

**EL PAPER DE LA INFRAESTRUCTURA
VERDA METROPOLITANA EN RELACIÓ AMB
LA QUALITAT DE L'AIRE I LA MITIGACIÓ I
ADAPTACIÓ AL CANVI CLIMÀTIC**

SUMARI

1. Introducció

2. Dades, mètodes i principals resultats

2.1. L'escala municipal

2.2. L'escala metropolitana i regional

3. Síntesi i principals conclusions

Agraïments

Referències

FRANCESC BARÓ^{1,2,3}, SARA MAESTRE ANDRÉS³

¹ Department of Geography, Vrije Universiteit Brussel (VUB), Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium

² Department of Sociology, Vrije Universiteit Brussel (VUB), Pleinlaan 5, 1050 Brussels, Belgium

³ Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA), Universitat Autònoma de Barcelona

EL PAPER DE LA INFRAESTRUCTURA VERDA METROPOLITANA EN RELACIÓ AMB LA QUALITAT DE L'AIRE I LA MITIGACIÓ I ADAPTACIÓ AL CANVI CLIMÀTIC

1. Introducció

Vivim en un planeta que cada vegada és més urbà i urbanitzat: actualment més de la meitat de la població mundial viu en ciutats i, segons les projeccions de l'Organització de les Nacions Unides (ONU), el 2050 aquest percentatge haurà augmentat fins al 68%. Això significa que en les pròximes tres dècades la població urbana mundial s'incrementarà en 2.500 milions de persones més (ONU, 2018), xifra que reflecteix un ritme de creixement extremadament ràpid. L'ONU ha declarat explícitament que el desenvolupament sostenible de les ciutats és crucial, especialment a l'hora d'abordar els múltiples reptes que planteja el model urbà. Molts d'aquests reptes són derivats o agreujats pel canvi climàtic, com ara episodis extrems de calor i/o precipitació, inundacions fluvials i costaneres, sequeres i un augment de la contaminació atmosfèrica, sovint amb greus conseqüències per a la salut de la població urbana (Revi et al., 2014). Per exemple, l'Organització Mundial de la Salut (OMS) estima que l'exposició a la contaminació atmosfèrica (que principalment es produeix en entorns urbans) provoca la mort prematura de 4,2 milions de persones arreu del món cada any. Per tant, aconseguir que les ciutats i àrees metropolitanes siguin més resilents, sostenibles, habitables i saludables hauria de ser una prioritat màxima en les agendes de les administracions locals, tal com recull l'11è Objectiu de Desenvolupament Sostenible (ODS) de l'ONU.

En aquest context, cada vegada hi ha més responsables polítics, professionals tècnics i científics que proposen planificar i gestionar les àrees verdes i blaves de les ciutats i les àrees metropolitanes (per exemple, els parcs i jardins urbans, l'arbrat viari, les cobertes verdes, els boscos periurbans, etc.) com una infraestructura urbana efectiva per tal d'afrontar el nombre creixent d'amenaques climàtiques. La infraestructura verda es defineix com «una xarxa estratègicament planificada de zones naturals i seminaturals, així com altres elements ambientals, dissenyada i gestionada per tal de proporcionar un ampli ventall de serveis ecosistèmics» (CE, 2013). És un concepte, per tant, que emfatitza tant la qualitat com la quantitat dels espais verds i blaus, el seu rol multifuncional i la importància de les seves interconnexions. Al seu torn, els serveis ecosistèmics es defineixen com «les contribucions directes i indirectes dels ecosistemes al benestar i la salut dels éssers humans» (TEEB, 2011). El concepte

d'infraestructura verda té el potencial de millorar el planejament territorial i urbanístic basant-se en una concepció més holística de la complexa interrelació i dinàmica entre els sistemes socials i ecològics (Hansen i Pauleit, 2014). En aquest context, recentment també ha sorgit amb força el concepte de solucions basades en natura, que la Comissió Europea defineix com «solucions inspirades o basades en la natura, les quals són cost-efectives, proporcionen simultàniament beneficis ambientals, socials i econòmics, i contribueixen a crear resiliència» (CE, 2015). De fet, els tres conceptes estan molt relacionats, tal com queda reflectit en l'estratègia de la UE per a la infraestructura verda, que determina que aquesta és «una eina per proporcionar beneficis ecològics, socials i econòmics per mitjà de les solucions naturals».

