

Quantificació i cartografia de la biodiversitat, les funcions i serveis ecosistèmics a Catalunya

Corina Basnou, Javier Gordillo, Guillem Bagaría, Laura Fuentes, Joan Pino

Col·laboradors:

Marc Anton, Lluís Brotons, Laura Camprubí, Josep Germain, Sergi Herrando,
Jordi Vayreda

Febrer, 2019

Índex

1. REVISIÓ CONCEPTUAL I METODOLÒGICA.....	5
1.1 Concepte, aplicació i classificació dels serveis ecosistèmics	5
1.2 Càlcul d'indicadors i cartografia de serveis ecosistèmics.....	11
1.3 Conservació de la biodiversitat versus provisió de serveis ecosistèmics	13
2. ANÀLISI DE LA SITUACIÓ A CATALUNYA I PRIMERA PROPOSTA D'INDICADORS	15
2.1 Diagnosi de la situació a Catalunya	15
2.2 Gap analysis dels principals indicadors de serveis ecosistèmics a Catalunya	16
2.3 Primera llista d'indicadors de biodiversitat, funcions i serveis ecosistèmics	20
3. METODOLOGIA DELS INDICADORS I CARTOGRAFIA DE LA BIODIVERSITAT, DE LES FUNCIONS I DELS SERVEIS ECOSISTÈMICS	22
3.1 Biodiversitat.....	22
3.1.1 Biodiversitat singular	22
3.1.2 Biodiversitat funcional.....	23
3.2 Indicadors d'estructura, processos i funcions	24
3.2.1 Biomassa aèria total dels boscos	24
3.2.2 Connectivitat ecològica.....	25
3.3 Serveis d'aprovisionament.....	26
3.3.1 Aprovisionament de biomassa	26
3.3.2 Aprovisionament d'aliments.....	28
3.4 Serveis de regulació.....	31
3.4.1 Regulació hídrica: escolament superficial.....	31
3.4.2 Pol·linització.....	32
3.4.3 Regulació de la qualitat de l'aire.....	33
3.4.4 Increment net de biomassa aèria	34
4. RESULTATS	35
4.1 Biodiversitat.....	35
4.2 Biomassa aèria total dels boscos.....	39
4.3 Connectivitat ecològica.....	39
4.4 Aprovisionament de biomassa.....	42
4.5 Aprovisionament d'aliments.....	45
4.6 Regulació hídrica: escolament superficial	47
4.7 Pol·linització	49

4.8 Regulació de la qualitat de l'aire	49
4.8.1 Biomassa foliar (LAI) dels boscos.....	49
4.8.2 Concentració mitjana anual de PM10	49
4.8.3 Concentració mitjana anual de NO2.....	49
4.9 Increment net de biomassa aèria	49
5. REFERÈNCIES.....	55

1.Revisió conceptual i metodològica

1.1 Concepte, aplicació i classificació dels serveis ecosistèmics

Es parla de serveis ecosistèmics en referència als beneficis, directes o indirectes, dels ecosistemes pel benestar de les persones (TEEB, 2010). Aquest concepte es va començar a usar a finals dels anys setanta amb l'objectiu de fomentar l'interès en la conservació de la biodiversitat, i es va estendre durant els anys noranta, moment en què es va fer palès l'interès creixent en l'estimació del valor econòmic d'aquests serveis (Gómez-Baggethun et al., 2010).

Amb la publicació de l'Avaluació dels Ecosistemes del Mil·lenni (MEA, 2003), el concepte de serveis ecosistèmics va entrar amb força dins l'agenda política, i la literatura científica relacionada amb aquesta temàtica va experimentar un increment exponencial. Des de llavors, han proliferat els estudis sobre la classificació, cartografia i valoració dels serveis ecosistèmics, amb l'objectiu d'integrar-los en els processos polítics de presa de decisions. També han sorgit altres iniciatives amb una rellevància similar, com és el cas del The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, 2010), que té l'objectiu fomentar els valors de la biodiversitat i els serveis ecosistèmics en la presa de decisions, ressaltant el cost econòmic de la seva pèrdua i degradació i proposant mesures per a aturar-les. Finalment, l'any 2012 es va crear l'IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, www.ipbes.net), una plataforma intergovernamental que té com a missió donar respostes basades en el coneixement científic als responsables de la presa de decisions, avaluant l'estat de la biodiversitat del planeta, els seus ecosistemes i els serveis ecosistèmics essencials que proveeixen a la societat i fomentant polítiques encarades a la conservació i ús sostenible de la biodiversitat, el benestar humà a llarg termini i el desenvolupament sostenible.

Es considera que les aproximacions basades en els serveis ecosistèmics proporcionen una millor base per a la presa de decisions ambientals que altres aproximacions perquè fan explícita la connexió entre el benestar humà i l'estructura i processos dels ecosistemes (van Wensem et al., 2017). Però malgrat el creixent interès científic i polític en els serveis que ens proveeixen els ecosistemes, encara queden molts reptes pendents per a la integració real del concepte de serveis ecosistèmics en la planificació i gestió del territori i la presa de decisions (de Groot et al., 2010). No hi ha un consens clar sobre com quantificar, modelitzar i cartografiar el flux dels serveis generats pels ecosistemes a

diferents escales, ni s'ha desenvolupat un marc que integri plenament els valors ecològics, econòmics i socioculturals dels ecosistemes. Els gestors, per a poder prendre decisions fonamentades, requereixen mesures acurades dels serveis dels ecosistemes i informació fiable de les conseqüències de diferents opcions de gestió i de la situació final desitjable, però en l'actualitat la manca de dades que lliguin les característiques dels ecosistemes amb els serveis que generen per a la societat en limiten l'ús en les polítiques públiques (Wong et al., 2015).

En alguns països, com Suècia o els Estats Units, els governs ja han fet passos importants cap a la integració dels serveis ecosistèmics en les decisions econòmiques i polítiques (van Wensem et al., 2017). A més a més, la Unió Europea va adoptar l'any 2011 l'Estratègia 2020 sobre Biodiversitat (http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/strategy/index_en.htm), en la que es pretén aturar la pèrdua de biodiversitat i de serveis ecosistèmics abans del 2020. En el marc d'aquesta estratègia alguns països, com Alemanya, Holanda, Finlàndia i Espanya, ja han fet les primeres avaluacions d'ecosistemes i dels serveis ecosistèmics que generen (Schröter et al., 2016).

Tot i aquest interès creixent en el concepte de serveis ecosistèmics, la relació entre l'estructura i processos biofísics dels ecosistemes i el seu trasllat als efectes sobre el benestar humà a través dels serveis, encara és un tema de debat científic. El marc teòric que actualment té més acceptació dins la comunitat científica és l'anomenat "Cascada de serveis ecosistèmics" (Haines-Young & Potschin, 2010), que relaciona l'estructura i processos biofísics de l'ecosistema, amb les funcions, els serveis, el benefici per al benestar humà i el valor (econòmic o no) que aquest té, en una cascada en què un afecta el següent (**Figura 1**). En aquest marc, les funcions ecosistèmiques serien intermediàries entre els processos ecològics i els serveis i es podrien definir com "la capacitat dels ecosistemes per proporcionar béns i serveis que satisfacin les necessitats humanes, directa o indirectament" (Gómez-Baggethun & de Groot, 2010). Aquestes funcions i processos són els que suporten els serveis finals, utilitzats per la població (Wong et al., 2015). L'ús efectiu d'un bé o servei proporciona beneficis que incideixen directament sobre la salut i el benestar humà que a la vegada pot ser valorat en termes monetaris o no monetaris per la societat. Aquesta valoració (que es podria equiparar a la demanda del servei) pot tenir uns impactes sobre l'estructura biofísica dels ecosistemes, i podria regular-se a través de l'acció política.

El consens sobre el sistema de classificació dels serveis ecosistèmics també és objecte de debat, tant per la pròpia complexitat dels ecosistemes com per la diversitat d'enfocaments de les diferents avaluacions. En molts casos aquesta divergència de criteris ha fet que els sistemes de classificació tinguin poca correspondència entre serveis i beneficis i que es desdibuixi la distinció entre serveis intermedis i finals (La Notte et al., 2017).

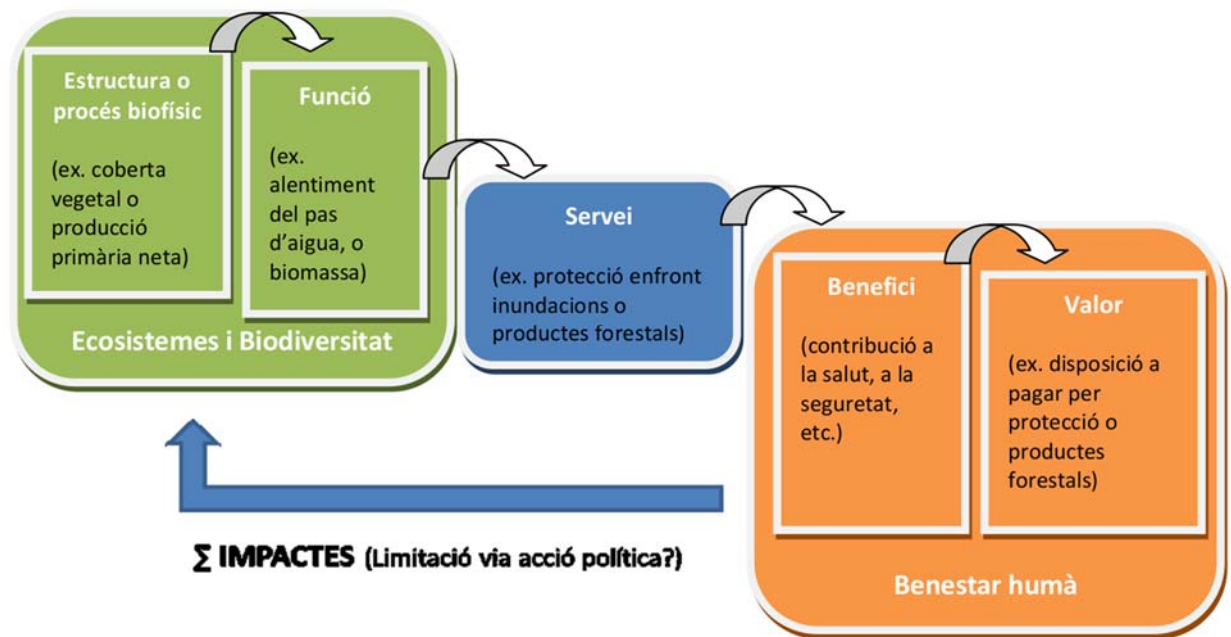


Figura 1. Marc teòric “cascada dels serveis ecosistèmics” (adaptat de Haines-Young & Potschin 2010)

Les classificacions que han estat més utilitzades són les de l'Avaluació dels Ecosistemes del Mil·lenni (MEA, 2005), del The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB, 2010) i el Common International Classification for Ecosystem Services (CICES; <https://cices.eu>). En el MEA i el TEEB es reconeixen quatre grans categories de serveis ecosistèmics: d'aprovisionament, de regulació, culturals i d'hàbitat o suport (**Figura 2**):

- A. **Serveis d'aprovisionament**: són els serveis ecosistèmics que descriuen la “producció” material o de recursos naturals dels ecosistemes, incloent:
 - A.1. **Aliments**: els ecosistemes proporcionen les condicions per a la producció d'aliments, tant en hàbitats naturals com en agro-sistemes gestionats.

- A.2. **Matèries primeres:** els ecosistemes proporcionen una gran diversitat de materials per a la construcció o combustibles.
- A.3. **Aigua dolça:** els ecosistemes proporcionen aigua dolça superficial i subterrània.
- A.4. **Recursos medicinals:** moltes plantes són utilitzades com a medicines tradicionals o per a la indústria farmacèutica.
- B. **Serveis de regulació:** són els serveis en els quals els ecosistemes actuen com a reguladors, incloent:
 - B.1. **Regulació micro-climàtica i qualitat de l'aire:** els arbres i la vegetació en general proporcionen ombra i filtren contaminants de l'atmosfera. Els boscos influencien les precipitacions.
 - B.2. **Captura i emmagatzematge de carboni:** la vegetació captura diòxid de carboni de l'atmosfera, emmagatzemant-lo als seus teixits, contribuint així a la mitigació del canvi climàtic i la regulació climàtica global.
 - B.3. **Moderació de riscos naturals:** els ecosistemes poden crear zones de mitigació contra riscos naturals com inundacions, tempestes o desprendiments de terres.
 - B.4. **Tractament d'aigües residuals:** els microorganismes en el sòl i zones humides descomponen els residus d'origen animal o humà.
 - B.5. **Control de l'erosió:** la vegetació contribueix al control de l'erosió, un procés clau en la degradació i desertificació del sòl.
 - B.6. **Pol·linització:** una gran part de conreus depenen de la pol·linització animal.
 - B.7. **Control biològic:** els ecosistemes són importants per regular plagues o malalties transmeses per vectors.
- C. **Serveis culturals:** són els beneficis no materials que els humans obtenim d'estar en contacte amb els ecosistemes.
 - C.1. **Usos recreatius i salut física i mental:** la funció dels paisatges naturals i les zones verdes per mantenir la salut mental i física s'està reconeixent cada vegada més.
 - C.2. **Turisme:** el turisme relacionat amb la naturalesa proporciona beneficis econòmics considerables i és una font d'ingressos important en molts països.
 - C.3. **Apreciació estètica i inspiració per cultura, art i disseny:** l'apreciació de la naturalesa i la seva translació en formes culturals i artístiques s'ha donat a llarg de tota la història.

C.4. Experiència espiritual i sentit de pertinença: la naturalesa és un element comú en la majoria de religions i els paisatges naturals i semi-naturals formen la identitat local i el sentit de pertinença.

D. **Serveis d'hàbitat o suport:** són els serveis que apunten o formen la base de tots els altres. Els diferents ecosistemes proporcionen l'espai on viuen plantes i animals, i mantenen la seva diversitat.

D.1. **Hàbitats per espècies:** els hàbitats proporcionen tot allò que una espècie animal o vegetal necessita per sobreviure.

D.2. **Manteniment de la diversitat genètica:** la diversitat genètica proporciona la base per races localment ben adaptades a nivell, per exemple, d'agricultura i ramaderia.

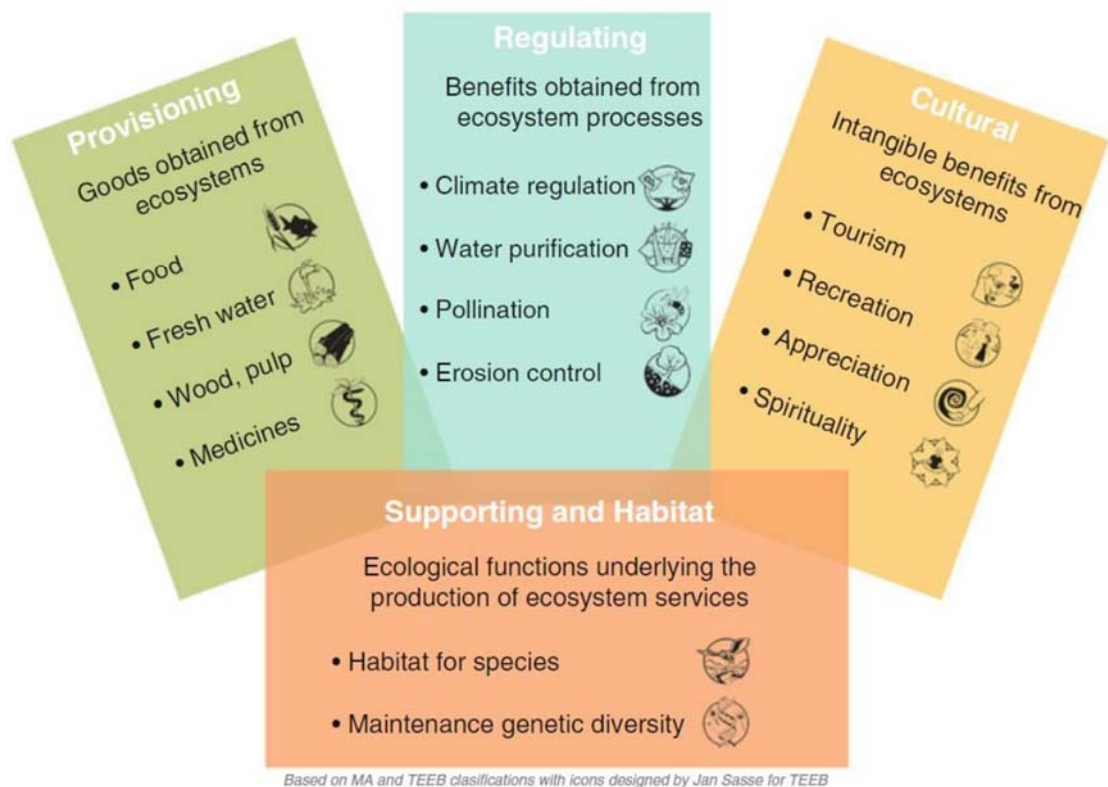


Figura 2. Classificació dels serveis ecosistèmics basada en el MEA i el TEEB (Font: Gómez-Baggethun et al., 2013; icones dissenyades per Jan Sasse pel TEEB)

El CICES, proposat per l'Agència Ambiental Europea, per la seva banda, considera només els tres primers (**Taula 1**), ja que els serveis de suport corresponen a serveis intermedis que contribueixen de manera indirecta a serveis finals d'aprovisionament,

regulació o culturals, i que podrien portar a un comptatge múltiple dels serveis en cas de ser considerats al mateix nivell. Això no vol dir, però, que els serveis de suport tinguin menor importància, ja que s'ha la pèrdua de biodiversitat resulta en la pèrdua de funcions i, en conseqüència, en la pèrdua o degradació dels serveis ecosistèmics (Naeem et al., 1995). Aquesta classificació CICES actualment ha esdevingut un marc de referència important.

