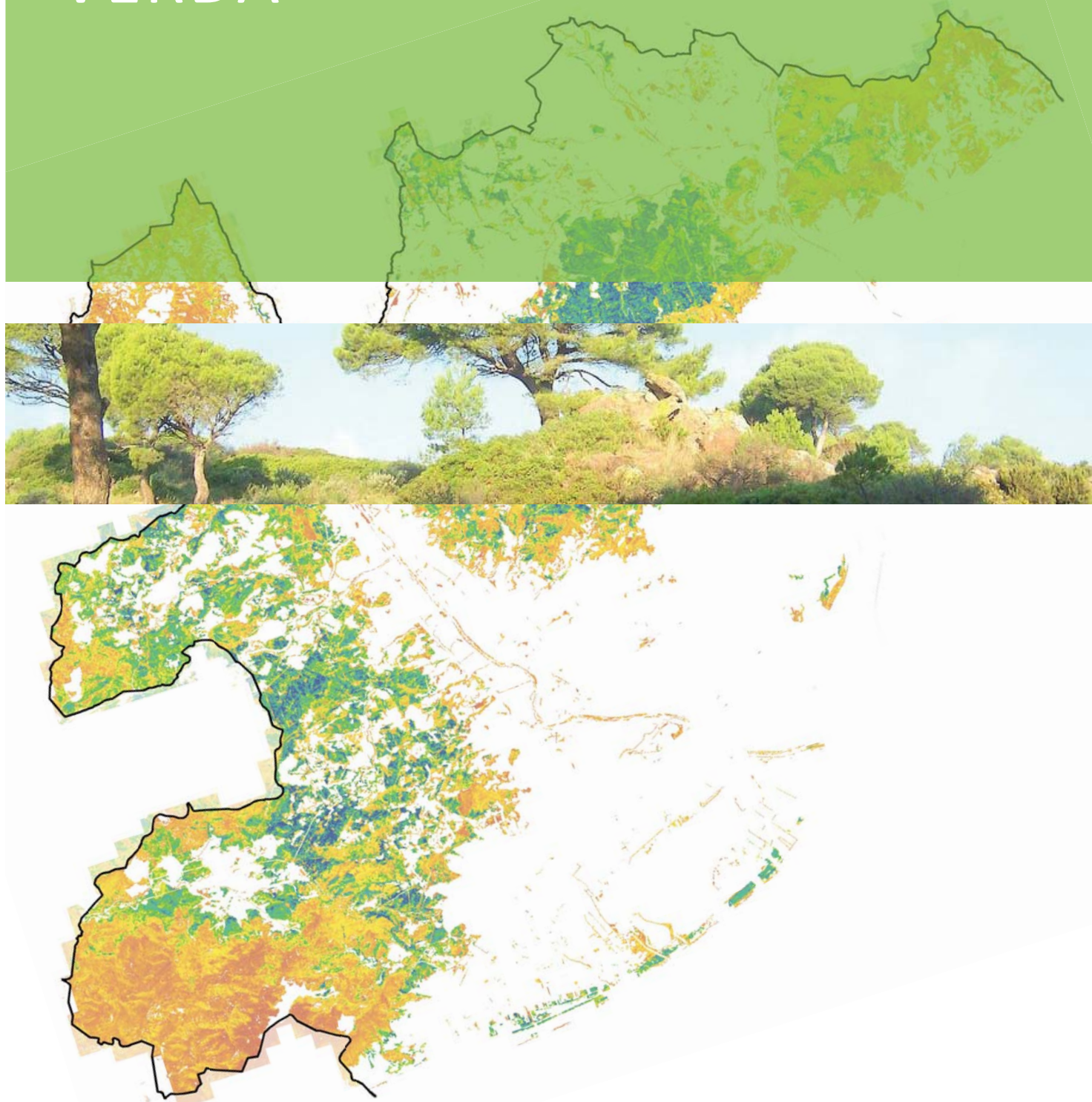


PSAMB 2014-2020

SERVEIS AMBIENTALS DE LA INFRAESTRUCTURA VERDA



BR

BARCELONA REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ



AMB

Àrea Metropolitana
de Barcelona

Treball elaborat:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB

 **AMB** Medi Ambient

Direcció:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB - Barcelona Regional

 **AMB** Medi Ambient



Redacció:

Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals



Serveis ecosistèmics de la infraestructura verda de l'Àrea Metropolitana de Barcelona: primera diagnosi

Corina Basnou

Jordi Vayreda

Joan Pino

Desembre de 2014



BARCELONA
REGIONAL
AGÈNCIA
DESENVOLUPAMENT
URBÀ



AMB Àrea Metropolitana
de Barcelona



ÍNDIX

1. Marc general i objectius	4
1.1. Els serveis ecosistèmics	4
1.2. La infraestructura verda i la provisió de serveis ecosistèmics	8
1.3. Infraestructura verda i serveis ecosistèmics en àrees metropolitanes -----	10
 2. Mètodes	13
2.1. Àrea d'estudi	13
2.2. Els serveis ecosistèmics	14
2.3. El.laboració de la cartografia	16
2.3.1. Caracterització de la Infraestructura verda	16
A. Serveis de suport	18
A.1. Biodiversitat	18
A.2. Connectivitat ecològica	18
B. Serveis de regulació	20
B.1. Emmagatzematge de Carboni	20
B.2. Regulació hídrica	26
B.2.1. L'escolament superficial (<i>runoff</i>)	27
B.2.2. L'evapotranspiració real	30
B.3. Regulació de la qualitat de l'aire	31
B.3.1. La densitat de la superfície foliar	34
C. Serveis recreatius (Recreació i benestar)	38
C.1. L'accessibilitat a la infraestructura verda	40

3. Resultats

3.1.	Caracterització de la Infraestructura Verda	44
3.2.	Biodiversitat	45
3.3.	Connectivitat ecològica	46
3.4.	Emmagatzematge de Carboni	46
3.5.	L'escolament superficial (<i>runoff</i>)	48
3.6.	L'estimació de l'evapotranspiració real	49
3.7.	La densitat de la superfície foliar	50
3.8.	L'accessibilitat veïnal/proximitat (1 km)	50
3.9.	L'accessibilitat a mitja distància (5 km)	51
3.10.	L'accessibilitat per la xarxa viària	52

4. Discussió	53
---------------------------	-----------

Conclusions generals	58
-----------------------------------	-----------

Referències	60
--------------------------	-----------

ANNEX (Taules i Mapes)	67
-------------------------------------	-----------

Biodiversity and ecosystem services: these two approaches can be categorised as an 'ecosystem services perspective' (biodiversity and ecosystem services are the same thing) and a 'conservation perspective' (biodiversity is an ecosystem service).

(Mace et al. 2012, TREE)

Serveis ecosistèmics associats a la infraestructura verda de l'Àrea Metropolitana de Barcelona: primera diagnosi

1. Marc general i objectius

1.1. Els serveis ecosistèmics

Els **serveis ecosistèmics** representen els beneficis que la població humana extreu, directament o indirectament, de les funcions dels ecosistemes, d'acord amb la definició de Constanza et al. (1997). L'estudi dels serveis ecosistèmics ha estat cada vegada més promogut com un mitjà per a documentar, quantificar i, en alguns casos, cartografiar els beneficis que els humans obtenen dels ecosistemes. El concepte va aparèixer a finals de la dècada de 1960 i començaments de la dècada de 1970, però el seu desenvolupament i aplicació no es produeixen fins a finals de la dècada de 1990.

El *Millenium Ecosystem Assessment* desenvolupat per les Nacions Unides (MA 2005) fa un pas endavant i classifica els serveis ecosistèmics en 4 grups (suport, provisió, regulació, culturals), i a més els inclou dins dels procediments de planificació i de presa de decisions, tot donant valor als processos ecosistèmics clau per a l'espècie humana (Vilà et al. 2009). Aquests serveis inclouen, entre d'altres, el segrest de carboni, la regulació del flux d'aigua, la purificació de l'aire, la pol·linització, la provisió de la biodiversitat i la recreació. Aquest document va identificar també cinc motors principals (*drivers*) del canvi que afectaran en gran mesura els serveis dels ecosistemes i, al seu torn, el benestar humà: la transformació de l'hàbitat, la sobreexplotació, les espècies exòtiques invasores, la contaminació i el canvi climàtic (MA 2005). A nivell global, mostra que més del 60% dels 24 serveis ecosistèmics del planeta estan, a data de l'estudi, deteriorats o sobreexplotats (MA 2005).

Per altra banda, La Classificació Internacional dels Serveis Ecosistèmics (*The Common International Classification of Ecosystem Services*, CICES; Haines-Young & Potschin 2013) els vincula amb el Marc del Sistema de les Nacions Unides de Comptes Econòmics Ambientals (*Framework of the UN System of Environmental Economic Accounts* SEEA).

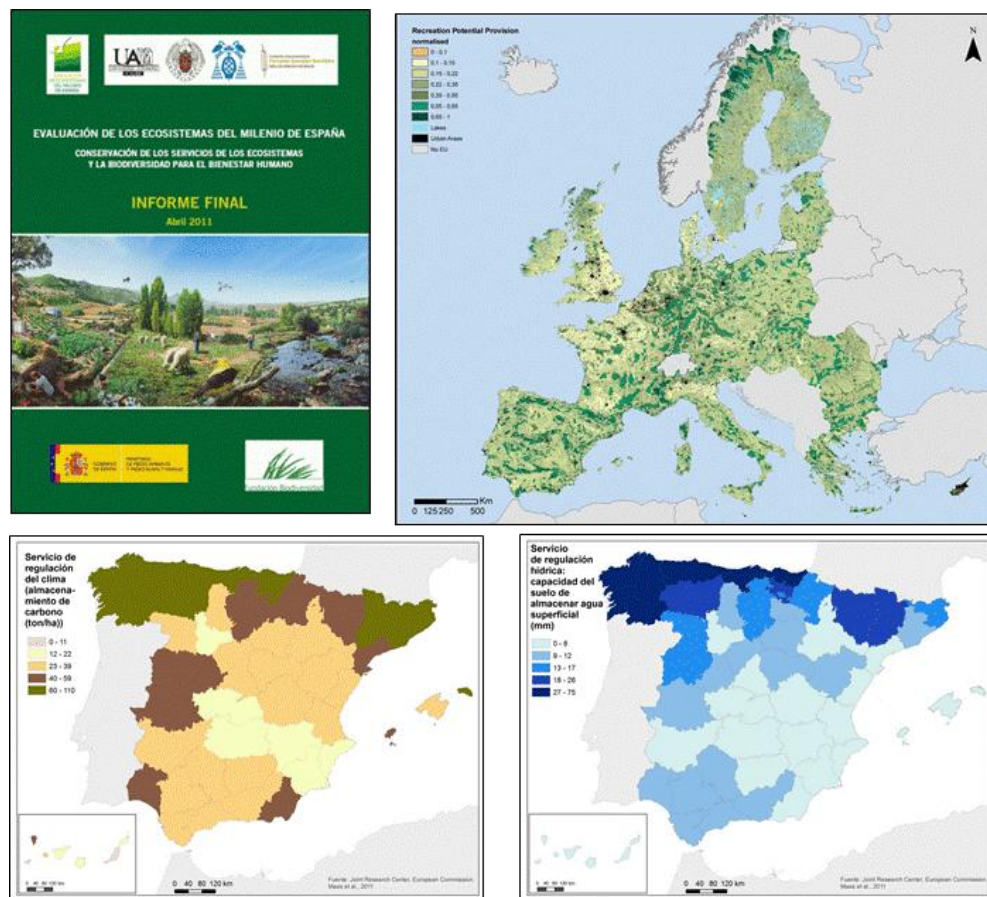


Fig. 1. L'Avaluació Espanyola dels Serveis Ecosistèmics (portada) i alguns mapes dels serveis ecosistèmics al nivell estatal i regional (escala: 1: 250 000; font: Maes et al. 2011)

Seguint les recomanacions del *Millenium Ecosystem Assessment*, diversos països han desenvolupat avaluacions nacionals dels serveis ecosistèmics: el Regne Unit, Portugal o Espanya (<http://www.ecomilenio.es>). L'Avaluació Espanyola dels Serveis Ecosistèmics (2009-2011) (Fig. 1) ha estat inclosa dins del Pla Estratègic per la Biodiversitat i Patrimoni Natural (2011-2017). Aquest estudi mostra que el 45% dels

serveis ecosistèmics estan degradats a Espanya, a causa bàsicament de l'abandonament rural i de la urbanització. Els ambients aquàtics són els que tenen els serveis ecosistèmics mes degradats i són més sensibles al canvi global, segons el mateix estudi. Prenent com a referència aquesta avaluació feta a escala nacional fent servir el mapa CORINE com a base, se n'han fet d'altres a escala local a Biscaia (EEMBisakaia; www.ehu.es), en algunes zones del litoral català, a les conques hidrogràfiques del sud-est andalús, a Doñana i a la Cañada Real de Conca, entre d'altres. Aquests estudis locals, que permeten una major concreció territorial de l'anàlisi dels serveis ecosistèmics i la subsegüent identificació d'indicadors, tenen cada cop més influència en les anàlisis i les polítiques ambientals a escala local.

Alhora, això ha portat a una línia de recerca sobre com valorar econòmicament els serveis ecosistèmics, incorporant per exemple valoracions hedòniques d'aquests (Morancho et al. 2003, Kong et al. 2007, Poudyal et al. 2009, TEEB 2010).

No obstant, s'ha de tenir en compte que els diferents serveis ecosistèmics de la infraestructura verda depenen de conjunts molt complexos de processos que interactuen entre sí i, com a resultat, són difícils d'identificar i quantificar. Abans d'arribar a la valoració econòmica dels serveis ecosistèmics, s'ha de tenir per tant una visió completa de la infraestructura verda i de les seves característiques i funcions. Gran part de la investigació actual s'ha centrat en la valoració dels serveis ecosistèmics, però poc en la definició quantitativa dels indicadors associats. La manca d'indicadors, o de concreció entre les diverses definicions d'aquests, la manca d'estudis sobre la importància dels serveis ecosistèmics entre escales territorials, les poques dades sobre les seves interaccions (com, per exemple, entre la biodiversitat i els processos ecològics i la seva valoració econòmica), les dificultats conceptuals de base en alguns casos (per exemple, per l'avaluació dels valors culturals d'un ecosistema), o la disparitat de metodologies tant en la quantificació com en la valoració econòmica dels serveis ecosistèmics obren un excel·lent camp d'estudi que entronca amb diversos àmbits de l'ecologia urbana, la planificació territorial i la conservació de la biodiversitat.

No obstant, l'anàlisi dels serveis ecosistèmics és una òptica des de la visió humana dels valors ecosistèmics (*a missing link between ecosystems and human well-*

being, Bastian et al. 2012) i no pot ser presa com a únic element d'anàlisi per avaluar els valors de la matriu territorial. Les estratègies de planificació i gestió no han de minimitzar la importància de les funcions de l'ecosistema, incloent les que les persones no utilitzen directament.

1.2. La infraestructura verda i la provisió de serveis ecosistèmics

El maig de 2013, la Comissió Europea va publicar l'informe *Infraestructura Verda –Millora del Capital Natural d'Europa*, aprovada pel Parlament Europeu el mateix any. Defineix la infraestructura verda com una “xarxa estratègicament planificada d'espais naturals i seminaturals d'altres característiques ambientals, dissenyada i gestionada per oferir una àmplia gamma de serveis ecosistèmics”. L'èmfasi del concepte d'**infraestructura verda** rau en maximitzar els serveis ecosistèmics basats en la integració de solucions naturals en l'ordenació i el desenvolupament territorial. El concepte d'infraestructura verda emfatitza tant la qualitat com la quantitat dels espais verds urbans i periurbans, el seu rol multifuncional, i la importància de les interconnexions entre els hàbitats (Sandström 2002, Tzoulas et al. 2007). Si una infraestructura verda està ben planificada, desenvolupada i mantinguda té el potencial de guiar el desenvolupament urbà tot proveint un marc pel creixement econòmic i la conservació de la natura. El desplegament del concepte d'infraestructura verda en l'àmbit de la planificació i la gestió territorials pot oferir moltes oportunitats per la integració entre el desenvolupament urbà, la conservació de la natura i la millora de la salut pública (Gobster 1995).

Els elements i components d'una infraestructura verda completa poden contribuir a les funcions i als serveis ecosistèmics de diverses maneres. La base per al manteniment de les funcions ecosistèmiques són, òbviament, les grans peces d'hàbitats naturals i seminaturals del territori (Flores et al. 1998, Li et al. 2005). Ara bé, els hàbitats urbans i periurbans incrementen, de vegades significativament, el total d'infraestructura verda en àrees especialment necessitades d'aquesta, i poden

cointribuir notablement a la conservació de la diversitat biològica en contextos urbans. Són, d'altra banda, clau per la provisió de serveis ecosistèmics de proximitat, atès que es concentren en les àrees de màxima demanda d'aquests. El primer estudi sobre el paper del verd urbà en la prestació de serveis dels ecosistemes a la ciutat de Barcelona es va produir el 2009, amb el treball de Chaparro i Terradas (2009), considerat de referència en aquest àmbit.

Recentment, l'Ajuntament de Barcelona ha desenvolupat el Pla del Verd i de la Biodiversitat 2020 (2013), un instrument estratègic de planificació que té com objectius contribuir al desenvolupament de la infraestructura verda a la dècada actual i fer de Barcelona un referent del verd. Entre els punts clau del Pla del Verd destaquen: ampliació del verd i la biodiversitat en els espais i edificis municipals existents, augmentar la connectivitat dels espais verds o incorporar criteris d'ampliació i millora del verd i la biodiversitat en els projectes urbans.

La biodiversitat que acull aquesta infraestructura verda combina amb el concepte de serveis ecosistèmics a tots els nivells: sosté els processos clau de l'ecosistema, afecta directament el funcionament d'alguns serveis ecosistèmics i pot ser per si mateixa el bé a avaluar (Mace et al. 2102). Una extensa revisió identifica més de 24 atributs de la biodiversitat com a factor de provisió i suport per una desena de serveis ecosistèmics (Harrison et al. 2014).

Pel que fa a la cartografia de la infraestructura verda, cal esmentar de nou la manca d'estudis de referència, tret dels obtinguts a escala nacional a partir de la cartografia CORINE que probablement no és la més adequada per a aquests propòsits. Amb tot, cal esmentar el Mapa Ecològic de la ciutat de Barcelona, desenvolupat pel CREAM (vegeu més endavant). Inicialment pensat per a l'anàlisi del metabolisme urbà de la ciutat, aquest mapa ha estat la base per als estudis de Chaparro & Terradas (2009) i de Baró et al. (2014) sobre els serveis ecosistèmics del verd urbà de la ciutat. A més, compta amb 3 versions (1977-78, 1992, 2004) obtingudes amb una metodologia similar, cosa que el fa especialment útil per a identificar i analitzar els canvis en la infraestructura verda. Malgrat això, no hi ha un mapa ecològic a escala metropolitana (de l'àmbit de l'AMB) i es desconeix la quantificació de la infraestructura verda i els seus serveis ecosistèmics a aquesta escala.

La infraestructura verda del paisatge adjacent a les zones urbanes

Els parcs i altres espais verds urbans actuen com una font per als ocells de les àrees residencials veïnes, i així la diversitat d'aquests organismes als jardins urbans es més alta a les zones construïdes més properes a les zones verdes naturals. Aquests hàbitats esdevenen també corredors importants per la fauna que permeten la seva penetració en àrees urbanes. La preservació d'aquests *greenways* naturals promou, doncs, un increment significatiu de la biodiversitat. La seva tipologia, la mida, la forma, i la connectivitat amb la infraestructura verda urbana i natural adjacents determinen la seva funcionalitat.

1.3. Infraestructura verda i serveis ecosistèmics en àrees metropolitanes

El model de ciutat segon les estratègies de la Comissió Europea

Els documents de la CE (2006, 2010) parlen d'una ciutat:

- Sostenible
- Resilient
- Verda i diversa
- Amb una infraestructura verda ben planificada i accessible
- *Liveable* i atractiva, on es fomenten els processos participatius dels ciutadans

Recentment, la UE ha promogut també 10 indicadors d'una ciutat sostenible, entre els quals esmenta: la qualitat de l'aire, el recorregut i l'accessibilitat dels nens a l'escola, la mobilitat urbana o el grau de satisfacció dels ciutadans amb les estructures locals (European Commission & Ambiente Italia 2003).

Les Nacions Unides (2001) van estimar que 70% de la població mundial viurà en una zona urbana al 2050. La **urbanització** s'associa generalment amb la degradació i la pèrdua de biodiversitat (conseqüències que es resumeixen a la Fig. 2). El desenvolupament urbà, que porta associats canvis d'usos del sòl i climàtics notables a escala local, pot generar un increment de la vulnerabilitat de la infraestructura verda, amb la conseqüent degradació o pèrdua dels serveis ecosistèmics associats (Cardinale et al. 2012). Les demandes procedents d'una població majoritàriament urbana poden causar l'explotació insostenible de serveis de provisió, amb conseqüències sobre els

serveis de regulació, així com dels serveis culturals relacionats amb el lleure. Alhora, incrementa la intensitat dels anomenats des-serveis (*disservices*), com el cas de les invasions biològiques. Un estudi recent sobre les pressions sobre la biodiversitat a l'Àrea Metropolitana de Barcelona indica que els territoris més degradats i fragmentats (els hàbitats urbans i peri-urbans) són els que tenen un risc d'invasió més elevat i hostatgen una biodiversitat menys interessant (Pino & Basnou 2014).

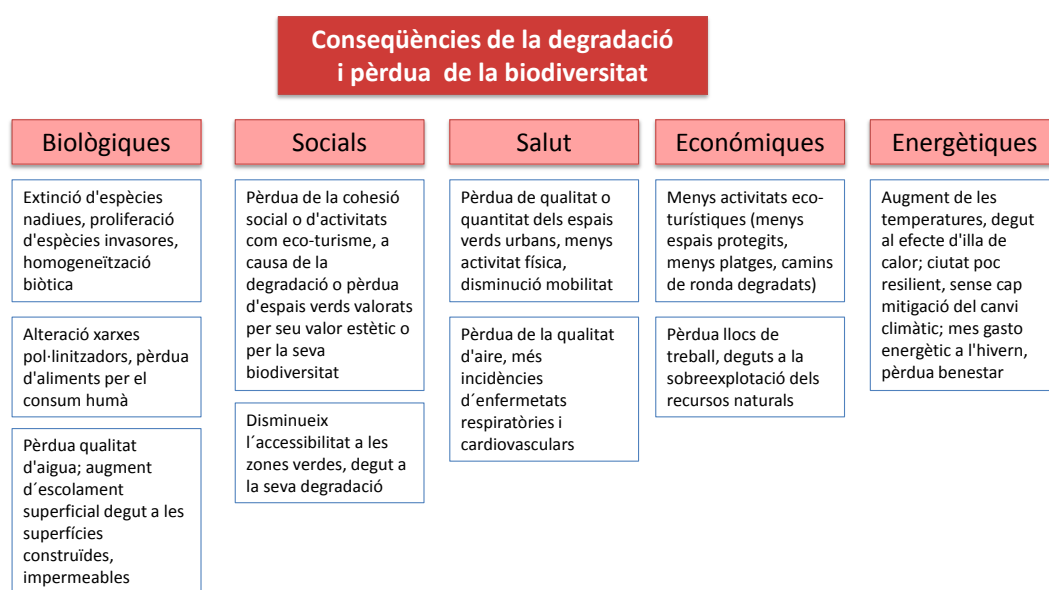


Fig. 2. Conseqüències de la degradació i pèrdua de la biodiversitat. Font: CREAL

La quantificació i cartografia dels **serveis ecosistèmics de la infraestructura verda en àrees urbanes** és crucial per millorar les estratègies de gestió i planificació del territori. No obstant això, pocs estudis han avaluat la dimensió urbana/metropolitana dels serveis ecosistèmics. Els mapes dels serveis ecosistèmics encara pateixen d'una falta de resolució espacial per a recollir detalladament els beneficis que la infraestructura verda aporta a les ciutats (Martínez-Harms et al. 2012). La majoria dels estudis proporcionen una cartografia a escales poc detallades (ex. a nivell europeu, l'informe de Maes et al. 2011 utilitza mapes CORINE, amb una escala 1: 250 000), difícil d'usar per millorar les estratègies de planificació a escala local (ciutats, àrees metropolitanes).

