

ForEScale

RELLEVÀNCIA DEL NIVELL ESPACIAL D'ANÀLISI DELS SERVEIS ECOSISTÈMICS DELS BOSCOS DE CATALUNYA



Foto: JLuis Ordóñez

Octubre 2017

Autors:

M. Banqué-Casanovas, J. Martínez-Vilalta, JV. Roces-Díaz, J. Vayreda

Agraïments:

Volem fer un esment especial a totes les persones que han col·laborat en l'obtenció de dades del projecte ForEScale, seguint la col·laboració que va néixer amb el ForEsmap: José Antonio Bonet de la UdL (Universitat de Lleida) i del CTFC (Centre Tecnològic Forestal de Catalunya), Sergio de Miguel de la UdL, i Miquel de Cáceres i Lluís Brotons del CTFC i CREA; Salvador Blanch i Joaquim Rodríguez de la Direcció General d'Ecosistemes Forestals i Gestió del Medi; Alicia Martín del CPF (Centre de la Propietat Forestal); Marc Anton i Sergi Herrando de l'ICO (Institut Català d'Ornitologia).

ÍNDEX

ELS SERVEIS ECOSISTÈMICS	3
Els serveis ecosistèmics dels boscos.....	3
ANTECEDENTS	4
La importància de l'escala en estudis basats en el territori	6
OBJECTIUS del ForEScale	7
INDICADORS	7
ESCALA.....	9
METODOLOGIA	10
RESULTATS.....	13
Efecte de l'escala de treball en el patró espacial.....	13
Hotspots	16
Efecte de l'escala de treball en les relacions entre els SE	19
CONCLUSIONS.....	20
BIBLIOGRAFIA - FONTS	22
ANNEXES.....	24

ELS SERVEIS ECOSISTÈMICS

Els serveis ecosistèmics (SE o ES, de l'acrònim anglès *Ecosystem Services*) són **els beneficis que l'home obté dels ecosistemes** (Daily, 1997, de Grootet *al.* 2002) i que són directament atribuïbles a les **funcions ecològiques** dels ecosistemes (Silvertown, 2015): sustenten la nostra salut, la nostra economia i la nostra qualitat de vida malgrat que molts puguin passar-nos desapercebuts.

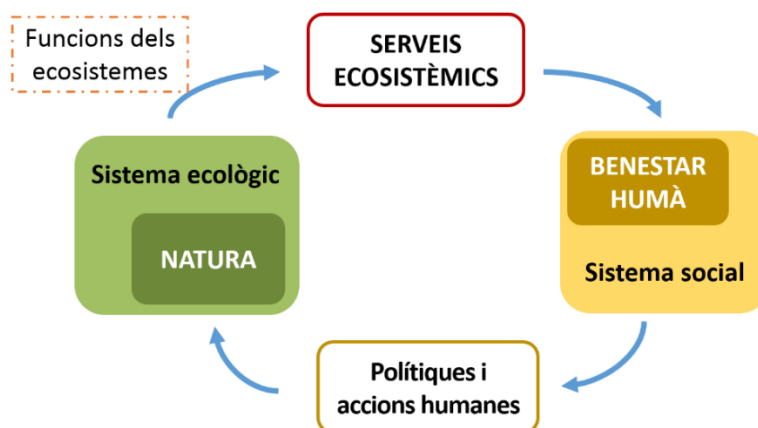


Figura 1: Marc conceptual dels serveis ecosistèmics com a pont entre el sistema ecològic i el sistema social.

El concepte dels SE ha anat prenent força tant en l'àmbit científic com en el social d'ençà la dècada del 1990. Alguns autors han subratllat la importància dels SE per la seva potencial aplicabilitat en els àmbits de la planificació sostenible del territori (Daily et al., 2009; Baró et al., 2016), la gestió dels recursos naturals (Tallis and Polasky, 2009) o la conservació de la biodiversitat (Chan et al., 2011). També fa temps que s'insisteix en la rellevància d'aconseguir marcs integrals de gestió en els quals s'inclogui tant l'avaluació de la biodiversitat, com d'altres aspectes biofísics i socials.

Els serveis ecosistèmics dels boscos

Els boscos són uns dels proveïdors més rellevants de serveis ecosistèmics (Elkin et al. 2013). No obstant, l'increment de les pressions a les que estan sotmesos, ja siguin les causades pels canvis d'usos del sòl (Hansen et al. 2013; EME, 2010) o pel canvi climàtic (Bonan, 2008; EME, 2010), fan que sigui d'especial interès identificar i quantificar quins serveis ens proveeixen aquests ecosistemes, quines zones en són les principals proveïdores i quines són més vulnerables en un context de canvi global.

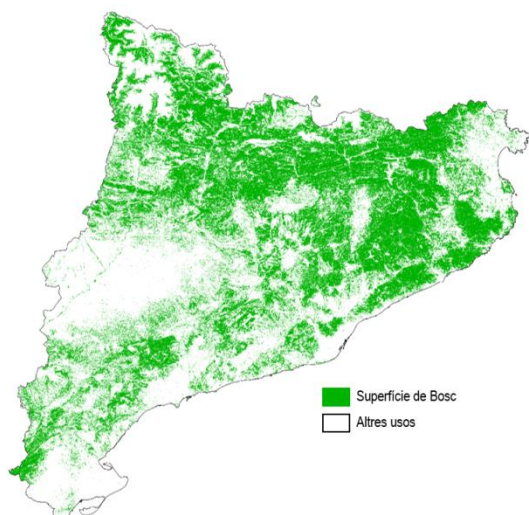


Figura 2: Superfície de boscos de qualsevol espècie a Catalunya.

A Catalunya els boscos representen al voltant d'un 42% del territori, segons el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya del 2009 (MCSC, 2009), tal i com es pot apreciar a la figura 2. Això

vol dir que una important proporció de la superfície del país té la capacitat potencial de proveir SE i, per tant, l'avaluació dels SE dels boscos de Catalunya mereix una especial atenció.

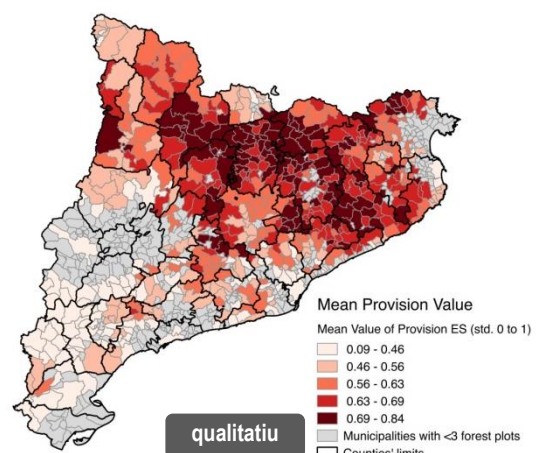
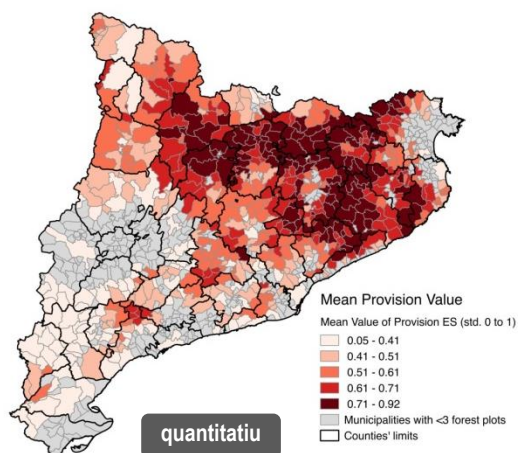
ANTECEDENTS

L'any 2016 es va presentar l'informe **ForESmap** (el podeu consultar [aquí](#)), on s'hi avaluaven i cartografiaven alguns dels **serveis ecosistèmics** (SE) dels boscos de Catalunya a escala municipal. S'escolliren 15 indicadors biofísics per avaluar 10 serveis ecosistèmics dels boscos catalans que incloïen les categories de serveis de provisió, serveis de regulació, serveis culturals i la biodiversitat, de manera que els diferents tipus de SE dels boscos hi quedaven representats. A més a més, es van estudiar quines eren les relacions (sinèrgies i compromisos) que els SE tenien entre ells a nivell espacial, i quines relacions podien existir amb factors socioeconòmics i climàtics.