Taula 1. Classificació dels serveis ecosistèmics del CICES, versió 4.3 (<https://cices.eu>)

Secció	Divisió	Grup
Aprovisionament	Nutrició	Biomassa
		Aigua
	Materials	Biomassa, Fibres
		Aigua
	Energia	Fonts d'energia basades en la biomassa
		Energia mecànica
Regulació i manteniment	Mediació de residus, tòxics i altres molèsties	Mediació per part de la biota
		Mediació per part dels ecosistemes
	Mediació dels fluxos	Fluxos de massa
		Fluxos líquids
		Fluxos gasosos / d'aire
	Manteniment de les condicions físiques, químiques i biològiques	Manteniment del cicle biològic, protecció de l'hàbitat i del <i>pool</i> genètic
		Control de plagues i malalties
		Formació i composició del sòl
		Condicions hidrològiques
		Composició atmosfèrica i regulació climàtica
Culturals	Interaccions físiques i intel·lectuals amb els ecosistemes i paisatges terrestres o marins	Interaccions físiques i experiències
		Interaccions intel·lectuals i de representació
		Espirituals i/o emblemàtiques

	Espirituals, simbòliques i altres interaccions amb els ecosistemes i paisatges terrestres o marins	Altres interaccions culturals
--	--	-------------------------------

1.2 Càlcul d'indicadors i cartografia de serveis ecosistèmics

L'avaluació espacialment explícita dels serveis ecosistèmics és una eina important per a la presa de decisions, ja que permet identificar les àrees que proveeixen major quantitat de serveis (àrees clau), els compromisos i sinergies entre múltiples serveis ecosistèmics i les zones on convergeixen diversos objectius de conservació i que cal prioritzar (Martínez-Harms & Balvanera 2012). A més, el fet que l'oferta i la demanda dels serveis sigui espacialment explícita, fa que sigui necessari quantificar els serveis de forma cartogràfica.

Existeixen multitud d'enfocaments per al càlcul i la cartografia de serveis ecosistèmics, depenent de la disponibilitat i el tipus de dades disponibles, l'escala espacial, l'objectiu i el context de l'estudi. Aquests enfocaments es poden classificar en tres aproximacions principals: la transferència de valor o benefici, els mètodes per a quantificar els valors socials i l'avaluació socioecològica de la provisió de serveis ecosistèmics (Martínez-Harms & Balvanera 2012). En la transferència de benefici s'utilitzen resultats empírics de valoració o quantificació de serveis ecosistèmics en alguns estudis per a inferir-los a un altre cas d'estudi, en cobertes del sòl, hàbitats o biomes similars. Va ser la metodologia usada per Costanza et al. (1997) en un dels primers estudis que van cartografiar el valor monetari dels serveis ecosistèmics a escala mundial i que va causar un gran impacte, tant a nivell científic com polític. Aquest mètode, però, ha estat força criticat pel fet que no té en compte les diferències espacials dels hàbitats, fet que implica que els resultats són poc precisos (e.g. Nelson et al., 2009). Els mètodes per a quantificar els valors socials utilitzen enquestes de preferències i percepcions per a cartografiar els serveis ecosistèmics integrant-les també amb dades biofísiques (e.g. Sherrouse et al., 2011). Finalment, l'avaluació socioecològica de la provisió de serveis, modelitza la relació entre variables ecològiques (e.g. mostreig de serveis mesurats al camp, clima, coberta del sòl, dades hidrològiques, etc.) i socials (e.g. població, dades de censos, mapes d'infraestructures, etc.) per a quantificar i cartografiar els serveis proporcionats en l'espai (e.g. Chan et al., 2006, Naidoo et al., 2008). Les fonts

d'informació que més s'han utilitzat per a la cartografia de serveis ecosistèmics inclouen dades i mapes de cobertes del sòl, informació topogràfica o índexs de vegetació, que normalment estan disponibles per àrees extenses de territori i ja s'utilitzen per prendre decisions sobre planificació i gestió del territori (Martínez-Harms & Balvanera 2012). Una manera de classificar els mètodes de cartografia de serveis ecosistèmics és segons l'escala, la disponibilitat de dades, els recursos i el temps (Martínez-Harms & Balvanera 2012) (**Figura 3**). Per a poder obtenir mapes acurats i precisos cal disposar de dades primàries suficients per a construir models de regressió, el que també comporta recursos i temps. Per altra banda, quan hi ha dades secundàries disponibles i el temps i els recursos són limitats, les taules de consulta poden ser un enfocament adequat.

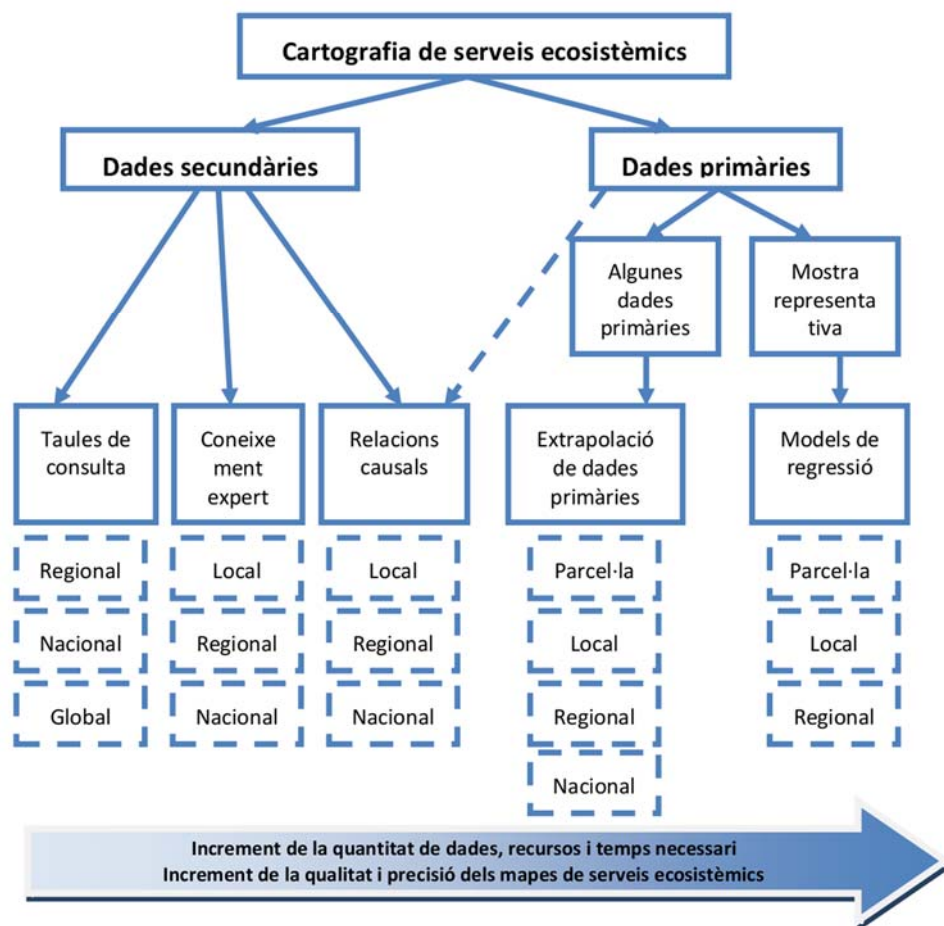


Figura 3. Metodologies per a cartografiar serveis ecosistèmics en funció de l'escala, la disponibilitat de dades, els recursos i el temps. (Font: Martínez-Harms & Balvanera 2012)

Els mètodes per a cartografiar els serveis ecosistèmics es poden dividir segons diversos criteris i estratègies (Andrew et al., 2015, Englund et al., 2017). Segons una revisió recent de Englund et al. (2017), els serveis ecosistèmics que han estat cartografiats més freqüentment, amb diferència, són els de regulació (principalment composició atmosfèrica i regulació climàtica, i manteniment del cicle biològic), seguits pels culturals (sobretot interaccions físiques i experiències amb la natura) i els d'aprovisionament (principalment biomassa). Per contra, entre els serveis concrets que han estat menys cartografiats hi ha els de control de plagues i malalties, formació i composició del sòl, i serveis espirituals. Els mètodes més usats han estat els models lògics i els models empírics, seguits per l'extrapolació, la simulació/models de processos, la integració de dades i la cartografia directa. Només en un 12% dels casos la cartografia va ser validada amb dades empíriques.

Amb l'objectiu de facilitar la cartografia de serveis ecosistèmics i d'integrar-los en els processos de presa de decisions, en els últims anys s'han desenvolupat diverses eines, que es basen en models més o menys sofisticats (vegeu Bagstad et al., 2012 per a una revisió d'aquestes eines). Les més conegudes i més àmpliament aplicables són InVEST i ARIES, eines de lliure accés que usen un ventall de dades espacials d'entrada i codifiquen les funcions de producció ecològica en models deterministes (InVEST i ARIES) i probabilístics (ARIES), que produeixen els resultats en unitats biofísiques per als serveis d'aprovisionament i regulació, i en valors relatius pels serveis culturals. Els models deterministes de l'InVEST funcionen bé en contextos on els processos ecològics són ben coneguts, mentre que els models probabilístics de l'ARIES són apropiats en situacions en què les dades són escasses. A Europa també s'utilitza l'ESTIMAP (Zulian et al., 2013), una col·lecció de models espacialment explícits desenvolupada per a cartografiar serveis ecosistèmics a escala europea, adaptable a escales inferiors d'acord amb les dades d'entrada. A vegades però, resulta difícil adaptar aquests models a escales espacials més detallades o a funcions i serveis ecosistèmics concrets.

1.3 Conservació de la biodiversitat versus provisió de serveis ecosistèmics

La popularització del concepte de serveis ecosistèmics en els últims anys ha comportat un canvi en l'argumentari de les estratègies de conservació de la biodiversitat, posant el focus en la contribució de la biodiversitat en el benestar, la seguretat i la salut humana, i

deixant en un segon pla el valor intrínsec de la biodiversitat (Haines-Young & Potschin 2010). L'objectiu inicial del concepte de serveis ecosistèmics va ser el de fer pedagogia sobre la importància de la biodiversitat en les funcions ecosistèmiques i posar de manifest el cost que podria tenir la seva pèrdua per al benestar humà (Gómez-Baggethun et al., 2010). No obstant, focalitzar-se només en el valor monetari dels serveis pot comportar un risc, ja que no assegura una gestió òptima per a la conservació de la biodiversitat ni per a la distribució equitativa dels beneficis ambientals (Basnou et al., 2015).

Alguns conservacionistes ja fa temps que van mostrar-se escèptics que una aproximació totalment antropocèntrica pugui ser suficient per a protegir la biodiversitat (Myers, 1997). Malgrat que els serveis de regulació sovint es correlacionen positivament amb la biodiversitat (Cimon-Morin et al., 2013, Lee & Lautenbach, 2016), hi ha evidències que suggereixen que s'assoleix una asímptota en algunes funcions i serveis a nivells intermedis de biodiversitat (Loreau et al., 2001). Tot i que es pot compatibilitzar un aprovisionament racional amb la conservació de la biodiversitat, quan es maximitza la producció en els serveis d'aprovisionament en una àrea, es pot alterar substancialment la producció de tots els altres serveis i amenaçar la biodiversitat (Cimon-Morin et al., 2013).

Com que només una part de les espècies d'un ecosistema són les responsables de mantenir un servei, protegint relativament poques espècies es podria assegurar la provisió del servei. Tot i que la incertesa de la relació entre biodiversitat i serveis ecosistèmics recomana protegir més espècies de les estrictament crítiques pel servei, un enfoc basat només en el valor net dels serveis ecosistèmics encara podria deixar una part important de la biodiversitat sense protecció (Dee et al., 2017). Es calcula que prenent un enfocament basat només en la protecció dels serveis ecosistèmics hi podria haver pèrdues del 36–95% de la biodiversitat respecte un enfocament basat només en la protecció de la biodiversitat. Igualment, un enfocament basat només en la conservació de la biodiversitat, podria significar l'incompliment del 0-83% dels objectius de protecció de serveis ecosistèmics (Cimon-Morin et al., 2013). D'altra banda, un enfocament estratègic, centrat en la biodiversitat i quatre serveis ecosistèmics (emmagatzematge de carboni, prevenció d'inundacions, provisió d'aigua i oportunitats recreatives), tindria una pèrdua relativa de biodiversitat de només el 7% (Chan et al., 2006).

Per tant, les polítiques únicament centrades en garantir els serveis ecosistèmics no són suficients per a complir els objectius de conservació del patrimoni natural i la biodiversitat, i a l'inrevés. En aquest context, i tenint en compte els dos enfocaments, la planificació sistemàtica de la conservació (Margules & Sarkar, 2007), basada en la

complementarietat de les àrees a protegir, pot ajudar a millorar l'eficiència en la conservació de la biodiversitat i els serveis ecosistèmics, sobretot quan els recursos són escassos (Cimon-Morin et al., 2013) o quant s'enfoquen àrees amb forta demanda.

2. Anàlisi de la situació a Catalunya i primera proposta d'indicadors

2.1 Diagnosi de la situació a Catalunya

Dins l'àmbit de Catalunya s'han fet diferents propostes de quantificació i cartografia de funcions i serveis ecosistèmics, a nivell municipal, provincial i regional. Aquests estudis han cobert un ampli espectre de serveis, de totes les categories: aprovisionament, regulació, culturals i de suport.

Cal destacar com a punt de partida el treball de Chaparro & Terradas (2009), en què, tot i no cartografiar-los, van fer una quantificació biofísica i una valoració econòmica de diversos serveis ecosistèmics del verd urbà a la ciutat de Barcelona, extrapolant dades primàries de treball de camp. Els serveis avaluats van ser tots de regulació: filtració de l'aire, regulació climàtica global, reducció del soroll, regulació microclimàtica i regulació hídrica, i en base als resultats de l'estudi es van fer propostes de gestió per a millorar la qualitat de l'aire, incrementar el segrest de carboni i reduir l'escorrentia superficial de l'aigua de pluja.

La primera cartografia representativa a nivell de Catalunya, però, va ser la valoració econòmica dels serveis ecosistèmics de la costa catalana, duta a terme per Brenner et al. (2010). En aquest treball es va utilitzar la transferència de benefici amb valors associats a cobertes del sòl obtinguts de bibliografia per a estimar el valor no comercial dels serveis ecosistèmics de les comarques de la costa catalana. Aquesta metodologia permet fer una valoració dels serveis amb poques dades, però presenta el problema de no tenir en compte la variació espacial dels hàbitats i sol donar resultats poc precisos.

Posteriorment, Bangash et al. (2013) i Terrado et al. (2014) van cartografiar diversos serveis ecosistèmics hidrològics a la conca del Llobregat i van avaluar l'impacte que es preveu que hi tingui el canvi climàtic. En aquest cas es va fer una quantificació biofísica de serveis d'aprovisionament (aprovisionament d'aigua) i de regulació (control de l'erosió i purificació de l'aigua) a una escala de detall relativament fina (200 m), modelats amb l'eina InVEST.

En el cas de l'AMB, s'han realitzat recentment diversos treballs que avaluen la provisió de serveis ecosistèmics per part dels diversos elements de la infraestructura verda

(Basnou et al., 2014, Pino et al., 2018). L'any 2014 es va fer la primera proposta d'indicadors per a tota la Província de Barcelona (Baró et al., 2014), en el marc d'un conveni amb la Diputació de Barcelona, pel Sistema d'Informació Territorial de la Xarxa d'Espais Lliures (SITxell). En aquest treball es van cartografiar diversos serveis ecosistèmics de diferents tipus: aprovisionament (aliments i farratges, biomassa forestal), regulació (regulació climàtica global, control de l'erosió), culturals (oportunitats recreatives) i de suport (hàbitat per espècies). Aquests indicadors es van millorar i ampliar els anys següents (Baró et al., 2015, Basnou et al., 2016), en les següents actualitzacions del treball. En aquestes noves versions es millorava el càlcul dels serveis d'aprovisionament d'aliments, aprovisionament de biomassa forestal, regulació climàtica global, oportunitats recreatives i hàbitat per espècies (biodiversitat singular) i s'incorporava la cartografia de nous serveis d'aprovisionament (aprovisionament de biomassa residual de conreus llenyosos), regulació (connectivitat ecològica, estoc de carboni, LAI, escolament superficial, pol·linització, regulació de la qualitat de l'aire) i de suport (biodiversitat funcional, mapa ecològic). Gairebé tots aquests indicadors són quantificacions biofísiques calculades utilitzant models de regressió, i representades a una resolució de 20 m.

Al 2016 també es van presentar els mapes de variables biofísiques de l'arbrat de Catalunya, creats pel CREAM i l'ICGC, en col·laboració amb el Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya. Aquests mapes han estat elaborats a una resolució de 20 m a partir de dades LiDAR, i alguns d'ells corresponen a serveis ecosistèmics de regulació i funcions ecosistèmiques: carboni aeri total, biomassa aèria total i biomassa foliar.

Finalment, el Departament de Territori i Sostenibilitat també ha desenvolupat recentment una llista i valoració qualitativa dels serveis ecosistèmics existents als espais naturals protegits de Catalunya.

2.2 Gap analysis dels principals indicadors de serveis ecosistèmics a Catalunya

Fins al moment la cartografia de serveis ecosistèmics a nivell català ha estat escassa i s'ha focalitzat en cobertes concretes. Per aquest motiu, i tot i que moltes de les dades o capes cartogràfiques utilitzades en aquests treballs previs es poden utilitzar per a cartografiar els serveis ecosistèmics a nivell català, no tota la informació està disponible

per al conjunt de Catalunya o bé no permet elaborar una cartografia prou detallada. En alguns casos també caldria completar el càlcul amb nova informació per a ajustar millor els models i obtenir indicadors més precisos.

Pel que fa als serveis d'aprovisionament, es disposa de la informació necessària per a un càlcul precís de l'aprovisionament d'aliments provinents de conreus agrícoles: usos agrícoles, rendiments i percentatge destinat al consum humà. Aquest indicador ja havia estat calculat per a la província de Barcelona (Basnou et al., 2016) i, tot i no representar el total d'aprovisionament d'aliments, en representa la fracció que es pot calcular de forma precisa amb les dades disponibles. Seria interessant poder cartografiar també l'aprovisionament d'aliments provinents de la ramaderia extensiva i la pesca, però no es disposa de la informació de detall necessària. Altres formes de producció d'aliments com són la ramaderia intensiva o l'aqüicultura es considera que no s'haurien d'incloure en el càlcul d'aquest servei ecosistèmic pel fet d'estar deslligats de l'ecosistema circumdant. Finalment, també existeixen dades que permeten calcular la producció de bolets en alguns boscos, un servei que podria complementar una cartografia completa d'aprovisionament d'aliments.

L'aprovisionament d'aigua ha estat calculat a nivell de Catalunya en coberta forestal, a partir de variables climàtiques mensuals, índex d'àrea foliar (LAI), pedregositat, textura del sòl i densitat aparent, però el model d'equilibri d'aigua del sòl utilitzat només s'ha desenvolupat per a boscos (De Cáceres et al., 2015). Aquest indicador també ha estat calculat de manera alternativa per a la conca del Llobregat (Terrado et al., 2014), però en aquest cas s'incrementa la informació necessària i requereix el calibratge d'alguns paràmetres amb valors mesurats de l'indicador, pel que resulta poc viable a nivell de tot el territori. Per tant, considerem que actualment la cartografia d'aquest indicador no és factible per al conjunt del territori i el global de cobertes del sòl.