A les àrees urbanes, la infraestructura verda proporciona diversos serveis ecosistèmics de regulació que contribueixen a millorar la qualitat ambiental i el benestar i la salut dels seus habitants. Hi trobem, per exemple, la filtració de l'aire (o eliminació de contaminants atmosfèrics), la disminució del soroll, la regulació de la temperatura urbana o la reducció de l'escorrenia superficial (l'aigua de la pluja o altres fonts que discorre per superfícies impermeables). La provisió d'aquests serveis òbviament depèn de múltiples característiques i propietats estructurals i funcionals dels mateixos ecosistemes urbans. Així, per exemple, la vegetació urbana contribueix a regular la temperatura urbana i mitigar l'efecte d'illa de calor de les ciutats mitjançant l'evapotranspiració i la provisió d'ombra. Lògicament, però, l'arbrat urbà té un paper més significatiu en aquests dos processos que no pas altres tipus de vegetació, com ara els arbustos o les plantes herbàcies.

Malgrat que els serveis ecosistèmics de regulació són el grup de serveis avaluats de manera més freqüent en el context urbà i metropolità (Haase et al., 2014; Luederitz et al., 2015), la seva contribució real o potencial en relació amb la millora de la qualitat de l'aire i la mitigació i adaptació al canvi climàtic (a diferents escales) és sovint passada per alt, i per tant desconeuda per part de les autoritats locals i altres actors rellevants en l'àmbit del planejament urbanístic i territorial. Aquest article sintetitza els resultats de diverses avaluacions dels serveis ecosistèmics de regulació efectuades en els darrers anys a nivell de la ciutat de Barcelona, de la seva regió metropolitana i de la província,

que permeten determinar el paper que juga la infraestructura verda urbana (i metropolitana) en relació amb la qualitat de l'aire, la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic a aquestes tres escales. Més concretament, s'analitza el rol de la infraestructura verda en la captura i emmagatzematge del diòxid de carboni (CO₂), en el control de l'escolament superficial, en la regulació de la temperatura (o mitigació de l'estrès tèrmic), i finalment en l'absorció o captació de contaminants atmosfèrics. L'estudi se centra principalment en els contaminants PM (partícules en suspensió) i NO₂, perquè són els que ocasionen un impacte negatiu més important en la salut dels ciutadans de la regió metropolitana de Barcelona a causa de les seves altes concentracions (Pérez et al., 2009).

L'àrea urbana de Barcelona integra un sistema socioecològic complex, que el fa un cas d'estudi excel·lent per als propòsits d'aquesta síntesi a diferents escales. A més, els ens locals, metropolitans i regionals hi estan desplegant instruments estratègics i urbanístics que inclouen la implementació d'infraestructures verdes. Hi trobem, per exemple, el Pla del Verd i de la Biodiversitat 2020 o el Pla Clima 2018-2030 de l'Ajuntament de Barcelona, el Pla Director Urbanístic (PDU) metropolità de l'Àrea Metropolitana de Barcelona o el projecte SITXELL (www.sitxell.eu) de la Diputació de Barcelona, que inclou la cartografia de diversos serveis ecosistèmics com a suport al planejament urbanístic i territorial de la província de Barcelona. D'una banda, el municipi de Barcelona (1,61 milions d'habitants en 101,4 km²) és una de les zones urbanes més densament poblades d'Europa, fet que implica fortes pressions i reptes en matèria de polítiques d'infraestructura verda urbana. El conjunt d'aquesta infraestructura verda (incloent-hi parcs urbans, el Parc Natural de Collserola i altres espais verds i blaus) representa aproximadament un 27% de la superfície municipal, i una ràtio de gairebé 17 m² per habitant (molt menor en alguns districtes i barris de la ciutat). A nivell de regió o àmbit metropolità (164 municipis repartits en 7 comarques en base a la delimitació del Pla territorial metropolità de Barcelona), la pressió antròpica continua sent molt elevada, amb més de 5 milions d'habitants en una extensió geogràfica de 3.236 km².

Tanmateix, la regió continua conservant una àmplia varietat d'hàbitats naturals de gran valor paisatgístic i ecològic, incloent-hi 14 espais Natura 2000 i prop d'un 70% del territori protegit a través del planejament territorial i altres figures de protecció. Finalment, la província de Barcelona és la demarcació administrativa més poblada de Catalunya i la segona d'Espanya (5.710.903 habitants el gener de 2020, IDESCAT). La província inclou 311 municipis i 11 comarques en una extensió de 7.726,4 km². Com a l'escala metropolitana, els ecosistemes presents a la província són principalment de tipus forestal (bosc, matollars, prats i herbassars, etc.) i agrícola, destacant-hi també els ecosistemes lligats als processos d'urbanització. Tal com mostren les diferents edicions del mapa de cobertes de Catalunya (MCSC, CREAM), tant l'àmbit provincial com el metropolità han sofert una caiguda dràstica de la superfície agrícola en les darreres dècades, que en bona part s'ha transformat en superfície urbana i en menor mesura en superfícies forestals (bosc, matollars, prats, etc.).