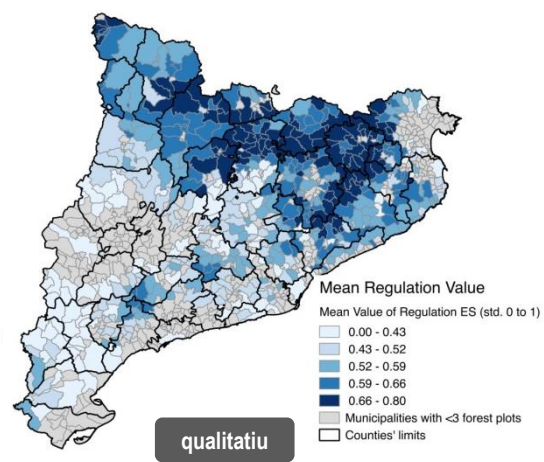
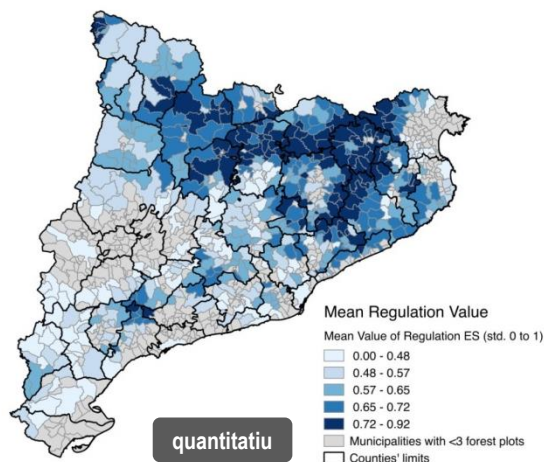
Els resultats d'aquest informe van revelar principalment que els serveis de regulació, provisió i en certa mesura la biodiversitat tenen patrons espacials molt similars: els municipis més arbrats i productius (zones del pre-Pirineu, etc.) són els que obtenen valors més elevats per als indicadors utilitzats. Per altra banda, els serveis culturals presenten un patró lligat a la demanda que prové dels nuclis de població. Això fa que la seva distribució difereixi dels patrons dels altres grups de serveis. Una altra conclusió important del ForESmap és que les variables més rellevants per explicar com es distribueixen els SE dels municipis de Catalunya són les climàtiques. En concret, la precipitació és el factor principal que determina el patró de distribució dels SE forestals. Això vol dir que la provisió de SE és més gran allà on els valors de precipitació són més alts. Pel que fa a la temperatura, també té un efecte important, però en aquest cas negatiu: allà on fa més calor la provisió de SE és menor.

Els resultats principals del ForESmap es resumeixen als següents mapes:

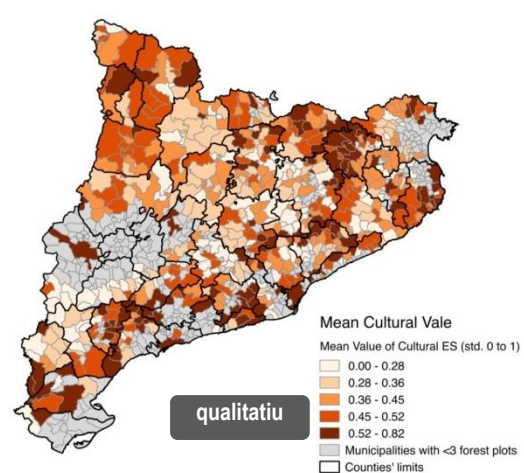
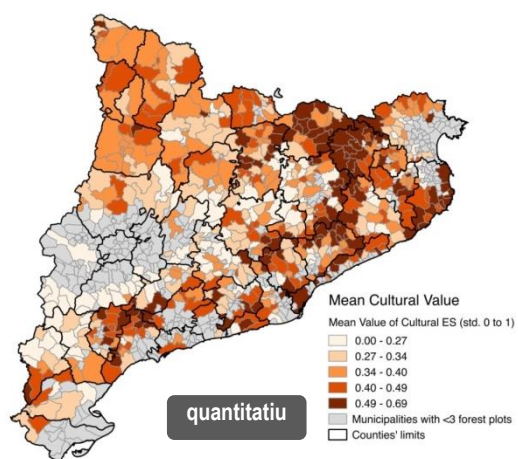
PROVISIÓ



REGULACIÓ



CULTURAL



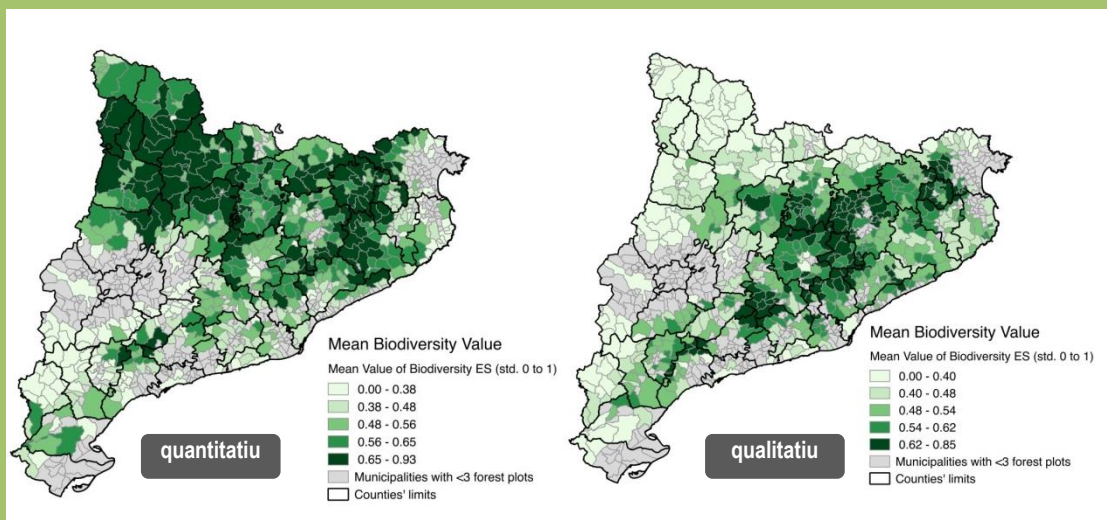


Figura 3: Alguns dels resultats de l'avaluació dels SE presentats al ForESmap, 2016. Els mapes representen el valor mitjà per cadascuna de les categories de SE estudiades. El mapa “quantitatiu” fa referència al valor per unitat de superfície del municipi; mentre que el “qualitatiu” fa referència al valor per unitat de superfície de bosc del municipi.

No obstant, malgrat que els resultats del ForESmap no van detectar cap compromís entre els grups de SE, podria ocórrer que aquests compromisos es produïssin a escala temporal i/o a d'altres escales de treball. D'aquesta possibilitat en va sorgir l'interès per estudiar, per una banda, si la relació dels SE és diferent segons l'escala de treball que es faci servir, i per l'altra, quins patrons segueixen els SE al llarg del temps. El principal objectiu d'aquest segon treball, el **ForEsScale**, es centra en la primera de les opcions: analitzar quines implicacions té treballar a diferents escales en l'avaluació dels SE i les seves relacions. Resta pendent estudiar els patrons que segueixen els SE al llarg del temps, una tasca que ja hem iniciat a partir de les dades recents de l'inventari forestal (IFN4).

La importància de l'escala en estudis basats en el territori

La implementació de la gestió del medi natural basada en els SE ha d'estar fonamentada en aproximacions espacials (Egoh et al., 2008; Andrew et al., 2015) que permetin caracteritzar la demanda i la provisió dels SE (Burkhard et al., 2012). Ja fa anys que els treballs que es basen en l'ecologia del paisatge o en el territori, posen de manifest la influència que té l'escala espacial que es fa servir. Els resultats poden ser molt diferents segons si es treballa a escala de paisatge, a escala d'ecosistema, o a escales més locals (ecotò, rodal, etc.). L'estudi dels SE no n'és una excepció, tal i com han assenyalat diferents treballs (Martín-López, et al. 2009, Geijzendorffer et al. 2015). Així, l'avaluació i cartografia dels SE dels boscos que es va

dur a terme amb el ForESmap també està sotmesa a aquest efecte d'escala. És per aquesta raó que el ForEScale es centra en l'anàlisi de l'efecte del canvi d'escala en l'avaluació dels indicadors de SE, en la distribució de les àrees de hotspots (punts calents) que es presenten a Catalunya i en les relacions entre SE.

OBJECTIUS del ForEScale

L'objectiu d'aquest treball ha estat l'anàlisi dels **efectes de l'escala** en:

- 1.- El **patró espacial** dels SE dels boscos de Catalunya.
- 2.- Les **relacions** que hi ha **entre SE** (sinèrgies i trade-offs o compromisos).
- 3.- Distribució de les zones de màxima provisió de SE (**hotspots**).

INDICADORS

Per tal d'analitzar els efectes de l'escala en l'avaluació dels serveis ecosistèmics i en les relacions que hi pot haver entre ells s'han fet servir indicadors biofísics (ForESmap, 2016). Aquests indicadors han de ser quantificables temporalment, han de ser espacialment explícits i han de permetre caracteritzar l'estat actual dels serveis i detectar possibles canvis temporals en la seva provisió. La seva escalabilitat és un factor especialment important en aquest treball.