L'aprovisionament de biomassa per a usos energètics es pot cartografiar per a tot Catalunya, incloent la biomassa forestal primària i la biomassa residual de conreus llenyosos. Aquests càlculs s'havien realitzat per separat a la província de Barcelona (Basnou et al., 2016) i són extrapolables a tot el territori. En la biomassa forestal es limita a llocs accessibles (segons els vials i el pendent) i se n'exclouen els boscos madurs. Per a la biomassa de conreus llenyosos, s'utilitzen els coeficients de producció del Pla de Biomassa de Catalunya, segons el tipus de conreu.

Dels serveis de regulació, un dels més directament lligats a la salut de les persones és la regulació de la qualitat de l'aire per part de la vegetació. La cartografia d'aquest

indicador ve condicionada per la densitat dels punts de mesura de concentració de contaminants, que varia al llarg de Catalunya, cosa que dificulta una bona estimació d'aquest servei al conjunt del territori. Degut a aquesta limitació, a la província de Barcelona, aquest servei només es va calcular per a la regió metropolitana de Barcelona (Baró et al., 2015) per a NO₂, i en la cartografia realitzada per a tota la província per a PM₁₀ es va utilitzar un mapa europeu d'alta resolució de la concentració d'aquest contaminant i no les dades de les estacions de mesura (Basnou et al., 2016). Per tant, aquest indicador es pot millorar, actualitzant la cartografia amb informació recent per a tot Catalunya.

Per al servei de regulació hídrica, el càlcul de l'escolament superficial es disponible per a l'AMB i a província de Barcelona (Basnou et al., 2014, Baró et al., 2015, Basnou et al., 2018, Pino et al., 2018). L'escolament superficial és exercit en part per la coberta vegetal (és a dir, les parts aèries de les plantes que la integren), en part pel substrat edàfic (sòl i formacions superficials) i en part per la litologia. Per tant, l'escolament es basa en la combinació d'informació disponible sobre de les cobertes de sòl, la hidrogeologia i la quantitat de precipitacions.

La connectivitat ecològica basada tant en la topologia del paisatge (connectivitat estructural) com en la capacitat de dispersió de les espècies (connectivitat potencial) ha estat calculada per a la província de Barcelona (Baró et al., 2015), i pot ser extrapolada al conjunt de Catalunya de manera força directa. La connectivitat estructural es pot calcular de forma precisa a partir del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya, mentre que els mapes de resistència acumulada només són fiables per a grups de fauna ben prospectats al territori (principalment ocells). Tenint en compte aquesta limitació, es pot obtenir una cartografia fiable utilitzant subgrups de fauna amb diferents requeriments ecològics dins un mateix grup biològic.

El servei de pol·linització ha estat calculat per a la província de Barcelona utilitzant l'abundància de papallones modelada a partir de dades del Catalan Butterfly Monitoring Scheme (CBMS) com a indicador (Basnou et al., 2016). Les papallones, tot i no ser els principals pol·linitzadors, sí que són representatives de l'abundància d'altres insectes pol·linitzadors, per als quals no hi ha dades sistemàtiques d'abundància.

El manteniment de la fertilitat del sòl és un altre servei, que ha estat cartografiat com a carboni orgànic del sòl en boscos, matollars i prats per al conjunt de la Península Ibèrica (Doblas-Miranda et al., 2013), en base a mesures de camp i modelat en funció de la coberta, el clima i l'altitud. No obstant, la resolució espacial obtinguda és relativament

grollera comparada amb altres indicadors (aproximadament 200 m) i les dades de camp són costoses d'obtenir per a treballar a major resolució. Per tant, considerem que la qualitat de la cartografia d'aquest servei no es correspondria amb la de la majoria d'indicadors avaluats.

Un altre dels indicadors calculats per a la conca del Llobregat és el de purificació de l'aigua (Terrado et al., 2014). Aquest càlcul requereix de la cartografia d'aprovisionament d'aigua, a més de les cobertes i variables topogràfiques i el calibratge d'alguns paràmetres amb valors mesurats. Com en el cas de l'aprovisionament d'aigua, la cartografia no és factible per al conjunt de Catalunya amb aquesta metodologia.

La biomassa (estoc de carboni de la vegetació) és un indicador de la regulació climàtica que ha estat calculat a partir de dades LiDAR pel CREAF i l'ICGC, com a biomassa aèria total en els mapes de variables biofísiques de l'arbrat de Catalunya. Per tant, és un indicador disponible a alta resolució per a tot Catalunya, però limitat a coberta forestal.

Un altre indicador de la regulació climàtica és l'increment net de biomassa (segrest de carboni), per al càlcul del qual es disposa d'informació detallada i completa per a tot Catalunya en boscos. Partint de la biomassa (estimada a partir de LiDAR), i modelant l'increment a partir de dades de l'Inventario Forestal Nacional (IFN), el tipus de bosc i variables climàtiques i topogràfiques, s'ha estimat aquest indicador per a la província de Barcelona (Basnou et al., 2016). Tot i així, encara hi ha marge de millora, quan es disposi d'un segon vol LiDAR de tot Catalunya, que permetrà tenir dades comparables per a tota la superfície forestal en anys diferents i calcular l'increment de biomassa de forma més precisa. L'increment de biomassa en altres cobertes, com els matollars, de moment no ha estat calculat en cap treball a Catalunya.

Pel que fa als serveis de suport, el valor intrínsec de la biodiversitat es pot cartografiar com a biodiversitat singular. Aquest indicador s'ha calculat per a l'AMB (Basnou et al., 2014) i per a la província de Barcelona a partir de diverses capes de flora i fauna amenaçada (Baró et al., 2015). El SITxell de la Diputació de Barcelona disposa d'informació cartogràfica força completa per a diferents grups de vertebrats, que s'utilitza per al càlcul d'aquest indicador. A nivell de Catalunya, però, només es disposa d'informació suficient per a les aus, tot i que aquesta mancança no impedeix un càlcul suficientment complet d'aquest indicador.

La biodiversitat funcional també ha estat cartografiada per a la província de Barcelona (Basnou et al., 2016), tenint en compte el grau d'especialització dels organismes i la capacitat del territori d'actuar com a reservori d'individus. Tanmateix, aquest càlcul no

recull atributs funcionals de les espècies, i part de la informació no està disponible per al conjunt de Catalunya degut a la falta de prospecció de determinats grups d'organismes. Caldria millorar la metodologia d'aquest indicador (incloent atributs funcionals) i adaptar-la a la informació disponible per a cartografiar-lo a tot el territori.

2.3 Primera llista d'indicadors de biodiversitat, funcions i serveis ecosistèmics

S'ha realitzat una primera selecció d'indicadors de funcions i serveis ecosistèmics per a Catalunya, que cobreixen un espectre força ampli del ventall de funcions d'aprovisionament, regulació i suport, i que permeten valorar els serveis de manera suficientment completa a tot el territori.

Biodiversitat

- **Biodiversitat singular:** El valor intrínsec de la biodiversitat correspon a aquells elements de flora i fauna amb un elevat interès de conservació. Una bona cartografia de biodiversitat singular és essencial per a assegurar el manteniment d'aquests elements. Es pot obtenir una cartografia majoritàriament precisa per a aquest indicador, tot i que hi ha mancances en el coneixement de la distribució de determinats grups biològics.
- **Biodiversitat funcional:** Aquest indicador fa referència al paper de la biodiversitat en el funcionament dels processos que tenen lloc als ecosistemes, amb la complementarietat de funcions que desenvolupen les diferents espècies. Cal una adaptació de l'indicador a nivell de Catalunya i la incorporació específica d'atributs funcionals per a desenvolupar-ne una cartografia completa.

Estructura, processos i funcions ecosistèmiques

- **Biomassa forestal:** La biomassa forestal és el gran compartiment terrestre d'emmagatzematge de CO₂. Altres formacions, com els matollars, també hi contribueixen en menor grau, però no s'ha pogut estimar la seva biomassa de forma precisa, de manera que la cartografia per a coberta forestal, amb molt bona precisió, és una bona aproximació.

- **Connectivitat ecològica:** La connectivitat dels hàbitats i la capacitat de la biota per a dispersar-se són essencials per al manteniment del cicle biològic i el pool genètic de les espècies. La cartografia d'aquest indicador es pot calcular de forma precisa, amb la limitació de centrar-se en grups d'espècies determinats.

Serveis d'aprovisionament

- **Aprovisionament d'aliments (conreus agrícoles):** Els ecosistemes agraris són els que tenen més rellevància en l'aprovisionament d'aliments per al consum humà. D'aquests, els conreus agrícoles es poden cartografiar de forma precisa i permeten fer una primera estimació d'aquest servei.
- **Aprovisionament de biomassa:** La disponibilitat de biomassa per a usos energètics depèn principalment de la coberta forestal en àrees accessibles i, en menor mesura, de l'esporga dels conreus llenyosos. Ambdues fonts es poden cartografiar de forma precisa i combinar en un sol mapa.

Serveis de regulació

- **Regulació hídrica (escolament superficial):** El tipus de sòl i la coberta determinen l'aigua que es reté i la que s'escola per la superfície (*runoff*). La vegetació afavoreix la retenció de l'aigua, mentre que les zones construïdes presenten un elevat escolament superficial. Aquest indicador es pot cartografiar de forma correcta.
- **Regulació de la qualitat de l'aire:** La vegetació, principalment forestal, filtra contaminants, reduint la concentració d'aquests a l'aire. La cartografia d'aquest servei està condicionada per la poca densitat d'estacions de mesura de contaminants fora de les grans àrees urbanes, però es pot cartografiar amb algunes limitacions.
- **Pol·linització:** És una funció clau per a la reproducció de les angiospermes, ja que en depèn la producció de fruits i llavors de la majoria d'espècies. Per aquest motiu, també és imprescindible per a multitud de conreus. És possible cartografiar-la utilitzant l'abundància de papallones com a indicador de l'abundància total de pol·linitzadors.

- **Increment net de biomassa/ Segrest de C:** El segrest de carboni per part dels boscos és molt important en la regulació del CO₂ atmosfèric, capturant-lo en forma de biomassa. Tot i la possibilitat d'estimar-lo només per als boscos, es pot desenvolupar una cartografia suficientment representativa del servei.

3. Metodologia dels indicadors i cartografia de la biodiversitat, de les funcions i dels serveis ecosistèmics

3.1 Biodiversitat

3.1.1 Biodiversitat singular

El valor intrínsec de la biodiversitat correspon a aquells elements de flora i fauna amenaçada, i per tant, amb un elevat interès de conservació. Una bona cartografia de biodiversitat singular és essencial per a assegurar el manteniment d'aquests elements. Es pot obtenir una cartografia majoritàriament precisa per a aquest indicador, tot i que hi ha mancances en el coneixement de la distribució de determinats grups biològics. Aquest indicador va estar desenvolupat en un treball recent per a la província de Barcelona (Basnou *et al.* 2018). La informació que incorpora és:

- i1. Àrees sensibles per a la flora amenaçada, pel seu elevat valor de la conservació a nivell local i català.
- i2. Boscos singulars de Catalunya, projecte Selvans, pel seu valor estratègic en la conservació de la biodiversitat forestal de Catalunya.
- i3. Índex de Conservació del Territori (ICONST) per als principals grups de vertebrats:
 - o i3a. ICONST dels ocells nidificants.
 - o i3b. ICONST de mamífers.
 - o i3c. ICONST de amfibis.
 - o i3d. ICONST de rèptils.
- i4. Índex Intrínsec dels Hàbitats de Catalunya (IIH).
- i5. Índex d'interès Corològic dels Hàbitats de Catalunya (IIC).

Amb aquests 8 índexs generats, s'ha generat un raster amb un àmbit comú i una resolució de 100 m. Els índexs i1 i i2 han estat estandarditzats amb valors entre 0 i 1,

mentre que la resta: i3, i4 i i5, tenen valors categòrics agrupats en quatre quartils (0,25, 0,5, 0,75 i 1).

3.1.2 Biodiversitat funcional

La biodiversitat funcional és el component de la biodiversitat que influeix a la dinàmica, l'estabilitat, la productivitat, el balanç de nutrients, i altres aspectes del funcionament dels ecosistemes. La bibliografia científica proposa diferents mètodes i índexs per a calcular aquesta biodiversitat funcional, basat en la riquesa d'espècies, divergència funcional i uniformitat funcional (entre altres). Alguns treballs, per exemple, segueixen el criteri que els ecosistemes d'alt valor funcional contenen més abundància d'espècies especialistes, amb un nínxol ecològic més reduït. Amb aquestes premisses, Basnou et al. (2018) van elaborar un primer indicador cartogràfic de la biodiversitat funcional a la província de Barcelona, a partir dels índexs d'especialització poblacionals i de comunitat d'ocells i plantes. Tanmateix, aquest primer índex no ha proporcionat un resultat prou satisfactori i, a més, no és replicable per al conjunt de Catalunya a causa de la manca d'informació adequada.

En conseqüència, s'ha desenvolupat un nou índex de biodiversitat funcional per a tot Catalunya, amb un enfocament totalment revisat per bé que condicionat per la disponibilitat d'informació. S'ha plantejat com un índex de diversitat de diferents grups taxonòmics animals (vertebrats i invertebrats) i vegetals (plantes vasculars), calculant dos índexs diferents per UTM d'1x1 km:

Índex de diversitat de fauna (H_1). S'han utilitzat les observacions recollides a la plataforma Ornitho (www.ornitho.cat) de diversos grups faunístics especialment ben coneguts: mamífers, ocells, rèptils, amfibis i insectes. Les dades s'han agrupat per quadrícules UTM d'1x1 km i finalment s'ha calculat l'índex per a un total de 3330 quadrícules amb informació disponible. Llavors s'ha dut a terme un model de regressió lineal per a cobrir el conjunt del territori, a partir d'aquestes dades i una sèrie de variables amb cartografia recent disponible que han estat calculades per cada quadrícula UTM d'1x1 km:

- Climàtiques (temperatura i precipitació anual mitjanes), obtingudes de l'atles climàtic digital de Catalunya
- Topogràfiques (elevació i distància a la costa mitjanes), obtingudes dels models digitals d'elevacions de l'ICGC i la UAB.

- De paisatge (percentatge de bosc, matollars, prats i herbassars, i conreus), obtingudes de la darrera versió disponible (2009) del MCSC.

El model no ha resultat especialment bo ($R^2=0.09$; RMSE 0.34 sobre un valor mitjà de 0.66 ± 0.38) a causa de l'escassetat i l'heterogeneïtat espacial de la informació disponible, però ha permès obtenir una primera visió de la diversitat de la fauna per al conjunt del territori. Hom compta a millorar-lo en un futur proper quan es disposi de més observacions a la plataforma Ornitho.

Índex de diversitat de plantes vasculars (H_2). S'ha obtingut un índex de diversitat a partir de la Cartografia dels Hàbitats de Catalunya (2013) reclassificada en 6 grans grups d'hàbitats: boscos, matollars, prats i herbassars, conreus de secà, conreus de regadiu i altres. Per a cada tipus d'hàbitat i UTM s'ha obtingut la mitjana ponderada del nombre d'espècies de plantes vasculars dels hàbitats originals de la cartografia. Posteriorment s'ha obtingut el producte d'aquesta riquesa mitjana per la proporció relativa de cada tipus d'hàbitat, i aquest producte s'ha estandarditzat dividint per la suma de tots els productes. Aquests productes estandarditzats s'han fet servir per a obtenir el mapa de diversitat de plantes vasculars (H_2).

Finalment, s'ha obtingut l'índex final de biodiversitat funcional, a partir de la mitjana dels dos índexs (H_1 i H_2).

3.2 Indicadors d'estructura, processos i funcions

3.2.1 Biomassa aèria total dels boscos

La biomassa de les formacions llenyoses és responsable de gran nombre de processos ecosistèmics que afecten els cicles de nutrients i els fluxos de matèria i energia, i això comporta la provisió d'importants serveis ecosistèmics com la regulació climàtica, la captació de contaminants o el control de l'erosió. Tradicionalment, aquestes dades provenen d'estadístiques oficials o, en el millor dels casos, de les dades proporcionades pels inventaris forestals. En aquest conveni s'han construït models cartogràfics dels diversos components de la biomassa combinant mapes de cobertes (MCSC 2009), dades LIDAR de l'ICGC que cobreixen tot Catalunya (LiDARCAT) entre els anys 2008 i 2011, i dades de camp (utilitzades com a veritat terreny) del segon i tercer inventaris forestals

(IFN2 i IFN3). A partir del núvol de punts LIDAR sobre el bosc delimitat pel MCSC, s'han calculat diverses mètriques que permeten definir les característiques de la vegetació (alçada mitjana, variació, etc.) a cada parcel·la dels IFN. Utilitzant models al·lomètrics, aquestes mètriques s'han relacionat amb les dades dasomètriques del bosc mesurades al camp a les parcel·les del darrer inventari (IFN3). Un dels models que s'ha obtingut és el de la biomassa aèria total (BAT), que correspon al pes sec (T/ha) de tota la part aèria (incloent tronc, branques i fulles) dels arbres vius de diàmetre normal ($DN \geq 7.5$ cm). Aquesta biomassa inclou el tronc, les branques i les fulles

3.2.2 Connectivitat ecològica

La connectivitat ecològica és, probablement, la propietat clau de l'anomenat paisatge funcional, aquell que té a veure amb la conservació dels processos biològics, ecològics i ambientals en general a diverses escales, des dels organismes als biomes sencers (Lindenmayer i Fischer, 2006). Una de les propietats essencials de la infraestructura verda és doncs proporcionar les condicions per a la connectivitat ecològica de poblacions, comunitats i ecosistemes.

El concepte de connectivitat admet accepcions molt diverses. Per a alguns autors, la connectivitat és un atribut del paisatge que resulta de la interacció de les cobertes del sòl amb els patrons de moviment dels organismes. Altres proposen una perspectiva metapoblacional i suggereixen que la connectivitat és un atribut de les tessel·les individuals del paisatge. A més, els diversos experts distingeixen freqüentment entre connectivitat estructural (o connectància) i funcional. La primera està relacionada amb el patró del paisatge (distància entre tessel·les, densitat i complexitat dels corredors, etc.), mentre que la segona depèn més de la capacitat dels organismes per desplaçar-se a través del paisatge. D'altra banda, Lindenmayer i Fischer (2006) proposen el concepte de connectivitat ecològica (*ecological connectivity*), que fa referència al grau de connexió dels processos ecològics (com ara fluxos de matèria i energia) a múltiples escales. Es tracta d'una perspectiva més centrada en els ecosistemes, la transposició a la gestió topa amb els inconvenients derivats de la tradicional manca d'informació sobre els patrons especials que presenten els processos ecològics.