Cartografia de referència

La majoria dels estudis de cartografia dels serveis ecosistèmics de Europa es basen en mapes CORINE (escala 1: 250.000) i són aproximacions regionals o nacionals (Maes et al. 2011, Martínez-Harms et al. 2012). Aquesta resolució no es l'adequada pels estudis a escala local (i.e. per l'AMB o Província de Barcelona), ja que es perd informació important (ex. categories d'usos del sòl o hàbitats importants per la quantificació d'un servei ecosistèmic en detall). Un exemple de cartografia poc detallada, que no aporta suficient informació per la gestió i conservació a escala local, es el Mapa dels serveis ecosistèmics culturals de Espanya, realitzat per el Joint Research Center, amb una resolució espacial de 40 km (Maes et al. 2011).

Per tant, el repte és aconseguir que el marc de serveis dels ecosistemes es pugui replicar a altres escales (és a dir, des d'escales locals - dels municipis fins a una escala més regional - de la província de Barcelona), que sigui escalable i sostenible. L'AMB vol contribuir al debat conceptual i metodològic dels serveis ecosistèmics en ambients urbans i metropolitans, amb una proposta de serveis i indicadors associats.

En aquesta línia, els **objectius** de l'estudi són:

- Identificar i quantificar una sèrie de serveis ecosistèmics (en endavant SE) proporcionats per la infraestructura verda de l'AMB
- Analitzar com els SE estan relacionats amb l'estructura del paisatge de l'AMB
- Identificar els *hot spots* de provisió dels SE, així com les àrees sensibles, on es necessita una estratègia de conservació i d'ordenació del territori per preservar i millorar la provisió de SE.

A més, a través d'aquest estudi, es pretén omplir els buits de coneixement en aquesta àrea, com: la manca d'indicadors dels serveis ecosistèmics a escala local, i la manca de visió espacialment explícita que destaquí l'important paper de la infraestructura verda en la prestació dels serveis ecosistèmics en àrees urbanes.

A les àrees metropolitanes, aquesta infraestructura verda comprèn tant el verd natural com l'integrat en el sistema urbà, inclosos els elements construïts (edificis, carrers, etc.). Per tant, l'estudi contempla diversos tipus d'espais dins la infraestructura

verda de l'AMB (bosc, matollars, conreus, prats, parcs urbans, altres zones verdes urbanes).

Serveis ecosistèmics: els punts clau de la legislació europea

Recentment, la Comissió Europea ha establert un marc legislatiu per impulsar la quantificació d'aquests serveis, perfilant l'Estratègia de la UE al respecte per al 2020. L'acció 5 de l'Estratègia preveu que els estats membres hauran d'assignar i avaluar l'estat dels ecosistemes i els seus serveis al territori nacional per a l'any 2014. La cartografia i l'avaluació dels ecosistemes i els seus serveis són necessaris per tal d'identificar les prioritats per a la restauració, donar suport al desplegament d'infraestructura verda i permetre el desenvolupament de la iniciativa *No Net Loss* (accions 6a, 6b i 7b de l'Estratègia de la UE sobre biodiversitat 2020; EC 2011). Un benefici potencial d'aquesta cartografia és la seva utilitat en la identificació i elaboració de problemes: poden ajudar a identificar els conflictes i les sinèrgies dels serveis dels ecosistemes entre sí amb els usos de sòl, detectar els *hot i cold spots* d'aquests serveis al territori, i detectar les àrees en què aquests es troben amenaçats per pressions diverses.

2. Mètodes

2.1. Àrea d'estudi

L'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) és un territori notablement transformat, amb més de 3,2 milions d'habitants (cens 2011) i gairebé un 48% de la seva superfície construïda, tant sols un 10% de zones agrícoles i la resta integrat per cobertes naturals i seminaturals diverses. Per municipis, la densitat de la població varia entre 233 hab/km² (Cervelló) a 20.878 hab/km² a l'Hospitalet de Llobregat. Les zones amb més alta densitat de població es concentren a Barcelona ciutat i a les àrees urbanes de l'anomenada primera corona metropolitana (cens de la població del 2011, Institut d'Estadística de Catalunya). Els últims 50 anys, aquest territori ha patit una forta urbanització, sobretot a la costa, i una dramàtica reducció dels conreus a favor del bosc i de la superfície urbanitzada (Basnou et al. 2013). L'augment de la densitat urbana i l'eventual pèrdua i degradació de les zones verdes urbanes i peri-urbanes podria afectar negativament els serveis ecosistèmics, així com el benestar humà. Amb tot, però, l'AMB i els ajuntaments que la integren han fet un esforç especial per a estendre el verd urbà i millorar-ne els serveis que proporciona, tal com posa de manifest els plans de recuperació de la qualitat ambiental de les platges i els rius

Llobregat i Besòs (<http://www.amb.cat/web/11656/63>, www.parciriullobregat.cat), la promoció de parcs metropolitans al contacte amb la serralada Litoral, i el Pla del Verd i la Biodiversitat de l'Ajuntament de Barcelona.

2.2. Els serveis ecosistèmics

En base a l'experiència adquirida pel CREAM i en col·laboració amb els experts de Barcelona Regional, s'han seleccionat diversos serveis ecosistèmics relacionats amb l'estructura i el funcionalisme de la infraestructura verda i que, a causa de la disponibilitat d'informació, podien ser objecte d'una modelització cartogràfica suficientment detallada. Aquests serveis s'agrupen en tres categories (**Taula 1**):

- **Serveis de suport i regulació**, relacionats amb funcions ecosistèmiques bàsiques.
- **Serveis recreatius** proporcionats per les propietats de la infraestructura verda.

Aquest treball considera, per tant, la biodiversitat com un servei ecosistèmic de provisió. La biodiversitat que acull la infraestructura verda contribueix a diversos components del benestar humà a través de la provisió i la regulació dels fluxos de matèria i energia però també del lleure i altres serveis culturals. Això justifica la inclusió d'índexs del valor de la biodiversitat a l'AMB desenvolupats en treballs previs (Pino & Basnou 2013), però també de les propietats funcionals de la infraestructura verda que poden aprofitar els diversos components de la biodiversitat (com ara la connectivitat ecològica). Això fa necessari comptar amb una cartografia detallada d'aquesta infraestructura verda.

Taula 1. Serveis ecosistèmics, proveïdors i indicadors

Classificació SE segons MA	Servei Ecosistèmic	Proveïdor SE	Indicadors cartogràfics/proxies
Suport	Biodiversitat	Infraestructura verda	Mapa Ecològic Les tipologies de la infraestructura verda Biodiversitat Connectivitat ecològica
Regulació	Enmagatzematge de C	Arbres i arbusts	Estocs de C dels boscos i dels matollars
Regulació	Regulació hídrica Regulació de les pertorbacions	Infraestructura verda Sòls según la permeabilitat, clima (precipitació), cobertes de sòl	L'escolament superficial (<i>runoff</i>)
		Circulació de l'aigua segon la tipologia de la vegetació	L'evapotranspiració real
	Regulació de la qualitat de l'aire	Infraestructura verda en general, especialment arbres i arbusts	La densitat de la superfície foliar
Cultural	Recreació i <i>well-being</i> Proporciona:	Infraestructura verda	L'accessibilitat veïnal (1km)
	Activitats físiques i terapèutiques		L'accessibilitat a mitja distància 5 km
	Activitats recreatives	Xarxa viària, carrers i camins	L'accessibilitat per la xarxa viària, carrers i camins
	Gaudi estètic		
	Gaudi paisatgístic		

2.3. El.laboració de la cartografia

2.3.1. Caracterització de la Infraestructura Verda

La base per a la quantificació i cartografia de la infraestructura verda i els serveis ecosistèmics derivats és el El Mapa Ecològic de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (MEAMB; Mapa 1). Aquest mapa ha estat elaborat prenent com a base el Mapa Ecològic de Barcelona, que compta amb diverses versions (1977, 2003 i 2004) realitzades pel CREAF (Burriel et al. 2006). Aquest mapa va ser pensat per avaluar l'estructura, la tipologia i els canvis en el verd urbà de la ciutat de Barcelona, però també s'ha fet servir de base per a l'anàlisi de les repercussions de l'estructura urbana en el metabolisme de la ciutat. Alhora, constitueix una base òptima per a l'anàlisi de les propietats de la infraestructura verda de la ciutat.

Les capes de partida per a la realització del MEAMB han estat la tercera edició del MCSC (www.creaf.uab.cat/mcsc, 2009) i l'última edició del Mapa Ecològic de Barcelona (Burriel et al. 2006). Per l'edició del MEB de 2004 (MEB-3), la darrera, es van fer servir imatges de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), en color i a escala 1:5.000, de manera que la qualitat i definició són superiors a les versions anteriors. Aquesta resolució permet detallar cobertes petites, d'una superfície de 500 m², que equival a parterres, basses i estanys. En aquesta versió, també s'ha augmentat la llegenda i les bases de dades associades, a fi de recollir millor la realitat de les zones ecològiques. Les categories de la llegenda del MEB-3 en són 58, de les quals 37 són estrictament urbanes, 16 forestals i 5 agrícoles. Aquesta versió ha tingut en compte les llegendes dels mapes anteriors, de manera que els resultats siguin comparables.

L'ampliació del MEB a la resta de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (MEAMB) s'ha fet llavors reclassificant les categories del nivell 5 del MCSC (2009) per a que siguin comparables amb les categories de la llegenda del MEB-3. Les 164 tipologies d'usos de sòl del nivell 5 del MCSC s'han reduït i reagrupat en les 80 categories (zones ecològiques) del MEB-3 (Taula I, ANNEX). Finalment, el MEAMB s'ha reclassificat (Taula II, ANNEX; Mapa 2) en 6 categories d'infraestructura verda:

- Verd natural: Boscos i matollars

- Verd urbà: Parcs urbans
- Altres infraestructures verdes: Altres zones verdes, camps de golf, zones esportives, càmpings
- Conreus i prats
- Rius, Estanys naturals, platges
- Altres: construït, sols nus, altres zones sense o amb escassa vegetació

La correspondència entre aquestes categories del verd urbà i peri-urbà i els serveis ecosistèmics considerats per aquest estudi es representa a la **Taula 2** i mostra la multifuncionalitat de la infraestructura verda a escala metropolitana.

Taula 2. Ecosistemes urbans que generen el servei ecosistèmic més rellevant per l'AMB. Font: CREAM

Servei ecosistèmic	Verd natural Bosc, matollar	Verd urbà Parcs urbans	Altres IV (arbres del carrer...)	Conreus llenyosos	Conreus herbàcis	Aigua	Altres (construïts)
Biodiversitat	X	X	X	X	X	X	
Estocs de Carboni	X	X	X	X			
Regulació hídrica	X	X	X				
Regulació de la qualitat del'aire	X	X	X				
Recreació	X	X	X			X	

A. Serveis de suport

A.1. Biodiversitat

La biodiversitat és ahora un valor essencial de la infraestructura verda del territori i el sosteniment d'un seguit de serveis provisió però també de suport, regulació i de lleure, que inclouen els intercanvis de matèria i energia, la pol·linització, la protecció davant flagells i el gaudi de la natura i el paisatge (Maes et al. 2011). En un treball previ (Pino & Basnou 2013) es va desenvolupar un índex cartogràfic del valor de la biodiversitat a l'AMB (I_2) basat en la combinació de sis indicadors:

- i_1 : Hàbitats d'interès comunitari (HIC), per la seva importància en les estratègies de conservació a nivell català, espanyol i europeu.
- i_2 : Àrees sensibles per a la flora amenaçada, pel seu elevat valor de conservació a nivell local i català.
- i_3 : Boscos singulars de Catalunya, pel seu valor estratègic en la conservació de la biodiversitat forestal de Catalunya.
- i_4 : Índex de conservació sintètic dels ocells (ICONST-EH) elaborat per l'ICO
- i_5 : Índex Intrínsec dels Hàbitats de Catalunya (IIH), obtingut de la CHC.
- i_6 : Índex d'interès Corològic dels Hàbitats de Catalunya (IIC), obtingut de la CHC.

Aquest índex (Mapa 3) ha estat utilitzat per a avaluar el valor de la biodiversitat de l'AMB i detectar-ne els *hot spots*, i per relacionar aquest valor amb un conjunt de pressions que poden afectar en un futur la conservació d'aquesta. Incloem aquest índex al present treball com a *proxy* del servei ecosistèmic proporcionat per la biodiversitat perquè assumim que aquest servei es relaciona de forma directa amb el valor d'aquesta. Vegeu Pino & Basnou (2014) per a detalls de la metodologia.

A.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. Una de les propietats essencials de la infraestructura verda és doncs

proporcionar les condicions per a la connectivitat ecològica de poblacions, comunitats i ecosistemes. En un informe previ (Pino & Basnou 2014) es va presentar l'Índex de Connectivitat Terrestre (*ICT*) de l'AMB, un índex de connectivitat ecològica a escala de paisatge que va ser desenvolupat en el marc del Pla Territorial Sectorial de Connectivitat Ecològica de Catalunya (PTSCEC), en curs de redacció per la Generalitat de Catalunya. L'*ICT* es pot calcular independentment per a una sèrie de tipus d'hàbitats rellevants per a la connectivitat i seleccionats prèviament, i després es pot obtenir un valor mitjà per a cada punt del territori a partir dels valors dels diversos hàbitats.

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 *ICT_i*, corresponents als valors de connectivitat calculats per a cadascuna de les cobertes bàsiques (*i*). L'*ICT_i* 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. Per a més detalls sobre la metodologia de l'índex, vegeu Pino & Basnou 2014.

L'*ICT_i* de l'AMB i el seu àmbit d'influència s'ha calculat a partir del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya de 2005 reclassificats 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'*ICT_i* es calcula per a totes aquestes categories excepte les tres darreres, que només modulen la connectivitat de les altres set. Des d'un punt de vista pràctic, els *ICT_i* s'han calculat per a uns punts de mostreig distribuïts cada 250 m per al conjunt de l'AMB i del seu àmbit d'influència. Després s'ha obtingut el logaritme dels índexs de cada coberta i s'han interpolat (fent servir l'invers de la distància) els valors per a tota l'AMB amb un píxel de 25 m. S'ha obtingut finalment l'*ICT* general a partir de la mitjana dels *ICT_i* per a cada píxel de 25 m del territori (Mapa 4). 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).

A efectes pràctics, s'han representat els valors de connectivitat de dues maneres diferents: en primer lloc s'han representat els valors dels píxels corresponents a la infraestructura verda, per tal de proporcionar un mapa de valors continus. En segon lloc s'han representat els valors mitjans de l'índex per a cada polígon de la infraestructura verda.

B. Serveis de regulació

B.1. Emmagatzematge de Carboni

El carboni és un element clau del cicle de la matèria als ecosistemes i, alhora, intervé en la regulació climàtica del planeta per la seva implicació en l'efecte hivernacle. Les emissions antròpiques de carboni són un dels motors més importants del canvi climàtic en què estem immersos. Això ha comportat que els estocs i el segrest de carboni siguin un factor clau a considerar en les estratègies de mitigació d'aquest canvi (com ara les anomenades REDD+, Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation), i s'incorporin sense excepció en les propostes de serveis ecosistèmics (Tratalos et al. 2007).

Fins el moment, l'estimació dels estocs i de les taxes de segrest de carboni (C) a Catalunya s'ha dut a terme mitjançant aproximacions molt grolleres, basades en les dades mitjanes de biomassa llenyosa i de creixement net d'aquesta per municipis o províncies. Les dades de biomassa i creixement provenen d'estadístiques oficials o, en el millor dels casos, de les dades proporcionades pels inventaris forestals. Aquestes dades són localment molt precises però es recullen a una resolució espacial escassa (normalment amb una mitjana d'un punt de mostreig per km²). Amb tot, cal destacar els models de biomassa llenyosa i del seu creixement desenvolupats a la província de Barcelona a partir de les dades del Segon i Tercer Inventaris Forestals Nacionals (Pino 2007). A partir de la combinació de les dades d'aquests inventaris i de diverses capes

ambientals (temperatura, precipitació, topografia, etc.) es van desenvolupar models generals lineals (GLM) amb un poder predictiu molt moderat ($r^2 < 0.25$). Mitjançant el càlcul d'aquests models i la interpolació dels seus residus es van obtenir els primers mapes relacionats amb els estocs i l'acumulació de C dels boscos de la província, a una resolució de poques desenes de m.

Amb tot, la importància creixent dels estocs i l'acumulació de C en el marc socioeconòmic actual, amb una importància creixent de les polítiques de creixement sostenible, fa necessari un refinament d'aquests models. Amb aquest objectiu, Barcelona Regional i el CREAM han desenvolupat un model altament precís i robust dels estocs de C als boscos i matollars de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, basat en la informació LiDAR processada per l'Institut Cartogràfic i Geogràfic de Catalunya (ICGC). La tecnologia LiDAR (acrònim de *Laser Imaging Detection and Ranging*) és una tecnologia òptica de teledetecció que mesura la distància des d'un punt emissor a qualsevol objecte o superfície mitjançant l'ús d'un làser polsat, a una densitat d'almenys 4 polsos /m².

Mostreig de la veritat terreny

En primer lloc es van obtenir estimacions de la biomassa i els estocs de C en boscos i matollars a partir de parcel·les de mostreig al camp. Es van mostrejar 81 parcel·les circulars de radi fix escollides com a mostra representativa de les diferents estructures i composició d'espècies de boscos i matollars a la zona d'estudi. Totes les parcel·les van ser localitzades geogràficament amb un GPS de precisió submètrica garantint en gairebé tots els casos un error de posicionament inferior a 1 m. Es van mostrejar 42 parcel·les de matollar i 39 d'arbrades. A les parcel·les arbrades (n=42), de radi diferent segons la densitat d'arbres, es va mesurar el diàmetre normal (DN) de tots els arbres d'almenys a 7.5 cm, l'alçada i es va anotar l'espècie. També es van prendre mesures de les característiques del terreny, orientació pendent, etc. així com una descripció dels diferents estrats de vegetació a diferents alçades. A les parcel·les de matollar (n=39), de 5 m de radi, es va disposar una malla radial amb una separació entre punts d'1 m en les vuit orientacions des del centre de la parcel·la, en total 33

punts de contacte. En cada punt es va mesurar l'alçada màxima de la vegetació i la de les espècies presents en cada punt.

L'estoc de C de les parcel·les arbrades es va obtenir en tres passos:

- Primer es van aplicar les equacions al·lomètriques, obtingudes a l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya, per al càlcul de la biomassa de cada espècie. Aquestes equacions obtenen la biomassa (en pes sec) a partir de l'alçada i el diàmetre normal (DN) de cada arbre mostrejat de més de 7.5 cm. Els valors es transformen a t/ha.
- En un segon pas s'obté l'estoc de C multiplicant el valor de biomassa obtingut per espècie per la concentració de C (g C/100 g m.s.) corresponent.
- Finalment se sumen els valors per espècie per tal d'obtenir l'estoc total expressat en t C/ha.

L'estoc de C de les parcel·les de matollar s'obté en cinc passos.

- En primer lloc es calcula l'alçada mitjana de la vegetació llenyosa de més de 10 cm a partir dels valors de l'alçada màxima dels punts de mostreig.
- Després s'obté el recobriment arbustiu com el percentatge de punts de vegetació llenyosa de més de 10 cm en relació a nombre total de punts de contacte (els 33 punts mostrejats).
- Després s'obté un biovolum multiplicant l'alçada mitjana pel recobriment arbustiu expressat com a m² ocupats per la vegetació per hectàrea.
- La biomassa corresponent s'obté multiplicant aquest biovolum per un factor que relaciona la biomassa amb el volum ocupat per la vegetació. Aquest factor s'ha obtingut de la bibliografia i és un valor que pot variar entre 0.31 i 4.6 kg/m³.
- Finalment l'estoc de C s'obté multiplicant la biomassa per 0.5 (=50 g C/100 g).

Tractament de les dades LiDAR

L'ICGC va entregar a Barcelona Regional un ràster continu amb els valors mitjans dels polsos LIDAR a 0.5 m de resolució per tota l'AMB. A aquests polsos se'ls va restar l'alçada del terreny a partir d'un model digital d'elevacions. Per tant, es van obtenir les

alçades mitjanes dels elements que hi ha sobre el terreny (arbres, arbustos, però també elements antròpics com edificis) a una resolució de 0.5x0.5 m.

D'aquesta capa es van seleccionar els píxels ocupats per zones arbrades i per matollar. Aquesta informació es va obtenir del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (2009). També es van filtrar els píxels següents:

- Per les zones arbrades, es van eliminar els píxels amb alçades mitjanes de menys de **3 m**. Aquest filtre és per deixar de banda la part corresponent al sotabosc.
- Pels matollars es van eliminar els píxels amb alçades mitjanes inferiors a **0.1 m**. Aquest filtre s'utilitza perquè és l'error de precisió en l'estima de l'alçada del LiDAR.

Obtenció dels models estadístics

Seguidament s'han posat a punt models de regressió, fent servir com a variables resposta els valors de biomassa estimats a les parcel·les. Tant al model dels boscos com al dels matollars, aquesta variable s'ha transformat a logaritmes neperians (Ln) per tal d'ajustar-la a una distribució normal. Com a variables explicatives s'han tingut en compte un seguit de variables derivades de les alçades filtrades de boscos i matollars. Aquests càlculs s'han fet agrupant els valors espacialment, en grups de 20 m de costat, per tal d'ajustar les variables explicatives a l'escala de les variables resposta (cadascun d'aquests grups conté un màxim de 1.600 valors) Així, per a cada grup s'han calculat:

- els estadístics següents: mitjana, desviació estàndard, variança, kurtosi, assimetria, coeficient de variació, mínim, màxim, moda i els percentils p01, p05, p10, p20, p25, p30, p40, p50, p60, p70, p75, p80, p90, p95 i p99.
- una sèrie de mètriques derivades: p75-p25, p99-p75, p75-p50, p50-p25, p95-p05, mediana/màxim, (mitjana - mínim)/(màxim - mínim).
- la fracció de cabuda coberta (FCC), estimada com el percentatge de píxels que cauen sobre la vegetació (matollar, $h > 0.1\text{m}$; bosc $h > 3\text{ m}$) en relació al total ($n= 1600$).

S'han fet servir models generals lineals (GLM, *General Lineal Model*) amb la tècnica de regressió pas a pas (*stepwise*) per a obtenir el conjunt de variables explicatives més associades a les variables resposta. Aquest mètode va afegint, a cada pas de la regressió, la variable explicativa que més contribueix en termes d'AIC (*Akaike Information Criterion*) en el model. També s'ha comprovat que les variables emprades estiguessin poc correlacionades (mitjançant el VIF, *variance inflation factor*). Les variables explicatives amb un valor de VIF superior a 3 s'han eliminat dels models. Per als models finals es dóna la significació i el coeficient de determinació (r^2), el pes de cada variable explicativa i el biaix dels residus estimat a partir de la seva distribució i dels gràfics Q-Q.

El model estadístic resultant per a les zones arbrades és:

$$\log(\text{CAT}) = 1.25117 + 0.024233 \cdot \text{FCC_Lidar} + 0.051771 \cdot \text{p75}$$

i per tant:

$$\text{CAT (t/ha)} = e^{(1.25117 + 0.024233 \cdot \text{FCC_Lidar} + 0.051771 \cdot \text{p75})}$$

on:

- $\log(\text{CAT})$ = logaritme neperià del carboni aeri total (t/ha) del bosc
- FCC_Lidar = Nre de píxel ($H > 3$ m)/Nre píxels total*100
- p75 = percentil 75 de l'alçada de tots els píxels ($H > 3$ m)

es tracta d'un model significatiu ($F_{2,36}=173.1$; $p < 0.001$), i amb una $r^2 = 0.906$.