Dels 15 indicadors que es van fer servir pel ForESMap se n'han escollit 7 pel ForEScale. Aquesta diferència en el nombre d'indicadors es deu bàsicament a dues raons:

- La primera és que en el cas del ForESMap, es pretenia tenir un conjunt d'indicadors el més ampli possible, que abastés el major nombre de tipologies i de serveis ecosistèmics possible; mentre que l'objectiu del ForEScale és avaluar com canvien les relacions entre els indicadors quan canviem d'escala de treball.
- La segona raó és que per poder fer servir els indicadors era imprescindible que disposéssim de les dades en les tres escales que hem treballat: local, municipal i comarcal. En aquest sentit, doncs, els indicadors producció de *fusta i llenya* (indicador del SE matèries primeres), *places de turisme rural* (del SE turisme rural) i *tracks de wikiloc* (del SE turisme rural) no s'han inclòs al ForEScale ja que no es disposava de la informació a les tres escales emprades (i no era possible passar-ho d'una escala a l'altra). L'indicador *emmagatzematge d'aigua a capçades i sòl* (del SE regulació hídrica) s'ha desestimat ja que les dades d'emmagatzematge que el model ofereix no

s'han considerat adients per l'objectiu del treball. I finalment l'indicador *xarxa natura 2000* (també del SE turisme rural) s'ha considerat força arbitrari a l'hora d'avaluar la influència de l'escala, donat que és una figura que, per definició està circumscrita a escales supramunicipals.

Així doncs, els indicadors que finalment s'han fet servir són els que es presenten a la següent taula:

		SERVEI	INDICADOR	UNITATS	DESCRIPCIÓ	FONT
INDICADORS	PROVISIÓ	Provisió d'aliments	Producció de bolets	Kg/ha/any	Producció esperable de bolets comestibles	De Miguel et al. (2014)
		Provisió d'aigua	Aigua exportada	l/m ² /any	Aigua exportada per escorrentiu o percolació	De Cáceres et al. (2015)
	REGULACIÓ	Regulació del clima	Embornal de carboni	t/ha/any	Capacitat d'embornal de carboni dels boscos	IFN*, Vayreda et al. (2016)
		Fertilitat del sòl	Carboni orgànic al sòl	t/ha	Estoc de carboni orgànic al sòl dels boscos	Doblas-Miranda et al. (2013)
		Regulació de les avingudes	Coberta de bosc de ribera	%	Coberta de bosc de ribera en buffer de 25m dels rius	MCSC** (2009)
		Control de l'erosió	Coberta de bosc en pendents	%	Coberta forestal en superfícies amb pendents >30%	MCSC** (2009)
	CULTURAL	Observació de fauna	Observació de fauna	Nre.	Observacions d'espècies animals introduïdes a l'Ornitho.cat	ICO*** (2014)

* IFN: Inventario Forestal Nacional

** MCSC: Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya

*** ICO: Institut Català d'Ornitologia

Taula 1: Taula resum dels indicadors biofísics que s'han fet servir per estudiar l'efecte de l'escala en l'avaluació dels SE. S'hi especifica el servei ecosistèmic al qual responen, les unitats, una breu descripció i la font de les dades.

Per altra banda, els indicadors de biodiversitat, (explicada per la *riquesa d'espècies llenyoses* i la *riquesa d'espècies d'ocells*) s'han tractat com a variables explicatives al ForEScale. La biodiversitat té un paper determinant en el manteniment i sostenibilitat dels SE, és la base necessària per a mantenir les funcions dels ecosistemes. De manera que enlloc de tractar-la com a indicador s'ha fet servir com a variable que pot ajudar a explicar els patrons que segueixen els SE, tal i com es va fer al ForESMap amb la pluviometria i la temperatura, entre d'altres variables. El mateix passa amb la *coberta de bosc natural*. Si treballem amb SE dels boscos de Catalunya, és evident que la coberta de bosc natural serà determinant per explicar el patró que presenten aquests SE.

Els detalls d'aquestes variables explicatives es mostren a la següent taula:

		VARIABLE	INDICADOR	UNITATS	DESCRIPCIÓ	FONT
VARIABLES	BOSC	Coberta forestal	Coberta forestal	%	Percentatge de coberta forestal	MCSC* (2009)
	BIODIVERSITAT	Riquesa d'espècies d'arbres	Riquesa d'espècies d'arbres	Nre	Nombre d'espècies arbòries	IFN**
		Riquesa d'aus forestals	Riquesa d'aus forestals	Nre	Nombre d'espècies d'aus forestals	ICO*** (2014)

* MCSC: Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya

** IFN: Inventari Forestal Nacional

*** ICO: Institut Català d'Ornitologia

Taula 2: Taula resum de les variables explicatives que s'han fet servir per estudiar l'efecte de l'escala en l'avaluació dels SE. S'hi especifica l'indicador i la variable a la qual respon, les unitats, una breu descripció i la font de les dades.

La coberta forestal correspon al percentatge d'hectàrees de bosc segons les dades que es desprenen del MCSC. I pel que fa a la riquesa d'espècies (tant d'arbres com d'aus forestals), fa referència al *nombre d'espècies diferents* per a cadascuna de les escales (píxels (1 km²), municipi, comarca), segons el que s'extreu del IFN i de l'ICO respectivament.

ESCALA

Totes les anàlisis s'han fet a 3 nivells: local, municipal i comarcal. Aquests tres nivells d'escala responen a focus diferents. L'**escala local**, és la més detallada i està determinada o bé per les parcel·les del IFN o bé per una malla de píxels d'1 km² de resolució. El següent nivell és l'**escala municipal**, que ja s'havia fet servir per al ForESmap. Catalunya té 947 municipis que tenen una mida mitjana de 40 km², una mida mínima de 4,5 km² i màxima de 303,5 km². És una escala amb rellevància administrativa ja que els ajuntaments són l'administració més pròxima al territori. El darrer nivell estudiat és l'**escala comarcal**. Catalunya té 42 comarques, de mides molt diverses que van des dels 145,8 km² als 1784,1 km². No obstant, el treball s'ha dut a terme en 41 comarques (a la cartografia encara no s'hi havia inclòs el Moianès). Moltes de les decisions de gestió i ordenació del territori es prenen a aquest nivell comarcal, per tant també és una escala de treball administrativament rellevant.

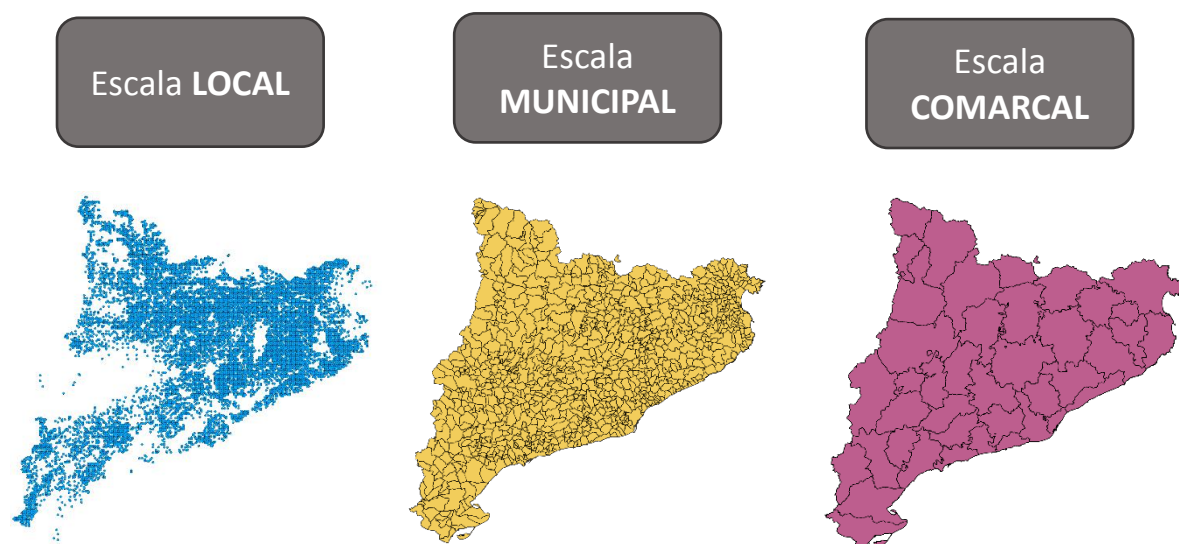


Figura 4: Escales de treball (local, municipal, comarcal) per avaluar l'efecte que té l'ús d'unes o altres.

METODOLOGIA

Les dades utilitzades per al càlcul dels indicadors són, en origen, de 2 tipus: dades puntuals (parcel·les dels IFN (Inventaris Forestals Nacionals)) i dades d'origen de malla, amb diferents resolucions. A la Taula 3 es detallen les unitats, els tipus de dades i la resolució original per a cadascun dels indicadors.

Taula 3: Serveis ecosistèmics o variables, indicador al que responen, codi, unitats, tipologia de dades i resolució de les dades originals.