2. Dades, mètodes i principals resultats

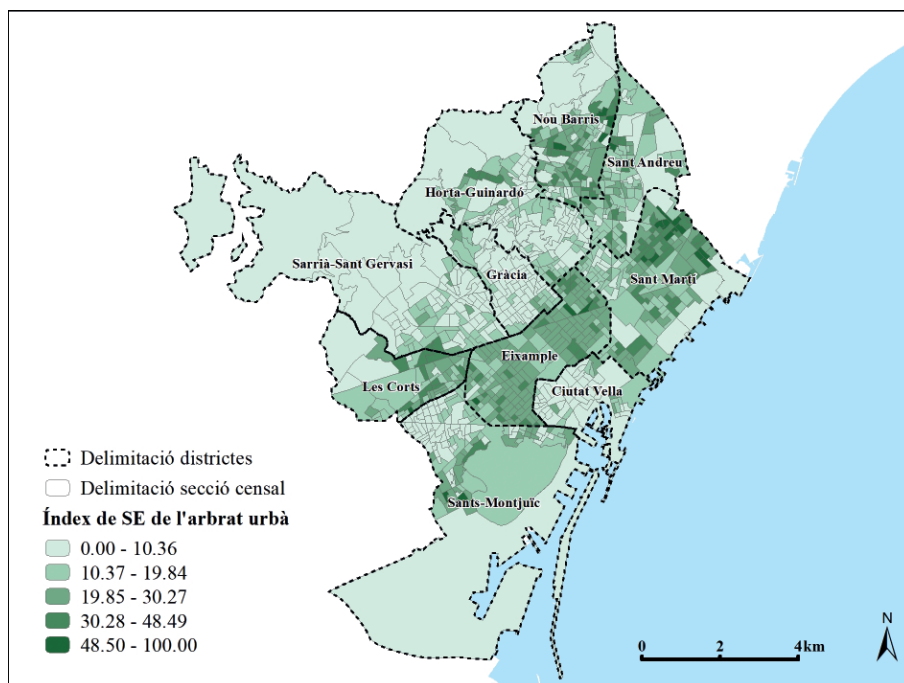
2.1. L'escala municipal

A escala municipal, ens basem en l'avaluació de serveis ecosistèmics de regulació que recullen les publicacions Baró et al. (2014) i Baró et al. (2019). En tots dos casos s'utilitza l'eina i-Tree Eco (vegeu www.itree-tools.org) per a la definició i quantificació dels indicadors de provisió de cada servei analitzat (vegeu la Taula 1). No obstant això, mentre que a Baró et al. (2014) s'avalua el conjunt de la infraestructura verda de la ciutat de Barcelona (mitjançant una mostra aleatòria de 332 parcel·les amb vegetació urbana), a Baró et al. (2019) s'analitzen només els serveis proporcionats per l'arbrat viari i de zona (és a dir, tots els situats a la via pública, sense incloure-hi els que es troben en parcs o jardins), que sumen un total de gairebé 200.000 exemplars. A més, el primer estudi quantifica els serveis ecosistèmics de captura i emmagatzematge de CO₂ i de filtració de contaminants atmosfèrics (incloent-hi PM₁₀ i NO₂), mentre que el segon se centra també en aquest darrer servei (incloent-hi PM_{2,5} en

Taula 1. Serveis ecosistèmics de regulació analitzats a escala municipal de Barcelona.

Servei ecosistèmic	Component de la infraestructura verda analitzat	Indicador del servei ecosistèmic	Mètode principal	Font
Filtració de contaminants atmosfèrics	Conjunt dels ecosistemes urbans (arbrat i matollar)	Contaminants (NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , CO, PM ₁₀) dipositats o absorbits (en t/any)	i-Tree Eco (mostra representativa)	Baró et al. (2014)
	Arbrat viari i de zona	Contaminants (NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , CO, PM _{2,5}) dipositats o absorbits (en kg/any)	i-Tree Eco (inventari complet)	Baró et al. (2019)
Captura i emmagatzematge de diòxid de carboni (regulació climàtica global)	Conjunt dels ecosistemes urbans (arbrat i matollar)	Carboni capturat (t/any) i emmagatzemat (t)	i-Tree Eco (mostra representativa)	Baró et al. (2014)
Control de l'escorrentia	Arbrat viari i de zona	Escorrentia evitada (m ³ /ha any)	i-Tree Eco (inventari complet)	Baró et al. (2019)
Regulació de la temperatura urbana	Arbrat viari i de zona	Transpiració (m ³ /ha any)	i-Tree Eco (inventari complet)	Baró et al. (2019)

Figura 1. Distribució territorial de l'índex de provisió de serveis ecosistèmics de regulació (filtració de l'aire, control d'escorrentia i regulació microclimàtica) de l'arbrat viari i de zona de Barcelona (agregat a nivell de secció censal).