Els residus resultants segueixen una distribució normal, segons el seu histograma i el gràfic Q-Q (vegeu Figura)

Pel que fa als matollars, el model estadístic resultant és:

$$\log(\text{CAT}) = 0.74101 + 0.01138 \cdot \text{FCC_Lidar} - 0.30585 \cdot \text{Skewn} + 0.22667 \cdot \text{p99}$$

i per tant:

$$\text{CAT (t/ha)} = e^{(0.74101 + 0.01138 \cdot \text{FCC_Lidar} - 0.30585 \cdot \text{Skewn} + 0.22667 \cdot \text{p99})}$$

on:

- $\log(\text{CAT})$ = logaritme neperià del carboni aeri total (t/ha) del matollar
- $\text{FCC_Lidar} = \text{Nre de píxel } (H > 0.1 \text{ m}) / \text{Nre píxels total} * 100$
- $\text{Skewn} = \text{Skewness}$ o coeficient d'assimetria
- $p99$ = percentil 99 de l'alçada de tots els píxels ($H > 0.1 \text{ m}$)

de nou el model és significatiu ($F_{3, 37}=60.8$; $p < 0.001$), i força ajustat atès que $r^2 = 0.831$. En ambdós models, els residus resultants segueixen una distribució normal, segons el seu histograma i el gràfic Q-Q (vegeu **Fig. 3**)

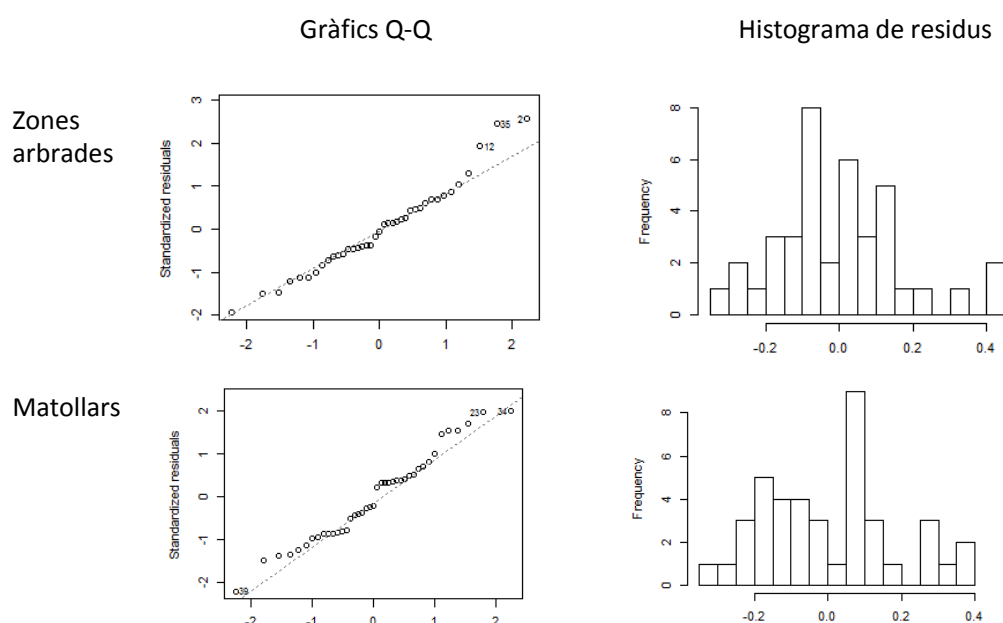


Fig. 3: Gràfics Q-Q i distribució dels residus dels models d'estoc de C de les zones arbrades i dels matollars

Obtenció dels models cartogràfics

Finalment, a partir de les equacions abans esmentades i de les variables explicatives seleccionades, s'han calculat els estocs de C de les zones arbrades i els

matollars. Els models cartogràfics resultants són de 20 m de mida de píxel, que és la resolució a la que s'han calculat les variables explicatives (Mapa 5).

B.2. Regulació hídrica

L'aigua es un dels components més importants del metabolisme urbà (Terradas 2001, Kennedy et al. 2007). Els territoris fortament urbanitzats són molt sensibles al canvi climàtic i al desequilibri hidrològic que aquest pot comportar. A Catalunya està previst que la precipitació anual es redueixi entre un 10% i un 15% (models de l'IPCC) (IPCC 2007). Al final del segle, es preveu que la disminució de la disponibilitat d'aigua emmagatzemada al sòl provoqui una reducció de l'evapotranspiració real, és a dir, la quantitat d'aigua que s'evapora més la que transpira la vegetació, la qual cosa tindrà un efecte negatiu sobre el creixement potencial de les plantes. En aquest sentit, els conreus augmentaran les necessitats de reg (Pascual et al. 2014).

Per tot això, i tenint en compte les previsions d'ús de l'aigua en un futur pròxim, s'espera una disminució de la quantitat d'aigua disponible en rius i aigües subterrànies. Un estudi recent a la conca de la Tordera, relativament propera a l'AMB, afirma que, dins d'un escenari socioeconòmic més desfavorable, aquest territori patirà un augment de la pressió urbanística i un retrocés de l'agricultura (Pla & Pascual 2012). En aquest escenari, s'observa una important desregularització del cicle hidrològic: l'aigua total demandada l'any 2030 serà fins un 15% més elevada a la Tordera, i els cabals augmentaran la tendència cap a situacions més extremes (mínims i màxims). En aquest sentit, una de les propostes per afavorir l'estalvi d'aigua inclou la gestió forestal per afavorir estructures del bosc que comportin menys estrès hídric, reduint la densitat d'arbres i potenciant el seu creixement (Pla & Pascual 2012).

La tipologia de la infraestructura verda ocupa un paper central en la regulació hídrica. Això pot ser especialment important en àrees urbanes. Les zones urbanitzades alteren la hidrologia natural a través de les seves superfícies impermeables, canviant la resposta de la conca a la precipitació. Els efectes més comuns són la disminució de la infiltració, que augmenta significativament els cabals màxims i el vessament, i

l'alteració de l'evapotranspiració que retorna a l'atmosfera part de l'aigua caiguda. Això determina un augment en el volum d'escolament superficial durant les tempestes augmenta el risc d'inundacions i la càrrega de contaminants.

S'ha treballat amb indicadors dels processos ecosistèmics més relacionats amb el servei de regulació hídrica: d'una banda l'escolament superficial i d'una altra l'evapotranspiració real (ETR).

B.2.1. L'escolament superficial (*runoff*)

Hi ha tres factors principals que influeixen en l'escolament superficial: vegetació, tipus de sòl i la quantitat de precipitacions. El coeficient d'escolament (*runoff*) s'ha estimat a partir del treball de Tratalos et al. (2007), expressada com retenció de litres per m² (vegeu la fórmula en la **Fig. 4**).

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

Fig. 4. L'índex d'escolament superficial (S), 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 número 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 asseguruen 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 (Pauleit & Duhme 2000).

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).

Per l'AMB, la reclassificació dels 4 grups de sòl segons la seva capacitat d'infiltració s'ha realitzat a través dels mapes hidrològics disponibles al projecte SITxell (www.sitxell.eu/). Aquests mapes distingeixen 11 unitats hidrogeològiques a l'AMB (**Taula 3**). El resultat de l'agrupació d'aquestes categories en 4 grups principals es mostra a la **Taula 4**.

Els càlculs del quocient 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 quocient 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 coberts de vegetació forestal. Els arbres ajuden a disminuir el volum d'aigua d'escolament perquè retenen quantitats importants d'aigua temporalment, les arrels augmenten la penetració de l'aigua als sòls, retenen la matèria orgànica de l'escolament i ajuden a disminuir l'erosió del sòl (Chaparro & Terradas 2009).

Taula 3. Unitats hidrogeològiques de l'AMB (Font: SITxell, MN151)

Hidrogeología	
1.	Acumulacions detrítiques no cimentades i poroses: al·luvials connectats amb cursos fluvials.
2.	Acumulacions detrítiques no cimentades i poroses: terrasses altes no connectades hidràulicament amb la llera.
3.	Acumulacions superficials argiloses de molt baixa permeabilitat (col·luvials).
4.	Batòlits granítics meteoritzats en superfície i en profunditat, poc permeables al Litoral i més permeables al Montseny-Guilleries.
5.	Calcàries devonians molt puntualment permeables per fissuració.
6.	Calcàries terciàries amb inclusió de nivells carstificats.
7.	Complexes pissarrosos paleozoics en general no permeables.
8.	Formacions detrítiques cimentades (Mesozoic i Paleogen) impermeables en general, amb diàclasis puntuals de ressurgència.
9.	Formacions detrítiques neògenes dominantment de gra fi i molt poc permeables, pot incloure paleocanals més permeables.
10.	Mar, embassaments.
11.	Roques carstificades mesozoiques amb elevada i heterogènia permeabilitat per fissuració. Exemple: massís de Garraf.

Taula 4. Reclassificació de les unitats hidrogeològiques en 4 grups hidrològics principals, segons la seva permeabilitat

Grups hidrològics	Correspondència unitats hidr. SITXELL	Reclassificació grups hidrològics
A Sòls permeables. Elevada taxa d'escolament	1, 2, 10	1
B Sòls amb una permeabilitat moderada. Moderada taxa d'escolament	5	2
C Sòls amb baixa permeabilitat. Escolament superficial baix	2, 3, 4, 8, 9	3
D Sòls impermeables, amb una permament massa d'aigua (ie àrees pavimentades). Escolament superficial potencialment alt	6,7	4

B.2.2. L'Evapotranspiració real

L'evapotranspiració és un component més de regulació hídrica i té dos components. El primer és l'evaporació, que és l'aigua interceptada, que, quan plou, mulla les superfícies de l'ecosistema i s'evapora quan s'eixuguen. Com més superfície de les estructures que es poden mullar exposi l'ecosistema, més gran serà la quantitat d'aigua interceptada. Als ecosistemes forestals, el volum que ocupa un ecosistema és gran en comparació amb altres ecosistemes com ara els matollars i els herbassars. En sistemes on la cobertura vegetal és important, l'evaporació directa des del sòl és petita comparada amb la de les capçades, més ventilades i exposades a la radiació.

El segon component és la transpiració, que és l'aigua del sòl absorbida per les arrels i que retorna a l'atmosfera seguint un camí dins la planta: circula pels vasos conductors del xilema de les plantes i s'evapora a la superfície de les fulles, de les quals surt a través dels estomes, si estan oberts. En aquest cas, l'aigua transpirada prové de l'aigua emmagatzemada al sòl que pot ser explorat per les arrels, i també és important, atès que les arrels exploren un volum important del sòl. En aquesta línia, un bosc de pinassa, per exemple, amb un sotobosc de matollar, serà més eficient en la intercepció de l'aigua que no pas un bosc de pinassa sense matollar. Aquestes consideracions són importants a l'hora de plantetjar una restitució d'una coberta degradada.

Un augment de la transpiració en la vegetació pot causar una disminució de la disponibilitat de l'aigua al sòl. Si això s'associa amb un escolament superficial reduït, resulta amb una reducció important d'aigua als aqüífers.

En àrees més àrides, la vegetació està afectada pel dèficit hídric, un factor important que controla la distribució i l'estructura de la vegetació (Bellot et al. 2001, Llorens & Domingo 2007). Estudis que determinen el balanç hídric de la vegetació són escassos a la zona Mediterrània, i requereixen treball de camp i aparells específics. A més a més, aquests estudis incorporen la precipitació i equacions complexes (com per exemple, l'equació Perth Moneith) per calcular l'EVT real. Les dades disponibles provenen de zones més àrides (Ventós, Alacant, Bellot et al. 1999, Bellot & Chirino 2013), de l'alzinar de Prades (Pinyol et al. 1992) o d'alguns sistemes forestals del Montseny (Rodà et al. 1990) o han estat recollides per a diversos cultius (Allen et al.

1998). Molts estudis aporten dades per un sol tipus de vegetació (com pels matollars de zones àrides de Murcia, Serrato & Díaz 1998). Els models hidrològics només estan disponibles per algunes conques hidrogràfiques de l'AMB (Tordera) (Pla & Pascual 2012). Alguns estudis recents, no publicats, han estimat l'evapotranspiració potencial en una part de Catalunya mitjançant la teledetecció (Cristóbal et al. 2005).

Ateses les dificultats per a estimar l'EVT real de la vegetació de l'AMB, la nostra aproximació es basa en una estima de la capacitat d'evapotranspiració de la vegetació durant l'estiu. L'aproximació cartogràfica als valors de l'EVT es basa en una recopilació bibliogràfica de diverses fonts i ha tingut en compte una classificació jeràrquica de la capacitat d'EVT teòrica dels diversos tipus considerats al mapa de la infraestructura verda (de més, a menys capacitat d'evapotranspiració) (**Taula IV, ANNEX; Mapa 7**).

B.3. Regulació de la qualitat de l'aire

La qualitat de l'aire a Barcelona ha estat, des del final de la dècada de 1970, un dels principals problemes ambientals de la ciutat, com és el cas de la majoria de les grans aglomeracions urbanes a tot el món. Una de les conseqüències de les densitats de població més elevades d'Europa que es registren a l'AMB és l'alta densitat del trànsit. Moltes persones viuen, treballen, i passen el seu temps molt a prop del trànsit del carrer. Estudis recents mostren una evidència clara de concentracions de contaminants molt elevades en àrees properes als 50-100 m de les vies i una clara associació amb un major risc de patir asma en nens que viuen a una distància d'uns 75 m d'una via de tràfic principal (McConnell et al. 2006, Kim et al. 2004). Segons informes recents de l'Agència de Salut Pública Catalana, a Barcelona, un 65.6% del NO₂ de l'aire prové dels vehicles (Agència de Salut Pública 2013). Actualment, Barcelona, com altres metròpolis europees (París, Londres, Berlín o Rotterdam), supera els límits per a les concentracions mitjanes anuals de NO_x i PM₁₀ (partícules de menys de 10 µ) establerts per la UE per protegir la salut (des de l'any 2010, el límit europeu de la major concentració mitjana anual és de 40 mg / m³ per al NO₂ i PM₁₀; Fig. 5).

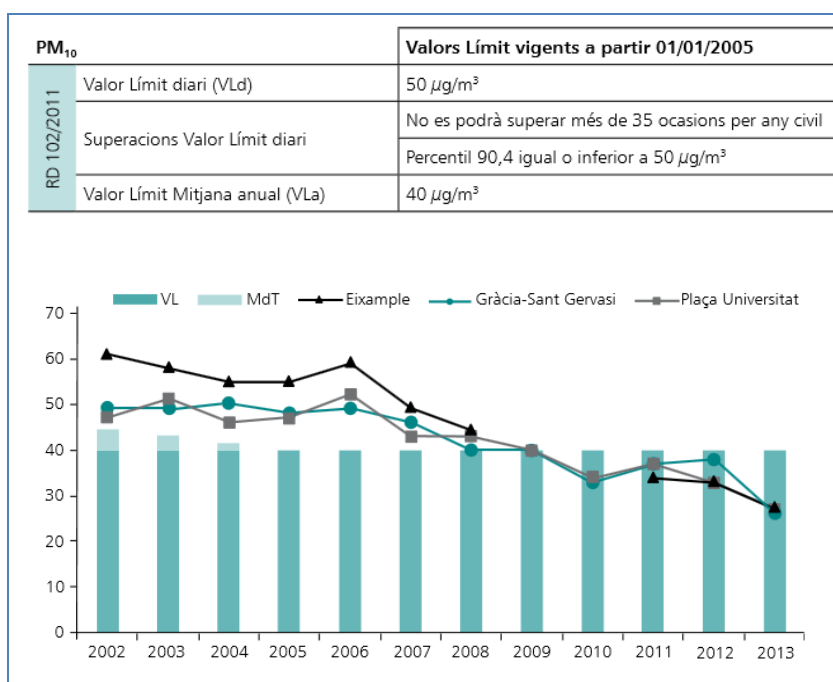
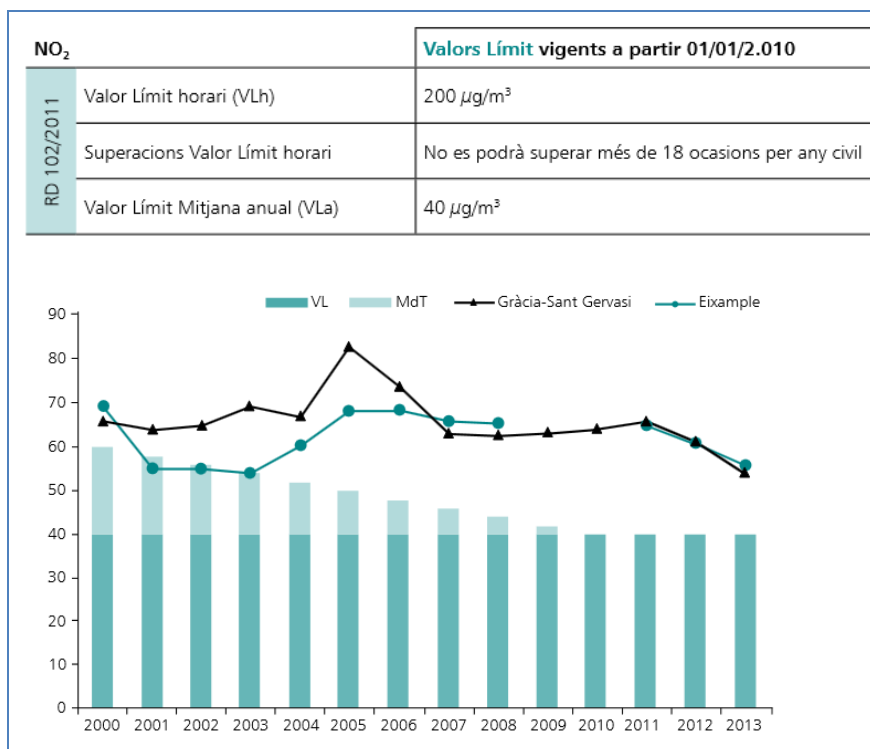


Fig. 5. Avaluació dels nivells de NO₂ i PM₁₀ en estacions de trànsit molt intens de Barcelona. Evolució mitjana anual (µg/m³) (font: Agència de Salut Pública 2013)

La qualitat de l'aire té un efecte directe sobre la salut humana (ECRHS II 2002). Un estudi recent indica que la reducció de la contaminació atmosfèrica a l'Àrea Metropolitana de Barcelona resultaria substancialment beneficiosa en termes de salut i econòmics. El benefici de reduir l'exposició mitjana a PM₁₀ estimada per la població de l'AMB (des de 50 µg/m³, al valor mitjà de 20 µg/m³ per any recomanat per l'OMS) s'estima en 3.500 morts anuals menys (Pérez et al. 2009).

Aquest fet requereix noves estratègies d'acció a tots els nivells per millorar la qualitat de l'aire a les àrees metropolitanes. A Barcelona, el Pla d'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire de Barcelona (PECQ 2011-2020) és un dels instruments de la política local que vol assolir, entre altres, la reducció de les emissions d'efecte hivernacle i una millora de la qualitat de l'aire a zones urbanes, sobretot en el cas dels gasos NO_x i partícules PM₁₀. El Pla d'Actuació per a la Millora de la Qualitat de l'Aire engegat per la Generalitat de Catalunya té com a objectiu assolir els nivells de qualitat de l'aire per a les partícules de diàmetre inferior a 10 µm (PM₁₀) i per al diòxid de nitrogen (NO₂) als nivells que determina la legislació europea. L'objectiu del Pla és reduir les emissions d'òxids de nitrogen i de partícules en suspensió en un àrea de 4,3 milions d'habitants dels municipis del Barcelonès, el Baix Llobregat, el Vallès Occidental i el Vallès Oriental, declarats zones de protecció especial.

La qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona

L'any 2013 s'ha detectat una millora significativa dels nivells dels dos contaminants crítics de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona (PM₁₀ i NO₂). En el cas del benzè i l'ozó, es detecta però un lleuger increment en algunes de les estacions de la ciutat de Barcelona (Informe d'avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona, Agència de salut pública 2013). No obstant, a la ciutat de Barcelona l'any 2004, la concentració mitjana anual de partícules menors de 10 µm de diàmetre (PM₁₀) va ser de 49 µg/m³ (promig de sis estacions de seguiment fixes), 45 µg/m³ el 2005, i 50 µg/m³ el 2006, quan el promig recomanat per la guia de la qualitat de l'aire WHO és de 20 µg/m³. El promig anual a cadascuna de les sis estacions de seguiment excedeix aquest valor (Agència de Salut Pública 2013).

El paper de la infraestructura verda en la regulació de la qualitat de l'aire s'esmenta en diversos estudis (Nowak et al. 2006, Chaparro & Terradas 2009, Sanesi et al. 2011). En general, la vegetació és millor que l'aigua o els espais oberts per filtrar l'aire. La reducció de contaminació és produïda principalment pel filtratge de contaminants i partícules de l'aire per part de la vegetació. La reducció dels contaminants s'assoleix a través de 3 mecanismes: deposició humida, reaccions químiques i deposició seca. La deposició seca és el mecanisme a través del qual les partícules dels contaminants són transportades i dipositades sobre diverses superfícies, incloent la vegetació.

B.3.1. La densitat de la superfície foliar

La superfície foliar és un receptor important dels contaminants atmosfèrics. La filtració dels contaminants augmenta amb la superfície foliar, per tant, és més eficaç en els cas dels arbres que en el cas de la vegetació herbàcia. Tanmateix, els arbres amb capçades grans filtren més quantitat de contaminants que els arbres amb capçades més petites, per tant, els arbres més grans, amb major diàmetre, són més eficients per millorar la qualitat de l'aire. Els arbres planifolis perennifolis tenen més capacitat de retenció dels contaminants que els caducifolis, i els caducifolis més que les coníferes (sobretot per l'absorció dels gasos). La morfologia foliar s'ha utilitzat també com un indicador de l'estress ambiental. Una densitat d'estomes elevada i unes fulles rugoses o pubescents (com la presència de les tricòmes al revers de la fulla de l'alzina) incrementen la capacitat de retenció dels contaminants dels arbres (Becket et al. 1998, Ferriol et al. 2014). En canvi, les fulles de làmines allargades amb superfícies llises o peciols llargs capten una menor quantitat de pols atmosfèrics, com confirma l'estudi de Liu et al. (2012). Per un altra banda, la retenció de les fulles dels contaminants atmosfèrics en forma de pols també depen d'altres factors, com el diàmetre i la forma dels partícules, la velocitat del vent i la humitat atmosfèrica (Beckett et al. 2000).

Diversos estudis posen de manifest que la infraestructura verda afecta la qualitat de l'aire mitjançant l'eliminació de contaminants atmosfèrics (Nowak et al. 2006, Chaparro i Terradas 2009, Tallis et al. 2011). Aquests treballs es centren en l'estimació de la capacitat de reducció de la contaminació de l'aire de la vegetació.

L'estructura i disposició de la vegetació és important en la seva habilitat de filtrar l'aire. Bernatzky (1983) descriu que en un parc es pot filtrar fins un 85% dels contaminants presents a l'aire, i en un carrer amb arbres, fins un 70%. Una vegetació espessa pot causar turbulències en el pas de l'aire, mentre que una coberta vegetal més prima no obstaculitza el pas de l'aire i el pot filtrar millor (Bernatzky 1983).

No obstant, analitzar les relacions entre la infraestructura verda i la disminució de la contaminació és una tasca difícil i aquesta metodologia ha estat controvertida (Whitlow et al. 2013). Les estimacions del model UFORE (i-Tree Eco) - l'únic software, de moment, que permet l'estimació de la retenció dels contaminants de la vegetació - es basen en el model "*big-leaf*", suposant que els arbres tenen la mateixa alçada i configuració de la capçada. Aquesta aproximació té en compte: les concentracions horàries dels principals contaminants (NO₂, SO, PM₁₀), la meteorologia (direcció i velocitat del vent; temperatura/també microclima), i la superfície foliar del verd urbà. No obstant, el model no té en compte la configuració i la composició del paisatge adjacent o les condicions climàtiques locals. A més a més, la retenció dels contaminants per la vegetació llenyosa es relaciona també amb la seva cobertura, les dades climàtiques, la velocitat de la deposició i la concentració local dels contaminants, la topografia o el volum del tràfic (Escobedo & Nowak 2009, Maes et al. 2012).

Calcular i cartografiar aquestes dades es difícil a causa de l'elevada incertesa espacial, la manca d'informació quantitativa sobre el paper de totes les cobertes vegetals en la retenció dels contaminants. Si la cartografia de la qualitat de l'aire es bastant comuna últimament, la cartografia del servei ecosistèmic (el paper de la vegetació en la millora de la qualitat de l'aire) no existeix a nivell local i és escassa i poc precisa a nivell regional (Maes 2011).

Quins son els contaminants que més afecten la qualitat de l'aire en les zones urbanes de l'AMB?