Servei ecosistèmic	Indicador	Codi	Unitats	Tipus de dades	Resolució original
Provisió d'aliments	Producció de bolets	P1	Kg/ha/any	punts	3.272 punts
Provisió d'aigua	Aigua exportada	P2	L/m²/any	punts	11.261 punts
Regulació del clima	Embornal de carboni	R1	t/ha/any	punts	8.726 punts
Fertilitat del sòl	Carboni orgànic al sòl	R2	t/ha	mallà	200 m
Regulació de les avingudes	Coberta de bosc de ribera	R3	%	mallà	25 m
Control de l'erosió	Coberta de bosc en pendents	R4	%	mallà	25 m
Recreació	Observació de fauna	C1	Nre.	mallà	1.000 m

Variable	Indicador	Codi	Unitats	Tipus de dades	Resolució original
Coberta forestal	Coberta forestal	F1	%	mallà	25 m
Riquesa d'arbres	Riquesa d'espècies d'arbres	B1	Nre.	punts	11.288 punts
Riquesa d'aus	Riquesa d'aus forestals	B2	Nre.	mallà	1 000 m

El tractament de la informació per obtenir els valors per a cada escala (local, municipal i comarcal) ha estat diferent segons si es tractava d'un tipus de dades o de l'altre. Per a les **variables puntuals**, s'ha passat de l'escala local (punts) a les escales municipal i comarcal fent la mitjana dels valors que queden dins dels límits del municipi/comarca (Figura 5). Per a les **variables de tipus mallà**, l'escala local correspon a una mallà de píxels d'1 km², que s'ha obtingut de diferents maneres:

- Per als indicadors B2 i C1, el valor ja està a una resolució d'1 km², per tant no ha estat necessari cap canvi per obtenir els valors a escala local.
- Per als indicadors que inicialment tenen una resolució de 25 m (R3, R4 i F1) el valor a escala local es calcula considerant només els píxels de 25 m que són compatibles amb el servei ecosistèmic. Per exemple, per al control de l'erosió (R4), el valor del píxel d'1 km² correspon al nombre de píxels de 25 m que compleixen les condicions de pendent >30% i amb coberta forestal, respecte el nombre de píxels total amb pendent >30%.
- Per a l'indicador R2 (carboni orgànic al sòl), el valor del píxel d'1 km² ve donat pel valor mitjà dels píxels de 200 m originals.

Per a les *escales municipal/comarcal* els valors vénen determinats pel conjunt de píxels amb valor per a l'indicador dins de cada polígon (vegeu Figura 7).

DADES PUNTUALS

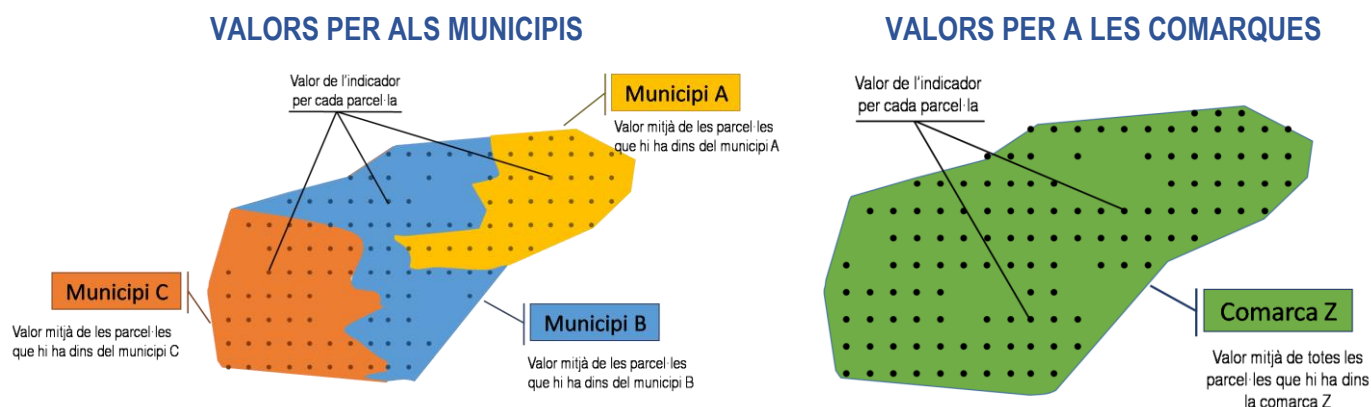


Figura 5: Infografia de la metodologia emprada per al càlcul dels valors dels indicadors a escala local, municipal i comarcal per als indicadors provinents de dades puntuals.

Per exemple, per al servei de *provisió d'aigua* (P2) (Figura 6), que té com a indicador l'*aigua exportada*, s'han fet servir dades de les parcel·les de l'IFN, de manera que la font de dades és **puntual**. A escala local, s'han fet servir els valors obtinguts per cada parcel·la de l'IFN. A escala municipal, s'ha calculat el valor mitjà de les parcel·les que hi ha dins del municipi i, a escala comarcal, el valor mitjà de les parcel·les que hi ha dins de cada comarca.

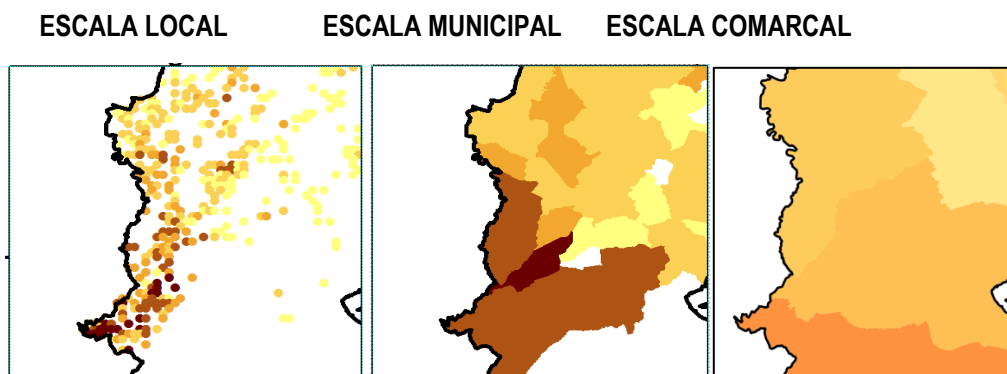
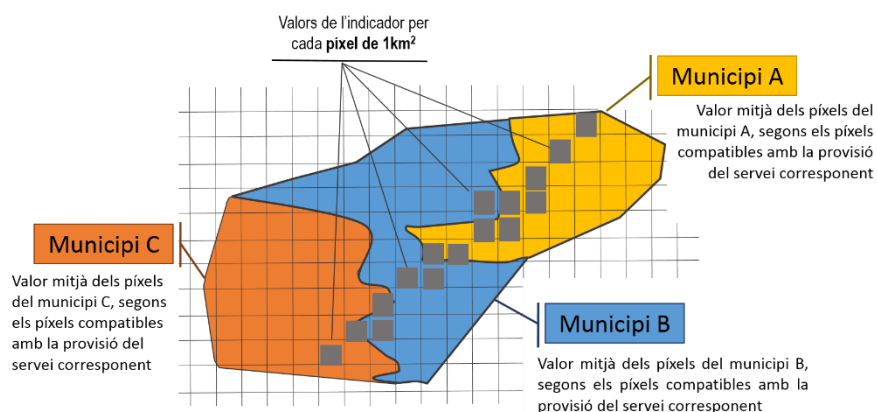


Figura 6: Detall de l'exemple de servei de *provisió d'aigua*, provinent de dades puntuals.

DADES DE MALLA de PÍXELS

VALORS PER ALS MUNICIPIS



VALORS PER A LES COMARQUES

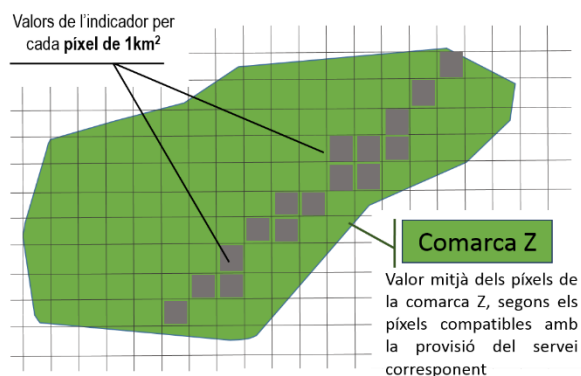


Figura 7: Infografia de la metodologia emprada pel càlcul dels valors dels indicadors a escala local, municipal i comarcal per als indicadors provinents de dades de malla de píxels.

Per exemple, per al servei *control de l'erosió* (R4) (Figura 8), l'indicador del qual és *la coberta de bosc en zones amb més d'un 30% de pendent*, té com a informació base una **malla de píxels** de 25 m provinent del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya. Per a l'escala local, s'ha convertit aquesta malla a una altra

d'1 km² de resolució. Per a l'escala municipal i comarcal s'ha calculat el % del municipi que està cobert per bosc en zones de >30% de pendent directament a partir de la informació original (a 25 m).

