'excepció del camp número total de retorns que es calcula a partir de totes les classes de vegetació i terreny. Aquest procés es realitza primer obtenint el núvol de punts del LiDAR corresponents a la superfície de radi variable de les parcel·les de l'inventari forestal i després sobre la totalitat de blocs LiDAR de 2x2 km i seguint una malla regular de 20x20 m. Algunes de les mètriques calculades són: número total de punts, número de punts de primer, segon, tercer i quart retorn de vegetació, alçada mínima, mitjana i màxima, distància interquartílica, Skewness i Kurtosis segons el National Institute of Standards and Technology, alçada del percentil dels punts de vegetació expressada en metres per a $N = 1, 5, 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 95$ i 99, desviació absoluta mitjana, coeficient de variació d'alçades, etc.

D.2 Processat d'inventaris forestals

S'utilitzen inventaris forestals com els duts a terme en diferents projectes al CREAM i els Inventaris Forestals Nacionals (IFN) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Es fa una selecció de les parcel·les amb un percentatge de recobriment de capçades d'almenys el 5%, on l'espècie forestal dominant en àrea basal sigui alguna de les espècies següents: *Abies alba*, *Castanea sativa*, *Fagus sylvatica*, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata*, *Quercus ilex*, *Quercus suber* i Roures (*Quercus faginea*, *Quercus cerrioides*, *Quercus humilis*, *Quercus petraea* o *Quercus robur*) i una selecció de parcel·les amb altres espècies.

A partir del diàmetre normal (DBH) i de l'alçada dels arbres adults ($DBH \geq 7,5$ cm) mesurats a cada parcel·la de mostreig i utilitzant les equacions al·lomètriques per a cada espècie a nivell d'arbre s'estimen les següents variables biofísiques per a cada parcel·la inventariada: Biomassa aèria total (t/ha), Carboni aeri total (t/ha), Volum amb escorça (m^3/ha), Biomassa foliar (t/ha), Àrea basal (m^2/ha), Recobriment arbori (%), Diàmetre normal mitjà (cm), Alçada mitjana (m), Índex d'àrea foliar (s.u.) i Densitat (peus/ha).

D.3 Processat del mapa de cobertes del sòl

S'utilitza la versió del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC) més propera a la data dels vols de captació de les dades LiDAR.

El MCSC es converteix a format ràster amb una resolució espacial de 2 m de píxel i fent-la coincidir amb la malla de 2x2 km dels blocs LiDARCAT. Es reclassifica el mapa assignant "nodata" a tots els valors corresponents a categories no arbrades (i.e., forestal no arbrat com ara matollars i prats, totes les categories agrícoles i totes les urbanes). Es generalitza a una resolució espacial de 20 m i finalment la categoria assignada al píxel de 20x20 m és la corresponent a la moda de l'espècie forestal, incloent la possibilitat de que la moda pugui ser el "nodata".

Cal tenir en compte que les categories forestals del MCSC de 2009 contenen informació a nivell d'espècie dominant i en canvi l'actualització del MCSC de 2018 la té a nivell d'agrupació d'espècies per tipus funcional. Amb la finalitat d'obtenir les variables biofísiques calculades a nivell d'espècie dominant, els mapes de variables biofísiques de 2016-2017 es generen a partir del MCSC de 2009 modificant només els píxels on es detecten canvis en l'actualització de 2018. El mapa de cobertes resultant conté valors per espècie dominant en el cas dels píxels on s'han detectat canvis i valors per tipus funcional en els canvis detectats en el 2018. Les espècies i categories arbrades obtingudes són les següents:

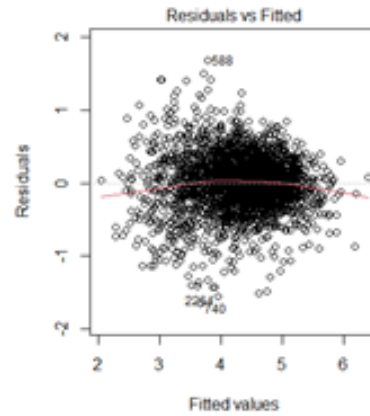
- Per espècie dominant: *Abies alba*, *Castanea sativa* (amb i sense fulles), *Fagus sylvatica* (amb i sense fulles), *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata*, *Quercus ilex*, *Quercus suber* i Roures (amb i sense fulles).
- Per tipus funcional: Boscos d'aciculifolis (coníferes), Boscos de caducifolis i planifolis (caducifolis), Boscos d'esclerofil·les i laurifolis (escleròfil·les), bosc de ribera, espais forestals cremats.