PM₁₀ i PM_{2.5}: partícules que afecten més a la població que qualsevol altre contaminant. Són principalment formades per sulfats, nitrats, amoni, clorur sòdic carboni, pols mineral i aigua. Es formen a partir d'una barreja complexa de partícules líquides i sòlides de substàncies orgàniques i inorgàniques en suspensió. L'exposició crònica a aquestes partícules incrementa el risc de patir trastorns cardiovasculars i respiratoris.

NO₂: diversos estudis epidemiològics han mostrat que els símptomes de bronquitis en nens amb asma s'incrementen amb una prolongada exposició al NO₂. Tanmateix, la reducció del desenvolupament de la funció dels pulmons està també associada a les concentracions de NO₂ que poden ser observades recurrentment en diverses ciutats d'Europa i Amèrica del Nord. Els nivells recomanats pel WHO són els mateixos que els establerts per la UE (un promig anual de 40 µg/m³ i un promig horari de 200 µg/m³).

Degut a les insuficients dades horàries dels principals contaminants a prou punts del territori de l'AMB per assolir una detallada resolució espacial, i a la dificultat d'efectuar un mostreig de camp per mesurar el LAI (*leaf area index*) de les diverses tipologies de la infraestructura verda, aquest treball va adoptar una estratègia diferent de la metodologia UFORE (i-Tree Eco).

Per estimar la capacitat de la vegetació de retenir els contaminants, el punt de partida ha estat l'estima de la densitat d'àrea foliar total dels arbres i arbustos (LAI, m²/ha), determinada pel verd urbà i peri-urbà de la ciutat de Barcelona segons les dades de Chaparro i Terradas (2009) (**Taula 5**). Aquestes dades provenen del mostreig de camp dels arbres i arbustos del verd natural urbà i peri-urbà de Barcelona (que inclou també l'arbrat viari). Pel que fa als boscos, aquestes dades han estat complementades amb les obtingudes al tercer Inventario Forestal Nacional (amb valor mitjàns de la superfície foliar estimats per caducifolis, prerennifolis i coníferes) (Mapa 8). El concepte del LAI fa referència al conjunt de l'àrea foliar d'una coberta vegetal i, per tant, a la seva capacitat de realitzar la fotosíntesis, relacionada amb el contingut de pigments (com la clorofil·la), la transpiració de la planta i l'intercanvi de CO₂. A més,

s'han tingut en compte les característiques morfològiques del limbe foliar de les espècies llenyoses i herbàcies. Per exemple les fulles perennes, pubescents, rugoses i amb més superfície foliar retenen més contaminants que les fulles caduques, les aciculars de les coníferes i les primes o amb superfícies llises en general. D'altra banda, la vegetació llenyosa, degut a una superfície foliar major, és més eficaç que la vegetació arbustiva i herbàcea en millorar la qualitat de l'aire. Per tant, degut a la seva mida, els arbres són millors receptors dels contaminants que els arbustos i les plantes herbàcies (Tallis et al. 2011).

Taula 5. Densitat d'àrea foliar (m²/ha) arbòria i arbustiva. Dades per la ciutat de Barcelona (Chaparro & Terradas 2009) i dades del Tercer Inventario Forestal (*)

Densitat de l'àrea foliar (m ² /ha)			
Coberta MEAMB	Arbres	Arbusts	Total
Verd urbà	26.823	4.554	31.377
Verd natural			
* <i>Caducifolis</i>	*	*	21.653
* <i>Perennifolis</i>			19.213
* <i>Coníferes</i>			10.592
Urbanitzat lax	13.629	4.934	18.563
Urbanitzat dens	5.245	1.053	6.298
Transport	7.385	653	8.038
Institucional	2.631	0	2.631
Industrial o Comercial	406	0	406
Zona d'ús intens	10.817	192	11.009

Per dur a terme una comparació amb la classificació de Chaparro i Terradas (2009), les cobertes del MCSB (2009) s'han reclassificat en les següents categories que es mostren a la **Taula V (ANNEX)**. En el cas de la vegetació predominant arbustiva i que no mostra correspondències a l'agrupació de la **Taula 5** (com, per exemple, els conreus

l·lenyosos), aquestes cobertes s'han reclassificat com a Conreus l·lenyosos i altra Vegetació l·lenyosa (**Taula V**, amb lletra cursiva) i se'ls ha afegit una densitat de l'àrea foliar corresponent als valors dels Arbusts del Verd urbà (13 691 m²/ha). També s'hi ha afegit les cobertes de Vegetació herbàcia (prats i conreus herbacis) i altres (cobertes sense vegetació). En el cas de la Vegetació herbàcia, s'ha estimat una densitat de la superfície foliar equivalent a una desena part de la dels arbustos del Verd natural.

C. Recreació i benestar

La classificació de MA adopta una definició ampla del concepte de benestar (*well-being*), el qual inclou les llibertats personals, les bones relacions socials i la salut física (MA 2005). Payne et al. (1998) i Mowen et al. (2007) mostren que l'ús dels parcs urbans comporta una millora de la salut percebuda en gent gran, alts nivells d'activitat física i facilitat de relaxació. Tot i que aquests estudis estan també controlats per factors socio-econòmics, aquestes tendències d'un *lifestyle* diferent, més sà i proper a la natura, estan molt marcades en les comunitats que viuen prop d'una zona verda. Per tant, molts sociòlegs i urbanistes consideren els parcs i les zones verdes en general com elements terapèutics del paisatge urbà, gràcies als beneficis que aporten al nivell individual i per la comunitat: el benestar que pot ser sinònim a la salut mental i física o als beneficis socials, culturals i econòmics (Fuller et. Gaston 2009, Wang et al. 2015; per el concepte de healing gardens, veure <http://www.healinglandscapes.org/gardens/> o el programa d'horts urbans al portal d'Espais verds si biodiversitat de l'Ajuntament de Barcelona, <http://w110.bcn.cat/portal/site/MediAmbient>).

Zones verdes i longevitat

Viure en àrees urbanes amb espais verds accessibles i propers influeix sobre la longevitat de les persones grans, independentment de l'edat, gènere, i estat civil o socio-econòmic. Aquestes dades, del estudi del Takano et al. (2012), indiquen la necessitat de millorar l'accessibilitat i la proximitat de les zones verdes, com punts clau de la planificació urbana.

Els estudis que relacionen la salut amb els factors ambientals (les característiques de la infraestructura verda) són cada vegada més acceptats per la epidemiologia i es basen en alguns estudis clau dels de la dècada dels 80 (Ulrich, 1984) i els 90 (Diez-Roux et al. 1997). Molts d'aquest treballs exploren aquests conceptes a través d'una aproximació multinivell (social, econòmic i ambiental). L'estudi de Bird (2004) calcula les reduccions en despeses sanitàries degudes a una disminució d'ingresos hospitalaris associats a l'increment de l'activitat física en les zones verdes.

Estudis recents esmenen les complexes relacions entre la quantitat dels espais verds, benestar i salut (de Vries et al. 2003, Maas et al. 2006, Takano et al. 2012, Carrus et al. 2015). La infraestructura verda millora la qualitat de l'aire i redueix l'efecte illa de calor de les ciutats (Whitford et al. 2001), i ofereix més possibilitats de passar més temps a l'aire lliure o de ser físicament més actiu. Cada vegada els estudis mostren més evidències de la importància dels espais verds per el *neighbourhood walking* i la activitat física (Humpel et al. 2002).

Els espais verds a l'escola

Últimament, estudis de psicologia infantil aporten evidències significatives del paper dels espais verds en l'educació dels hàbits dels infants (Andersen et al. 2015). Les zones verdes potencien l'activitat física i els jocs que promouen la mobilitat dels nens. En canvi, les superfícies construïdes (grises) potencien les activitats sedentàries.

No obstant, aquests beneficis es poden manifestar només si els espais verds poden ser raonablement **accessibles** per als residents de la zona. Treballs recents identifiquen l'**accessibilitat als parcs** com el factor més important en la decisió de la població d'utilitzar la zona verda (Wang et al. 2015). Les barreres o qualsevol restricció en la mobilitat dels nens, per exemple, dificulten la seva percepció del medi com una font d'activitats (Kytä 2003). Una barrera es pot entendre també com com una

distància llarga o un camí poc accessible, o una disminució de la qualitat i la quantitat de zones verdes a prop de casa. Tots aquests factors són un problema no només per als nens, sinó també per a persones grans o amb discapacitat. En aquest sentit, el concepte de zona verda “*environmentally friendly*” per diversos segments de la població ha de guanyar pes en els treballs de planificació i gestió dels espais verds i ha d’incloure el tractament de l’accessibilitat. Finalment, per tal de millorar les estratègies de salut pública de tota la població i la gestió de verd urbà, és de gran interès saber quines àrees verdes són els més accessibles i com millorar l’accessibilitat, la seva estructura i la connectivitat amb altres àrees.

C.1. L’accessibilitat a la infraestructura verda

L’accessibilitat és un concepte complex, i es refereix a la facilitat d’arribar a un lloc. La nostra aproximació es centra en l’accessibilitat geogràfica (variables espacials: la distància euclídea), i no inclou l’accessibilitat *percebuda* (socio-cultural, com: les barreres culturals, de gènere, el comportament humà o altres barreres socio-econòmiques estudiades dins del camp de l’anomenada “justícia ambiental” (Sister et al. 2010).

Estudis recents esmenten que la proximitat als parcs és la variable més important entre les dimensions geogràfiques de l’accessibilitat a la infraestructura verda. Aquest factor té més rellevància per als segments de la població amb *menys mobilitat*: els nens, les persones grans o els discapacitats amb problemes locomotors (p.e. persones que es desplacen en cadira de rodes). Per aquest segment de la població urbana, el nostre estudi considera d’especial interès el primer mapa de l’accessibilitat a les zones verdes a una distància d’1 km (equivalent al “*neighbourhood walking*”).

Arribo en 5 minuts!

Una de les persones més influents en l’enjardinament de Barcelona va ser l’arquitecte i paisatgista Rubió i Tudurí. Ell considerava que calien jardins de barri per arribar als quals els veïns només haguessin de caminar cinc minuts, com també jardins més grans, com ara la Ciutadella (1888) o el Turó Parc (1933), que va dissenyar ell mateix.

En canvi, l'enfocament de l'accessibilitat a les zones verdes a una distància de 5 km és un indicador per passejades més llargues, el ciclisme, turisme i altres activitats físiques.

L'importància de la mida de les zones verdes: grans boscos peri urbans i molts parcs urbans petits

Un llibre pioner de l'urbanisme, *The Social Life of Small Urban Spaces* (Whyte, 1980) explora els punts dèbils i els punts forts dels espais públics de Nova York. Aquest treball clàssic reclama la necessitat dels espais verds com a punts de trobada en zones urbanes molt denses. Destaca la importància dels anomenants, més tard, *pocket parks* (mini-parcs) al costat de casa, de les escoles i dels llocs de treball.

Una oportunitat per crear aquests parcs són els sòls no edificats (els solars) i altres zones oblidades de les ciutats. Tot i que les funcions ecològiques d'aquest mini-parcs són més limitades, ofereixen una bona oportunitat d'augmentar la quantitat de superfícies permeables en la ciutat i incrementar la biodiversitat urbana (sobre tot, en el cas dels ocells).

Els índexs d'accessibilitat a la infraestructura verda

El mapa de la infraestructura verda esmentat prèviament ha servit de base per al desenvolupament de diversos índexs d'accessibilitat que tenen en compte diverses mesures de la distància a aquesta infraestructura verda. Un primer índex valora l'accés potencial a cada punt de la infraestructura verda per part de la població que es troba dins d'un radi d'influència d'aquest punt (en línia recta). El càlcul es duu a terme amb la fórmula següent:

$$A = \sum D * e^{-kd}$$

On D correspon a la densitat de població per a cada punt del territori dins del radi d'influència seleccionat, i d a la distància euclidiana a la que es troba del punt de la infraestructura verda analitzat. El paràmetre k és una constant que depèn del radi d'influència analitzat i que fa que l'accessibilitat sigui molt propera a zero en el límit

d'aquest radi d'influència. Com ja s'ha introduït abans, s'han analitzat dos radis: 1 km, que vol representar una distància màxima recorreguda a peu, i 5 km, que corresponen a una distància mitjana en bicicleta o transport públic. Els valors de k per a aquestes distàncies han estat de 0.00460517 i 0.000921034, respectivament, i fan que els valors de l'exponencial siguin molt propers a zero i per tant que l'accessibilitat sigui nul·la.

El càlcul de l'índex s'ha dut a terme mitjançant el SIG MiraMon, fent servir una malla de punts distribuïts regularment cada 250 m per tota l'AMB i els seus voltants. Per a cada punt s'ha creat un ràster de les distàncies euclidianes a aquell, amb un píxel de 25 m de costat i que cobria un radi de 1.000 o 5.000 m al voltant del punt de càlcul, segons el cas. A partir d'aquest ràster se n'ha obtingut un de nou amb l'exponencial negativa de les distàncies multiplicades per k . Aquest nou ràster s'ha multiplicat per un altre de mida i resolució equivalent amb els valors de densitat de població extrets de les seccions censals del INE. Llavors s'ha obtingut l'accessibilitat (A) a cada punt de càlcul, calculada com el valor mitjà d'aquest ràster final. Per últim s'ha dut a terme un procés d'interpolació per l'invers de la distància per tal d'obtenir un ràster continu (també de 25 m de mida de píxel) a partir dels valors aïllats dels punts de càlcul.

Les dades d'aquests dos índexs d'accessibilitat, per a *buffers* d'1 i de 5 km respectivament, s'han representat de dues maneres complementàries. En primer lloc només per als píxels de la infraestructura verda, per tal de proporcionar un mapa de valors continus. En segon lloc s'han representat, també, els valors mitjans de l'índex per a cada polígon de la infraestructura verda (Mapes 9, 10).

També s'ha posat a punt dos índexs més que mesuren l'accessibilitat a la infraestructura verda *a través de la xarxa de carreteres, carrers i camins*. En primer lloc s'han seleccionat els espais superiors a 5 ha de la infraestructura verda i s'ha generat una capa regular de punts a les seves vores (considerant una vora de 250 m de cada espai) assegurant almenys un punt per espai. A partir de la xarxa de carreteres i camins de l'AMB s'han fet *buffers* d'un km (considerant que aquesta és la distància que es recorre en 15 minuts a peu i considerant, també, que utilitzant la xarxa de carreteres i camins ja s'està considerant implícitament el factor pendent). Aquests *buffers* s'han creuat amb una capa de població obtinguda a partir de les seccions

censals de 2011. S'ha assignat la població a les cobertes residencials del mapa de cobertes del sòl de Catalunya, aplicant un factor de 4 vegades més densitat de població a les zones residencials compactes que a les zones disperses o de baixa densitat.

S'ha obtingut llavors un primer índex d'accessibilitat pels punts de la vora dels espais de la infraestructura verda de més de 5 ha, combinant aquests punts amb el mapa de cobertes que conté les dades de població.

Posteriorment s'ha obtingut un índex de la població mitjana que té accés als espais de la infraestructura verda de més de 5 ha, fent servir les dades dels punts. A tal efecte s'ha fet la mitjana dels valors de població dels punts que queien a les vores de cada espai de la infraestructura verda.

3. Resultats

3.1. Caracterització de la Infraestructura Verda

L'AMB compta amb 32 categories ecològiques (Mapa 1, **Taula I**). Les categories més extenses són les categories construïdes (17.288,4 ha), els boscos de coníferes (12.699,6 ha) i els matollars (9.097,3 ha). Les categories ecològiques que ocupen superfícies reduïdes, de menys de 50 ha, són: els caducifolis i els masses de aigua artificials .

Les categories urbanes (les construïdes i les infraestructures) representen un 32.7 % del territori de l'AMB. Les zones més urbanitzades (amb una alta freqüència de categories preponderantment construïdes) es troben a la ciutat de Barcelona, però també a la primera corona metropolitana i en tota la costa de l'AMB.

La infraestructura verda ocupa un 59.1% del territori i la infraestructura blava (que correspon als rius, estanys naturals, lleres naturals, penya-segats, platges, i no té en compte el mar), un 0.84% (543,8 ha). La infraestructura verda (la vegetació de dunes i de ribera) que normalment acompanya la infraestructura blava, representa unes 1.029 ha.

La infraestructura verda (reclassificada del mapa ecològic) ocupa unes 37.852 ha, 59.1% del territori de l'AMB (Mapa2, **Taula 6**). Des del punt de vista territorial, la part central de l'AMB (boscos) i la part oest (matollars i conreus) és la que concentra la major part d'aquesta infraestructura verda. Les categories amb més superfície són els boscos i els matollars, cobertes que corresponen al verd natural. En canvi, els conreus predominen a les planes, i especialment a la vall baixa i al delta del Llobregat. A la ciutat de Barcelona destaca la presència dels parc urbans (1.882,7 ha). Les altres infraestructures verdes (que corresponen a les altres zones verdes, camps de golf, terrenys d'esport i càmpings) estan escampades per tot el territori i són pròpies de les àrees urbanes principals.

Taula 6. La infraestructura verda de l'AMB

Infraestructura verda	Superfície (ha)
Verd natural: boscos i matollars	26.019,4
Verd urbà: parcs urbans	1.883,0
Altres infraestructures verdes: altres zones verdes, camps de golf, terrenys d'esport, càmpings, horta familiar, vegetació de dunes	4.859,6
Conreus (llenyosos i herbacis)	5.090,0

3.2. Serveis de suport: Biodiversitat

Tal com ja es va comentar en un treball previ (Pino & Basnou 2013), l'índex de valor de la biodiversitat associat a la infraestructura verda mostra una concentració dels valors més elevats a les zones humides del delta del Llobregat, on hi coincideixen hàbitats d'interès comunitari, hàbitats d'elevat valor intrínsec i corològic, i espècies i comunitats de plantes i d'ocells amb un elevat interès de conservació (Mapa 3). També mostren valors relativament elevats els sectors litorals de Collserola, els Massís de Garraf i de la Serra de Marina, dominats pels hàbitats oberts, tant de tipus llenyós (bosquines dominades per espècies diverses com *Arbutus unedo*, *Quercus coccifera*, *Ampelodesmos mauritanica* etc.) com herbaci (prats de *Brachypodium retusum*, *Hyparrhenia hirta* etc.). En alguns d'aquests àmbits com Garraf hi destaca a més el valor de conservació de la comunitat d'ocells, amb abundància de rapinyaires (*Falco pelegrinus*, *Aquila fasciata*) i d'ocells d'espais oberts relativament rars a l'AMB (com la perdiu, *Alectoris rufa*). Els espais més forestals de l'AMB, en canvi, mostren un valor moderat probablement degut al seu caràcter majoritàriament secundari (resultant de l'alteració històrica dels hàbitats primaris) i al fet d'estar dominats per espècies relativament comunes. Els seus valors intrínsecs i corològics, i el valor de conservació de les seves comunitats ornítiques són moderats, i fins i tot inferiors als dels conreus i

erms veïns que ocupem els solells de la serralada litoral. Amb tot, hi destaquen algunes comunitats de plantes higròfiles de tendència eurosiberiana que creixen a les torrenteres més ombrívols de Collserola. Bona part del territori més urbanitzat de l'AMB presenta valors de biodiversitat baixos.

3.3. Serveis de suport: Connectivitat ecològica

Tal com es posava de manifest en un treball previ (Pino & Basnou 2013), bona part de l'AMB, especialment a les àrees més urbanitzades del pla de Barcelona, de les valls del Llobregat i el Besòs i de la plana del Vallès tenen una connectivitat molt baixa com a conseqüència de l'extensió de les àrees urbanitzades i de la proliferació d'infraestructures de transport (Mapa 4). La connectivitat de la infraestructura verda es concentra als principals nodes d'aquesta, als massissos de Garraf, amb valors de l'indicador superiors a 3 Log(ha), equivalents a 1.000 ha, i secundàriament Ordal. En canvi, els massís de Collserola i la serra de Marina mostren valors inferiors (1.8-3), encara que no tant com els dels espais naturals i agraris del delta del Llobregat (0.7-1.8). El patró espacial de connectivitat il·lustra la ja coneguda poca connexió entre les diverses peces de la serralada litoral i l'encara més extrema situació de la connectivitat del delta del Llobregat amb aquesta serralada, fins i tot amb el sector del Garraf.

La connectivitat mitjana de la infraestructura verda de l'AMB és de 1.6 Log(ha) (43 ha) d'hàbitat potencial, quan la connectivitat mitjana de Catalunya amb el mateix índex se situa en 2.65 Log (ha) (440 ha).

3.4. Serveis de regulació: Emmagatzematge de Carboni

La vegetació llenyosa de l'AMB emmagatzema un total de 303.890 t de C. Segons la tipologia de la infraestructura verda, els estocs de C varien entre 0-9.4 t/ha i 140-150 t/ha en alguns punts concrets de la infraestructura verda. Els boscos amb arbres grans són els que emmagatzemen quantitats importants de C (mitjanes de uns 37 i 93 t/ha). Els arbustos de l'AMB (matollars) capten unes mitjanes de 4 - 37.5 t/ha C.

Els valors màxims apareixen als boscos de les obagues i fondals de les serres de Collserola, l'Ordal i Marina, mentre que els mínims es concentren als solells de la serralada de litoral i a les grans àrees de matollar (Massís de Garraf, Serra de Marina).

Pel que fa als espais naturals protegits de l'AMB, els estocs de C es distribueixen de la següent manera (Mapa 5, Taula 7): els espais naturals de protecció especial que emmagatzemen més estocs de C són el Parc de Collserola (amb un total de 250.854 t de C) i el Parc Natural de Garraf (amb 27.366 t), que són també els espais naturals de protecció especial amb més superfície d'hàbitats llenyosos (Taula 7). Amb tot, també destaquen els espais de Protecció Especial del Pla Territorial Metropolità de la Regió Metropolitana de Barcelona (PTMB) no inclosos a la Xarxa Natura 2000 (7.893 ha, 127.486 t de C) o també els espais de la xarxa Natura 2000 que no formen part dels parcs naturals, com els que hi ha al voltant del Parc Natural de Garraf (Muntanyes de l'Ordal i sectors orientals del Massís del Garraf; 2.765 ha, 63.792 t de C).

Taula 7. Estocs de C als espais naturals protegits de l'AMB

NOM ENP	AREA (ha)	AREA LLENYOSOS (ha)	MITJANA (t/ha)	TOTAL C (t)
AN2000 Delta del Llobregat	398	55	24,1	1.319
Parc Agrari del Baix Llobregat	3.379	144	6,4	925
Parc de Collserola	8.295	7.202	34,8	250.854
Parc de la Serralada de Marina	2.084	1.733	12,5	2.1597
Parc Natural del Garraf	4.088	3.811	7,2	27.366
RRNN Delta Llobregat	502	94	19,4	1.829
Resta de l'AN 2000 de les Serres del Litoral Central (Serres de l'Ordal i Massís del Garraf)	2.765	2.394	26,7	63.792
Resta d'Espais de Protecció Especial (PTMB)	7.893	5.372	23,7	127.486

Els municipis on les espècies llenyoses emmagatzemen més de 70.000 t C són Sant Cugat del Vallès i Cerdanyola del Vallès, seguits per Barcelona, Begues i Cervelló, amb més de 50.000 t C (**Taula III, ANNEX**). Els valors mitjans (t/ha) oscil·len entre 46 t/ha C (Cerdanyola del Vallès) i 4 t/ha C (Sant Adrià de Besòs). El municipi amb menys t de C emmagatzemat és Sant Adrià de Besòs, un dels municipis amb menys superfície d'hàbitats llenyosos (uns 5 ha).

3.5. Regulació hídrica: L'escolament superficial (*runoff*)

La majoria del territori de l'AMB correspon al grup hidrològic 1 (els sòls més permeables, que augmenten la infiltració), seguit pels sòls del grup 4 (els més impermeables) i el grup 3 (sòls amb baixa permeabilitat, amb un escolament superficial elevat). Amb poca superfície dins l'AMB, hi trobem els sòls classificats dins de la categoria 2, que corresponen als sòls amb una permeabilitat moderada.