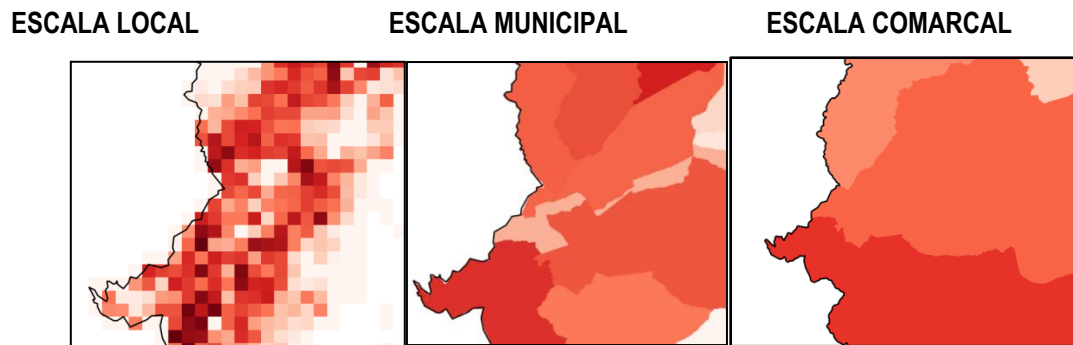


Figura 8: Detall de l'exemple de servei de *control de l'erosió*, provinent de dades d'una malla de píxels.

RESULTATS

Efecte de l'escala de treball en el patró espacial

A continuació es presenten els mapes resultants per a cada indicador a escala local, municipal i comarcal. La comparació dels patrons dels grups de mapes permet veure quin és *l'efecte de l'escala en el patró de distribució dels serveis ecosistèmics*. A partir de les dades a escala local, que són les més precises, en alguns casos es manté el patró espacial dels SE, però en d'altres es desdibuixa notablement la distribució espacial en passar a les escales municipal i comarcal.

Per als serveis de **PROVISIÓ** (Figura 9), els resultats mostren que, en general, els patrons de distribució dels SE es mantenen força en les 3 escales, tant per a la producció de bolets (P1) com per a l'aigua exportada (P2). No obstant, en el cas de la producció de bolets, en passar de l'escala local a la municipal i comarcal, s'observen alguns artefactes com ara valors alts de producció de bolets a les comarques del Baix Ebre i del Montsià, que són molt poc forestals. Això s'explica degut a què les poques parcel·les que hi ha dins aquestes comarques, bàsicament les de les muntanyes dels Ports de Beseit, tenen valors molt alts de producció de bolets. Quant a l'aigua exportada (P2) s'aprecia que alguns valors alts de la regió del nord-est (Alt Empordà, per exemple) apreciades a escala local i municipal queden difuminats en passar a l'escala comarcal.

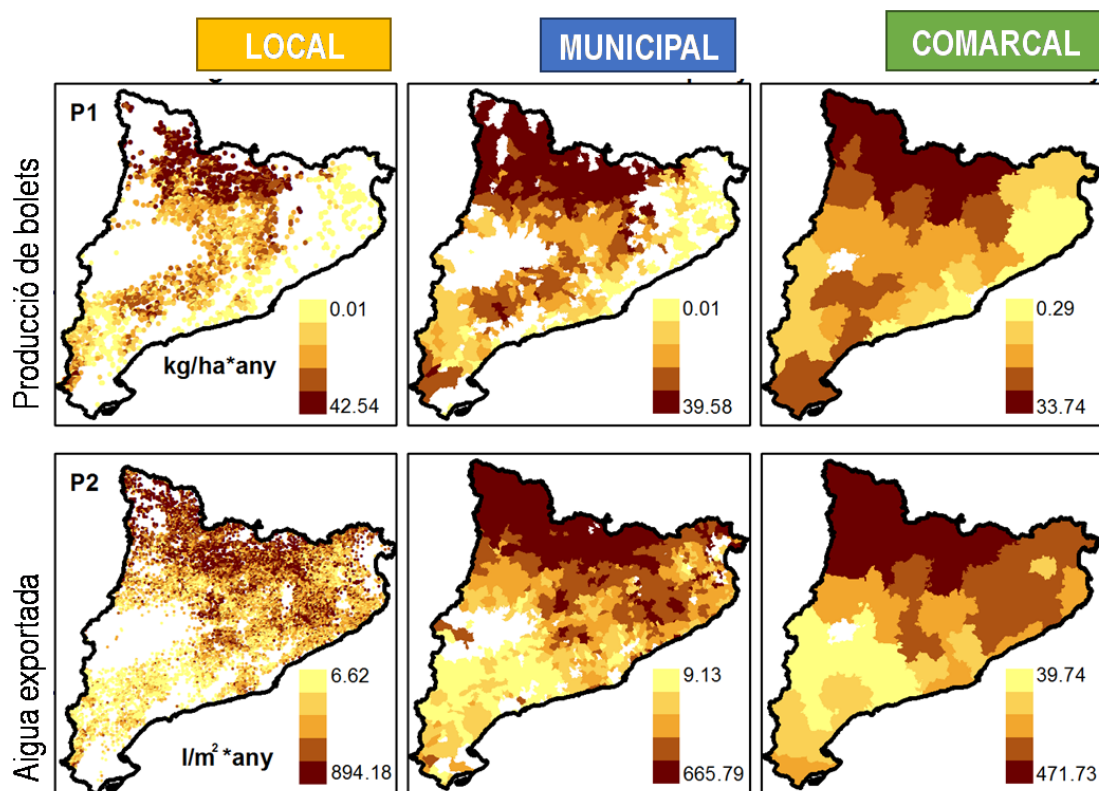


Figura 9: Patrons espacials dels SE de **provisió**: provisió de bolets (P1) i aigua exportada (P2) per a les escales de treball emprades al treball: local, municipal i comarcal. Els valors s'han classificat en 5 categories que responen als quintils* del rang de valors.

(*) Quintils: Terme estadístic que es refereix a cadascun dels valors que divideixen la freqüència d'una distribució en cinc parts iguals, de manera que cadascuna conté el 20% de les dades.

Per als serveis de **REGULACIÓ** (Figura 10), els resultats també mostren que, en general, els patrons de distribució es mantenen força en les 3 escales per a tots els SE. Els valors més alts són a la meitat nord de Catalunya, excepte per als boscos de ribera (R3). Per aquest indicador, especialment a escala local i municipal, s'observa que els valors alts són força repartits pel territori, lògicament seguint els cursos dels rius. Pel que fa a l'indicador del carboni orgànic al sòl (R2), i al control de l'erosió (R4) a escala comarcal es tornen a apreciar valors alts al Montsià, deguts també a l'efecte de tenir poques parcel·les forestals, però amb valors molt alts. Per aquest darrer indicador (R4), s'observa un canvi en el patró a l'escala comarcal: a les zones d'Osona i del Vallès Oriental han quedat difuminades les regions que tenen valors alts a escala local i municipal. Finalment, per l'indicador embornal de carboni (R1) s'aprecia que les tres escales presenten un patró similar: s'observen valors alts al nord-est de Catalunya, on hi ha més boscos i són més productius per tant tenen taxes d'assimilació de carboni més altes; i valors més baixos a la part sud-oest del país, on trobem sobretot boscos mediterranis que tenen menys capacitat per segrestar carboni, amb l'excepció de les muntanyes de Prades, que també tenen valors elevats.