La connectivitat dels hàbitats terrestres compta amb una llarga història d'intents de modelització a Catalunya (vegeu Mallarach i Germain, 2006). Un dels índexs de

connectivitat més complets és l'Index de Connectivitat Terrestre (ICT) desenvolupat en el marc del Pla Territorial Sectorial de Connectivitat Ecològica de Catalunya (PTSCEC), un índex a escala de paisatge que s'acosta especialment al concepte de connectivitat estructural de Calabrese i Fagan (2004). L'ICT calcula la connectivitat per a cada punt del territori en funció de la mida i la distància de les diverses clapes de l'hàbitat objecte de càlcul i dels hàbitats afins. Es defineix com la mitjana dels ICTi, corresponents als valors de connectivitat calculats per a cadascuna de les cobertes bàsiques (i). L'ICTi expressa, llavors, la disponibilitat de cada coberta, i s'expressa en unitats de superfície. Aquesta disponibilitat depèn en primer lloc de l'àrea de la clapa focal i de l'efecte marge associat a àrees urbanes i infraestructures properes, que li resten poder connectiu com més properes es troben a la clapa en qüestió. També depèn del nombre de clapes de la coberta pròpia i de les afins que hi ha dins del buffer considerat, de la seva àrea equivalent (l'àrea multiplicada per l'afinitat de la coberta) i de la distància de cost a la que es troben.

L'ICTi s'ha calculat a partir del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya de 2009 reclassificat en una sèrie de cobertes bàsiques: bosc, matolls, prats, roquissars i àrees nues, conreus llenyosos, conreus herbacis, vegetació d'aiguamoll i ribera, urbà i ruderal, aigües continentals i altres. L'índex es calcula per a totes aquestes categories excepte les tres darreres, que només modulen la connectivitat de les altres set. Els índexs dels diversos hàbitats s'han calculat per a uns punts de mostreig distribuïts cada 250 m per al conjunt de Catalunya. Després s'ha obtingut el logaritme dels índexs de cada coberta i s'han interpolat (fent servir l'invers de la distància) els valors amb un píxel de 25 m. La connectivitat es mesura en termes d'àrea efectiva, és a dir, com l'àrea total dels diversos polígons, ponderada per l'afinitat de les cobertes i l'invers de la distància, i s'expressa en Log (ha).

3.3 Serveis d'aprovisionament

3.3.1 Aprovisionament de biomassa

La disponibilitat de biomassa per a usos energètics depèn principalment de la coberta forestal en àrees accessibles i, en menor mesura, de l'esporga dels conreus llenyosos. Ambdues fonts permeten cartografiar de forma precisa aquesta disponibilitat.

3.3.1.1 Biomassa forestal

Pel que fa a la **biomassa procedent de coberta forestal**, depèn d'uns criteris ambientals i d'accessibilitat per a la seva obtenció.

Criteris ambientals:

Es considera exclusivament la superfície de la categoria “arbrat dens” del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC versió 4, CREAF). Aquesta categoria inclou la superfície de bosc amb un recobriment igual o superior al 20% i l'arbrat arrencat en zones rurals. Queden excloses les fileres d'arbres plantades a la vora de les vies de comunicació i la superfície de les categories de franges de protecció i regeneració de boscos (MCSC4) ja que en aquestes no hi hauria d'haver quantitats importants de fusta per retirar.

Com que en general es considera que només es pot actuar en els boscos on el percentatge de fracció de cabuda coberta (Fcc) supera el 70% (moment en què es produeix l'inici de la competència), també s'utilitzarà el Mapa Forestal Espanyol (MFE50). Aquesta base cartogràfica, promoguda pel Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, és menys precisa i actualitzada que el MCSC (es va elaborar entre el 1997 i el 2006, i, es va realitzar a escala 1:50.000), però en tot cas sí que permetrà calcular la disponibilitat mínima de biomassa assegurant al màxim que no se'n extreu de zones amb poc recobriment. D'acord amb els criteris establerts per la Diputació de Barcelona, també s'exclouen els boscos considerats d'alt valor ecològic identificats en el marc del projecte “Selvans”.

Criteris d'accessibilitat:

Des d'un punt de vista de l'execució de l'aprofitament, només es consideren accessibles els boscos situats a una determinada distància dels camins segons el pendent. Així es consideren boscos accessibles els situats a:

- Distància màxima dels camins de 400 m per pendents < 30%.
- Distància màxima dels camins de 75 m per pendents entre 30 i 60%.
- Distància màxima dels camins de 35 m per pendents entre 60 i 100%.
- S'exclou la superfície que presenta un pendent superior al 100%.

Per el càlcul s'ha considerat la xarxa de vials del topogràfic 1:25.000 de l'ICGC en la seva totalitat. Aquesta base no és exhaustiva pel què fa a pistes forestals, però es considera

la més completa a escala del territori català. El mapa de pendents s'ha generat a partir del mapa digital d'elevacions de Catalunya (resolució de 30 m).

A partir dels criteris ambientals i d'accessibilitat s'han pogut identificar els boscos de Catalunya potencialment aprofitables a nivell de biomassa per usos energètics.

A partir de l'increment anual net de biomassa aèria amb escorça dels boscos (quantificat a partir de les dades LiDAR del ICGC) i la superfície susceptible de ser aprofitada, es pot quantificar la disponibilitat total de biomassa forestal potencial, que és aquella que garanteix aprofitaments sostenibles en el temps.

3.3.1.2 Biomassa residual de conreus llenyosos

En la recol·lecció de la majoria de conreus agrícoles es generen residus. De tots ells, els que poden resultar més interessants per ser utilitzats energèticament són els procedents de conreus llenyosos. Els residus que s'obtenen al camp són els residus d'esporga i els residus de l'arrencada de la plantació.

La producció d'aquest tipus de biomassa depèn de l'espècie de conreu i de si es tracta d'una plantació de secà o de regadiu. La producció estimada dels residus d'esporga (en t pes sec/ha·any) per tipus de cultiu segueix el Pla de Biomassa a Catalunya en l'àmbit agrícola (Urbina et al. 2001). S'ha emprat com a cartografia de base el SIGPAC (versió 2015) ja que és la que ofereix una millor categorització dels conreus llenyosos (i si aquests són de regadiu o de secà) a una resolució molt elevada.

A partir d'aquests coeficients de producció per tipus de cultiu llenyós i la cartografia SIGPAC s'ha pogut cartografiar la biomassa residual per esporga dels conreus llenyosos disponible anualment a l'àmbit d'estudi. No s'ha comptabilitzat la quantitat de residus de l'arrencada de la plantació ja que molt sovint la longevitat d'aquestes espècies de cultiu llenyoses és extremadament dilatada i l'arrencada sol estar vinculada a intervencions extraordinàries.

3.3.2 Aprovisionament d'aliments

La cartografia de provisió d'aliments s'ha realitzat a partir de les dades de conreus agrícoles disponibles a la capa SIGPAC de l'any 2015. El SIGPAC és el sistema d'identificació de parcel·les agràries, a efectes de la gestió i el control dels règims d'ajut es per tant l'única base de referència per a la identificació de les parcel·les agrícoles en el marc de la política agrícola comuna. El SIGPAC s'elabora a partir de la informació de

què disposa el Cadastre i els usos que tenen assignats els recintes (la superposició de les parcel·les cadastrals i els usos del sòl constitueixen els recintes) s'atribueixen tenint en compte la informació prèvia disponible i també a partir de la fotointerpretació. Per a l'àmbit de treball, s'ha fet recopilació i selecció de les parcel·les agrícoles de totes les comarques de Catalunya.

S'han generat mapes de rendiments agrícoles considerant només aquells cultius que es destinen a consum humà. Seguint la metodologia utilitzada en el projecte de definició i caracterització de la infraestructura verda en el marc del SITXELL i degut a que en alguns casos és molt difícil saber si la producció agrícola va destinada a consum humà o animal (farratge), s'ha tingut en compte el coneixement expert dels tècnics de la Unió de Pagesos. Aquests van realitzar una estimació del percentatge destinat a consum humà (100%, 50% o 0%) per a cada grup de conreu agrícola considerat en les estadístiques de rendiments agrícoles del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (DARP). El càlcul del rendiment mitjà (en kg/ha i any) de cada categoria agrícola s'ha realitzat a partir de les dades estadístiques del DARP (2015). S'ha utilitzat la mateixa metodologia de càlcul (mitjana ponderada per superfície) que la descrita a les Unió de Pagesos (2013) però sense tenir en compte els preus índex. En la **Taula 2** es mostra la matriu de correspondències entre les categories d'ús agronòmic (SIGPAC, 2015) i els grups de conreu (DARP).

Taula 2. Matriu de correspondències entre categories d'usos agronòmics (SIGPAC 2015) i grups de conreu (DARP). Font: Unió de Pagesos. Llegenda: 

Consum humà (majoritàriament);  Meitat consum humà, meitat farratges; *Tipus de conreu sense grup;

CATEGORIES USOS AGRONÒMICS (SIGPAC):		CODI:	CI	CI	VI	VI	OV	OV	TA	TA	TH	TH	FS	FS	FY	FY
		Descripció :	Cítrics (secà)	Cítrics (regad.)	Vinya (secà)	Vinya (regad.)	Olivera	Olivera (regad.)	Terra campa (secà)	Terra campa (regad.)	Horta (secà)	Horta (regad.)	Fruita seca (secà)	Fruita seca (regad.)	Fruita dolça (secà)	Fruita dolça (regad.)
GRUP CONREU (DARP):																
HORTALISSES	SECÀ															
HORTALISSES	REGADIU															
CEREALS GRA	SECÀ															
CEREALS GRA	REGADIU															
CULTIUS INDUSTRIALS	SECÀ															
CULTIUS INDUSTRIALS	REGADIU															
LLEGUMINOSES GRA	SECÀ															
LLEGUMINOSES GRA	REGADIU															
TUBERCLES CONSUM HUMÀ	SECÀ															
TUBERCLES CONSUM HUMÀ	REGADIU															
VINYA NO ASSOCIADA	SECÀ															
VINYA NO ASSOCIADA	REGADIU															
OLIVAR	SECÀ															
OLIVAR	REGADIU															
FRUITERS (excep. cítric, fruit sec)	SECÀ															
FRUITERS (excep. cítric, fruit sec)	REGADIU															
CÍTRICS	SECÀ															
CÍTRICS	REGADIU															
Avellaners, ametllers, noguera*	SECÀ															
Avellaners, ametllers, noguera*	REGADIU															

3.4 Serveis de regulació

3.4.1 Regulació hídrica: escolament superficial

El control de l'escolament superficial és exercit en part per la coberta vegetal (és a dir, les parts aèries de les plantes que la integren), en part pel substrat edàfic (sòl i formacions superficials) i en part per la litologia. Tanmateix, la informació sobre el substrat edàfic és escassa i de poca qualitat, i sovint s'infereix de les característiques de la vegetació. Així doncs, hem considerat tres factors que influeixen en l'escolament superficial: la vegetació, el tipus de substrat litològic i la quantitat de precipitacions, combinant mapes de cobertes del sòl, mapes hidrològics i dades climàtiques (Basnou et al. 2018). Aquests factors s'han combinat seguint el model de Tratalos et al. (2007), que combina la precipitació (P) i el nombre de corba (CN) obtingut a partir d'una classificació de la capacitat d'interposició de la vegetació i de la permeabilitat del substrat litològic. El fet de disposar d'un Mapa de cobertes detallat ha permès construir un model de l'escolament superficial.

El coeficient d'escolament (runoff) s'ha estimat a partir del treball de Tratalos et al. (2007), expressada com retenció de litres per m2 segons la fórmula següent:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad S = \frac{1000}{CN} - 10$$

On l'índex d'escolament superficial (S), és obtingut a partir de la precipitació (P) i el nombre de corba (CN). Aquesta avaluació es basa en la metodologia del Soil Conservation Service Curve Number (també conegut com el Mètode dels complexos hidrològics, Cronshey 1986). Aquesta és la tècnica més utilitzada per a l'estimació de l'escolament superficial d'una determinada quantitat de la precipitació de petites conques. Aquest mètode va ser desenvolupat pel Departament d'Agricultura dels Estats Units, el 1972. El mètode considera la relació del tipus de cobertura terrestre i el grup hidrològic de sòl, que en conjunt formen el nombre de la corba. El nombre de corba (CN) és un índex que expressa la resposta de vessament de la conca en un esdeveniment de pluja i, per tant, indica la proporció d'aigua de pluja que contribueix a l'escorriment superficial. Els valors varien de 0 a 100. Curvatures altes impliquen escolaments superficials elevats (= infiltracions baixes; = vessants degradades). En canvi, nombres de corba baixos asseguren altes infiltracions, escolament superficial baix i escassa erosió hídrica. Els cossos d'aigua estan inclosos en aquesta aproximació i tenen els CN més alts ja que capturen tota la pluja en tal esdeveniment.

El Servei de Conservació de Recursos Naturals classifica els sòls en quatre Grups, segons la seva permeabilitat i capacitat d'infiltració: A, B, C i D. Els sòls de la classe A generalment tenen el potencial de vessament més petit, són sòls permeables que augmenten la infiltració i, per tant, tenen

un paper clau en l'escolament superficial (runoff). Els sòls de la classe D són els més impermeables (Weng 2001). La reclassificació dels 4 grups de sòl segons la seva capacitat d'infiltració s'ha realitzat a través del Mapa litològic de Catalunya i Mapa hidrogeològic de Catalunya a escala 1:250 000 disponibles al servidor de l'ICGC.

Per l'àmbit de l'estudi s'ha fet una taula d'assignació del nombre de corba (CN) en funció de les categories del Mapa de cobertes de Sòl (nivell 3) i el tipus de sòl segons el grup hidrològic. Amb aquests valors obtenim el coeficient d'escolament (Q) que ens permetrà construir el mapa (capa raster, resolució 10 m).

Els càlculs del coeficient d'escolament es fan per un episodi de pluja forta (d'una gran intensitat en un període de temps molt curt), que correspon a uns 20 mm de pluja/5min a Barcelona (Casas Castillo, 2003). Per tant, el coeficient d'escolament resultant denota la proporció de pluja que arriba a la superfície durant un esdeveniment de fortes pluges de 20 mm durant 5 minuts. Els cabals màxims dels rius són els més perillosos quan es registren a partir de pluges fortes i torrencials, independentment de la superfície de la conca hidrogràfica. Les pluges fortes també causen més escolament i augmenten el risc d'inundacions, especialment en superfícies impermeables planes (ex., sòls nus o construïts) o amb pendents moderats. Si els sòls relativament poc permeables tenen en canvi cobertes vegetals, una part de l'aigua de pluja és interceptada per la planta (en funció de la densitat de les arrels i de la superfície foliar) i l'escolament superficial disminueix. Finalment, esperaríem l'escolament superficial més baix en sòls permeables, amb pendent moderat i cobertes de vegetació forestal.

3.4.2 Pol•linització

La pol•linització és resultant de l'efecte del vent en el cas de les espècies anemòfiles, i del concurs de diversos vectors animals (majoritàriament insectes, però també rèptils, ocells i fins i tot mamífers en altres latituds) en el cas de les espècies zoòfiles. Especialment interessant és el cas d'aquestes darreres, la pol•linització de les quals és extremadament dependent del bon funcionament dels ecosistemes. És molt important per la dinàmica de poblacions de les angiospermes i en la incorporació de matèria i d'energia als ecosistemes (producció de fruits i llavors). Tanmateix, la cartografia de la pol•linització és complexa atesa la manca d'informació extensa i homogènia, fet que afecta també molts altres processos ecosistèmics. Normalment s'utilitzen aproximacions apriorístiques basades en les cobertes i usos del sòl, l'ús potencial de l'hàbitat per diversos grups de pol•linitzadors i els efectes sobre els rendiments agrícoles, com és el cas del model ESTIMAP que

estima la capacitat de les cobertes del sòl per sostenir pol·linitzadors a través d'un mapa d'abundància relativa (Zulian et al., 2014).

Pel que fa Catalunya, l'existència de les dades del Catalan Butterfly Monitoring Scheme (CBMS; www.catalanbms.org/) ha permès desenvolupar un model empíric de l'abundància de papallones. Tanmateix, l'abundància de les papallones és representativa de l'abundància de la resta d'insectes pol·linitzadors, amb els que comparteixen bona part del seu nínxol ecològic. Així, l'abundància de papallones pot ser considerada com una proxy de la quantitat total de pol·linitzadors.

S'ha desenvolupat un model bayesià (segons la metodologia de Royle, 2004) a partir de l'abundància total de papallones diürnes per a les diverses seccions dels transsectes del CBMS, fent servir les dades dels diversos anys disponibles (fins a 20). Com a variables explicatives s'han fet servir els percentatges d'una sèrie d'hàbitats bàsics per secció (Bosc, Conreus herbacis, Conreus llenyosos, parcs i Jardins, Matollars i prats, Ruderal i altres) obtingudes per reclasseficació de la CHC, a més de l'altitud i la distància a la costa d'aquestes. Utilitzant els pocs transsectes d'altitud disponibles per al conjunt de Catalunya s'ha construït un model complementari per les zones situades a més de 1500 m sobre el nivell del mar. Finalment, s'ha aplicat un filtre de convolució de 3*3 píxels per a ajustar millor els models.

3.4.3 Regulació de la qualitat de l'aire

La **biomassa foliar** l'hem aproximat amb la cartografia de l'índex de superfície foliar (LAI) que es representa a través dels ràsters de la biomassa foliar, obtinguts a partir de les dades LIDAR. La biomassa foliar és la biomassa de fulles (pes sec) dels arbres vius expressada per hectàrea (t/ha). S'obté aplicant a cada arbre mesurat l'equació al·lométrica que relaciona la biomassa de fulles segons l'espècie i el diàmetre normal. La biomassa foliar s'obté amb la suma dels valors de tots els arbres vius de diàmetre normal $\geq 7,5$ cm de la parcel·la, i re-escalant a valors per hectàrea. La biomassa foliar, tanmateix, té una bona relació lineal amb LAI, tal com s'ha observat per a un subconjunt de parcel·les de l'IFN3 de la província de Barcelona (Basnou et al. 2018). Per tant, el mapa és directament utilitzable com a proxy de les funcions i serveis proporcionats pel LAI i es relaciona amb la capacitat potencial de la vegetació llenyosa de retenir contaminants.