Els valors de l'escolament superficial depenen principalment de les combinacions entre les cobertes de sòl i els grups hidrològics. L'índex d'escolament mostra valors entre 6 i 20 mm a l'AMB (Mapa 6, Taula 8). Els valors més elevats corresponen a les categories urbanes (construïdes), impermeables (*impervious*), sense o amb poca vegetació natural i es concentren a les zones densament urbanitzades, sobretot a la zona de la costa (infraestructures viàries, ports, aeroports, indústries). Aquestes cobertes ocupen una superfície de 20.808,8 ha de l'AMB. Les categories amb un escolament superficial mitjà són els boscos i els conreus dels sòls menys impermeables (en total, 28.312,5 ha). Les cobertes del verd natural dels sòls permeables (categories hidrològiques 1 i 2) mostren l'índex d'escolament més baix (una mitjana de 6.89 mm), que, per tant, afavoreix l'intercepció d'aigües de pluja. D'aquestes categories, la cobertes amb més capacitat d'intercepció de l'aigua de pluja són els matollars calcaris (Garraf), els conreus dels sòls permeables i la majoria dels parcs urbans (12.412,2 ha) (Taula 8).

Aquests resultats posen de manifest l'estreta relació entre la urbanització i l'augment de l'índex d'escolament superficial, degut al increment de les superfícies impermeables. 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 (i menys infraestructura verda). L'augment de les superfícies impermeables a les zones ripàries, pot afectar seriosament el cicle hidrològic, la qualitat de l'aigua, la flora i la fauna dels ecosistemes aquàtics i portar fins i tot a la seva desaparició. Els parcs urbans i els altres components de la infraestructura verda (com, per exemple, l'arbrat viari) poden reduir de manera considerable les superfícies impermeables urbanes i contribuir a una millora del cicle hidrològic.

Taula 8. L'escolament superficial (*runoff*) de la infraestructura verda i de l'urbà a l'AMB. Com més alt, més aigua es perd per escorrentia i menys aigua de pluja s'intercepta. L'índex es calcula per un esdeveniment de pluja forta (20 mm/5 minuts, Barcelona)

Cobertes	Àrea total (ha)	L'escolament superficial (mitjana; mm)
Matollars, parcs urbans, boscos i conreus, prats i lleres naturals (sols permeables)	12.412,2 ha	6.89
Boscos, conreus (altres sols)	28.312,5 ha	16.65
Urbà (<i>impervious</i>)	20.808,8 ha	19.46

3.6. Regulació hídrica: L'estimació de l'evapotranspiració real

Les zones verdes amb més evapotranspiració corresponen als boscos de caducifolis (en gran part, a Collserola, seguides pels boscos de perennifolis, de pinastre i els matollars. Valors mitjans d'EVP es registren en els cultius llenyosos (fruiters) i els parcs urbans. Els cultius de regadiu evapotranspiren més que els altres cultius, i els cultius herbacis i els prats menys que els cultius llenyosos. Les zones amb una evapotranspiració nul·la, corresponen als espais sense vegetació o amb vegetació herbàcia escassa (espais construïts) (Mapa 7). A l'hivern, els boscos de perennifolis transpiren menys que a l'estiu, en canvi, els caducifolis perden les fulles i no transpiren.

Des del punt de vista geogràfic, les comarques on es registra més EVP estan majoritàriament situades a la primera corona metropolitana (a l'oest i nord-oest metropolità del Baix Llobregat, i la vessant sud del Vallès Occidental, que correspon a la Serra de Collserola). Els espais protegits, com la Serra de Collserola, els matollars del Garraf, les Muntanyes de l'Ordal, el Parc Agrari del Baix Llobregat i la Serra de Marina són els espais verds naturals amb més evapotranspiració. Les zones amb evapotranspiració baixa es concentren al voltant del municipi de Barcelona. En aquest, els valors més alts es registren al vessant sud de la Serra de Collserola i als parcs urbans.

3.7. Regulació de la qualitat de l'aire: La densitat de la superfície foliar

Les zones verdes amb millor capacitat de regular la qualitat de l'aire a l'AMB són els parcs urbans (on predominen els caducifolis) i els espais verds naturals (boscoss en general i especialment els perennifolis) (Mapa 8). Aquestes zones corresponen a una estimació de la densitat de la superfície foliar superior a 10.000 m²/ha. Com la majoria dels boscos de l'AMB estan formats per perennifolis o coníferes, aquesta estima és molt semblant a l'hivern, quan els caducifolis (que incorporen a l'AMB la roureda i la vegetació de ribera, com part del verd natural) perden les fulles. En aquest servei destaca especialment el massís de Collserola, per la seva extensió de boscos, tot i que el massís de l'Ordal també té una gran capacitat de regulació de la qualitat de l'aire. Els matollars (especialment del massís de Garraf i la serra de Marina) tenen menys capacitat de regulació de la qualitat de l'aire que els boscos. No obstant, el potencial de la vegetació llenyosa per millorar la qualitat de l'aire en general és superior al potencial de la vegetació herbàcia (conreus herbacis, prats, altra vegetació herbàcia). Cal tenir present, en tot cas, que els hàbitats amb més capacitat de regulació es troben especialment concentrats en àrees allunyades de les principals fonts d'emissió on la demanda d'aquest servei és, per tant, baixa.

Les zones amb menys potencial de regular la qualitat de l'aire són zones amb poca vegetació (amb les estimacions de densitat de superfície foliar més baixes, situades aproximadament entre 0 - 400 m²/ha). Aquestes zones corresponen a les zones densament construïdes i la infraestructura de transport associada. Per tant, bona part d'elles són zones amb un important volum de trànsit, considerades de protecció especial i amb pitjor qualitat de l'aire (Barcelonès, Baix Llobregat o Maresme). En definitiva, les àrees amb menys servei de regulació es corresponen amb les de més demanda d'aquest.

3.8. Serveis recreatius: L'accessibilitat veïnal/proximitat (1 km)

Les infraestructures verdes més accessibles, més properes, són els parcs urbans (Mapa 9). En funció de la quantitat de persones que accedeixen a aquest parcs, els parcs de Barcelona són els més accessibles per la població. Destaquen alguns espais

verds petits dels barris de l'Eixample, de Gràcia o de Sarrià. Això significa que la majoria de la població d'aquestes zones pot accedir caminant en menys de 10 minuts a una d'aquestes petites zones verdes. Aquestes zones verdes urbanes tenen per tant més pressió, ja que estan situades en àrees amb una densitat de població elevada (amb una mitjana de més de 100 habitants/km²), en una matriu urbanitzada extensa i densa (segons les dades de les cobertes urbanes del MCSC 2009 i de les seccions censals de l'IDECAT, 2011). A aquesta distància, hi ha alguns parc urbans menys accessibles (com Montjuïc). En canvi, els principals espais naturals i seminaturals de la infraestructura verda de l'AMB tenen una accessibilitat menor a aquesta escala, a causa de la menor proximitat als principals nuclis urbans. Amb tot, destaquen diverses peces del flanc sud de la serralada Litoral, especialment al voltant de les àrees més poblades (samontà de l'Ordal, flanc sud i est de Collserola, estret de Montcada, oest de la serra de Marina), i la vall baixa del Llobregat. Per contra, bona part de les àrees agrícoles (especialment al Parc Agrari del Baix Llobregat) són poc accessibles a aquesta escala local.

Això suposa que els parcs urbans han de ser propers a la major part de la població, suficients i ben distribuïts com per aportar els seus serveis recreatius, sobretot a les zones amb una població molt densa.

3.9. Serveis recreatius: L'accessibilitat a mitja distància (5 km)

Per una distància de 5 km (en bicicleta o corresponent a passejades llargues), l'accessibilitat de la població a les zones verdes millora (Mapa 10). Millora especialment l'accessibilitat dels grans espais naturals relativament propers als principals nuclis urbans (Collserola en general i els espais agraris del Baix Llobregat). També millora l'accessibilitat de tots els parc urbans. Segueixen essent poc accessibles els espais verds frontera dels límits de l'AMB (especialment els matollars del massís de Garraf i els boscos i matollars de l'Ordal).

3.10. Serveis recreatius: L'accessibilitat per la xarxa viària, carrers i camins

El model d'accessibilitat obtingut incorporant la mobilitat de la població per la xarxa de transport (carreteres, carrers i camins) en 15 minuts (Mapa 11) segueix a grans trets els resultats obtinguts en el model anterior. Els parcs urbans segueixen essent els més accessibles, però també ho són els grans espais de verd natural i seminatural més propers als principals nuclis urbans (Barcelona i primera corona metropolitana). Segueixen essent poc accessibles, en canvi, bona part dels sectors del Garraf i l'Ordal, del centre i nord de Collserola i del nord de la serra de Marina. L'anàlisi de l'accessibilitat als límits de la infraestructura verda (Mapa 12) recalca l'important paper dels principals parcs urbans de les grans ciutats de l'AMB, però també la importància dels espais de frontera entre la ciutat i el verd natural i dels grans parcs metropolitans a tot el flanc sud de la serra Litoral.

4. Discussió

Aquest treball mostra una primera diagnosi dels serveis ecosistèmics de la infraestructura verda a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. L'estudi identifica i cartografia un conjunt de serveis ecosistèmics prenent com a base la infraestructura verda del territori. Desenvolupa metodologies pròpies per al càlcul i la cartografia dels indicadors en àrees urbanes i peri-urbanes, tot incorporant també la informació disponible en treballs previs (Chaparro & Terradas 2009, Pla & Pascual 2012, Pino & Basnou 2013, Baró et al. 2013). El treball mostra una aproximació quantitativa i de detall que està en línia amb els document oficials de la Comissió Europea (EC 2011, 2012), i amb altres plans estratègics a escala local de Barcelona (especialment amb les línies 2 i 7 del Pla del Verd i de la Biodiversitat de Barcelona 2020 (2013).

Aquesta proposta de serveis ecosistèmics es representativa de tres tipologies bàsiques recollides a la bibliografia (MA 2005, Maes et al. 2014): els serveis de suport (biodiversitat i connectivitat), els de regulació (els estocs de C, regulació hídrica) i els de benestar i recreació (accessibilitat als espais verds). D'altra banda, la proposta final d'indicadors ha estat molt condicionada per la disponibilitat d'informació. Així doncs, un dels objectius del treball ha estat prioritzar la qualitat (és a dir mesures quantitatives, basades en dades cartogràfiques recents, homogènies i detallades per al conjunt de l'AMB) enfront de la quantitat d'indicadors.

El treball aporta també una nova perspectiva sobre la infraestructura verda de l'AMB, que inclou una anàlisi de la seva extensió i tipologia, però també dels serveis ecosistèmics associats. La infraestructura verda a l'AMB ocupa més de la meitat de la superfície d'aquest territori (uns 60%). Aquests valors són relativament moderats tot i que semblants als d'altres ciutats d'Europa. Helsinki compta amb espais verds en un 64% de la seva superfície (Tyrväinen et al. 2007), però menors que a l'Àrea Metropolitana de Bilbao, per exemple (la seva Anella Verda ocupa un 73% de la seva superfície; <http://www.bizkaia.net>). Amb tot, una part important de la infraestructura de l'AMB és constituïda per verd natural (bosc i matollars, però també altres hàbitats) amb un valor de biodiversitat encara notable en alguns sectors adjacents a la primera corona metropolitana (serralada Litoral, delta del Llobregat, conreus de la

plana del Vallès, etc.). No obstant, la intensitat i la magnitud dels canvis els últims 50 anys a l'AMB (Pino & Basnou 2014), amb una forta urbanització i una pèrdua notable de conreus, pastures i altres hàbitats oberts, han afectat notablement la conservació de la biodiversitat i la connectivitat ecològica d'aquest territori. La urbanització progressiva de les zones baixes ha comportat una disminució de la connectivitat (al pla de Barcelona, les valls del Llobregat i el Besòs i la plana del Vallès, però també als espais naturals i agraris del delta del Llobregat) que ha afectat a la continuïtat funcional de la infraestructura verda. Així, actualment hi ha *hot spots* de biodiversitat, com ara el delta del Llobregat, o el massís de Collserola, força desconnectats de la resta de la infraestructura verda (Pino & Basnou 2014). Això afecta notablement els serveis de suport associats.

L'estudi és, a més, un dels primers a aportar cartografia de detall sobre alguns serveis de regulació clau de la infraestructura verda de l'AMB, com ara els estocs de carboni i la capacitat de regulació hídrica. S'han desenvolupat models dels estocs de C de la vegetació llenyosa, combinant dades de teledetecció (LiDAR) i de camp (mostrejos recents), que són els més acurats en termes de precisió espacial i de càlcul disponibles per a l'AMB. En treballs precedents (Pino 2007) s'havien fet unes primeres estimacions dels estocs de C de la província de Barcelona, obtingudes a partir de la modelització de dades dels inventaris forestals, però la seva precisió era notablement menor. Aquestes dades permeten constatar la importància dels boscos de la serralada Prelitoral, i especialment del Parc Natural de la Serra de Collserola, com a embornal de C de l'AMB (amb 250.854 t C enmagatzemat). Però també és de destacar el cas dels matollars del Parc natural de Garraf que, malgrat presentar valors baixos de C per ha (7 t/ha), acumulen 27.366 t a l'AMB a causa de la seva extensió.

L'aproximació a la regulació hídrica ha estat tot un repte, degut a l'escassa informació disponible per la infraestructura verda de l'AMB, sobretot en el cas de l'evapotranspiració. L'estimació de l'escolament superficial a través del *Mètode de complexos hidrològics* es una bona opció, sempre i quant el territori disposi de cartografia de cobertes de sòl i de mapes hidrogeològics suficientment detallades. Per a l'AMB, aquest mètode s'ha pogut desenvolupar gràcies a l'extensa base cartogràfica disponible a través del projecte SITxell ([www. sitxell. eu](http://www.sitxell.eu)). Els valors obtinguts, en

termes relatius, són comparables amb altres estudis de zones urbanes, que mostren un alt escolament superficial en les superfícies impermeables de les cobertes urbanes, sobretot en zones planes i pendents moderats, de menys de 5 graus (Bilaşco 2008). La capacitat de les cobertes verdes, en sols més permeables, augmenten la capacitat d'infiltració de l'aigua i disminueixen les pèrdues d'aigües per escolament.

La regulació de la qualitat de l'aire per la infraestructura verda en àrees urbanes també es presta a molta controvèrsia. Bona part dels estudis previs (Escobedo & Nowak 2009, Tallis et al. 2011, Liu et al. 2012) han fet servir el mètode i-Tree del UFORE (Nowak et al. 2006), però aquesta opció és condicionada per la disponibilitat de dades de camp sobre les cobertes verdes i els valors horaris dels principals contaminants. El nostre estudi proposa la densitat de la superfície foliar (LAI) com a *proxy* de la capacitat de regulació de la qualitat de l'aire. No obstant això, aquesta aproximació es pot millorar a partir de models de biovolum precisos, incorporant a la cartografia dades LiDAR. La disponibilitat de valors mensuals dels contaminants o de models cartogràfics de la distribució d'aquests permetria, al seu torn, completar aquests models de capacitat (per tant *potencials*) amb models de la contribució real de la infraestructura verda a la reducció dels contaminants. Només per aquest estudi, seria necessari però un treball per si sol, probablement acompanyat de mostres de camp.

En tot cas, els resultats destaquen la capacitat potencial de retenció de contaminants per part dels arbres i arbustos amb fulles grans, de més densitat d'àrea foliar, i especialment dels caducifolis i perennifolis. Destaquen per tant els parcs urbans, però també les formacions forestals mediterrànies més madures, com ara els alzinars litorals, en la millora potencial de la qualitat de l'aire.

Com una primera diagnosi dels serveis recreatius, el CREAM i BR han desenvolupat un conjunt d'índexs d'accessibilitat geogràfica a la infraestructura verda. Cal tenir present que modelitzar la demanda d'aquests usos és extremadament complicat i precisa d'estudis de preferències i hàbits personals que cal plantejar amb detall. L'accessibilitat geogràfica assumeix un comportament neutre que pot tenir sentit considerant el conjunt dels usuaris. L'accessibilitat s'ha treballat des de 3

vessants: la proximitat a 1 km (caminant), la proximitat a 5 km (en bicicleta o per passejades més llargues) i la proximitat a les vores de la infraestructura verda des de la xarxa viària, carrers i camins i considerant un temps de viatge fix (15 min). En tots els casos s'ha tingut en compte la població (obtinguda dels cens i de la seva distribució en seccions censals) que té accés a la taca verda com a *proxy* dels usuaris potencials. Els parcs urbans de Barcelona són la infraestructura verda més accessible per a la població a una escala més local (1km). En canvi, els espais verds relativament propers a altres nuclis urbans, tenen pitjor accessibilitat a aquesta distància. Amb tot, cal esmentar l'esforç de l'AMB per a la millora de la xarxa de parcs metropolitans al contacte amb la serralada litoral (parcs de la Muntanyeta de Sant Boi i Castelldefels, parc del Mil·leni de Gavà) i a les platges i altres zones del litoral (parc de les dunes de Gavà, parc del Besòs, etc.). Als nuclis urbans importants de les àrees amb alta densitat de població (com el Vallès Occidental o el Baix Llobregat), una opció per millorar l'accessibilitat seria incrementar la densitat dels parcs urbans o convertir les zones en desús en *pocket parks*, infraestructura verda urbana molt utilitzada en altres països europeus com Dinamarca (Konijnendijk et al. 2005, Surma et al. 2013).

Els espais verds més accessibles en bicicleta o a través de passejades llargues són Collserola i els espais agraris del Baix Llobregat. Finalment, els punts del territori on es pot arribar més ràpidament i amb més població són les vores de Collserola. Aquesta aproximació a l'accessibilitat geogràfica (és a dir, basada en les distàncies) es pot completar en el futur amb dades de mobilitat de la població (creant un índex d'atractivitat) i amb un índex d'accessibilitat *percebuda* per la població (Wang et al. 2015). Una altra opció es estratificar la població segons l'edat, o simplement considerant les percepcions dels nens i de la gent gran. Aquestes dades es poden desenvolupar i analitzar a través de xarxes de participació ciutadana, actualment molt fomentades dins del marketing social i les polítiques urbanes a Barcelona (<http://governobert.bcn.cat>) i arreu d'Europa (<http://www.citi-sense.eu/>).

Un darrer punt important a discutir és si la infraestructura verda de l'AMB és prou multifuncional en termes de provisió de serveis ecosistèmics. Aquesta multifuncionalitat és reclamada per la pròpia Unió Europea en la seva Estratègia 2020 (EC 2011) i, alhora, imbuïx el discurs sobre la provisió de serveis ecosistèmics a escala

municipal i local (tal com trobem en projectes recents com GREENINFRANET, OPENESS i URBES, i al propi SITxell de la Diputació de Barcelona). L'estudi realitzat a l'AMB suggereix en canvi que cal potenciar més la *complementarietat* que la multifuncionalitat de les peces que conformen la infraestructura verda a escala local. L'AMB proporciona un clar exemple de complementarietat entre els serveis de suport i regulació proporcionats bàsicament pel verd natural i els de lleure i regulació centrats en el verd urbà i periurbà. Alhora, però, destaca la complexitat de les àrees de frontera entre la ciutat i els espais naturals, que per llur proximitat a la població concentren la demanda de serveis ecosistèmics culturals, recreatius i de regulació local (qualitat de l'aire) i alhora segueixen oferint serveis de suport bàsics. En són clars exemples tots els espais naturals protegits de l'AMB.

Avaluar la contribució de cada punt del territori en termes de serveis ecosistèmics no és una tasca senzilla. En primer lloc caldrà completar la bateria d'indicadors per tal que els principals serveis identificats a la bibliografia siguin prou representats. Després caldrà valorar la seva importància relativa per tal de tenir-la en compte en eventuais avaluacions multicriteri (Haase et al. 2014). La valoració dels diversos serveis per a la població urbana és de nou complexa (Enqvist et al. 2014), i caldrà involucrar-hi la població local a través de processos participatius. L'anomenat GIS participatiu (*Participatory GIS*) es una bona eina per promoure la participació ciutadana, identificar els hot pots dels serveis ecosistèmics i per validar els mapes dels serveis recreatius (com per exemple, esmenten Casado-Arzuaga et al. 2013 pel Cinturó Verd de Bilbao).

Conclusions generals

Malgrat la creixent bibliografia sobre els serveis ecosistèmics, encara manquen reptes per integrar estructuralment aquests serveis en la planificació, gestió i disseny del paisatge, sobre tot a nivell local. En tot cas, cal concloure que l'AMB compta amb una bona provisió de serveis ecosistèmics per part d'una infraestructura verda prou extensa i diversa. Aquesta infraestructura verda ofereix una gran diversitat de tipologies que són alhora complementàries i multifuncionals en la provisió dels serveis ecosistèmics, especialment al contacte entre les àrees urbanes i els espais naturals. S'observa, tanmateix, una clara dicotomia territorial entre serveis. Els *hot-spots* del serveis ecosistèmics de suport i regulació es troben als grans espais naturals i seminaturals (massís de Collserola i de Garraf, serra de Marina) i en d'altres de molt localitzats i particulars (delta del Llobregat). En canvi, els *hot-spots* del serveis de regulació local (qualitat de l'aire) i els recreatius en termes d'accessibilitat propera es concentren en àrees de més demanda. Alguns espais intermedis de tipologia diferent (parc agrari del Baix Llobregat) poden constituir *hot-spots* importants de provisió (menjar; no valorats en aquests estudi), però també de suport (biodiversitat).

Finalment, cal tenir present que la multifuncionalitat de la infraestructura verda de l'AMB s'ha de valorar amb cautela, perquè és dependent de l'escala. A escala local (verd urbà), el segrest de C té menys importància que a escala metropolitana o provincial, atès que és un servei vinculat especialment a les grans àrees naturals i seminaturals. En canvi, la millora de la qualitat de l'aire és un servei ecosistèmic important, a diverses escales. La regulació hídrica en general és un servei important a escala metropolitana, mentre que l'escolament superficial i la superfície impermeable urbana (com cold-spot) són segments d'un servei ecosistèmic important a nivell local (certes cobertes, ciutats o municipis). L'accessibilitat propera guanya pes a nivell de verd urbà (els parcs urbans són un hot-spot dels serveis recreatius a escala local), però a escala metropolitana, la infraestructura verda amb una major demanda correspon als grans espais naturals o alguns espais agraris.

Volem concloure amb una síntesi d'algunes possibles estratègies de millora dels serveis ecosistèmics a l'AMB (Fig. 6), sempre i quan els *hot-spots* o els *cold-spots* es valorin en funció de la seva escala, dels principals motors de canvi i amb la participació

ciutadana (valoració multi-criteri), quant sigui possible. Aquestes inclourien, d'una banda, la millora de l'accés a la infraestructura verda a escala local, especialment a les àrees de més demanda que són les urbanes; de l'altra inclouria un tractament de potenciació i millora de la infraestructura verda a escala regional, potenciant la connectivitat ecològica d'aquesta i el mosaic d'hàbitats que assegura el manteniment de la biodiversitat. Caldrà encara potenciar especialment el tractament de les àrees de frontera (cinturons verds periurbans, parcs metropolitans, etc.) que serveixen de lligam entre les dues escales. En tot cas, la participació ciutadana hauria de ser la base de la presa de decisions sobre la gestió i planificació dels serveis ecosistèmics, ja que un servei només existeix en el moment en que hom el demanda.