D.4 Obtenció dels models estadístics

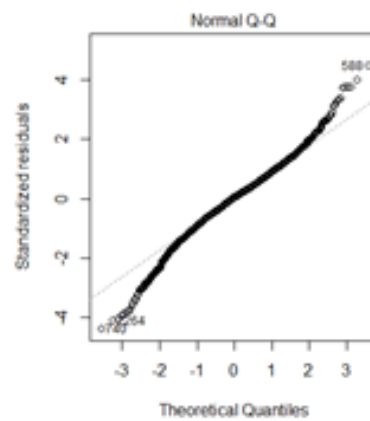
A partir de les variables explicatives (mètriques LiDAR descrites a l'apartat D.1), es calcula el model estadístic que s'ajusta millor per a cada variable resposta (inventari forestal descrit a l'apartat D.2). Els models obtinguts s'apliquen al conjunt del territori per generar els mapes d'alta resolució espacial (20x20 m) de les variables biofísiques a tota la superfície forestal arbrada i segons l'espècie indicada en el MCSC (vegeu apartat D.3). Es calculen models estadístics per a cadascuna de les variables biofísiques a nivell d'espècie dominant però distingint, en el cas de les caducifòlies (castanyer, faig i roures), les parcel·les situades on el vol LiDAR s'ha dut a terme en els mesos que tenen fulles (abril-setembre) i en els mesos que no en tenen (octubre-març). També s'ajusten els models a nivell de grup d'espècies per aplicar-los a les zones on s'han detectat canvis respecte al MCSC de 2009.

Com a primer pas es comprova que les relacions entre qualsevol variable explicativa i la variable resposta (transformada o no) sigui lineal. En els casos en que alguna d'elles no ho sigui també es proven transformacions logarítmiques (logaritme neperià) de la variable explicativa.

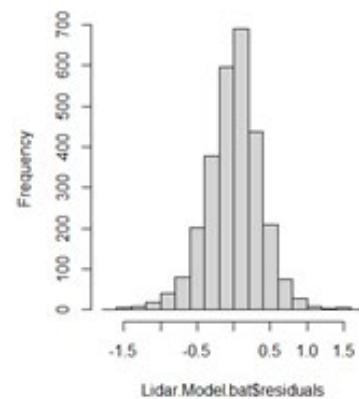
També es prova si cal transformar la variable resposta en relació al conjunt de variables explicatives comprovant que el model estadístic obtingut no presenti cap biaix rellevant examinant la distribució dels residus en les cues dels diagrames Q-Q plot, comprovant que no es mantingui cap tendència en la relació dels residus del model i els valors esperats i, finalment, que l'histograma de distribució dels residus del model no difereixi d'una distribució normal. Per mantenir la relació lineal entre la variable resposta i les variables explicatives es transformen a logaritme neperià totes les variables resposta excepte l'alçada mitjana.



Imatge 1. Resultat de la distribució dels residus del model en relació als valors ajustats



Imatge 2. Distribució dels residus en les cues dels diagrames Q-Q plot



Imatge 3. Histograma de distribució dels residus del model

S'utilitza el mètode de regressió pas a pas (*stepwise regression*) on l'elecció de les variables predictives o explicatives per cada variable resposta es duu a terme per mitjà d'un procediment automàtic. Aquest procediment consisteix en incloure a l'inici totes les variables explicatives (mètriques LiDAR + l'espècie com a factor). A cada pas, el procediment elimina la variable que menys aporta en l'explicació de la variable resposta. El procés es va repetint fins que no hi ha cap millora significativa. Les variables són escollides automàticament en termes d'AIC (Akaike Information Criterion).