La **filtració de l'aire** (o regulació de la qualitat de l'aire) és un servei ecosistèmic de regulació que es pot definir com la captura/absorció de partícules en suspensió, compostos químics i gasos presents a l'atmosfera que són nocius per a la salut humana. La cartografia d'aquest servei en la literatura científica és escassa i s'acostuma a utilitzar com a variables la coberta arbòria, l'índex

d'àrea foliar (LAI), dades climàtiques, velocitat de deposició seca i concentracions atmosfèriques dels principals contaminants. La principal limitació de cartografiar aquest servei rau en la incertesa espacial en relació a la concentració de contaminants, així com la falta d'informació sobre la capacitat de filtrar-los per part de les diferents cobertes vegetals. A més, l'estima de la capacitat de retenció de contaminants que presenta la vegetació és extremadament complexa, atès que depèn de l'estructura i la disposició de la vegetació, el microclima o el volum del tràfic (Escobedo & Nowak 2009). No obstant, es tracta d'un servei que pot ser rellevant en zones urbanes o metropolitanes, ja que aquestes normalment tenen nivells de contaminació de l'aire elevats, i en molts casos superiors als límits establerts per la Unió Europea o la Organització Mundial per a la Salut (WHO 2000, EEA 2013). Les partícules PM₁₀ són les que més afecten la població. L'exposició crònica a aquestes partícules augmenten el risc de patir malalties cardiovasculars i respiratòries. El NO₂ també està relacionat amb malalties respiratòries diverses.

Els mapes de PM₁₀ i NO₂ es basen en els rasters elaborats per la Generalitat de Catalunya, a través de les dades del visor del *Hipermapa* de la qualitat de l'aire, a resolució de 3 km. S'ha elaborat com a mitjana aritmètica dels mapes de diagnòstic de la mitjana anual de PM₁₀ i NO₂ dels darrers anys disponibles (2013-2016) i el raster es va adaptar a 1 km de resolució.

3.4.4 Increment net de biomassa aèria

El càlcul de l'increment de biomassa per unitat de temps permet estimar la capacitat de segrest de carboni de les cobertes llenyoses de Catalunya. Tanmateix, precisa de dues estimacions consecutives, mitjançant dades LIDAR o d'inventaris forestals, dels estocs de C d'un mateix territori. En aquest cas, s'han fet servir les dades de biomassa aèria total dels punts dels inventaris forestals IFN2 (1989-1990) i IFN3 (2000-2001), que coincideixen espacialment, per tal d'estimar l'increment de biomassa dels boscos. A partir d'aquestes dades s'ha obtingut la diferència entre ambdós períodes per cada parcel·la dels inventaris. S'ha construït un model cartogràfic d'aquest increment per a Catalunya, fent servir aquesta diferència com a variable resposta i com a factors diverses variables climàtiques (temperatura i radiació mitjanes, precipitació anual), topogràfiques (models d'elevacions, concavitats i pendents) i de tipus de bosc (mapes d'hàbitats), a més del valor de biomassa inicial obtingut a partir del vol LIDARCAT i els punts de l'IFN3. Com a resultat s'ha obtingut model cartogràfic de l'increment net anual de biomassa del bosc, que s'ha representat sobre els píxels classificats com bosc al MCSC 2009.

Calculat amb les capes:

- **Biomassa aèria total.** Ràster de 20 m de resolució
- **Increment de biomassa entre IFN2 i IFN3.** Disponible per a tota Catalunya
- **Clima (Atlas Climàtic Digital Catalunya).** Disponible per a Catalunya. Capes de temperatures mitjanes mensuals i de precipitació anual
- **Altitud.** Models digitals d'elevacions oficials (UB-ICGC) Disponible per a Catalunya. Es fan servir capes de pendent, orientació i altitud
- **Tipus de vegetació (MCSC 2009).**

4. Resultats

4.1 Biodiversitat

4.1.1 Biodiversitat singular

El resultat de l'índex de biodiversitat es mostra a les **Figures 4 i 5**. L'índex de valor singular (**Figura 4**) va d'un rang de valors, on el mínim és de 0 i el màxim de 3,66. El valor més alt es troba als hàbitats forestals com ara els boscos mediterranis i eurosiberians (boscos del Montnegre, Sant Llorenç del Munt, Montserrat, el Montseny i les Guàrdies), però també els matollars mediterranis extensos (Garraf, Aiguà-Montmel), altres ambients rupícoles (Montserrat) i humits (Delta del Llobregat, Delta de l'Ebre) de terra baixa i de la muntanya mediterrània, els ambients alpins i subalpins (Alt Pirineu). Els ambients agrícoles, periurbans i urbans mostren valors relativament baixos, probablement degut a la menor valoració intrínseca i corològica dels hàbitats i també a una menor abundància d'elements amb interès de conservació. Amb tot, cal esmentar que alguns d'aquests ambients, com les grans extensions agrícoles i agroforestals, poden acollir algunes espècies de gran interès per a la conservació com ara rapinyaires i ocells estèpics.

4.1.2 Biodiversitat funcional

Al mapa de Biodiversitat Funcional (**Figura 5**) s'observa la importància dels mosaics agroforestals, que permeten el manteniment simultani de poblacions fonts d'organismes pròpies d'ecosistemes forestals arbrats i d'altres més oberts, com matollars, pastures i conreus de secà. Algunes de les zones amb valors mitjans corresponen a la xarxa de Parcs Naturals de la Diputació, especialment el Montseny, Montnegre i Corredor, Collserola i Sant Llorenç del Munt i l'Obac, probablement a causa de l'abundància de bosc. Algunes de les zones amb un valor elevat de biodiversitat funcional són el nord del Berguedà, o la ribera d'Ebre. Amb tot, cal afegir que aquest

indicador, com la resta d'indicadors de valor de la biodiversitat, s'enfronta amb el problema de la progressiva desactualització de les capes sobre les que es sustenta: bona part de les dades (p.e. plantes) han estat obtingudes durant la darrera dècada sinó abans, la qual cosa constitueix un lapse de temps excessiu per quelcom tant dinàmic com la distribució de les espècies i de determinades comunitats i ecosistemes. Al mateix temps, alguns organismes (p.e. ocells) tenen major nombre d'observacions registrades que altres.

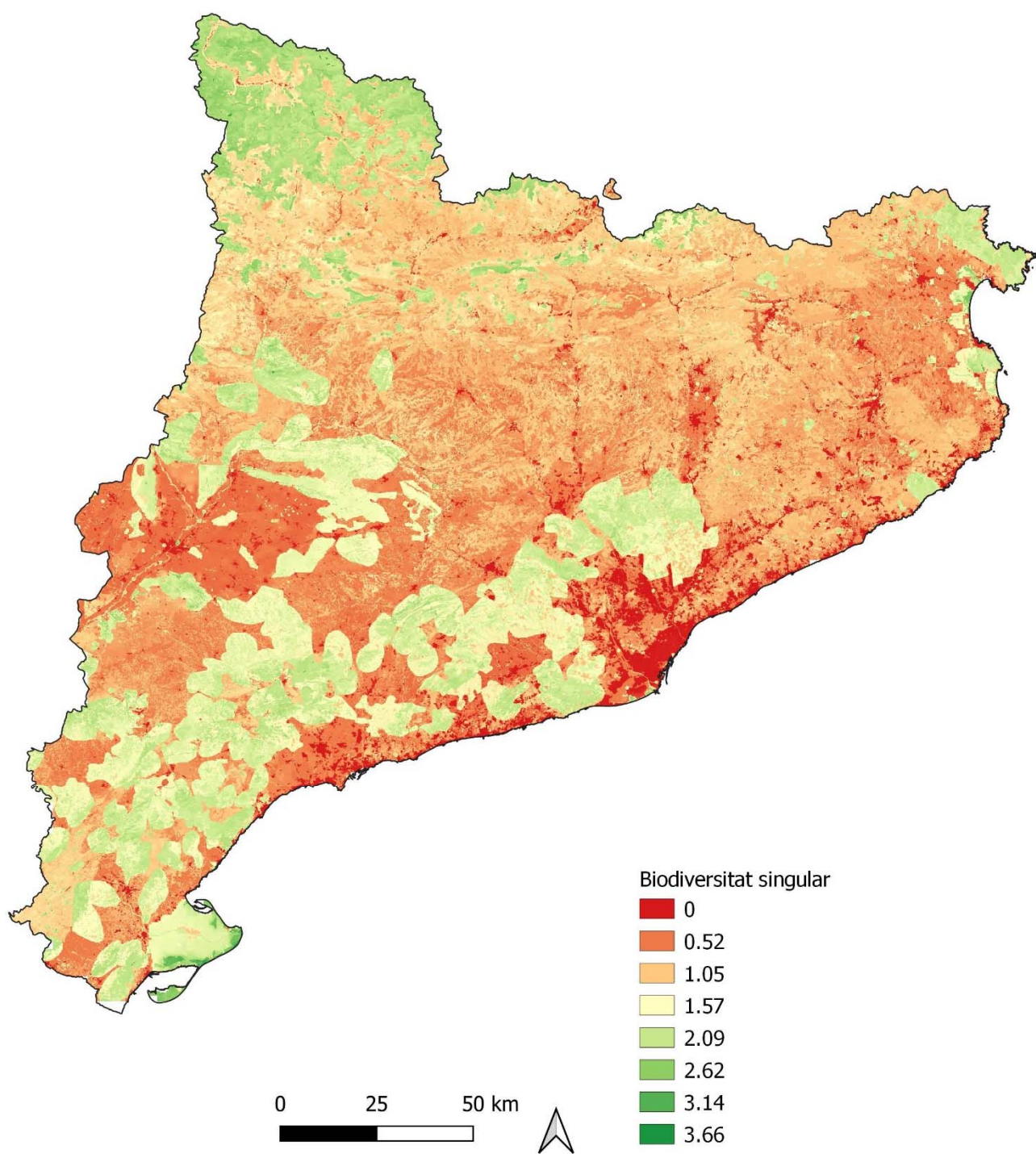


Figura 4. Biodiversitat singular

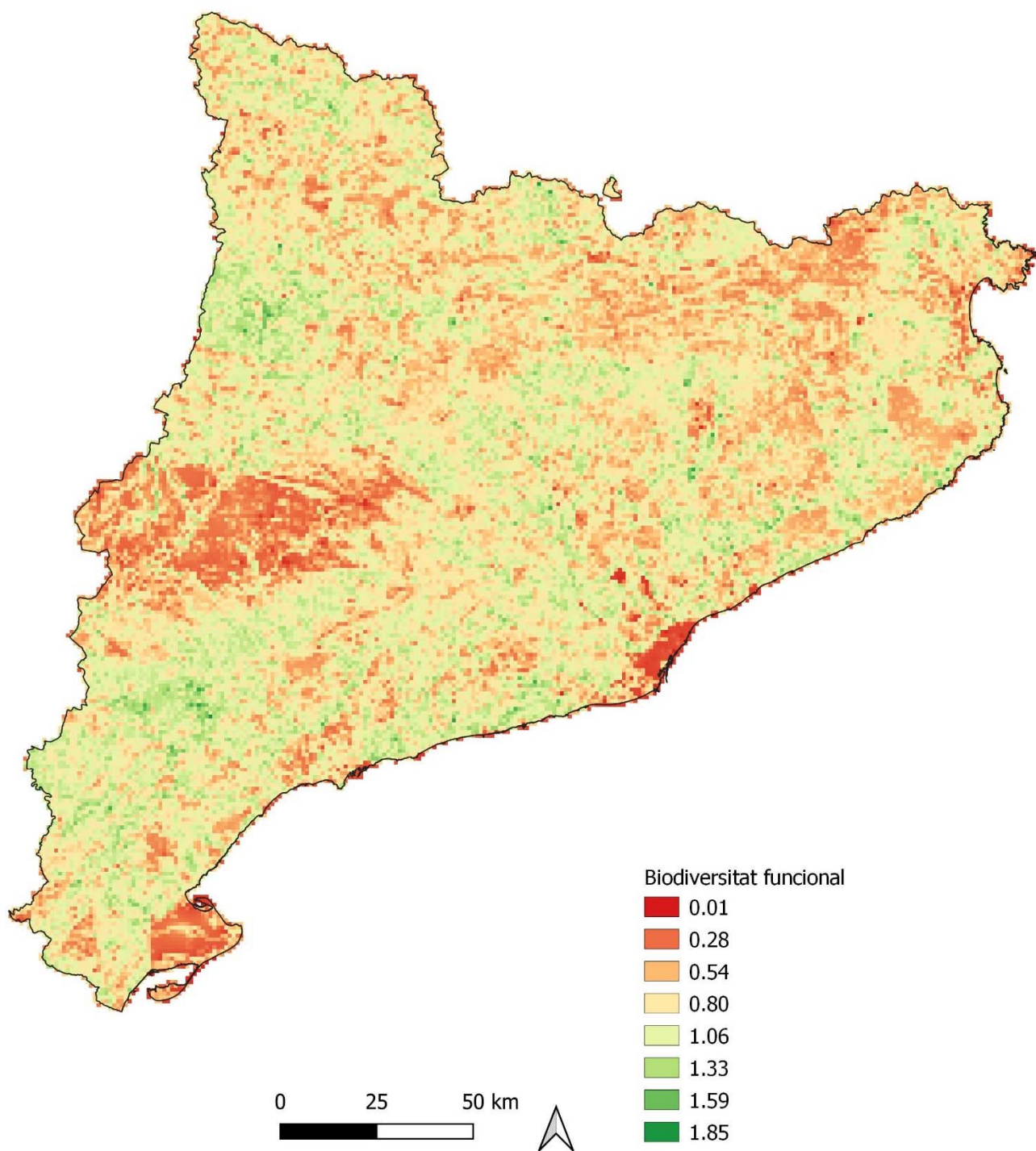


Figura 5. Biodiversitat funcional

4.2 Biomassa aèria total dels boscos

La distribució dels valors de la biomassa aèria total dels boscos mostra una concentració dels valors elevats (> 200 tn/ha) a les àrees més plujoses, on creixen els boscos de biomassa més elevada, com Montseny, Guillerries, Prepirineu o Pirineu (**Figura 6**).

4.3 Connectivitat ecològica

L'Índex Integrat de Connectivitat de Catalunya (IIC) reproduïx el patró de connectivitat ja observat a l'ICT tot i que amb matisos (**Figura 7**). Mostra uns valors de connectivitat baixos o molt baixos als sectors metropolitans –especialment a l'Àrea Metropolitana de Barcelona però també als sectors més antropitzats de la regió metropolitana, com ara la plana del Vallès, el Penedès i la costa del Maresme i del Garraf. També destaca la poca connectivitat a determinades planes de la tercera corona metropolitana, abans agrícoles i agroforestals i ara en curs d'urbanització, com la conca d'Òdena, el pla del Bages i la plana de Vic. Els espais més forestals i agrícoles mostren valors de connectivitat més elevats. A diferència de l'observat a l'ICT, però, els valors més elevats es concentren a ponent, en hàbitats oberts (matollars i conreus). Aquesta penalització de les àrees més forestals pot ser deguda a un cert artefacte del mètode, a causa de la tria de determinats grups especialment vinculats als hàbitats oberts (bona part dels grups d'ocells) i al fet que la resta (ocells forestals i mamífers) poden ser bastant indiferents a la connectivitat forestal.