Fig. 6. Estratègies de millora dels serveis ecosistèmics a l'AMB. Font: CREAM

Referències

- Agència de Salut Pública (2013). Informe d'avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona. Barcelona
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300, 6541
- Andersen, H. B., Klinker, C. D., Toftager, M., Pawlowski, C. S., & Schipperijn, J. (2015). Objectively measured differences in physical activity in five types of schoolyard area. *Landscape and Urban Planning*, 134: 83-92
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., & Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: The case of urban forests in Barcelona, Spain. *Ambio*, 43(4): 466-479
- Basnou, C., Álvarez, E., Bagaria, G., Guardiola, M., Isern, R., Vicente, P., & Pino, J. (2013). Spatial Patterns of Land Use Changes across a Mediterranean Metropolitan Landscape: Implications for Biodiversity Management. *Environmental management*, 52(4): 971-980
- Bastian, O., Haase, D., Grunewald, K. (2012). Ecosystem properties, potentials and services—the EPPS conceptual framework and an urban application example. *Ecological Indicators* 21: 7-16.
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P., Taylor, G. (1998). Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 99: 347–360
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G. (2000). Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global Change Biology* 6 (8): 995-1003
- Bellot, J. & Chirino, E. (2013). Hydrobal: An eco-hydrological modelling approach for assessing water balances in different vegetation types in semi-arid areas. *Ecological Modelling*, 266: 30-41
- Bellot, J., Bonet, A., Sanchez, J. R., & Chirino, E. (2001). Likely effects of land use changes on the runoff and aquifer recharge in a semiarid landscape using a hydrological model. *Landscape and Urban Planning*, 55(1): 41-53
- Bellot, J., Sanchez, J. R., Chirino, E., Hernandez, N., Abdelli, F., & Martinez, J. M. (1999). Effect of different vegetation type cover on the soil water balance in semi-arid areas of south eastern Spain. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24(4): 353-357
- Bernatzky, A. (1983). The effects of trees on the urban climate. *Trees in the 21st Century*. Academic Publishers, Berkhamster: 59-76

Bilaşco, Şt. (2008). Implementarea GIS în modelarea viiturilor de versant. Ed. Casa Cartii de Stiinta, Cluj-Napoca

Bird, W. (2004). Natural Fit. Can green space and biodiversity increase levels of physical activity? R. Soc. Protect. Birds

Burriel Moreno, J.A., Ibàñez Martí, J.J & Terradas Serra, J. (2006). El mapa ecológico de Barcelona: los cambios de la ciudad en la últimas tres décadas. Cuadernos Geográficos, 39: 167-184, Universidad de Granada

Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401): 59-67

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

Carrus, G., Scopelliti, M., Laforzezza, R., Colangelo, G., Ferrini, F., Salbitano, F., ... & Sanesi, G. (2015). Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas. *Landscape and Urban Planning*, 134: 221-228

Costanza, R. et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260

Cristóbal, J., Pons, X., Ninyerola, M. (2005). Modelling Actual Evapotranspiration in Catalonia (Spain) by means of Remote Sensing and Geographical Information Systems, *Göttinger Geographische Abhandlungen*, 113: 144-150

Cronshey, R. (1986). Urban hydrology for small watersheds. US Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division

De Vries, S., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., & Spreeuwenberg, P. (2003). Natural environments-healthy environments? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health. *Environment and planning*, 35(10): 1717-1732

Diez-Roux, A. V., Nieto, F. J., Muntaner, C., Tyroler, H. A., Comstock, G. W., Shahar, E., ... & Szklo, M. (1997). Neighborhood environments and coronary heart disease: a multilevel analysis. *American Journal of Epidemiology*, 146: 48-63

Enqvist, J., Tengö, M., & Bodin, Ö. (2014). Citizen networks in the Garden City: Protecting urban ecosystems in rapid urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 130: 24-35

Escobedo, F. J., & Nowak, D. J. (2009). Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and Urban Planning*, 90(3): 102-110

European Commission & Ambiente Italia (2003). European Common Indicators. Final Project report. Milano http://ec.europa.eu/environment/urban/common_indicators.htm

European Commission (2006). Thematic Strategy on the Urban Environment. COM/2005/0718 final

European Commission (2010). Making our cities attractive and sustainable. How the EU contributes to improving the urban environment. Luxembourg

European Commission (2011). Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020. COM(2011) 244. Brussels

European Commission (2012). The multifunctionality of Green Infrastructure. Science for Environment Policy – In-depth report on Green Infrastructure

European Community Respiratory Health Survey II Steering Committee (ECRHS II), (2002). The European Community Respiratory Health Survey II. *European Respiratory Journal*, 20(5): 1071-1079

Ferriol, M., Muñoz, S., López, C., Merle, H., Garmendia, A. (2014). Capacidad de retención de polvo contaminante de distintas especies de árboles ornamentales en la ciudad de Valencia XVI CONGRESO NACIONAL DE ARBORICULTURA

Flores, A., Pickett, S. T., Zipperer, W. C., Pouyat, R. V., & Pirani, R. (1998). Adopting a modern ecological view of the metropolitan landscape: the case of a greenspace system for the New York City region. *Landscape and urban planning*, 39(4): 295-308

Fuller, R.A., Gaston, K.G. (2009). The scaling of green space coverage in European cities. *Biology Letters* 5: 352–355

Gobster, P. H. (1995). Perception and use of a metropolitan greenway system for recreation. *Landscape and Urban Planning*, 33(1): 401-413

Haase, D., Larondelle, N., Andersson, E., Artmann, M., Borgström, S., Breuste, J., ... & Elmqvist, T. (2014). A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation. *Ambio*, 43(4): 413-433

Haines-Young, R. & Potschin, M. (2013). CICES V4.3 - Report prepared following consultation on CICES Version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003

Harrison, P. A., Berry, P. M., Simpson, G., Haslett, J. R., Blicharska, M., Bucur, M., ... & Turkelboom, F. (2014). Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem Services*, 9: 191-203

Humpel, N., Owen, N., & Leslie, E. (2002). Environmental factors associated with adults' participation in physical activity: a review. *American journal of preventive medicine*, 22(3): 188-199

IPCC (2007). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), <http://www.ipcc.ch>

- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The changing metabolism of cities. *Journal of industrial ecology*, 11(2): 43-59
- Kim, J. J., Smorodinsky, S., Lipsett, M., Singer, B. C., Hodgson, A. T., & Ostro, B. (2004). Traffic-related air pollution near busy roads: the East Bay Children's Respiratory Health Study. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 170(5): 520-526
- Kong, F., Yin, H., & Nakagoshi, N. (2007). Using GIS and landscape metrics in the hedonic price modeling of the amenity value of urban green space: A case study in Jinan City, China. *Landscape and Urban Planning*, 79(3): 240-252
- Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B., et. al. (2005). *Urban Forests and Trees*. Springer
- Li, F., Wang, R., Paulussen, J., & Liu, X. (2005). Comprehensive concept planning of urban greening based on ecological principles: a case study in Beijing, China. *Landscape and urban planning*, 72(4): 325-336
- Liu, L., Guan, D., Peart, M. R. (2012). The morphological structure of leaves and the dust-retaining capability of afforested plants in urban Guangzhou, South China. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(8): 3440-3449
- Llorens, P. & Domingo, F. (2007). Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 335(1): 37-54
- MA (2005). *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. World Resources Institute. Washington, D.C. (USA)
- Maas, J., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., De Vries, S., & Spreeuwenberg, P. (2006). Green space, urbanity, and health: how strong is the relation?. *Journal of epidemiology and community health*, 60(7): 587-592
- Mace, G.M., Norris, K., Fitter, A.H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution* 27(1): 19-26
- A European Assessment of the Provision of Ecosystem Services: Towards an Atlas of Ecosystem Services
- Maes, J., Paracchini M.L., Zulian G. (2011). *A European Assessment of the Provision of Ecosystem Services: Towards an Atlas of Ecosystem Services*. Luxembourg: Publications Office of the European Union
- Maes, J., Hauck J., Paracchini, M.L. ..., et al. (2012). *A spatial assessment of ecosystem services in Europe: methods, case studies and policy analysis - phase 2. Synthesis report*. PEER Report No 4. Ispra: Partnership for European Environmental Research

Maes, J. et al. (2013). Mapping and Assessment of Ecosystem and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020. Discussion paper. Report – Final April 2013

Maes, J. et al. (2014). Mapping and Assessment of Ecosystem and their Services. Indicators for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. 2nd Report – Final February 2014

Martínez-Harms, M. J., & Balvanera, P. (2012). Methods for mapping ecosystem service supply: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1-2): 17-25

McConnell, R., Berhane, K., Yao, L., Jerrett, M., Lurmann, F., Gilliland, F., ... & Peters, J. (2006). Traffic, susceptibility, and childhood asthma. *Environmental health perspectives*: 766-772

Morancho, A. B. (2003). A hedonic valuation of urban green areas. *Landscape and urban planning*, 66(1): 35-41

Mowen, A., Orsega-Smith, E., Payne, L., Ainsworth, B., & Godbey, G. (2007). The role of park proximity and social support in shaping park visitation, physical activity, and perceived health among older adults. *Journal of physical activity & health*, 4(2): 167

Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* 4: 115–123

Pascual, D., Pla, E., Lopez-Bustins, J.A., Retana, J., Terradas, J. (2014). Impacts of climate change on water resources in the Mediterranean Basin: A case study in Catalonia, Spain. *Hydrological Sciences Journal*, DOI:10.1080/02626667.2014.947290

Pauleit, S., & Duhme, F. (2000). Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. *Landscape and urban planning*, 52(1): 1-20

Payne, L., Orsega-Smith, B., Godbey, G., & Roy, M. (1998). Local parks and the health of older adults. *Parks & Recreation (Ashburn)*, 33(10): 64-70

Pérez, L., Sunyer, J., & Künzli, N. (2009). Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). *Gaceta Sanitaria*, 23(4): 287-294

Pino, J. & Basnou, C. (2014). Anàlisi de les pressions sobre la biodiversitat a l'Àrea Metropolitana de Barcelona i de les seves tendències futures. Informe inèdit. Barcelona Regional

Pino, J. (2007). Primera proposta de bases cartogràfiques, criteris i mètodes per a l'avaluació de l'estat ecològic del bosc a l'àmbit SITxell i de les seves tendències a curt termini. Informe inèdit, Diputació de Barcelona

- Piñol, J., Avila, A., & Escarré, A. (1999). Water balance in catchments. In *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests* (pp. 273-282). Springer Berlin Heidelberg
- Pla del verd i de la biodiversitat de Barcelona 2020 (2013). Medi Ambient i Serveis Urbans, Ajuntament de Barcelona
- Pla d'Energia, Canvi Climàtic i Qualitat de l'Aire (PECQ) 2011-2020 (2011). Ajuntament de Barcelona
- Pla, E. & Pascual, D. (Eds) (2012). *Adaptacions al Canvi Climàtic en l'Ús de l'Aigua. Memòria científica del projecte ACCUA*. Obra Social de CatalunyaCaixa.
- Poudyal, N. C., Hodges, D. G., & Merrett, C. D. (2009). A hedonic analysis of the demand for and benefits of urban recreation parks. *Land Use Policy*, 26(4): 975-983
- Rodà, F., Avila, A., & Bonilla, D. (1990). Precipitation, throughfall, soil solution and streamwater chemistry in a holm-oak (*Quercus ilex*) forest. *Journal of hydrology*, 116(1): 167-183
- Sandström, U. G. (2002). Green infrastructure planning in urban Sweden. *Planning Practice and Research*, 17: 373-385
- Sanesi, G., Gallis, C., & Kasperidus, H. D. (2011). Urban forests and their ecosystem services in relation to human health. In *Forests, Trees and Human Health* (pp. 23-40). Springer Netherlands
- Serrato, F. B., & Díaz, M. A. R. (1998). La cubierta vegetal en las regiones áridas y semiáridas: consecuencias de la interceptación de la lluvia en la protección del suelo y los recursos hídricos. *Norba. Revista de geografía*, (10): 9-22
- Sister, C., Wolch, J., & Wilson, J. (2010). Got green? Addressing environmental justice in park provision. *GeoJournal*, 75(3): 229-248
- Surma, M. (2013). Green Infrastructure Planning as a part of Sustainable Urban Development—case studies of Copenhagen and Wrocław. *Landscape architecture and art* (Latvia)
- Takano, T., Nakamura, K., & Watanabe, M. (2002). Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces. *Journal of epidemiology and community health*, 56(12): 913-918
- Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D., Freer-Smith, P. (2011). Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning* 103 (2): 129-138
- TEEB (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and economic foundation*. Earthscan, Cambridge
- Terradas, J. (2001). *Ecología urbana*. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient
- Tratalos, J., Fuller, R. A., Warren, P. H., Davies, R. G., & Gaston, K. J. (2007). Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and urban planning*, 83(4): 308-317

- Tyrväinen, L., Mäkinen, K., & Schipperijn, J. (2007). Tools for mapping social values of urban woodlands and other green areas. *Landscape and Urban Planning*, 79(1): 5-19
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and urban planning*, 81(3): 167-178
- Ulrich, R. (1984). View through a window may influence recovery. *Science*, 224(4647): 224-225
- Vilà, M., Basnou, C., Pyšek, P., Josefsson, M., Genovesi, P., Gollasch, S., ... & Hulme, P. E. (2009). How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(3): 135-144
- Wang, D., Brown, G., Liu, Y. (2015). The physical and non-physical factors that influence perceived access to urban parks, *Landscape and Urban Planning*, 133: 53–66
- Weng, Q. (2001). Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS. *Environmental management*, 28(6): 737-748
- Whitford, V., Ennos, A. R., & Handley, J. F. (2001). "City form and natural process"—indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, 57(2): 91-103
- Whitlow, T.W., Pataki, D.A., Alberti, M., Pincetl, S., Setälä, H., Cadenasso et al. (2013) Response to authors' reply regarding "Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects" by Nowak et al., *Environmental Pollution*, 191: 258-259
- Whyte, W. H. (1980). *The Social Life of Small Urban Spaces*.

ANNEX: Taules

Taula I. Les zones ecològiques del MEAMB. La infraestructura verda, marcada amb verd

Categories MCSC, nivel 5	Superfície (ha)	Categories ecològiques MEAMB
Abocador d'escombreries	97.7	Abocadors i pedreres
Aeroports	701.3	Infraestructures
Altres habitatges densament construïts	9.4	Construït
Altres zones verdes	816.2	Altres zones verdes
Alzinar	2314.5	Bosc d'esclerofil·les
Aparcament i cotxera	18.9	Construït
Arboçar	213.7	Matollar alt
Autopista i autovia	855.5	Infraestructures
Bassa, estany artificial	8.6	Masses d'aigua artificials
Bedollar	0.1	Bosc de caducifolis
Bosc	8.0	Bosc indeterminat
Bosc clar	275.4	Bosc clar
Caducifolis	31.5	Bosc de caducifolis
Camps de golf	119	Càmpings i golf
Carreteres	506.2	Infraestructures
Casc antic	648	Construït
Cementiri	162.7	Construït
Centre d'ensenyament	1021.2	Construït
Complexos administratius	172.7	Construït
Complexos hotelers	67.4	Conreu herbaci
Conreu herbaci	1174.7	Conreu herbaci en regadiu
Conreu herbaci en regadiu	2335.8	Conreu llenyós (no vinya)
Conreu llenyós (no vinya)	843.5	Conreu llenyós (no vinya) en regadiu
Conreu llenyós (no vinya) en regadiu	583	Càmpings i golf
Càmpings	37.6	Construït
Edifici monumental	62.5	Masses d'aigua artificials
Eixample	7248	Construït
Embassaments	0.8	Masses d'aigua naturals
Estació terrestre o marítima de passatge	16	Prat
Estany natural	85.5	
Franja de protecció (prats)	13.5	
Gran propietat amb edificacions aïllades	269	Construït lax
Gran zona comercial	946.6	Construït
Granges	73	Granges

Habitatge 1-2 famílies amb jardí gran	3418.5	Altres zones verdes
Hivernacle	86.2	Hivernacles
Horta familiar	243	Horta familiar
Hospital	185.8	Construït
Indústria, taller, magatzem	4768	Construït
Infraestructures	346	Infraestructures
Llera natural	60.8	Zones denudades
Matollar	9091.4	Matollar
Moviments de terres	226.3	Zones denudades
Parc, jardí, parterre	1882.7	Parc, jardí, parterre
Penya-segats	1.7	Roques
Pineda de pi blanc	11878.8	Bosc de coníferes
Pineda de pi pinyer	820.8	Bosc de coníferes
Plantacions d'eucalyptus	1.5	Plantació d'arbres
Plantació de coníferes no autòctones	5.4	Plantació d'arbres
Plantació de plàtans i pollancre	48.2	Plantació d'arbres
Platja	170.8	Platja
Prat	2151.5	Prat
Presó	6.4	Construït
Regeneració d'alzina	306	Bosc menut
Regeneració de roure de fulla menuda	4	Bosc menut
Regeneració de roureda de roure martinenc	0.5	Bosc menut
Riu	225	Masses d'aigua naturals
Rompudes agrícoles	7.7	Zones denudades
Roquissar	62.5	Roques
Roureda	17.8	Bosc de caducifolis
Solar sense edificar	32.5	Zones denudades
Sòl nu	382.9	Zones denudades
Sòl nu forestal	32	Zones denudades
Urbanitzacions	1684.1	Construït lax
Vegetació de dunes	52.6	Vegetació de dunes
Vegetació de ribera	976.5	Vegetació de ribera
Via urbana principal	1.7	Construït
Vinya	139.5	Vinya
Vivers	71.9	Vivers
Zona d'extracció minera (pedreres)	423.5	Abocadors i pedreres
Zona esportiva	835.6	Zones esportives
Zona ferroviària	515.7	Infraestructures
Zona marítima municipal	5	Infraestructures
Zona portuària	749.4	Infraestructures

Zones cremades	5.9	Matollar
Zones en transformació	35.2	Zones denudades

Taula II. Reclassificació del MCSC según la tipologia de la infraestructura verda

Categories MCSC, nivel 5	Reclassificació infraestructura verda (Mapa de la infraestructura verda)
Abocador d'escombraries	Altres
Aeroports	Altres
Altres habitatges densament construïts	Altres
Altres zones verdes	Altres infraestructures verdes
Alzinar	Verd natural: Bosc, Matollar
Aparcament i cotxera	Altres
Arboçar	Verd natural: Bosc, Matollar
Autopista i autovia	Altres
Bassa, estany artificial	Altres
Bedollar	Verd natural: Bosc, Matollar
Bosc	Verd natural: Bosc, Matollar
Bosc clar	Verd natural: Bosc, Matollar
Bosc de pinassa	Verd natural: Bosc, Matollar
Bosc de pinastre	Verd natural: Bosc, Matollar
Caducifolis	Verd natural: Bosc, Matollar
Camps de golf	Altres infraestructures verdes
Carreteres	Altres
Casc antic	Altres
Cementiri	Altres
Centre d'ensenyament	Altres
Complexos administratius	Altres
Complexos hotelers	Altres
Conreu herbaci	Parc agrari, Conreus, Grantjes

Conreu herbaci en regadiu	Parc agrari, Conreus, Grantjes
Conreu llenyós (no vinya)	Parc agrari, Conreus, Grantjes
Conreu llenyós (no vinya) en regadiu	Parc agrari, Conreus, Grantjes
Càmpings	Altres infraestructures verdes
Edifici monumental	Altres
Eixample	Altres
Embassaments	Altres
Estació terrestre o marítima de passatge	Altres
Estany natural	Riu, Estany natural, Platja
Franja de protecció (prats)	Altres
Gran propietat amb edificacions aïllades	Altres
Gran zona comercial	Altres
Granges	Parc agrari, Conreus, Grantjes
Habitatge 1-2 famílies amb jardí gran	Altres
Hivernacle	Parc agrari, Conreus, Grantjes
Horta familiar	Parc agrari, Conreus, Grantjes
Hospital	Altres
Indústria, taller, magatzem	Altres
Infraestructures	Altres
Llera natural	Altres
Matollar	Verd natural: Bosc, Matollar
Moviments de terres	Altres
Parc, jardí, parterre	Parcs urbans
Penya-segats	Altres
Pineda de pi blanc	Verd natural: Bosc, Matollar
Pineda de pi pinyer	Verd natural: Bosc, Matollar
Plantacions d'eucalyptus	Altres

Plantació de coníferes no autòctones	Altres
Plantació de plàtans	Altres
Plantació de plàtans i pollancre	Altres
Platja	Riu, Estany natural, Platja
Prat	Altres
Presó	Altres
Regeneració d'alzina	Verd natural: Bosc, Matollar
Regeneració de bedoll	Verd natural: Bosc, Matollar
Regeneració de roure de fulla menuda	Verd natural: Bosc, Matollar
Regeneració de roureda de roure martinenc	Verd natural: Bosc, Matollar
Riu	Riu, Estany natural, Platja
Rompudes agrícoles	Altres
Roquissar	Altres
Roureda	Verd natural: Bosc, Matollar
Solar sense edificar	Altres
Sòl nu	Altres
Sòl nu forestal	Altres
Urbanitzacions	Altres
Vegetació de dunes	Altres infraestructures verdes
Vegetació de ribera	Verd natural: Bosc, Matollar
Via urbana principal	Altres
Vinya	Parc agrari, Conreus, Grantjes
Vivers	Altres
Zona d'extracció minera (pedreres)	Altres
Zona esportiva	Altres infraestructures verdes
Zona ferroviària	Altres
Zona marítima municipal	Altres

Zona portuària	Altres
Zones cremades	Altres
Zones en transformació	Altres

Taula III. Estocs de C pels municipis

Municipi	Area	Area llenyoses	Mitjana	Total C
	(ha)	(ha)	(t/ha)	(t)
Sant Cugat del Vallès	4824	2527	37	92578
Cerdanyola del Vallès	3059	1622	46	74183
Barcelona	10039	1909	29	54507
Begues	5045	4155	12	51267
Cervelló	2411	1760	29	50393
Torrelles de Llobregat	1355	866	37	31875
Molins de Rei	1591	1001	30	29628
Corbera de Llobregat	1844	1091	26	28682
Gavà	3076	1548	17	25718
Sant Climent de Llobregat	1081	773	26	19986
Montcada i Reixac	2344	1024	18	18884
Castellbisbal	3115	1511	12	17905
la Palma de Cervelló	547	397	27	10806
Sant Feliu de Llobregat	1181	515	20	10364
el Papiol	896	450	21	9581
Pallejà	823	450	21	9555
Badalona	2117	762	11	8633
Sant Boi de Llobregat	2148	323	20	6626
Sant Just Desvern	782	378	17	6598
Sant Vicenç dels Horts	915	272	24	6397
Santa Coloma de Cervelló	751	254	21	5403
Castelldefels	1287	350	15	5368
Sant Andreu de la Barca	553	161	29	4680
Viladecans	2039	328	14	4529
Tiana	796	480	8	4031
el Prat de Llobregat	3117	151	20	2963
Santa Coloma de Gramenet	699	236	11	2568
Barberà del Vallès	831	73	22	1586
Montgat	295	82	8	643
Esplugues de Llobregat	460	55	7	404
Ripollet	433	40	5	221
Sant Joan Despí	617	22	5	109
Cornellà de Llobregat	696	15	5	83
l'Hospitalet de Llobregat	1239	11	6	65
Badia del Vallès	94	3	18	52
Sant Adrià de Besòs	378	5	4	21

Taula IV. L'evapotranspiració real: valors i rangs estimats segons els fonts bibliogràfics (Rodà et al.1990, dades alzinars i avetoses Montseny; Piñol et al. 1991, dades alzinars Prades; Bellot et al. 1999, dades coníferes i matollars, Ventós ; Llorens & Domingo 2007) i varis criteris experts

Coberta MCSC	Estima EVT (mm)	Observacions
Abocador d'escombraries	0	sense vegetació
Aeroports	0	sense vegetació
Altres habitatges densament construïts	0	sense vegetació
Aparcament i cotxera	0	sense vegetació
Autopista i autovia	0	sense vegetació
Bassa, estany artificial	0	sense vegetació
Carreteres	0	sense vegetació
Casc antic	0	sense vegetació
Cementiri	0	sense vegetació
Centre d'ensenyament	0	sense vegetació
Complexos administratius	0	sense vegetació
Complexos hotelers	0	sense vegetació
Edifici monumental	0	sense vegetació
Embassaments	0	sense vegetació
Estació terrestre o marítima de passatge	0	sense vegetació
Gran zona comercial	0	sense vegetació
Hivernacle	0	sense vegetació
Hospital	0	sense vegetació
Infraestructures	0	sense vegetació
Indústria, taller, magatzem	0	sense vegetació
Infraestructures	0	sense vegetació
Llera natural	0	sense vegetació
Penya-segats	0	sense vegetació