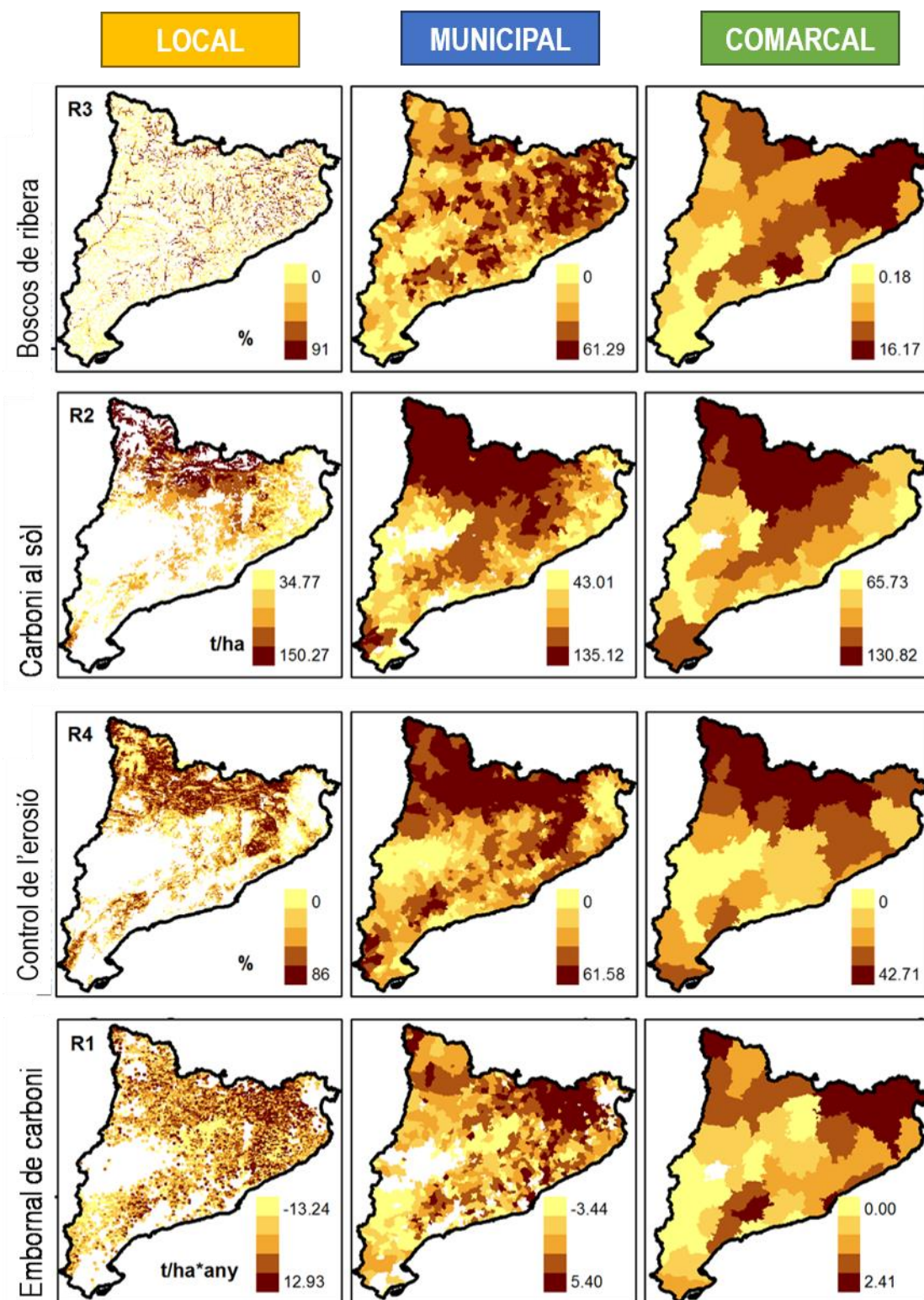


Figura 10: Patrons espacials dels SE de regulació: embornal de carboni (R1), carboni orgànic al sòl (R2), boscos de ribera (R3) i control de l'erosió (R4) per a les escales de treball emprades al treball: local, municipal i comarcal. Els valors s'han classificat en 5 categories que responen als quintils del rang de valors.

Per als serveis **CULTURALS** (Figura 11), els valors elevats de l'indicador estan àmpliament distribuïts pel territori. A escales més grans (comarcal) l'agregació permet apreciar zones de provisió elevada que no s'aprecien a escala local. El patró marca valors alts a la zona del corredor del Llobregat i a la Val d'Aran, per exemple, que mirant les dades puntuals no s'aprecien.

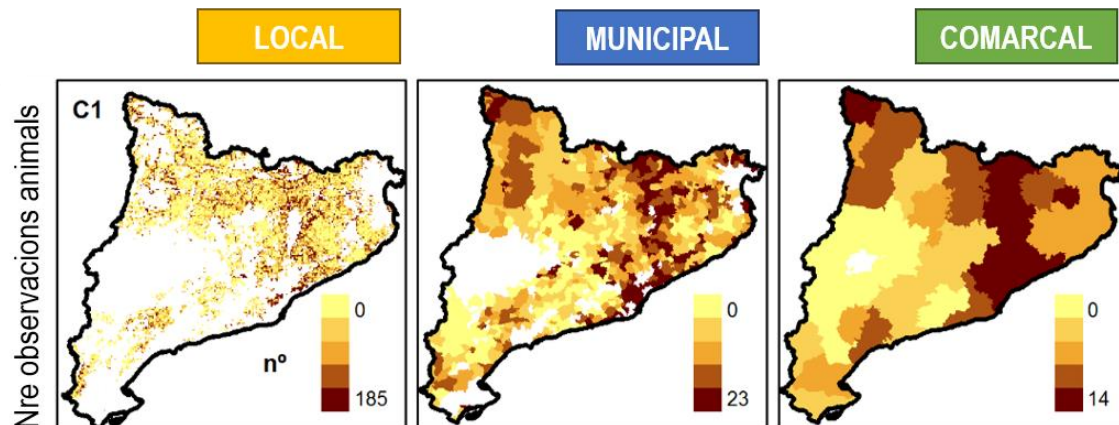
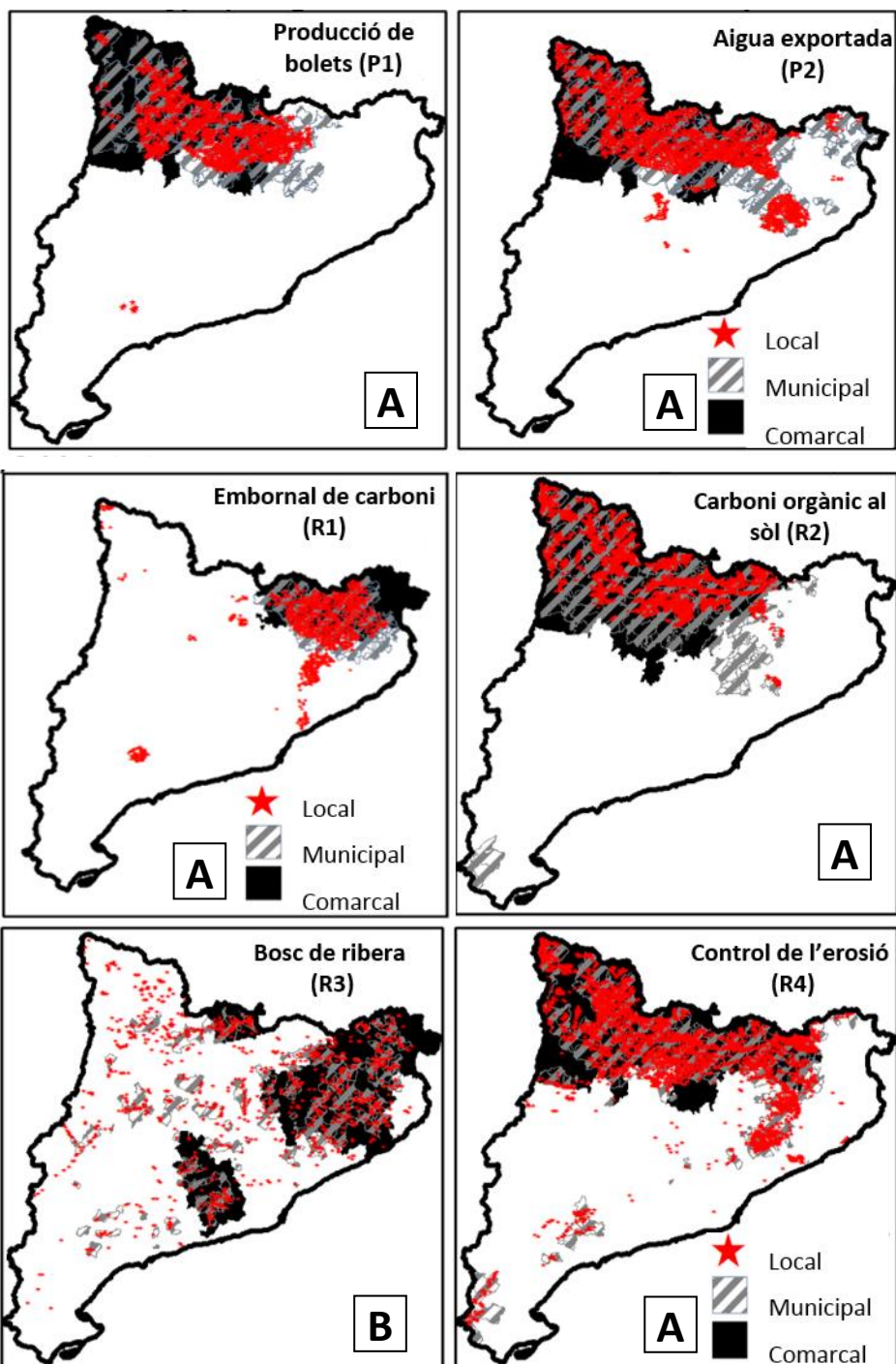


Figura 11: Patrons espacials dels SE **culturals**: nombre d'observacions d'animals (C1) per a les escales de treball emprades al treball: local, municipal i comarcal. Els valors s'han classificat en 5 categories que responen als quintils del rang de valors.

Hotspots

Els hotspots són zones de màxima concentració del servei ecosistèmic o de la biodiversitat. Hem analitzat quin efecte pot tenir el canvi d'escala en la detecció d'aquests hotspots.

A la Figura 12 s'hi reflecteix quin és el patró espacial de les àrees de hotspots per a cadascun dels indicadors dels SE. Les estrelles de color vermell corresponen als hotspots a escala local; les zones de color gris ratllades corresponen als hotspots a escala municipal, i les zones de color negre corresponen als hotspots a escala comarcal. El patró és sensiblement diferent per als diferents SE, tot i que a grans trets es podrien diferenciar 2 grans patrons de hotspots: el patró A i el patró B. En el primer cas (A), els hotspots estan concentrats a la meitat nord del país, especialment al nord-oest i hi ha molta coincidència entre les escales local, municipal i comarcal. Seria el cas de la producció de bolets (P1), aigua exportada (P2), embornal de carboni (R1), carboni orgànic al sòl (R2) i el control de l'erosió (R4). En el segon cas (patró B) els hotspots estan més repartits per tot el territori a escala local (en vermell) i l'agregació a escales espacials més grans (municipi, comarca) implica una pèrdua important d'informació. Seria el cas dels indicadors de l'observació d'animals (C1) i els boscos de ribera (R3).