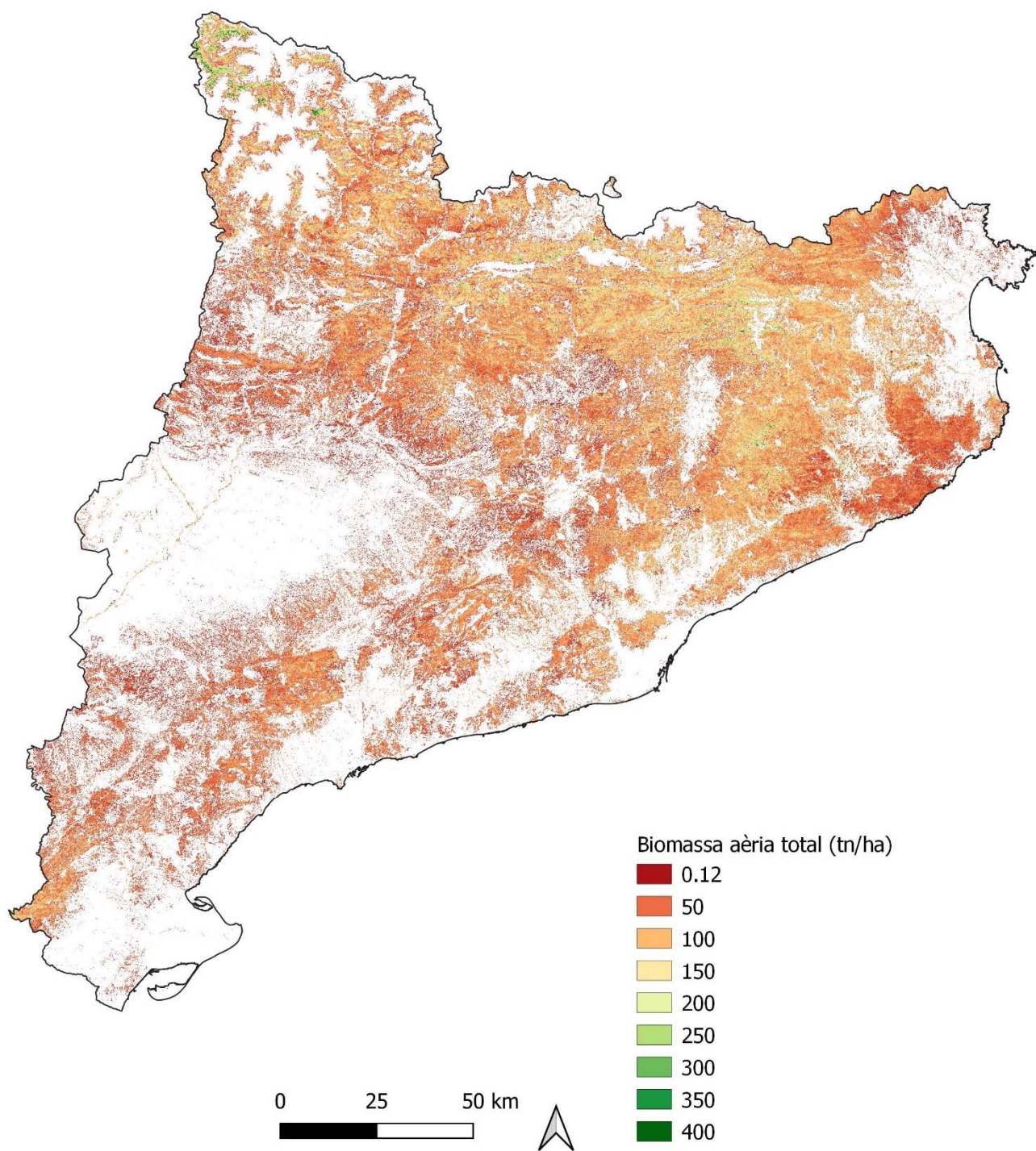


Figura 6. Biomassa aèria total dels boscos

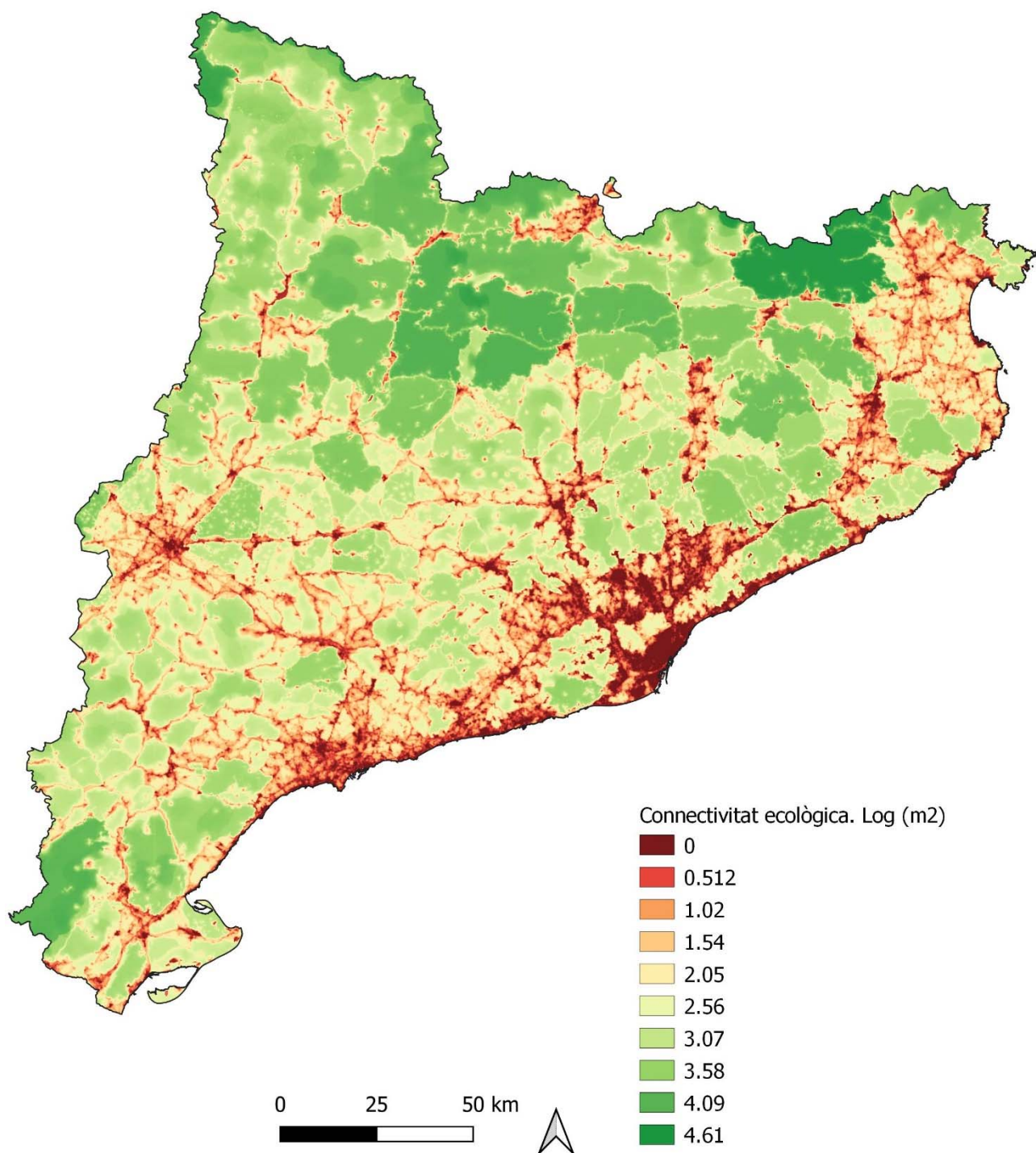


Figura 7. Connectivitat ecològica

4.4 Aprovisionament de biomassa

Els mapes intermedis (**Figura 8**) mostren l'aprovisionament de biomassa forestal i dels conreus llenyosos per separat. Entre els conreus amb més biomassa destaquen els fruiters de la Plana de Lleida i les vinyes del Penedès. Destaquen també els boscos de la meitat nord de Catalunya, amb valors alts d'aprovisionament de biomassa (> 100 tn/ha). Cal destacar que el model de biomassa forestal disponible (**Figura 8 esquerra**) només considera els considerats com boscos accessibles, situats a una determinada distància dels camins i amb un determinat pendent màxim i que es situen sota una sèrie de criteris ambientals.

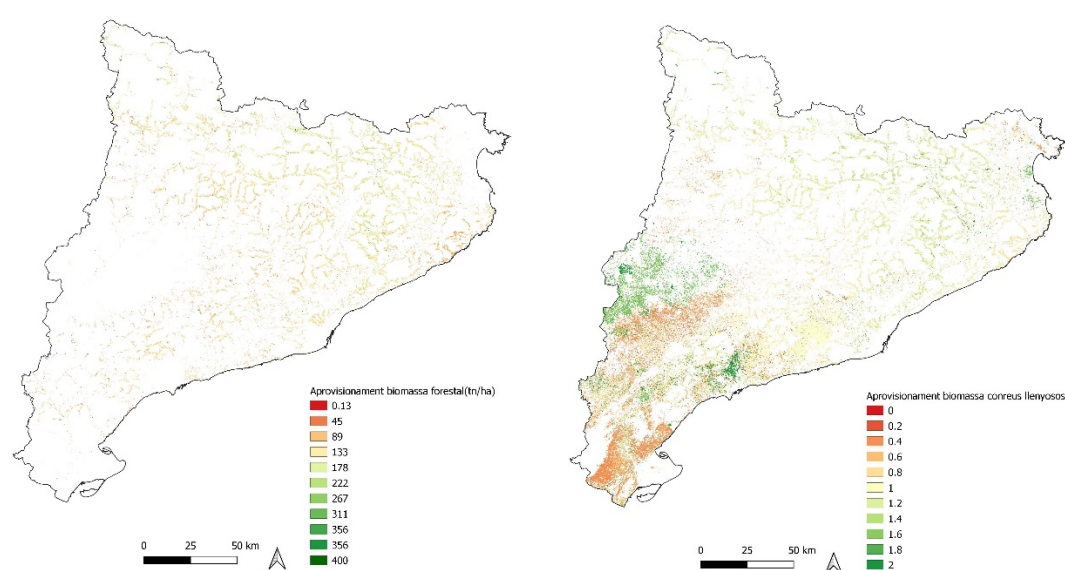


Figura 8. Aprovisionament de biomassa forestal (a l'esquerra) i dels conreus llenyosos (a la dreta)

La biomassa total per a cada tipus de cultiu i potencial total per a tot el territori català es pot observar a la **Taula 3**. La vinya és el tipus de conreu amb un major impacte a nivell de producció estimada; posteriorment, trobaríem l'horta i els fruiters de fruita dolça.

Taula 3. Coeficients i producció de biomassa total de residus d'esporga segons tipus de conreus a Catalunya

Tipus de conreus (SIGPAC 2015)		Coeficient de producció de residus d'esporga (tn/ha)	Superfície (ha)	Producció de biomassa potencial total (tn/any)
Associació fruiter vinya (VF)	Secà	1.00	36.14	36.14
	Regadiu	1.78	4.95	8.81
Associació fruita seca–oliverar (FL)	Secà	0.49	612.14	299.94
	Regadiu	1.40	76.68	107.35
Associació fruita seca–vinya (FV)	Secà	0.79	39.72	31.38
	Regadiu	1.95	7.44	14.51
Associació oliverar– fruiter (OF)	Secà	0.70	822.54	575.78
	Regadiu	1.23	24.40	30.01
Associació oliverar– vinya (VO)	Secà	0.70	103.19	72.23
	Regadiu	1.35	14.07	18.99
Cítrics (CI)	Regadiu	0.59	8698.16	5131.91
Fruiter (FY)	Secà	0.99	18153.06	17971.53
	Regadiu	1.65	63861.26	105371.08
Fruita seca (FS)	Secà	0.57	38899.71	22172.83
	Regadiu	2.00	17620.68	35241.36
Oliverar (OV)	Secà	0.40	101272.84	40509.14
	Regadiu	0.80	21434.23	17147.39
Vinya (VI)	Secà	1.00	49450.73	49450.73
	Regadiu	1.90	7420.00	14098

La **Figura 9** mostra l'aprovisionament de biomassa conjunta de les zones forestals i els residuals dels conreus llenyosos. Com es d'esperar, la biomassa que es genera en els boscos es molt superior a la produïda a partir dels conreus amb uns valors mitjans a tot el territori de 87.98 tn de pes sec per ha dels boscos versus 0.94 tn dels conreus.

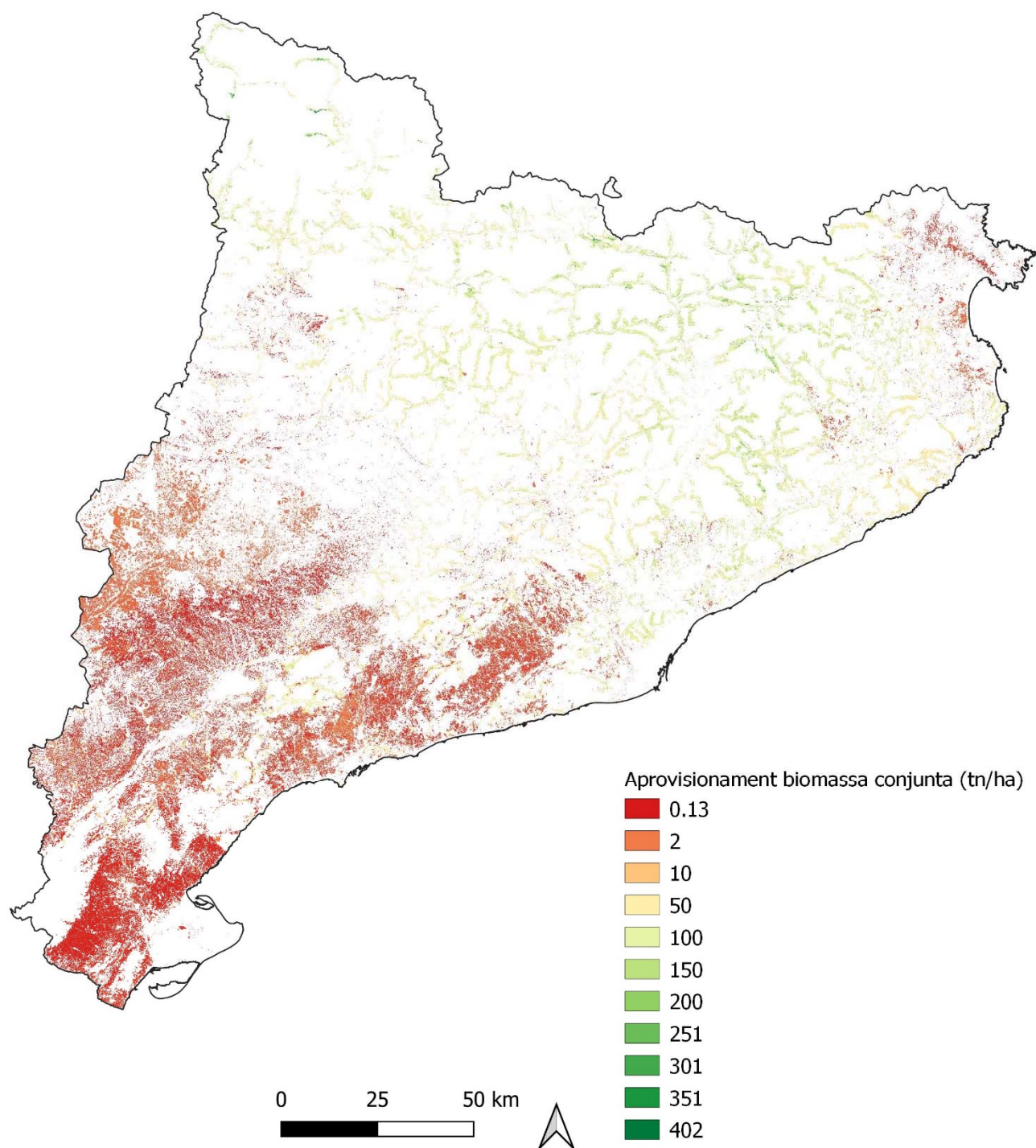


Figura 9. Aprovisionament de biomassa

4.5 Aprovisionament d'aliments

La **Taula 4** presenta els rendiments mitjans per tipus de conreus a Catalunya. S'observa un pes destacat del rendiment mitjà per els conreus de regadiu, com els cítrics, horta i fruiterars. Altres cultius llenyosos, com les vinyes de regadiu, tenen també un alt rendiment mitjà.

Taula 4. Rendiments mitjans i superfície per grup de conreus a Catalunya

Tipus de conreus (SIGPAC 2015)		Superfície a Catalunya (ha)	Rendiment mitjà (kg/ha any)
Cítrics	Regadiu	8698.16	21448.91
Fruiterars	Regadiu	63861.26	13770.83
	Secà	18153.06	5138.05
Fruits secs	Regadiu	17620.68	1596.39
	Secà	38899.71	647.60
Fruits secs i oliverars	Regadiu	76.68	2032.12
	Secà	612.14	794.55
Fruits secs i vinyes	Regadiu	7.44	3909.95
	Secà	39.72	2736.15
Horta	Regadiu	10139.65	23131.11
	Secà	8.28	5200.00
Oliverars	Regadiu	21434.23	3183.89
	Secà	101272.84	1152.12
Oliverars i fruiterars	Regadiu	24.40	7641.76
	Secà	822.54	2594.55
Terra campa	Regadiu	162518.28	6911.02
	Secà	374635.64	2453.03
Vinya	Regadiu	7420.01	6119.19
	Secà	49450.73	7198.51
Vinyes i fruiterars	Regadiu	4.95	9768.38
	Secà	36.14	5611.33
Vinya i oliverars	Regadiu	14.07	4886.12
	Secà	103.19	4062.48

La **Figura 10** mostra valors elevats d'aprovisionament d'aliments a Delta de l'Ebre, Pla de Lleida o les vinyes d'Alt Penedès.

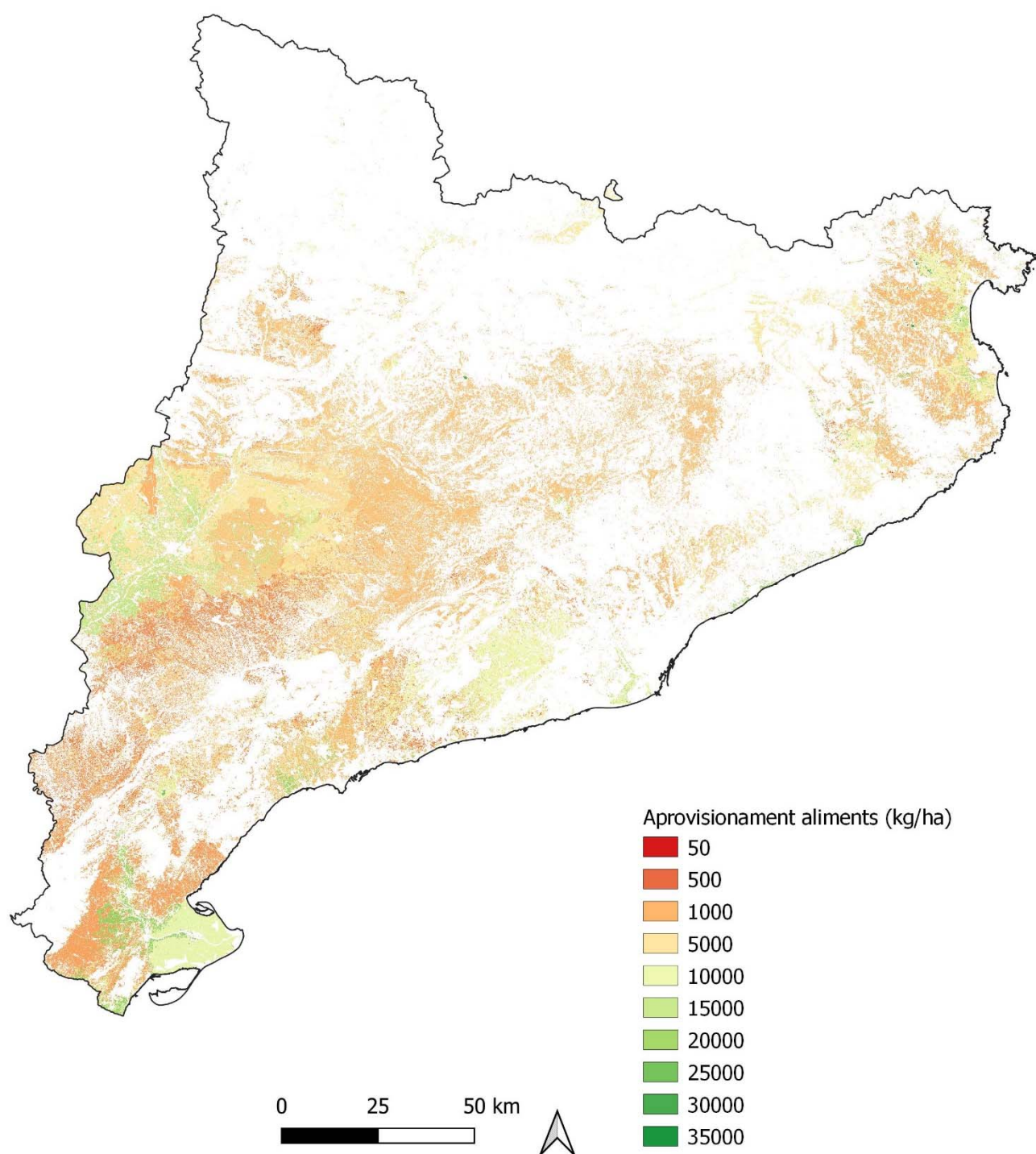


Figura 10. Aprovisionament d'aliments

4.6 Regulació hídrica: escolament superficial

Els valors més elevats corresponen a les categories urbanes (construïdes), impermeables (infraestructures viàries, ports, aeroports, indústries), sense o amb poca vegetació natural i es concentren a les zones densament urbanitzades, sobretot a la zona de la costa de Barcelona, el Maresme i sud de la Costa Brava. Destaquen també els espais amb geologia impermeable (roquissars granítics del Parc Nacional d'Aigüestortes) o ambients humits (arrossars de la delta de l'Ebre). Les cobertes del verd natural dels sòls permeables (categories hidrològiques 1 i 2) mostren l'índex d'escolament més baix, que, per tant, afavoreix la intercepció d'aigües de pluja. D'aquestes categories, les cobertes amb més capacitat d'intercepció de l'aigua de pluja són els matollars calcaris (Garraf), els conreus dels sòls permeables (com, per exemple, els cultius del Parc Agrari del Baix Llobregat), els boscos i els prats del Parc Natural del Cadí-Moixeró (**Figura 11**).