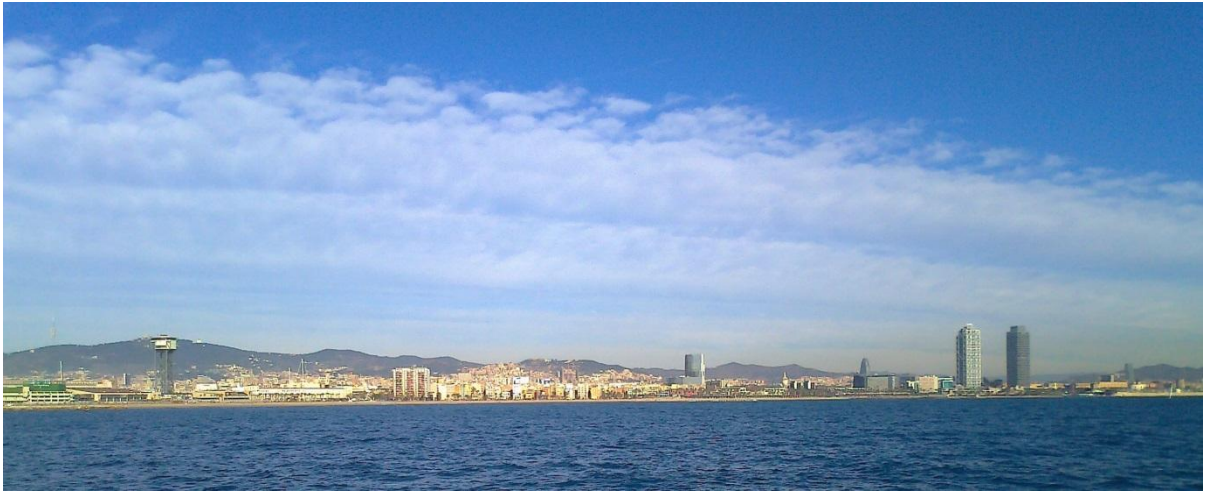
Platja	0	sense vegetació
Presó	0	sense vegetació
Riu	0	sense vegetació
Roquissar	0	sense vegetació
Solar sense edificar	0	sense vegetació
Sòl nu	0	sense vegetació
Sòl nu forestal	0	sense vegetació
Via urbana principal	0	sense vegetació
Zona esportiva	0	sense vegetació
Zona ferroviària	0	sense vegetació
Zona marítima municipal	0	sense vegetació
Zona portuària	0	sense vegetació
Zones cremades	0	sense vegetació
Zones en transformació	0	sense vegetació
Camps de golf	2-10	
Vegetació de dunes	2-10	vegetació xerofítica
Gran propietat amb edificacions aïllades	2-10	
Habitatge 1-2 famílies amb jardí gran	2-10	
Horta familiar	2-10	
Eixample	2-10	
Altres zones verdes	2-10	
Urbanitzacions	2-10	
Vivers	2-10	
Parc, jardí, parterre	15-50	
Conreu herbaci	15-50	
Rompudes agrícoles	15-50	
Conreu herbaci en regadiu	15-50	

Càmpings	15-50
Vinya	15-50
Conreu llenyós (no vinya)	15-50
Conreu llenyós (no vinya) en regadiu	15-50
Bosc de pinassa	76 dades Ventós (Alacant) i Montseny
Bosc de pinastre	76 dades Ventós (Alacant)
Pineda de pi blanc	76 coníferes
Pineda de pi pinyer	76 coníferes
Plantació de coníferes no autòctones	76 coníferes
Arboçar	77-80 matollar
Matollar	77-80 matollar
Regeneració d'alzina	77-80 matollar
Regeneració de bedoll	77-80 matollar
Regeneració de roure de fulla menuda	77-80 matollar
Regeneració de roureda de roure martinenc	77-80 matollar
Bosc clar	77-80
Alzinar	96 dades Prades
Bosc	96 perennifolis; perennifolis amb coníferes;
Plantacions d'eucalyptus	100 caducifolis
Plantació de plàtans	100 caducifolis
Plantació de plàtans i pollancre	100 caducifolis
Vegetació de ribera	100 caducifolis

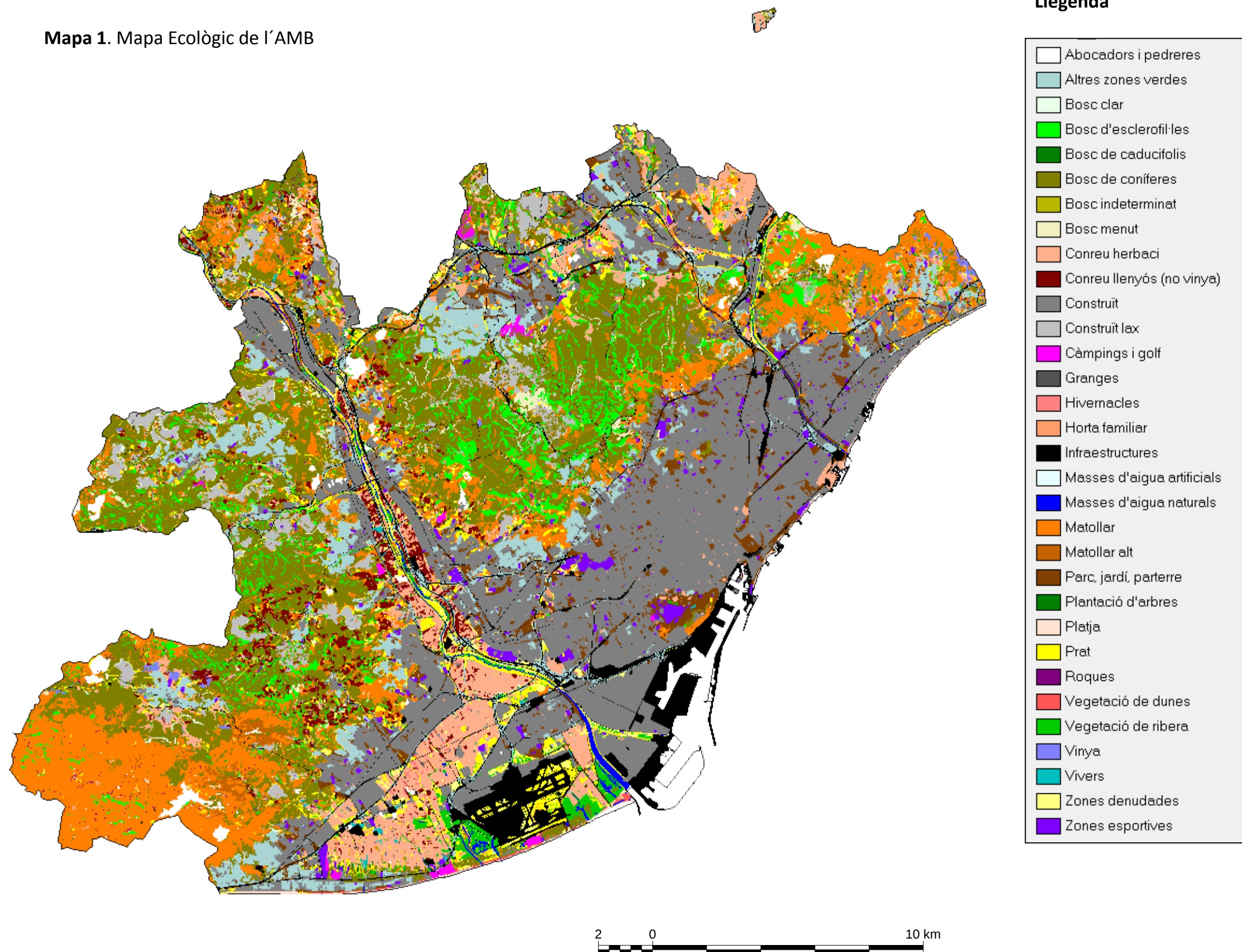
Taula V. Densitat d'àrea foliar (m²/ha) arbòria i arbustiva estimada a partir de les dades de Chaparro & Terrades (2009) i del Tercer Inventario Forestal per les cobertes del MEAMB (CREAF)

Coberta MCSC (2009)	Reclassificació coberta	Densitat de l'àrea foliar (m ² /ha)
Altres zones verdes	Verd urbà	31377
Horta familiar		
Parc, jardí, parterre		
Arboçar	Verd natural	21653 (<i>Caducifolis</i>)
Alzinar		
Bedollar		
Bosc		
Bosc clar		19213 (<i>Perennifolis</i>)
Bosc de pinastre		
Caducifolis		10592 (<i>Coníferes</i>)
Estany natural		
Pineda de pi blanc		
Pineda de pi pinyer		
Plantacions d'eucalyptus		
Plantació de coníferes no autòctones		
Plantació de plàtans		
Plantació de plàtans i pollancre		
Roureda		
Vegetació de ribera		
Gran propietat amb edificacions aïllades	Urbanitzat lax	18563
Habitatge 1-2 famílies amb jardí gran		
Urbanitzacions		
Conreu llenyós (no vinya)	Conreus llenyosos i altra vegetació llenyosa	13691
Conreu llenyós (no vinya) en regadiu		
Matollar		
Regeneració d'alzina		
Regeneració de bedoll		
Regeneració de roure de fulla menuda		
Regeneració de roureda de roure martinenc		
Vinya		
Zones cremades		
Altres habitatges densament construïts	Urbanitzat dens	6298
Casc antic		
Cementiri		
Edifici monumental		
Eixample		
Presó		
Autopista i autovia	Transport	8038
Carreteres		
Estació terrestre o marítima de passatge		
Infraestructures		
Via urbana principal		
Zona ferroviària		2631
Zona marítima municipal		

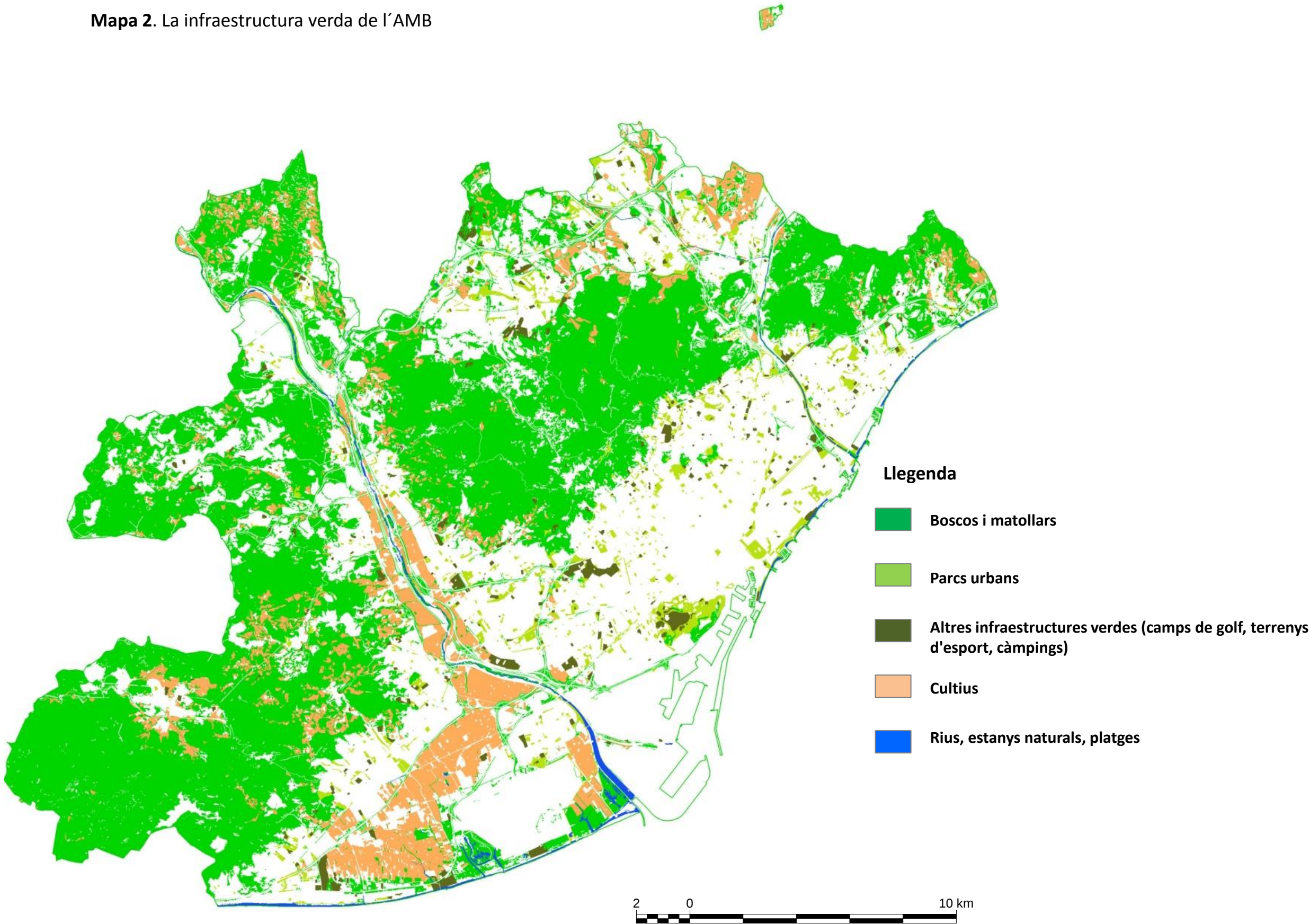
Zona portuària		2631
Centre d'ensenyament	Institucional	2631
Complexos administratius		
Complexos hotelers		
Hospital		
Gran zona comercial	Industrial o	406
Indústria, taller, magatzem	Comercial	
Solar sense edificar	Zona d'ús	0
Sòl nu	intens	
Sòl nu forestal		
Zones en transformació		
Camps de golf	Vegetació	1369
Conreu herbaci	herbàcia	
Conreu herbaci en regadiu		
Càmpings		
Franja de protecció (prats)		
Granges		
Llera natural		
Prat		
Rompudes agrícoles		
Vivers		
Zona esportiva		
Abocador d'escombraries	Altres	0
Aeroports	cobertes	
Penya-segats	sense	
Platja	vegetació	
Riu		
Roquissar		
Vegetació de dunes		
Zona d'extracció minera (pedreres)		
Aparcament i cotxera		
Bassa, estany artificial		
Embassaments		
Moviments de terres		



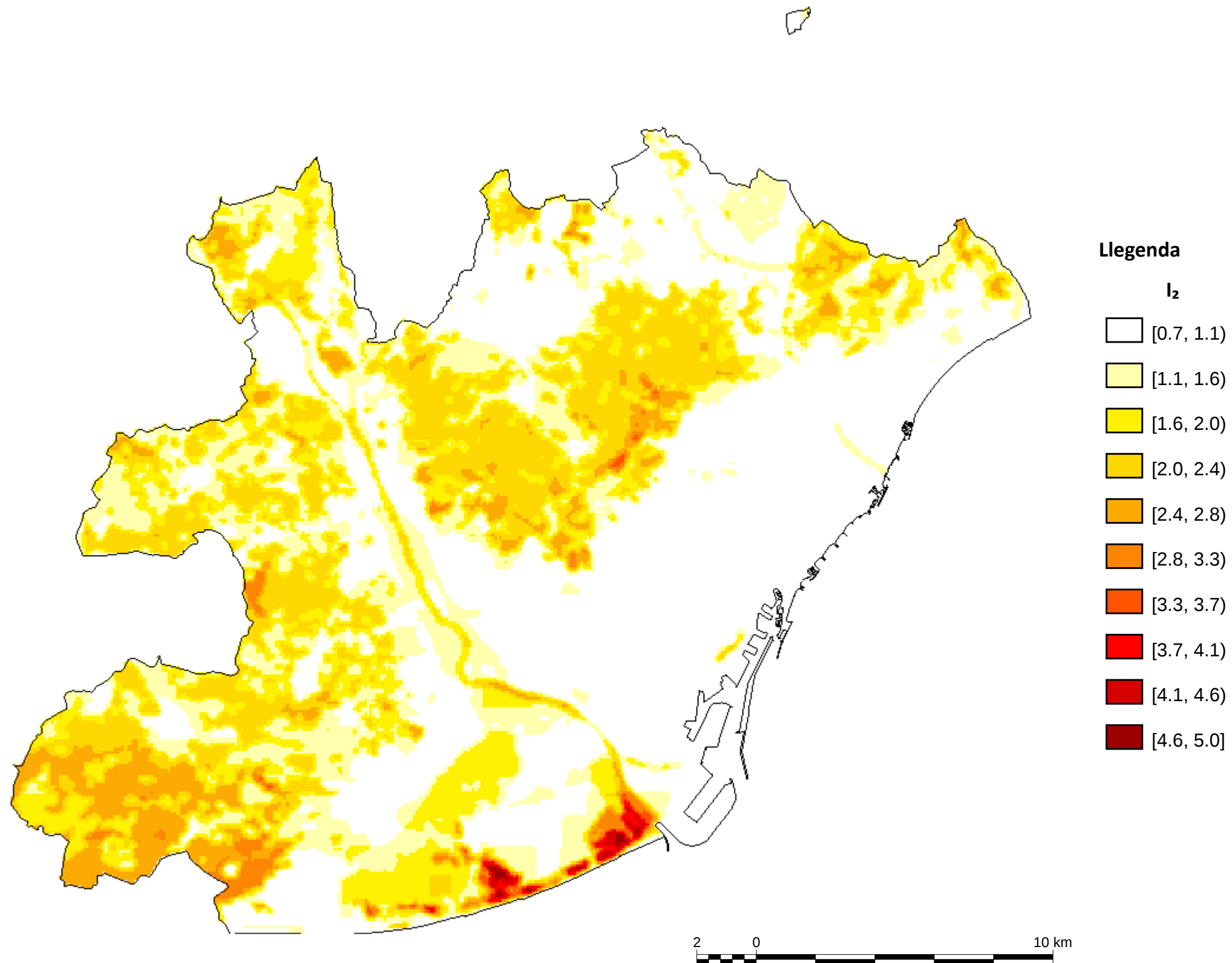
Mapa 1. Mapa Ecològic de l'AMB



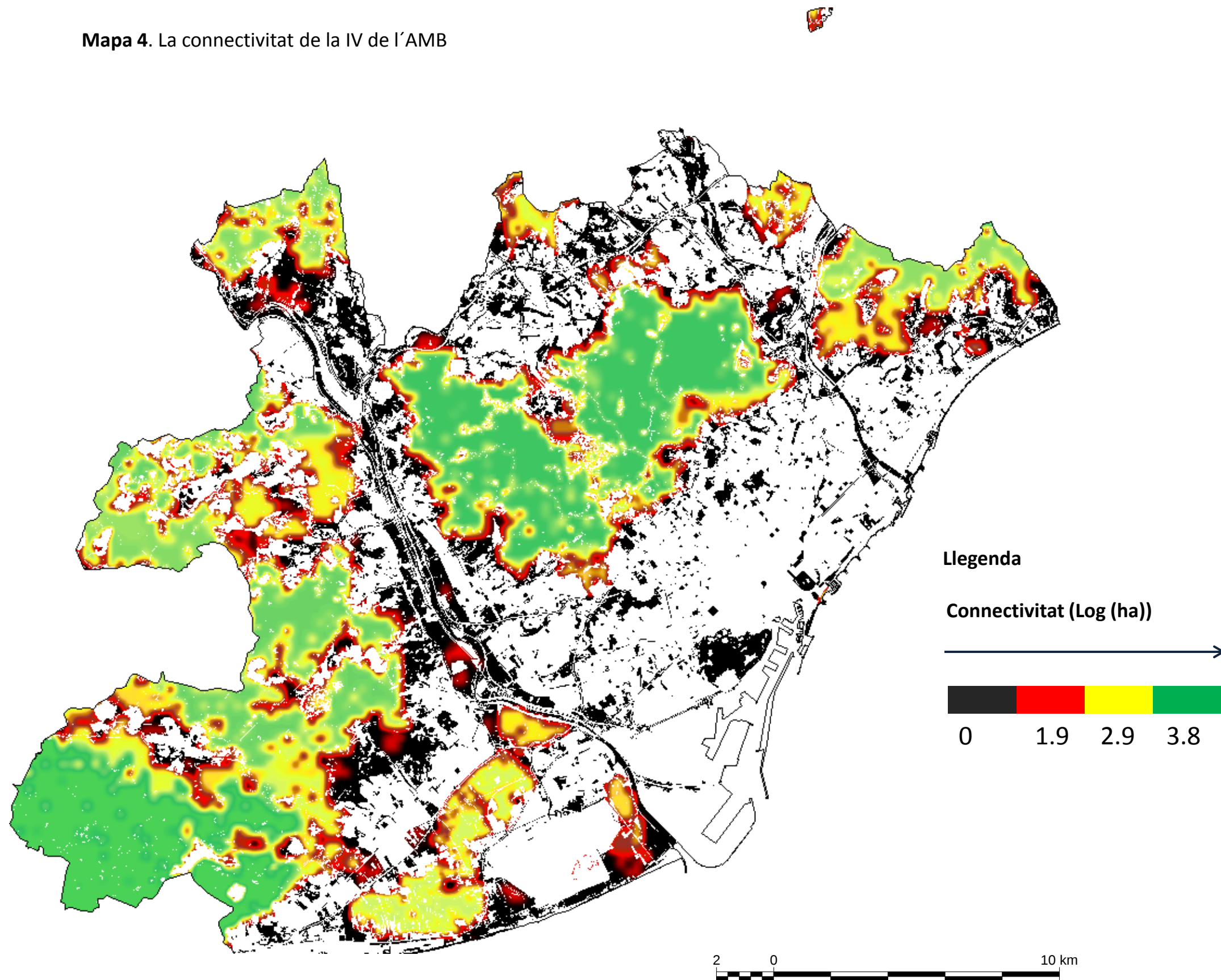
Mapa 2. La infraestructura verda de l'AMB



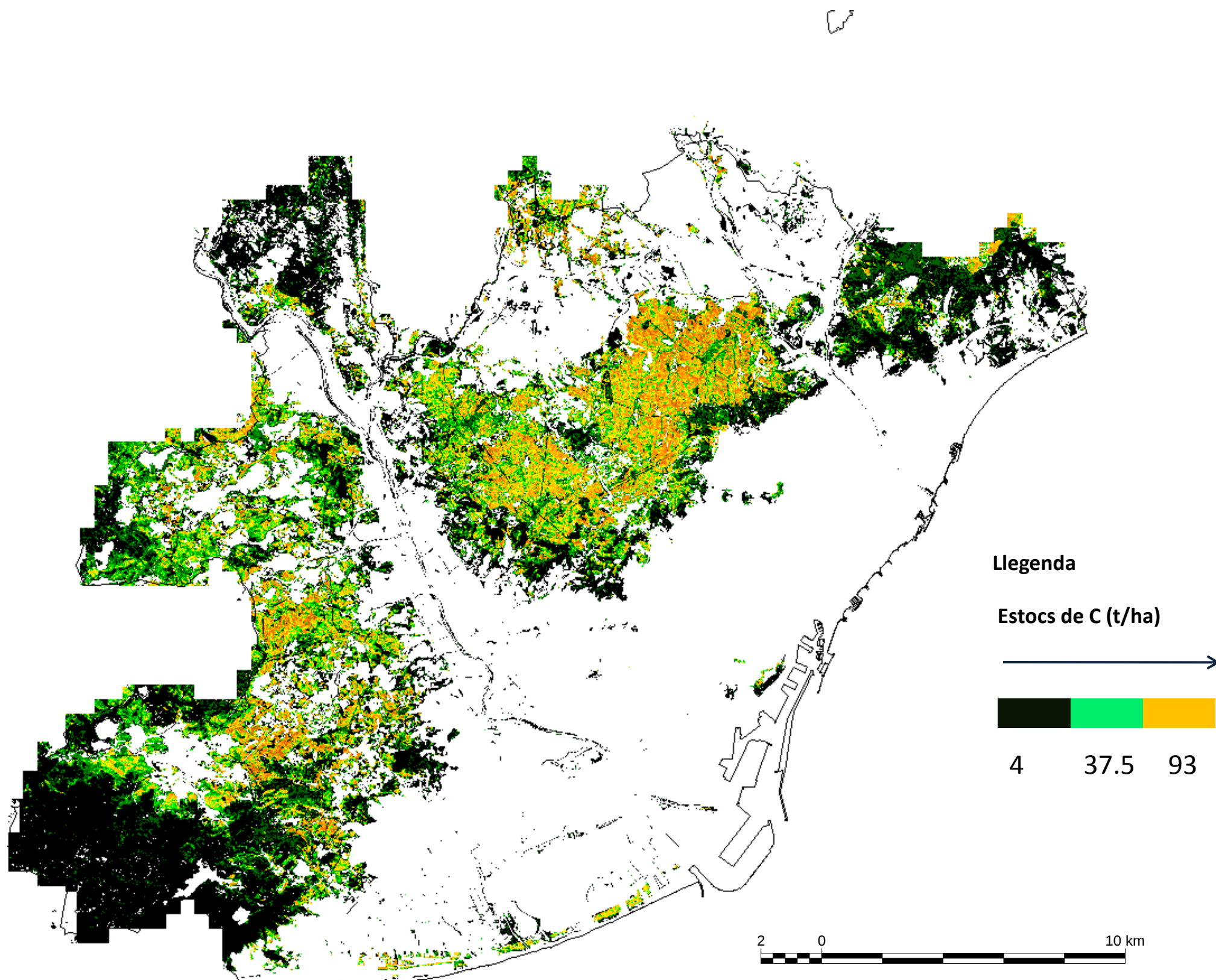
Mapa 3. Els hot-spots de biodiversitat (amb vermell) de l'AMB. L' I_2 representa l'índex de biodiversitat (vegeu text per més explicacions)