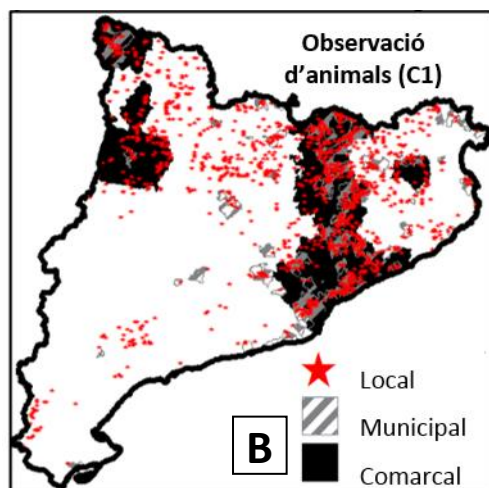


Figura 12: Patrons espacials dels hotspots per a tots els SE. Les estrelles vermelles representen els hotspots calculats a partir dels valors a escala local, en gris a partir dels valors a escala municipal i en negre a partir dels valors a escala comarcal.

A la taula següent (Taula 4) es presenta el percentatge de hotspots detectats a escala local inclosos a les escales municipal i comarcal. S'aprecia que el percentatge d'acord entre les tres escales és molt similar per a la majoria dels indicadors. La producció de bolets, la provisió d'aigua i el carboni orgànic al sòl tenen més d'un 90% dels hotspots locals representats a escala municipal i més d'un 70% a escala comarcal. En canvi, per a l'observació de fauna només un 38% queden recollits a escala municipal i un 52% a escala comarcal. De forma global, 5 dels 7 indicadors presenten un elevat % d'acord entre les 3 escales estudiades.

Taula 4: Percentatge dels hotspots a escala local que queda representat a les escales municipal i comarcal per cadascun dels indicadors.

		Indicadors de Serveis Ecosistèmics						
	Direcció del canvi	p1	p2	c1	r1	r2	r3	r4
% de hotspots locals inclosos a les escales més grans	De local a municipal	98.1	92.9	38.8	74.2	98.9	53.7	88.0
	De local a comarcal	72.8	75.3	52.2	61.3	97.2	48.2	71.5

p1	Producció de bolets	c1	Observació de fauna	r2	Carboni orgànic del sòl
p2	Provisió d'aigua	r1	Embornal de carboni	r3	Bosc de ribera
				r4	Control de l'erosió

Efecte de l'escala de treball en les relacions entre els SE

La provisió en un lloc determinat d'un SE pot anar en detriment de la provisió d'un altre (trade-off). O bé pot donar-se el cas contrari: que la provisió d'un afavoreixi també la provisió de l'altre (sinèrgia). Aquestes relacions s'estudien amb les *matrius de correlacions* entre els indicadors. A més a més, també valoren les correlacions que hi ha entre els SE i les variables explicatives (coberta de bosc natural, riquesa d'espècies d'aus i riquesa de llenyoses), per veure si aquestes relacions canvien segons l'escala de treball.

Segons els resultats obtinguts al ForEsCale les correlacions entre els indicadors dels SE són diferents segons si s'estudien a escala local, municipal o comarcal. A la següent infografia (Figura 13) es resumeixen de forma esquemàtica quines són aquestes correlacions. Els colors verds corresponen a correlacions significatives i positives. Els vermells, a correlacions significatives, però negatives, i els de color blanc a correlacions que no són significatives. La part de l'esquerra, en groc, correspon a les correlacions entre indicadors a escala local. La part central, en blau, representa les correlacions a escala municipal. I finalment a la part dreta, en rosa, es representen les correlacions a escala comarcal. Els valors de les r^2 de les matrius de correlació completes es poden trobar als annexes.

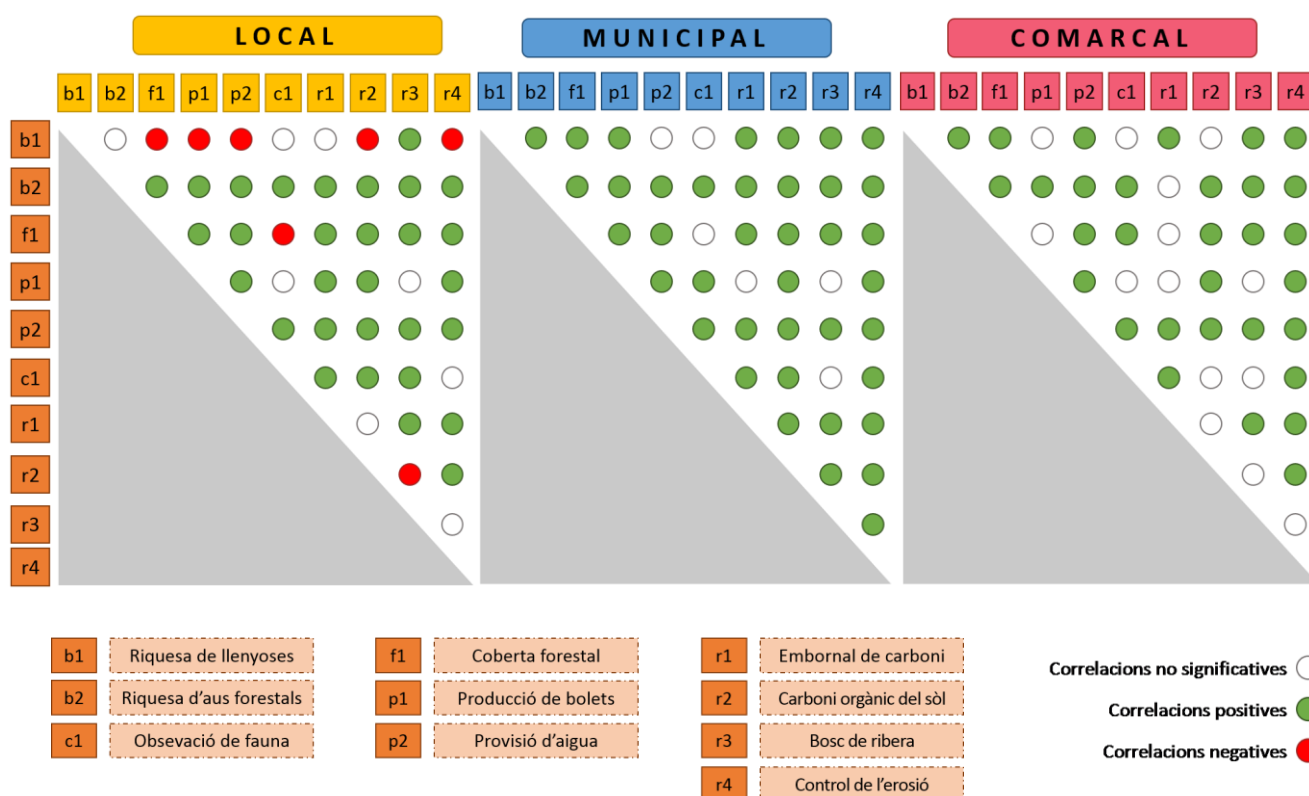


Figura 13: Esquema de les matrius de correlació entre SE i les variables de biodiversitat per a cadascuna de les escales estudiades.

Tot i que la major part de correlacions són coherents entre escales, apareixen algunes diferències importants. En particular, algunes correlacions negatives entre SE o entre SE i biodiversitat (riquesa d'espècies llenyoses) que apareixen a escala local desapareixen si fem servir les escales municipal i comarcal. Aquest resultat és especialment rellevant, perquè pot ser que, quan s'analitzen patrons a nivell municipal (o superior) es passin per alt trade-offs entre SE que sí que apareixen en les anàlisi més fines.

Per altra banda, algunes de les correlacions positives que apareixen a l'escala municipal deixen de ser significatives a l'escala comarcal; probablement per la pèrdua d'informació associada al canvi d'escala i perquè la mida de la mostra és molt menor en aquest segon cas. A l'escala local es treballa amb milers (o desenes de milers) de punts, mentre que pels municipis i comarques la mida de la mostra és de 947 i 41, respectivament.

CONCLUSIONS

Pel que fa a la influència de l'escala als patrons dels SE i les àrees de hotspots.