El criteri final per descartar variables explicatives del model és el de Bayesian Information Criterion (BIC), que és una mesura de la qualitat relativa de model estadístic per un conjunt de dades donat i que permet obtenir un model el més parsimoniós possible, és a dir, màxima explicació de la variància amb el mínim de variables explicatives possible.

Es tornen a repetir els models pels tres grans tipus funcionals (esclerofil·les, coníferes i caducifolis) utilitzant exactament les mateixes variables explicatives que el model final resultant obtingut amb l'espècie com a factor.

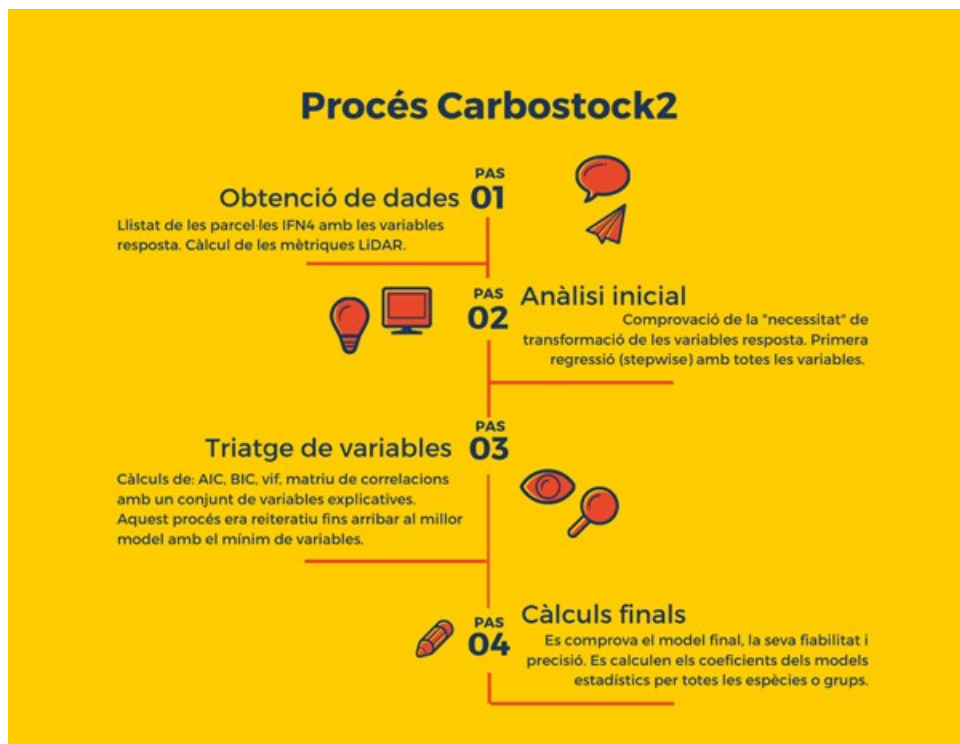
Es calcula el coeficient de determinació del model (r^2), que és una mesura de la variància explicada pel model.

La transformació logarítmica de la variable resposta genera un biaix sistemàtic en el valor estimat que cal corregir quan es transforma de nou al valor original. Aquesta correcció és:

$$e^{\text{var}(\text{residus})/2}$$

és a dir, el factor de correcció és l'exponencial de la variància (var) dels residus del model dividida per 2.