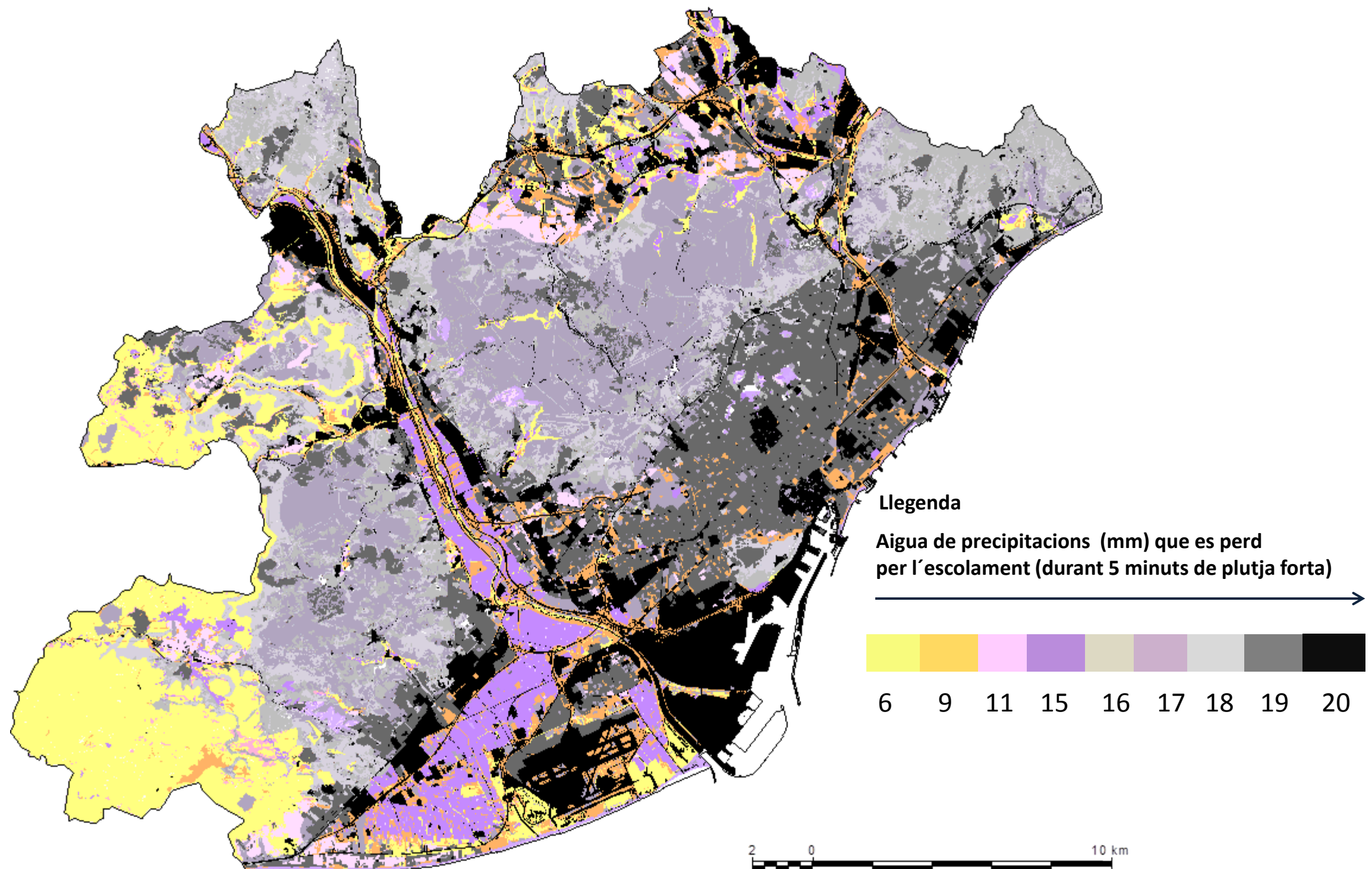
Mapa 4. La connectivitat de la IV de l'AMB



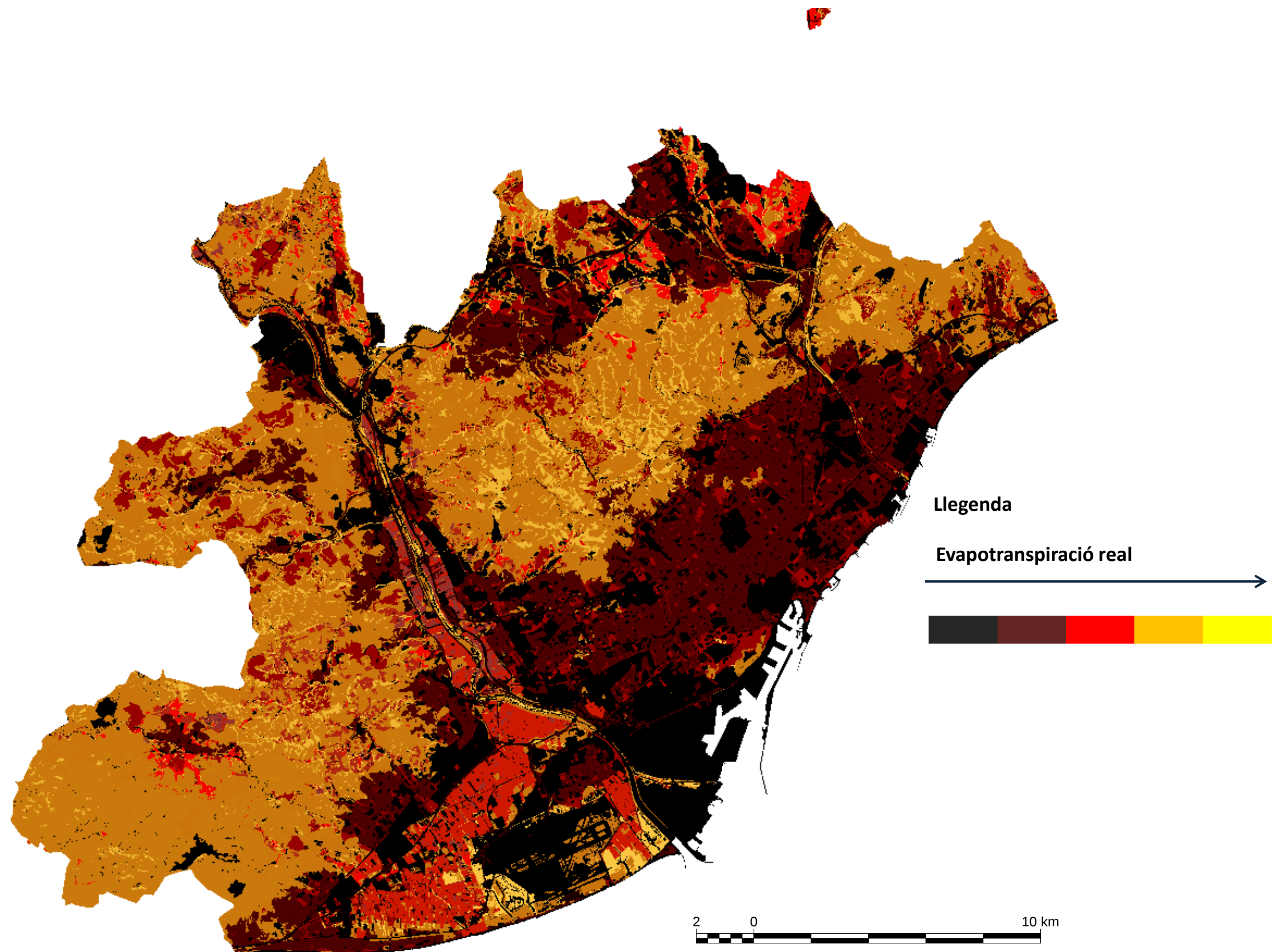
Mapa 5. Els estocs de C de la IV de l'AMB



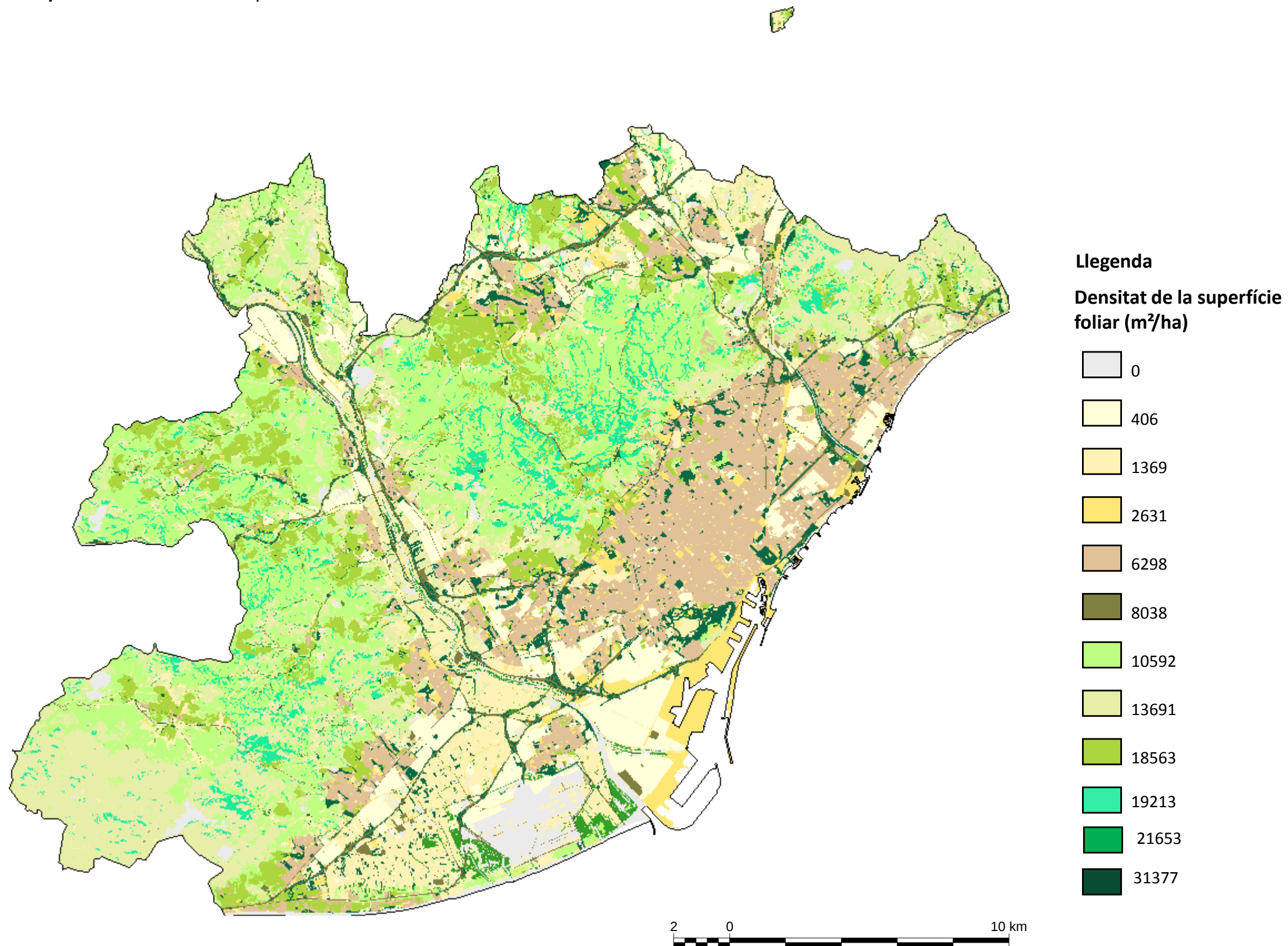
Mapa 6. L'escolament superficial a l'AMB



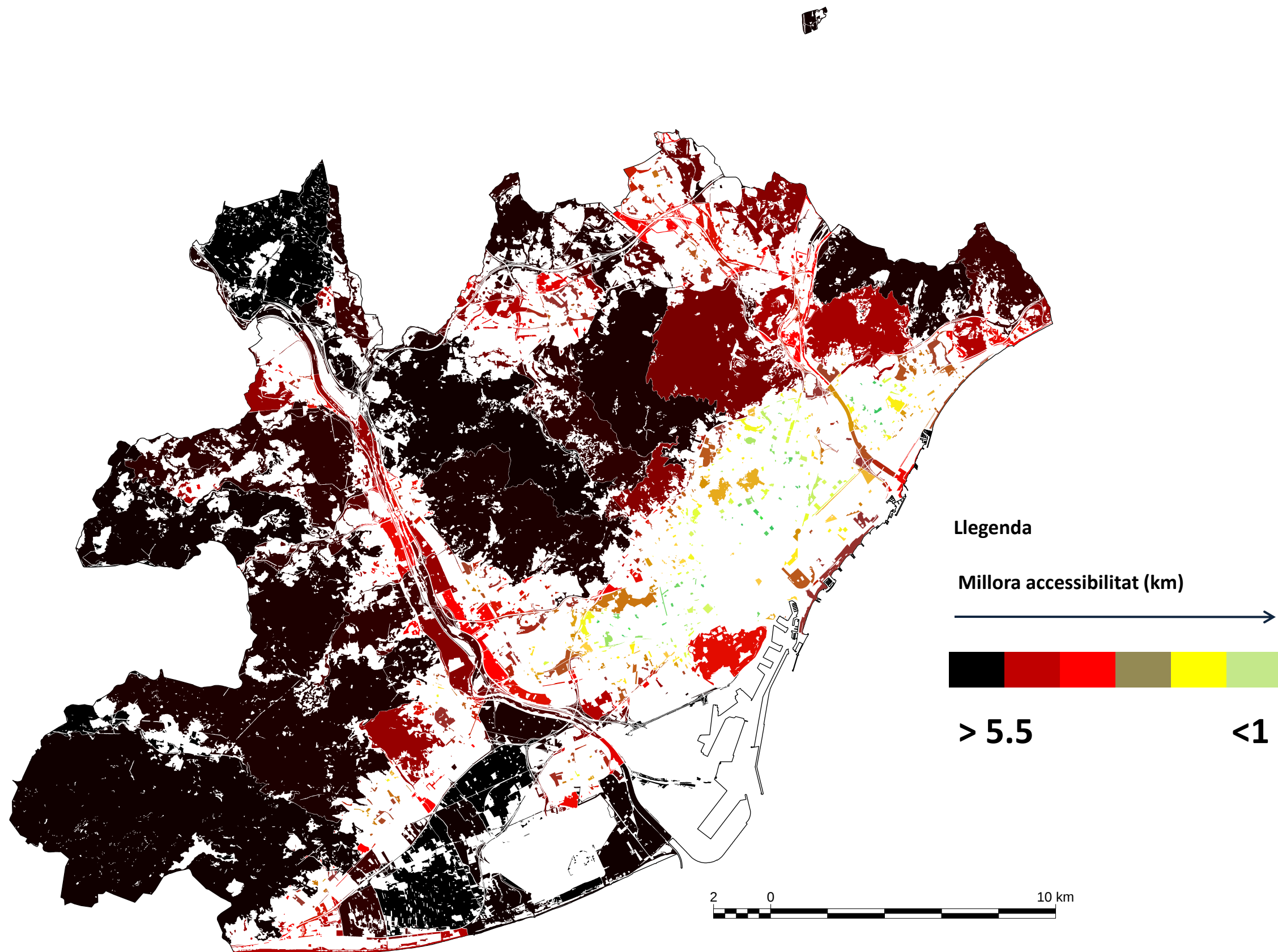
Mapa 7. L'evapotranspiració real a l'AMB



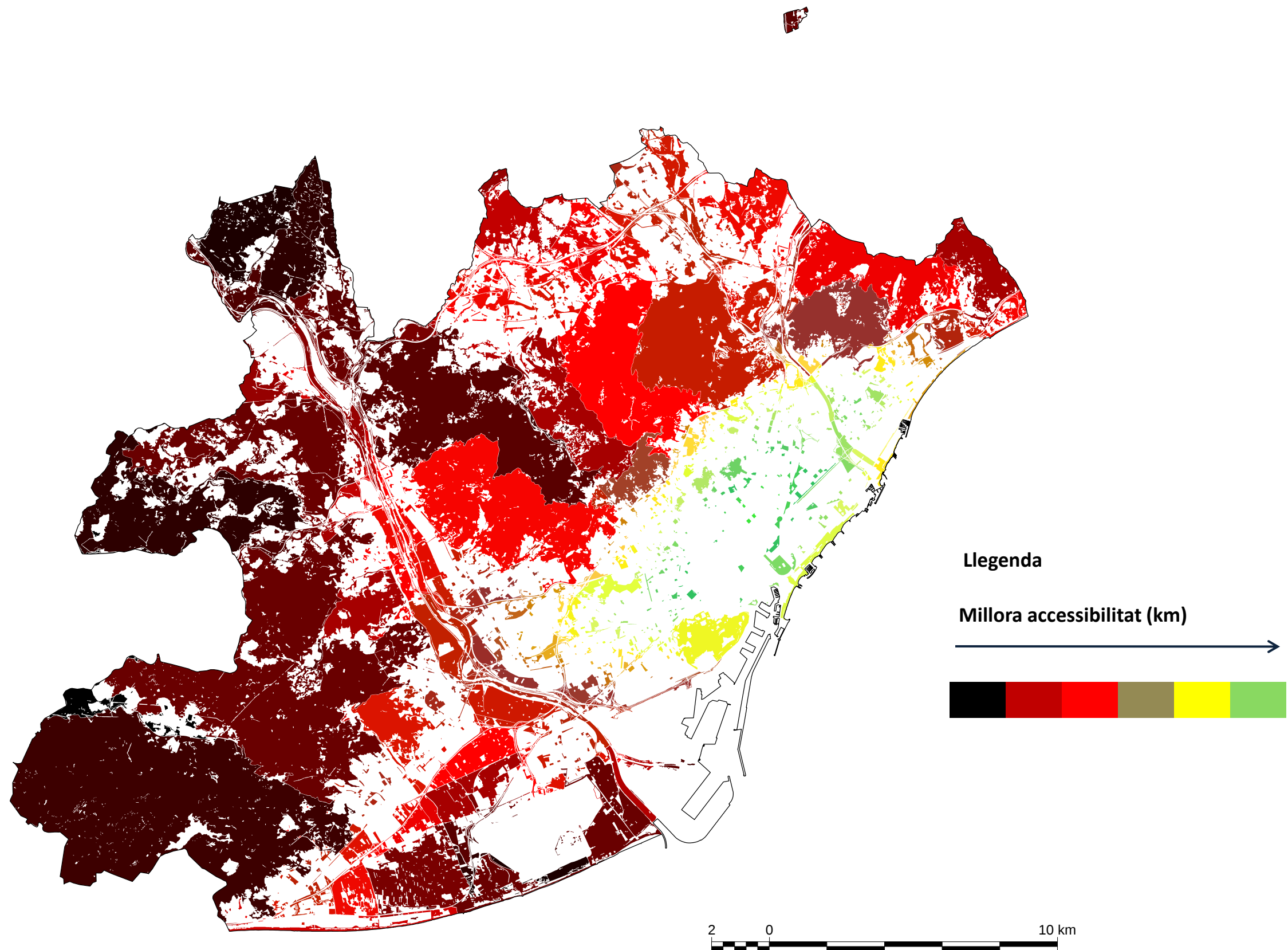
Mapa 8. La densitat de la superfície foliar en l'AMB



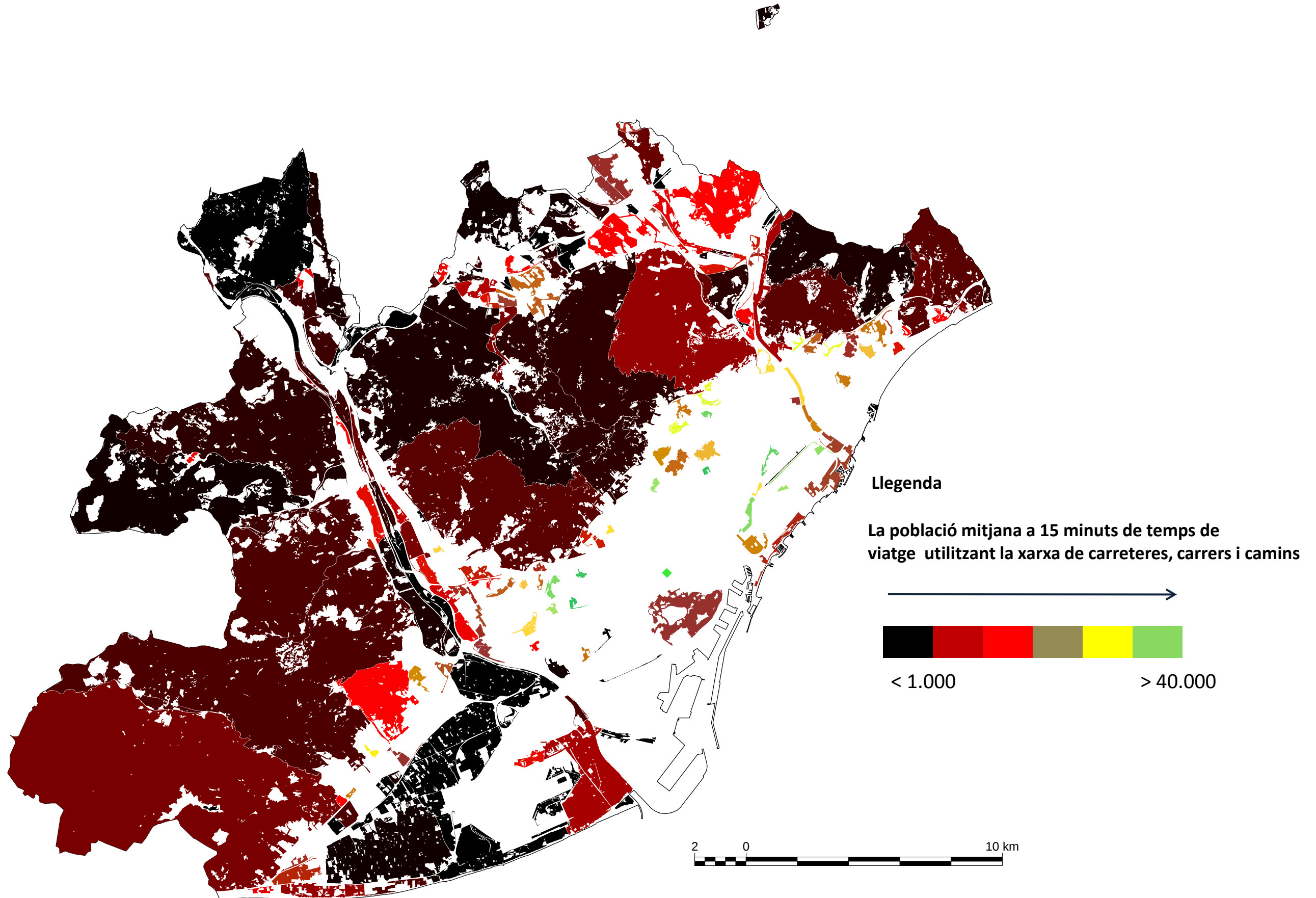
Mapa 9. L'accessibilitat propera (1 km) a la IV a l'AMB



Mapa 10. L'accessibilitat (5 km) a la IV a l'AMB



Mapa 11. L'accessibilitat a la IV a través de la xarxa de carreteres, carrers i camins



Mapa 12. L'accessibilitat a les vores dels espais de la IV a través de la xarxa de carreteres, carrers i camins