- Els indicadors dels SE a escala local (cel·les d'1x1 km) mostren un patró heterogeni en l'espai, que es veu transformat a les escales municipal i comarcal cap a un patró cada cop més homogeni com més gran és l'escala, perdent-se els detalls més fins de la diversitat en l'espai.
- Els tres nivells d'anàlisi utilitzats han generat diferents patrons espacials per a cadascun dels indicadors de SE. S'observa més similitud entre l'escala local i municipal que entre la local i la comarcal, així com també entre la municipal i la comarcal. Aquest resultat és molt lògic tenint en compte que els indicadors biofísics que s'han fet servir són molt dependents de l'escala de treball. En conjunt, l'escala municipal és adequada perquè descriu força bé el patró observat a l'escala local.
- S'observen diferències importants en el patró espacial en alguns municipis i comarques (com el Montsià o el Baix Ebre) a les escales més grans (comarcal i municipal) degut a què són municipis (i comarques) amb poca superfície forestal. El fet que els pocs boscos que hi ha estiguin concentrats en un espai reduït de la comarca i tinguin valors elevats d'alguns indicadors fa que s'obtingui un valor mitjà elevat, quan en realitat són comarques i municipis molt poc forestals. Aquesta discrepància s'ha observat sobretot per als indicadors de provisió (producció de bolets) i de regulació (carboni orgànic al sòl i control de l'erosió).

- En la major part dels casos, els hotspots a escala municipal i comarcal recullen bona part del patró detectat a escala local, excepte per aquells SE que tenen patrons disseminats com ara els boscos de ribera (R3) i les observacions d'aus (C1). L'escala municipal inclou un major percentatge dels hotspots detectats a escala local que l'escala comarcal.

Pel que fa a la influència de l'escala a la relació entre SE –sinèrgies i compromisos- i variables de biodiversitat i coberta forestal

- Els resultats obtinguts assenyalen que l'escala de treball té influència sobre les relacions espacials entre els indicadors dels SE.
- A escala local alguns indicadors o variables tenen relacions negatives (i significatives). No obstant, a escala municipal i comarcal aquestes relacions passen a ser positives (i també significatives). Aquest resultat posa de manifest que l'escala de treball pot ser determinant a l'hora d'obtenir uns resultats o uns altres, i que treballar a escales geogràfiques grans pot fer que passin desapercebudes relacions importants entre SE a escala local.
- Malgrat que la literatura sobre les relacions entre SE generalment descriu relacions positives entre els serveis de regulació i la biodiversitat, els nostres resultats presenten relacions negatives a l'escala local entre un dels indicadors de biodiversitat (riques d'espècies llenyoses) i alguns indicadors de regulació (carboni orgànic al sòl i boscos de ribera). És possible que aquest trade-off depengui dels indicadors concrets que s'han fet servir o de l'escala, ja que no hi ha aquestes relacions negatives en l'escala municipal i comarcal.

Els resultats del ForEScale responen a la tria de SE dels boscos i dels indicadors concrets que s'hi han estudiat. De manera que no exclouen que per altres SE que no han estat avaluats a l'estudi i/o per SE d'altres ambients (com per exemple els SE dels cursos fluvials, o SE agrícoles, etc.) les relacions segons l'escala poden ser molt diferents. Així doncs l'escala més adient pot ser una o una altra segons quin SE s'avalui i quins siguin els objectius concrets que es persegueixin.

BIBLIOGRAFIA - FONTS

- Andrew, M.E., Wulder, M.A., Nelson, T.A., Coops, N.C., 2015. Spatial data, analysis approaches, and information needs for spatial ecosystem service assessments: a review. *GIScience Remote Sens.* 52, 344–373. doi:10.1080/15481603.2015.1033809
- Baró, F., Palomo, I., Zulian, G., Vizcaino, P., Haase, D., Gómez-Baggethun, E., 2016. Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: A case study in the Barcelona metropolitan region. *Land use policy* 57, 405–417. doi:10.1016/j.landusepol.2016.06.006
- Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science (New York, N.Y.)*, 320(5882), 1444–1449. <http://doi.org/10.1126/science.1155121>
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., Müller, F., 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecol. Indic.* 21, 12–29. doi:10.1016/j.ecolind.2011.06.019
- Chan, K.M. a, Hoshizaki, L., Klinkenberg, B., 2011. Ecosystem services in conservation planning: Targeted benefits vs. co-benefits or costs? *PLoS One* 6. doi:10.1371/journal.pone.0024378
- Daily, G.C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P.M., Mooney, H. a, Pejchar, L., Ricketts, T.H., Salzman, J., Shallenberger, R., 2009. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Front. Ecol. Environ.* 7, 21–28. doi:10.1890/080025
- Daily, G. (ed.) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (Island. Washington DC, 1997)
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., et al., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41 (3), 393–408.
- Elkin, C., Gutiérrez, A., Leuzinger, S., Manusch, C., Temperli, C., Rasche, L., Bugmann, H., 2013. A 2°C warmer world is not safe for ecosystem services in the European Alps. *Global Change Biology* (2013) 19, 1827–1840, doi: 10.1111/gcb.12156
- Egoh, B., Reyers, B., Rouget, M., Richardson, D., Lemaitre, D., Vanjaarsveld, a, 2008. Mapping ecosystem services for planning and management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 127, 135–140. doi:10.1016/j.agee.2008.03.013
- EME, Evaluación de ecosistemas del Milenio de España. 2010. Ecosistemas y biodiversidad para el bienestar humano. Fundación biodiversidad
- Geijzendorffer, I.R., Martín-López, B., Roche, P.K., 2015. Improving the identification of mismatches in ecosystem services assessments. *Ecol. Indic.* 52, 320–331. doi:10.1016/j.ecolind.2014.12.016
- Hansen, M. C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., Townshend, J. R. G., 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* 342, 850. Doi:10.1126/science.1244693
- Martín-López, B., Gómez-Baggethun, E., Lomas, P.L., Montes, C., 2009. Effects of spatial and temporal scales on cultural services valuation. *J. Environ. Manage.* 90, 150–159. doi:10.1016/j.jenvman.2008.03.013
- Silvertown, J. 2015. Have ecosystem services been oversold?. *Trends in Ecology & Evolution* 30 (11), 641–648.

Tallis, H., Polasky, S., 2009. Mapping and valuing ecosystem services as an approach for conservation and natural-resource management. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1162, 265–83. doi:10.1111/j.1749-6632.2009.04152.x

ANNEXES

Annex 1: Valors de les correlacions entre els indicadors biofísics dels SE i les variables ambientals. (*: p-value < 0.05). El color vermell correspon a relacions negatives significatives; i el verd a relacions positives significatives.

Local		B2	F1	P1	P2	C1	R1	R2	R3	R4
Riquesa d'arbres	B1	0.02	-0.06*	-0.41*	-0.47*	-0.02	-0.01	-0.44*	0.07*	-0.32*
Riquesa d'aus	B2	1	0.79*	0.20*	0.08*	0.28*	0.18*	0.05*	0.13*	0.12*
Coberta forestal	F1		1	0.42*	0.12*	-0.18*	0.24*	0.06*	0.18*	0.47*
Producció de bolets	P1			1	0.53*	0.03	0.13*	0.82*	-0.01	0.53*
Provisió d'aigua	P2				1	0.07*	0.11*	0.48*	0.05*	0.34*
Observació fauna	C1					1	0.06*	0.06*	0.09*	0.02
Embornal carboni	R1						1	0.04	0.13*	0.12*
Carboni orgànic al sòl	R2							1	-0.14*	0.49*
Bosc de ribera	R3								1	0.03
Control de l'erosió	R4									1
Municipal		B2	F1	P1	P2	C1	R1	R2	R3	R4
Riquesa d'arbres	B1	0.50*	0.69*	0.23*	0.10	-0.06	0.14*	0.28*	0.17*	0.55*
Riquesa d'aus	B2	1	0.73*	0.54*	0.65*	0.24*	0.29*	0.69*	0.47*	0.70*
Coberta forestal	F1		1	0.37*	0.34*	0.06	0.33*	0.47*	0.37*	0.79*
Producció de bolets	P1			1	0.43*	0.13*	0.00	0.81*	0.04	0.61*
Provisió d'aigua	P2				1	0.30*	0.14*	0.48*	0.27*	0.39*
Observació fauna	C1					1	0.23*	0.13*	0.00	0.19*
Embornal carboni	R1						1	0.23*	0.24*	0.24*
Carboni orgànic al sòl	R2							1	0.23*	0.56*
Bosc de ribera	R3								1	0.20*
Control de l'erosió	R4									1
Comarcal		B2	F1	P1	P2	C1	R1	R2	R3	R4
Riquesa d'arbres	B1	0.71*	0.83*	0.16	0.58*	0.38	0.56*	0.35	0.69*	0.56*
Riquesa d'aus	B2	1	0.81*	0.57*	0.83*	0.47*	0.44	0.70*	0.61*	0.80*
Coberta forestal	F1		1	0.25	0.69*	0.54*	0.45	0.47*	0.72*	0.69*
Producció de bolets	P1			1	0.53*	0.09	0.15	0.88*	0.18	0.65*
Provisió d'aigua	P2				1	0.51*	0.49*	0.64*	0.50*	0.75*
Observació fauna	C1					1	0.58*	0.31	0.19	0.54*
Embornal carboni	R1						1	0.38	0.46*	0.51*
Carboni orgànic al sòl	R2							1	0.36	0.75*
Bosc de ribera	R3								1	0.42
Control de l'erosió	R4									1