De forma esquemàtica es presenta el procés d'obtenció dels models en el següent gràfic:



Imatge 4. Esquema del procés d'obtenció dels models estadístics

D.5 Generació de cartografia

Pel càlcul de mètriques LiDAR i la generació dels mapes s'utilitza el *plugin* de QGIS anomenat CarboQ, desenvolupat en Python 2 per l'ICGC per generar la cartografia de les variables biofísiques seguint la següent metodologia:

1. Es calculen les mètriques LiDAR de les parcel·les de mostreig i de la malla de 20x20 m de cadascun dels blocs de 2x2 km.
2. S'introdueixen els models obtinguts per espècie i categoria. Els models contenen un coeficient per cada espècie i categoria i un coeficient per cadascuna de les mètriques LiDAR que entren en els models. En aquesta versió dels mapes, els caducifolis tenen també diferents coeficients en funció de l'època de captació de les dades LiDAR. Es fixen uns valors màxims esperats per cada variable de manera que quan una cel·la tingui un valor superior al màxim esperat aquest es substitueix pel valor màxim esperat.
3. Es calcula el recobriment arbori a partir de les mètriques LiDAR i es descarten aquelles cel·les que tinguin un recobriment arbori inferior al 5%. A aquestes cel·les se'ls assigna el valor nul.
4. S'apliquen les equacions i coeficients a les mètriques LiDAR per cada bloc en funció de l'espècie dominant o el grup funcional segons el mapa de cobertes i distingint l'època de captació de dades, amb l'excepció de les que tenen un recobriment arbori inferior al 5%. A la categoria de bosc de ribera se li aplica el model de boscos de caducifolis i planifolis. A la categoria espais forestals cremats se li aplica el valor nul.
5. S'obté un valor de cadascuna de les variables biofísiques per cada cel·la de 20x20 m dels blocs de 2x2 km.
6. Finalment es realitza el mosaic de tots els blocs per cada variable biofísica.

D.6 Càlcul dels intervals de confiança

Es calculen els intervals de confiança de cadascun dels valors de les variables biofísiques que es representen al mapa. Es fa servir un model de regressió lineal generalitzada per a explicar la variable resposta corresponent (CAT, BAT, VAE...) utilitzant com a variables explicatives les diferents mètriques derivades de les dades LiDAR.

Donat que la variable resposta en els models estadístics obtinguts es transforma a logaritmes, es tria una distribució gamma com a distribució dels errors en la regressió amb una funció logarítmica d'enllaç. Els coeficients de regressió del model es poden fer servir per a calcular els valors esperats a partir de nous valors de les variables explicatives. Aquests valors esperats de la variable resposta també tenen un error associat, que es determina com un rang o interval per sobre i per sota de cada valor esperat. El rang d'error que s'utilitza és el de l'interval de confiança del 95% de la variació dels valors biofísics esperats. Per calcular-lo es fan servir tècniques de "bootstrap." La metodologia de "bootstrap" assumeix que tot això és equivalent a fer mostres reals, un gran nombre de vegades, del mateix experiment. Amb els "bootstrap" es torna a calcular el model estadístic un gran nombre de vegades, en cada ocasió amb dades que s'extreuen de les dades reals, mitjançant seleccions aleatòries amb repetició, de la variable resposta i les variables explicatives. Fent aquest procés de càlcul iteratiu es pot arribar a estimar com varien els nous valors esperats de la variable biofísica quan el model es calcula amb aquestes seleccions aleatòries de les dades observades. Com a resultat d'aquesta tècnica s'obtenen un gran nombre de valors esperats de la variable resposta a cada parcel·la. Aquest conjunt de punts, centrats sempre al voltant del valor real esperat de la variable biofísica, s'utilitza llavors per a determinar un interval de confiança que ens informi de la incertesa en el valor esperat de la variable resposta al 95%.

Els intervals de confiança de cadascun dels models aplicats es poden consultar a l'Annex C d'aquest document.

D.7 Ús dels mapes de variables biofísiques

Cada edició dels mapes es genera amb la seva pròpia font de dades i, per tant, cadascuna té els seus propis models estadístics. Com a conseqüència, les diferents edicions no es poden comparar. De fet, la cartografia 2016-2017 substitueix la del 2005 perquè és una versió actualitzada i millorada de la primera.