Aquests resultats posen de manifest l'estreta relació entre la urbanització i l'augment de l'índex d'escolament superficial, degut a l'increment de les superfícies impermeables, molt visible en Catalunya. Una de les conseqüències d'aquest increment és l'augment del risc d'inundacions en el cas d'una precipitació molt intensa i forta en les zones urbanitzades amb més superfícies impermeables. Cal fer esment que la categoria "construït" engloba diversos tipus de cobertes artificials (escoles, zones comercials, indústries, residencial dens, etc.), que sovint compten amb algun percentatge de vegetació corresponent a les zones enjardinades adjacents (horts urbans, parcs i jardins, arbrat viari etc) i per això el valor no és considerat tan alt com un impermeable absolut.

Si els sòls relativament poc permeables tenen en canvi cobertes vegetals, una part de l'aigua de pluja és interceptada per la planta (en funció de la densitat de les arrels i de la superfície foliar) i l'escolament superficial disminueix.

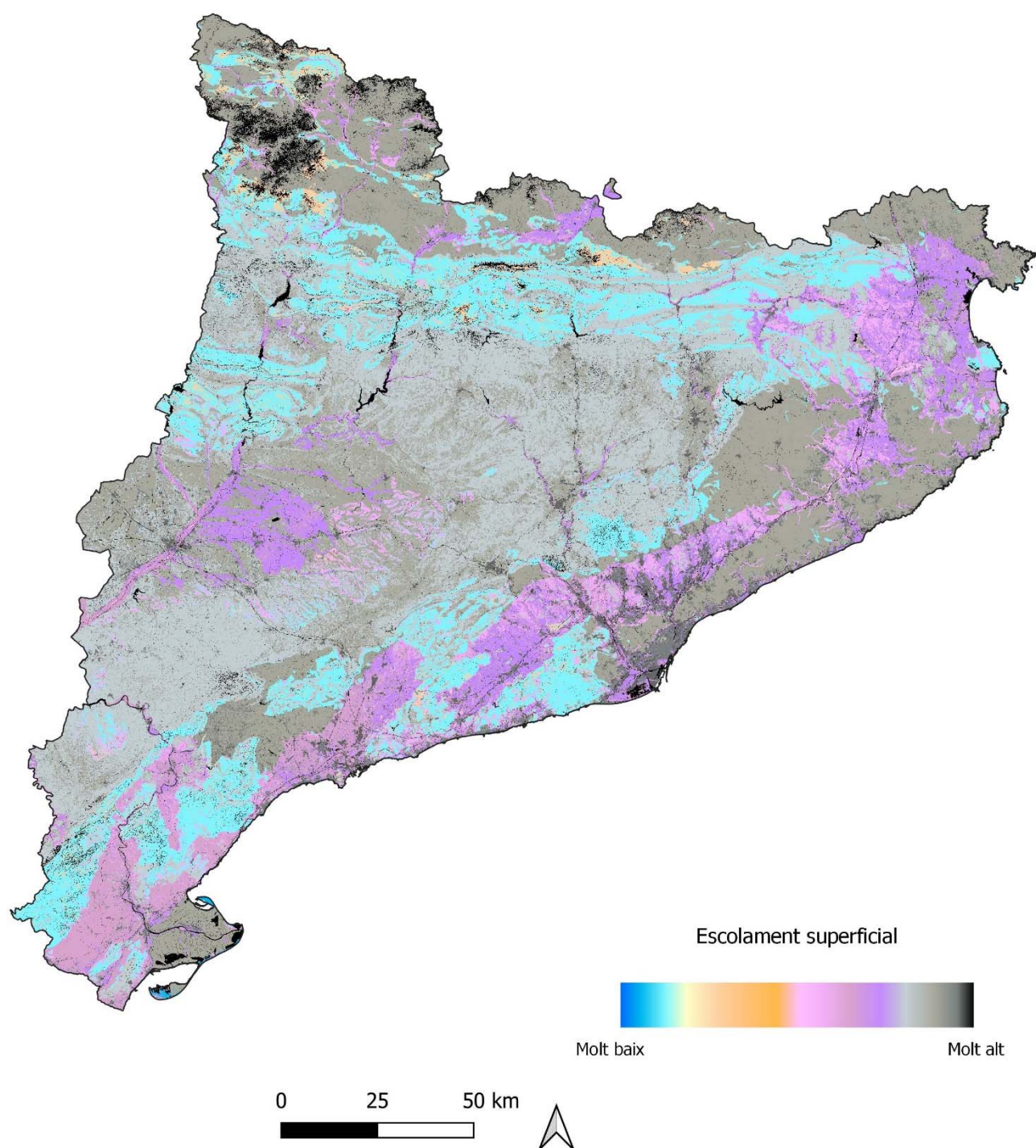


Figura 11. Escolament superficial

4.7 Pol·linització

El model d'abundància de papallones (**Figura 12**) mostra un patró general d'augment de l'abundància de papallones amb l'altitud i amb la distància a la costa però fins els 1500 m, moment en que aquests comencen a disminuir. Les zones on les papallones son més abundants corresponen als prats dels espais naturals més allunyats dels nuclis urbans: Montseny i Cadí-Moixeró. Destaquen també alguns matollars, com els del Garraf, Cingles de Bertí i Sant Llorenç del Munt. Altres espais naturals protegits (matollars o prats) presenten també valors alts d'abundància de papallones, com Montsant i Prades, Ribera de l'Ebre o Cap de Creus. En canvi, els conreus mono-específics, com les vinyes del Penedès, son menys abundants en papallones.

4.8 Regulació de la qualitat de l'aire

4.8.1 Biomassa foliar (LAI) dels boscos

Els valors dels píxels del mapa de biomassa foliar oscil·len entre <1 i >10 t/ha (**Figura 13**). Els boscos amb més de 6 t/ha de biomassa foliar ocupen superfícies importants als Parcs de Serralada Litoral i de Marina, Montseny, o al Parc natural del Cadí-Moixeró.

4.8.2 Concentració mitjana anual de PM₁₀

La **Figura 14** mostra els valors de la concentració mitjana anual de PM₁₀, que es distribueixen en un rang de 9.78-29.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Catalunya. Els valors més alts es relacionen amb les principals vies de trànsit i les indústries properes als grans ciutats (destaquen Barcelona i la seva Àrea Metropolitana, també el Pla de Bages, Vic i Girona, amb valors anuals de PM₁₀ molt elevats, de més de 20 g/m^3).

4.8.3 Concentració mitjana anual de NO₂

La concentració mitjana anual de NO₂ (**Figura 15**) presenta valors més alts (fins a 50.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en alguns indrets concrets del territori (Barcelona, alguns punts del Vallès, Manresa i Girona). Destaquen de nou algunes de les principals vies de trànsit, amb concentracions mitjans anuals relativament altes.

4.9 Increment net de biomassa aèria

El resultat del model cartogràfic realitzat de ens mostra un increment anual potencial de la biomassa, exclusivament per a zones classificades com bosc al Mapa de Cobertes del Sòl de 2015 (**Figura 16**). Els valors de l'increment net arriben a unes 184 tn/ha. Els valors més elevats es troben

en àrees on els estocs de biomassa són més grans (com la serra de Collserola, Muntanyes de l'Ordal i obagues de la serralada Litoral o als boscos de Ripoll i Camprodon).

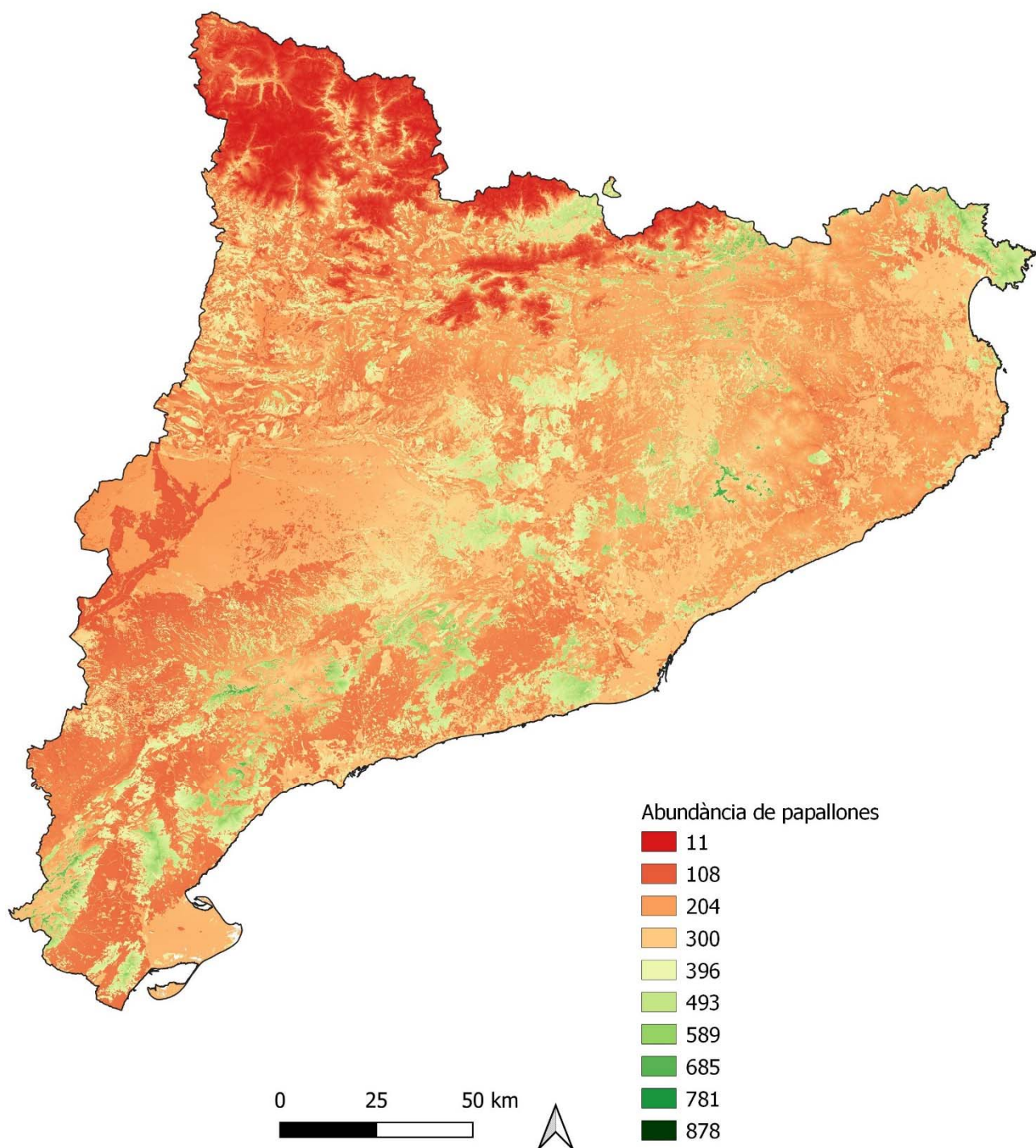


Figura 12. Abundància de papallones diürnes

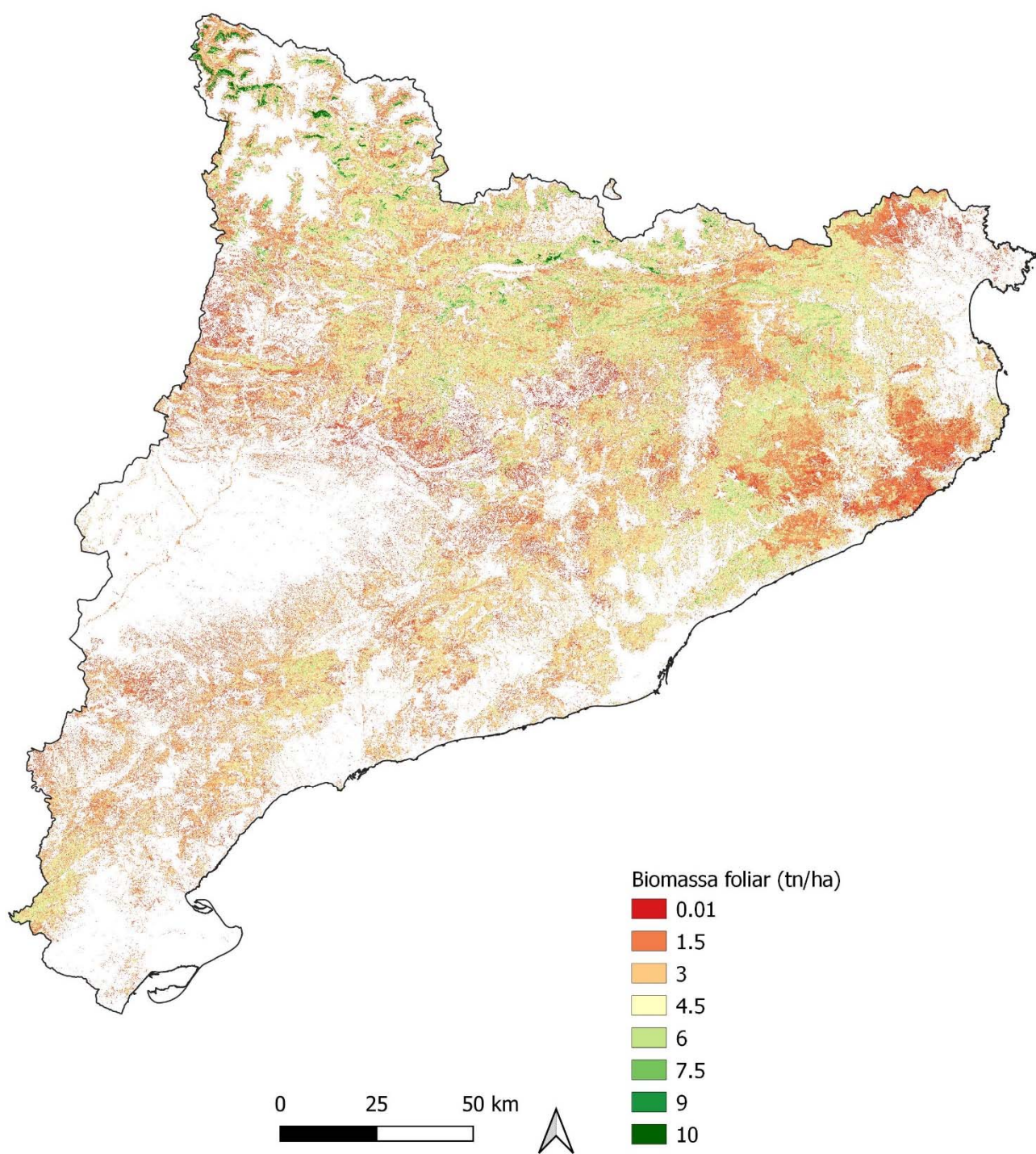


Figura 13. Biomassa foliar

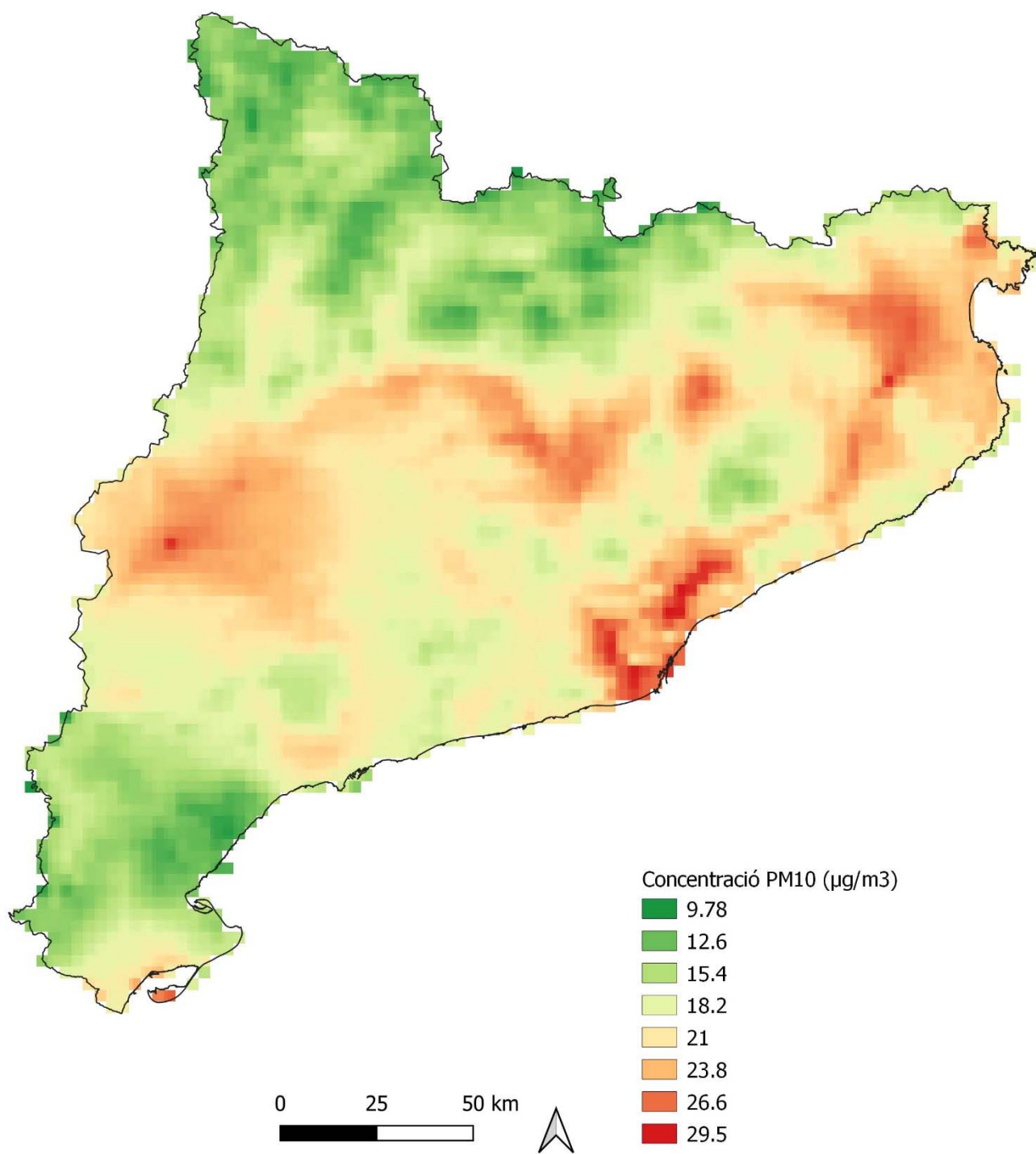


Figura 14. Concentració mitjana anual de PM₁₀
(font: <http://sig.gencat.cat/visors/hipermapa.html>)