Actualitzada perquè la del 2005 es basa en el vol LiDAR 2008-2011 i dades veritat terreny provinents de parcel·les de diferents inventaris forestals duts a terme entre els anys 2000 i 2011 i, en canvi, la del 2016-2017 es basa en el vol LiDAR 2016-2017 i dades veritat terreny provinents únicament de les parcel·les de l'IFN4 que es van mostrejar entre els anys 2014 i 2016.

Millorada per tres raons principals:

- La primera, perquè respecte a la del 2005 compta amb dades de camp que cronològicament coincideixen pràcticament en el temps amb la segona cobertura de LIDARCAT. A l'edició de 2005 les dades de camp es van mostrejar entre els anys 2000 i 2011 mentre que les dades LiDARCAT eren dels anys 2008-2011, fet que suposa introduir com a variable explicativa addicional la diferència en anys entre les dates de mostreig i les dates del vol LiDAR. Fent aquesta correcció s'aconsegueix corregir el biaix sistemàtic introduït pel decalatge entre les dates del mostreig però afegeix imprecisió en els models estadístics obtinguts. En la segona edició dels mapes no s'incorpora aquesta variable perquè la diferència d'anys entre el mostreig i la data del vol LiDAR és insignificant a l'escala temporal de la dinàmica del bosc.
- La segona millora té a veure amb la grandària de la mostra per construir els models estadístics: mentre que en l'edició de 2005 el nombre de parcel·les és de només 437 provinents de diferents inventaris forestals, en l'edició de 2016-2017 la grandària mostral augmenta fins a les 2 708 parcel·les totes provinents del IFN4, tal com es detalla a continuació.

Tipus de bosc	Espècie principal	Nombre de parcel·les en l'edició de 2005	Nombre de parcel·les en l'edició de 2016-2017
Pineda de pi blanc	<i>Pinus halepensis</i>	69	507
Alzinar	<i>Quercus ilex</i>	48	481
Pineda de pi roig	<i>Pinus sylvestris</i>	64	571
Roureda	<i>Quercus caducifolis</i>	52	261
Pineda de pinassa	<i>Pinus nigra</i>	34	317
Sureda	<i>Quercus suber</i>	28	159
Pineda de pi negre	<i>Pinus uncinata</i>	36	147
Pineda de pi pinyer	<i>Pinus pinea</i>	39	70
Fageda	<i>Fagus sylvatica</i>	38	94
Avetosa	<i>Abies alba</i>	29	50
Pineda de pinassa	<i>Pinus pinaster</i>	-	33
Castanyeda	<i>Castanea sativa</i>	-	18
Total		437	2 708

- La tercera és perquè té en compte l'època de captació de les dades LiDAR per les espècies caducifòlies (faig, roures, castanyer). En aquest sentit, s'ajusten els models distingint les parcel·les segons si estan en una zona sobrevolada durant l'època de l'any que tenen fulles (abril-setembre) o sense fulles (octubre-març).

Els vols de la cobertura LIDARCAT es realitzen al llarg de diferents èpoques de l'any i es pot donar el cas que una zona s'hagi sobrevolat a l'època en la que els caducifolis no tenen fulles o a l'època en que en tenen. Aquesta distinció es fa perquè la capacitat de penetració dels polsos del LiDAR és molt diferent en un bosc quan té fulles que quan no en té. Això implica que el model estadístic per les espècies caducifòlies utilitzat en la versió 1.0 dels mapes sigui més imprecís en el sentit que en les zones sobrevolades a l'hivern el model subestima el valor real mentre que a l'estiu el model el sobreestima.

La data de vol majoritària de cada cobertura associada als blocs de 2x2 km de LIDARCAT es pot consultar en format ESRI Shapefile i PDF [al lloc web de l'ICGC](#).

Annex E. Canvis respecte la versió anterior

Aquesta versió (1.1) té en compte l'època de captació de les dades LiDAR a l'hora d'aplicar els models a les espècies caducifòlies, en tant que les seves propietats són força diferents entre l'estiu i l'hivern.

El document no inclou detalls de mapes (de variables biofísiques) realitzats segons altres especificacions ([2005 v1.0](#), etc.).