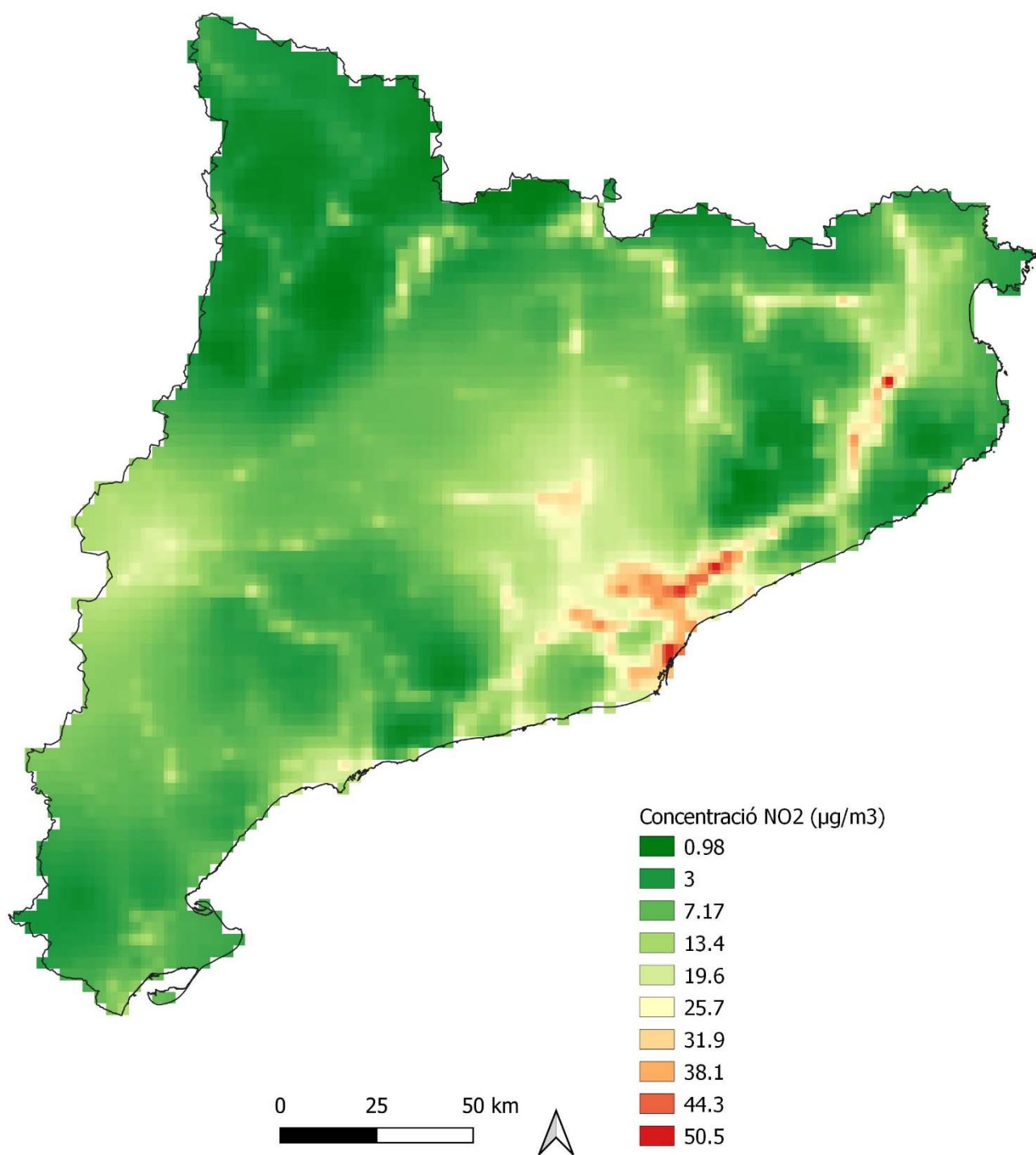


Figura 15. Concentració mitjana anual de NO₂
(font: <http://sig.gencat.cat/visors/hipermapa.html>)

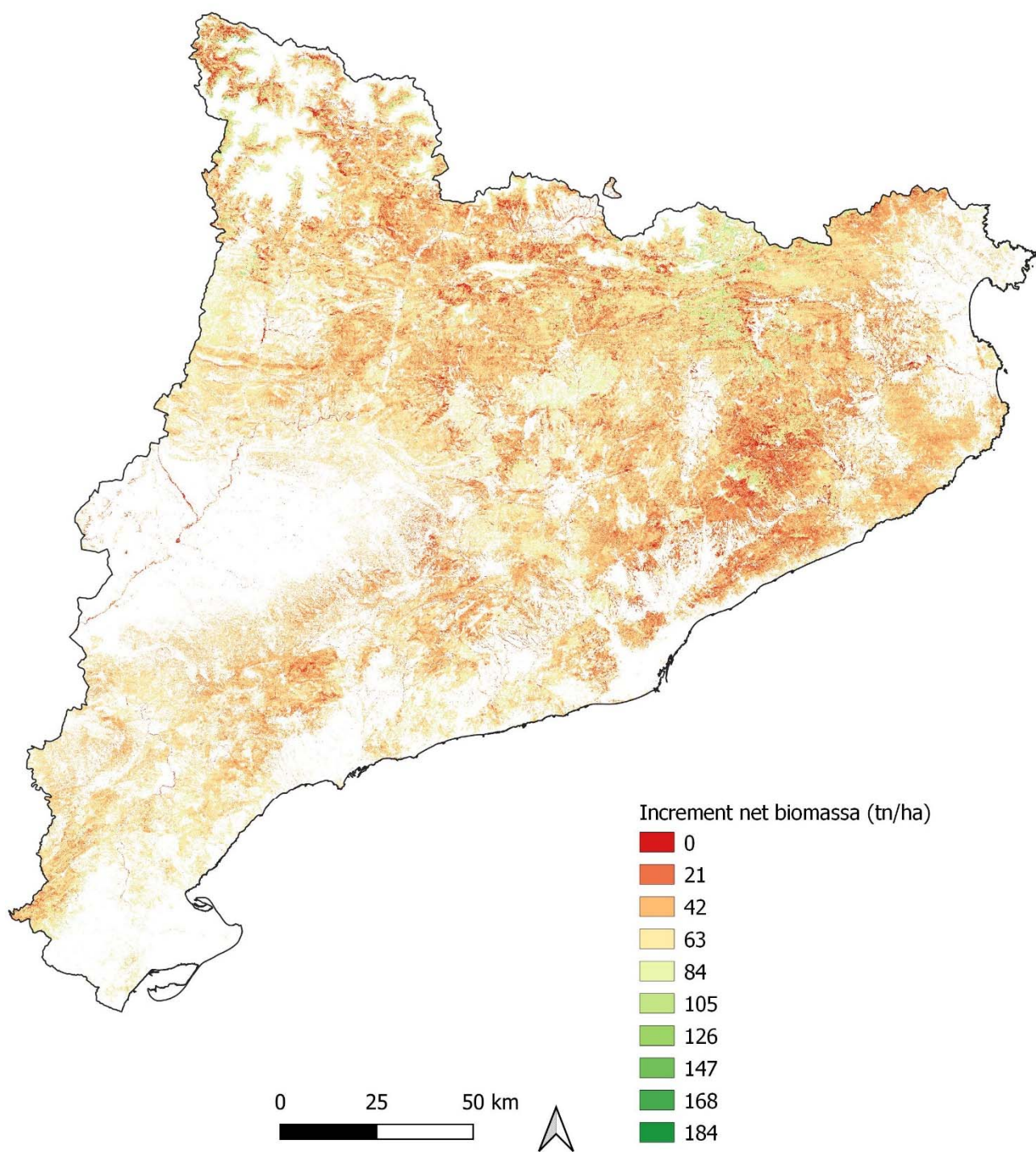


Figura 16. Increment net de biomassa aèria

5. Referències

- Andrew ME, Wulder MA, Nelson TA, Coops NC (2015). Spatial data, analysis approaches, and information needs for spatial ecosystem service assessments: a review. *GIScience & Remote Sensing* 52: 344–373.
- Bangash RF, Passuello A, Sanchez-Canales M, Terrado M, López A, Elorza FJ, Ziv G, Acuña V, Schuhmacher M (2013). Ecosystem services in Mediterranean river basin: Climate change impact on water provisioning and erosion control. *Science of The Total Environment* 458–460: 246–255.
- Baró F, Gómez-Baggethun E, Palomo I (2014). Cartografia de serveis ecosistèmics a la província de Barcelona en el marc del Sistema d'Informació Territorial de la Xarxa d'Espais Lliures (SITxell). Informe inèdit, Diputació de Barcelona.
- Baró F, Basnou C, Brotons L, Gómez-Baggethun E, Guardia A, Melero Y, Pino J, Pla M (2015). Desenvolupament i cartografia d'un sistema d'indicadors de serveis ecosistèmics a la província de Barcelona en el marc del Sistema d'Informació Territorial de la Xarxa d'Espais Lliures (SITxell). Informe inèdit, Diputació de Barcelona.
- Basnou C, Vayreda J, Pino J (2014) Serveis ecosistèmics de la infraestructura verda de l'Àrea Metropolitana de Barcelona: primera diagnosi. Àrea metropolitana de Barcelona (AMB); www.amb.cat/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/serveis-ecosistemics-de-la-infraestructura-verda-de-l-area-metropolitana/1605483/11818
- Basnou C, Pino J, Terradas J (2015). Ecosystem services provided by green infrastructure in the urban environment. *CAB Reviews* 10: 1–11.
- Basnou C, Baró F, Gómez-Baggethun E, Guàrdia A, Langemeyer J, Vayreda J, Pino J (2016). Anàlisi dels serveis ecosistèmics de la província de Barcelona i proposta d'una infraestructura verda, en el marc del Sistema d'Informació Territorial de la Xarxa d'Espais Lliures (SITxell). Informe inèdit, Diputació de Barcelona.
- Basnou C, Maestre-Andrés S, Baró F, Langemeyer J, Pino J (2018). Definició, Caracterització i Difusió de la Infraestructura Verda de la província de Barcelona en el Marc del Sistema d'Informació Territorial de la Xarxa d'Espais Lliures (SITxell). Resum executiu. Informe inèdit, Diputació de Barcelona.
- Beelen R, Hoek G, Pebesma E, Vienneau D, de Hoogh K, Briggs DJ (2009). Mapping of background air pollution at a fine spatial scale across the European Union. *Science of the Total Environment* 407: 1852–1867.

- Braat LC, de Groot RS (2012). The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services* 1: 4–15.
- Casas Castillo M.C. (2003). Análisis espacial y temporal de las lluvias extremas en Catalunya. Modelización y clasificación objetiva. Tesis doctoral inédita. Universitat de Barcelona.
- Chan KMA, Shaw MR, Cameron DR, Underwood EC, Daily GC (2006). Conservation planning for ecosystem services. *PLoS Biology* 4: 2138–2152.
- Chan KMA, Pringle RM, Ranganathan J, Boggs CL, Chan YL, Ehrlich PR, Haff PK, Heller NE, Al-Khafaji K, Macmynowski DP (2007). When agendas collide: Human welfare and biological conservation. *Conservation Biology* 21: 59–68.
- Chaparro L, Terradas J (2009). *Ecological Services of Urban Forest in Barcelona*. Barcelona, 96 pp.
- Cimon-Morin J, Darveau M, Poulin M (2013). Fostering synergies between ecosystem services and biodiversity in conservation planning: A review. *Biological Conservation* 166: 144–154.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot RS, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, Oneill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, vandenBelt M (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.
- Cronshey R. (1986). *Urban hydrology for small watersheds*. US Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division.
- De Cáceres M, Martínez-Vilalta J, Coll L, Llorens P, Casals P, Poyatos R, Pausas JG, Brotons L (2015). Coupling a water balance model with forest inventory data to predict drought stress: the role of forest structural changes vs. climate changes. *Agricultural and Forest Meteorology* 213: 77-90.
- Escobedo FJ, Nowak DJ. (2009). Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and Urban Planning* 90:102–10.
- de Groot RS, Alkemade R, Braat L, Hein L, Willemen L (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity* 7: 260–272.
- Dee LE, De Lara M, Costello C, Gaines SD (2017). To what extent can ecosystem services motivate protecting biodiversity? *Ecology Letters* 20: 935–946.
- EEA (European Environment Agency) (2013). *Air quality in Europe – 2013 report*. EEA report 9/2013.
- Eigenbrod F, Anderson BJ, Armsworth PR, Heinemeyer A, Jackson SF, Parnell M, Thomas CD, Gaston KJ (2009). Ecosystem service benefits of contrasting conservation strategies in a human-dominated region. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276: 2903–2911.

- Englund O, Berndes G, Cederberg C (2017). How to analyse ecosystem services in landscapes – A systematic review. *Ecological Indicators* 73: 492–504.
- Gómez-Baggethun E, de Groot R (2010). Natural capital and ecosystem services: The ecological foundation of human society. In: Harrison RM, Hester RE (Eds.), *Ecosystem Services*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 105–121.
- Gómez-Baggethun E, de Groot R, Lomas PL, Montes C (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics* 69: 1209–1218.
- Gómez-Baggethun E, Gren A, Barton D, Langemeyer J, McPhearson T, O'Farrell P, Andersson E, Hamstead Z, Kremer P (2013). Urban ecosystem services. In: Elmqvist T et al. (Eds.), *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities. A Global Assessment*. Springer, Dordrecht/Heidelberg/New York/London, pp. 175–251.
- Haines-Young R, Potschin M (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: Raffaelli D, Frid C (Eds.), *Ecosystem ecology: a new synthesis*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 110–139, Chapter 6.
- La Notte A, D'Amato D, Mäkinen H, Paracchini ML, Liqueste C, Egoh B, Geneletti D, Crossman ND (2017). Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecological Indicators* 74: 392–402.
- Lee H, Lautenbach S (2016). A quantitative review of relationships between ecosystem services. *Ecological Indicators* 66: 340–351.
- Lindenmayer DB, Fischer J (2006). Tackling the habitat fragmentation panchreston. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 127–132.
- Loreau M, Naeem S, Inchausti P, Bengtsson J, Grime JP, Hector A, Hooper DU, Huston MA, Raffaelli D, Schmid B, Tilman D, Wardle DA (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science* 294: 804–808.
- Mallarach JM, Germain J (2006). Bases per a les directrius de connectivitat ecològica de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.
- Margules C, Sarkar S (2007). *Systematic Conservation Planning*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Martínez-Harms MJ, Balvanera P (2012). Methods for mapping ecosystem service supply: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 8: 17–25.
- MEA (2003). *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*, Millennium Ecosystem Assessment Series. Island Press, Washington.

- MEA (2005). Ecosystems and human well-being: Multiscale assessment, Millennium Ecosystem Assessment Series, 4. Island Press, Washington.
- Myers N (1997). Biodiversity's genetic library. In: Daily GC (Eds.), Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC, pp. 255–273.
- Naeem S, Thompson LJ, Lawler SP, Lawton JH, Woodfin RM (1995). Empirical evidence that declining species diversity may alter the performance of terrestrial ecosystems. *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 347: 249–262.
- Naidoo R, Balmford A, Costanza R, Fisher B, Green RE, Lehner B, Malcolm TR, Ricketts TH (2008). Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 9495–9500.
- Nelson E, Monoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron DR, Chan KMA, Daily GC, Goldstein J, Kareiva PM, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts TH, Shaw MR (2009). Modelling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scale. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7: 4–11.
- Pino J, Gordillo J, Basnou C, Fuentes L (2018). Estudi de la funcionalitat ecològica i la biodiversitat de l'Àrea Metropolitana de Barcelona en el marc del PDU. Àrea metropolitana de Barcelona (AMB).
- Roces-Díaz JV, Vayreda J, Banqué-Casanovas M, Cusó M, Anton M, Bonet JA, Brotons L, De Cáceres M, Herrando S, Martínez de Aragón J, de-Miguel S, Martínez-Vilalta J (in press). Assessing the distribution of forest ecosystem services in a highly populated Mediterranean region. *Ecological Indicators*.
- Royle JA (2004). N-Mixture Models for Estimating Population Size from Spatially Replicated Counts. *Biometrics* 60: 108–115.
- Schröter M, Albert C, Marques A, Tobon W, Lavorel S, Maes J, Brown C, Klotz S, Bonn A (2016). National ecosystem assessments in Europe: A review. *BioScience* 66: 813–828.
- Sherrouse BC, Clement JM, Semmens DJ (2011). A GIS application for assessing, mapping, and quantifying the social values of ecosystem services. *Applied Geography* 31: 748–760.
- TEEB (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations (ed. Kumar, P). Earthscan, London and Washington.
- Terrado M, Acuña V, Ennaanay D, Tallis H, Sabater S (2014). Impact of climate extremes on hydrological ecosystem services in a heavily humanized Mediterranean basin. *Ecological Indicators* 37: 199–209.

- Tratalos J, Fuller RA, Warren PH, Davies RG, Gaston KJ. (2007). Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and urban planning*, 83(4): 308-317.
- van Wensem J, Calow P, Dollacker A, Maltby L, Olander L, Tuvendal M, van Houtven G (2017). Identifying and assessing the application of ecosystem services approaches in environmental policies and decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management* 13: 41–51.
- Unió de Pagesos (2013). Actualització de l'avaluació i perspectives territorials dels usos agraris en l'àmbit del Sitxell. Document intern SITXELL.
- Urbina V, Dalmases J et al. (2001). Aprofitament i pla d'actuació en residus de cultius llenyosos. Pla de Biomassa a Catalunya en l'àmbit agrícola. Barcelona, Conveni de col·laboració entre la Universitat de Lleida i l'Institut Català de l'Energia. Generalitat de Catalunya, Departament d'Indústria, Comerç i Turisme.
- Vayreda J, Gracia M, Canadell JG, Retana J (2012). Spatial patterns and predictors of forest carbon stocks in western Mediterranean. *Ecosystems* 15:1258–1270.
- WHO (2000). Air quality guidelines for Europe, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Wong CP, Jiang B, Kinzig AP, Lee KN, Ouyang Z (2015). Linking ecosystem characteristics to final ecosystem services for public policy. *Ecology Letters* 18: 108–118.
- Zulian G, Paracchini ML, Maes J, Liquete C (2013). ESTIMAP: Ecosystem services mapping at European scale. EUR 26474. Publications Office of the European Union, Luxembourg.