Font: Baró et al. (2019).

lloc de PM_{10}) i en els serveis de control d'escorrentia superficial (escorrentia evitada) i regulació de temperatura (a partir de la transpiració de l'arbrat).

Els resultats de l'estudi de 2014 mostren que la contribució de la infraestructura verda municipal en relació amb la mitigació del canvi climàtic (compensació d'emissions) és molt baixa (unes 19.000 tones de CO_2 capturades anualment), ja que suposaria menys de l'1% del total de les emissions anuals de gasos d'efecte hivernacle de la ciutat (en l'any de referència). De manera similar, la seva contribució en relació amb la millora de la qualitat de l'aire també seria molt modesta, ja que es va estimar que la infraestructura verda elimina unes 55 tones anuals de NO_2 i unes 166 de PM_{10} , que suposen menys d'un 1% i un 3%, respectivament, de les emissions de la ciutat en l'any analitzat per a aquests contaminants atmosfèrics (tenint en compte també la contaminació de fons).

L'estudi de 2019 no analitza directament la contribució de l'arbrat urbà de Barcelona en relació amb la millora de la qualitat de l'aire, tot i que, per exemple, estima que aproximadament aquest component de la infraestructura verda municipal elimina uns 1.460 kg de NO_2 anualment (és a dir, aproximadament un 2,66% del total de la infraestructura verda si es pren com a referència l'estudi de 2014). Tanmateix, sí que permet observar la distribució territorial dels serveis ecosistèmics analitzats en el teixit urbà de Barcelona (vegeu la Figura 1). Aquesta distribució és especialment important en el cas dels serveis ecosistèmics de control d'escorrentia i regulació microclimàtica, ja que poden jugar un paper rellevant en l'adaptació climàtica dels diversos barris de la ciutat. Segons l'estudi, l'arbrat de la via pública evita l'escorrentia superficial de gairebé 53.000 m^3 d'aigua de pluja anualment (l'equivalent a unes 15 piscines olímpiques), i alhora transpira uns 840.400 m^3 d'aigua. Aquesta transpiració, juntament

amb l'ombra, pot arribar a reduir gairebé dos graus la temperatura del seu entorn immediat, sobretot a l'estiu. Aquest efecte climàtic és especialment important en districtes compactes i amb poca presència d'espais verds, com l'Eixample i, en menor mesura, Sant Martí, que alhora són els districtes amb uns valors de provisió de serveis ecosistèmics de regulació per hectàrea més elevats (vegeu la Figura 1).

Tots dos estudis també destaquen les limitacions relacionades amb els models biofísics que integra l'eina i-Tree Eco, especialment pel que fa al servei de filtració o eliminació de contaminants atmosfèrics. Per exemple, el model assumeix una distribució homogènia de la contaminació atmosfèrica i la precipitació a la ciutat, fet que implica òbviament un grau d'incertesa en l'estimació del servei ecosistèmic associat. En general, la relació entre vegetació urbana (especialment l'arbrat) i qualitat de l'aire és extremadament complexa (vegeu Eisenman et al., 2019). Si bé la infraestructura verda pot eliminar contaminants de l'aire per mitjà del procés de deposició seca i absorció (via estomes), també pot contribuir negativament a la qualitat de l'aire mitjançant l'emissió de compostos orgànics volàtils (VOCs) i pol·len al·lèrgic. A més, l'arbrat viari, depenent de la configuració i amplada del carrer, pot generar un efecte «barrera» i impedir la dispersió de la contaminació cap a les capes altes de l'atmosfera, incrementant la concentració local de contaminants (vegeu, per exemple, Jin et al., 2014).

2.2. L'escala metropolitana i regional

A escala metropolitana i regional, ens basem en l'avaluació de serveis ecosistèmics de regulació que recullen les publicacions Baró et al. (2016), Baró i Gómez-Baggethun (2017), Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020). A la Taula 2 es descriuen les diverses eines utilitzades, com el model ESTIMAP

Taula 2. Serveis ecosistèmics de regulació analitzats a escala metropolitana i regional de Barcelona.

Servei ecosistèmic	Component de la infraestructura verda analitzat	Indicador del servei ecosistèmic	Mètode principal	Font
Filtració de contaminants atmosfèrics	Conjunt de la infraestructura verda de la Regió Metropolitana de Barcelona	Contaminant NO ₂ dipositat o absorbit (en kg/ha i any)	Model ESTIMAP (<i>Ecosystem Services Mapping Tool</i> , Zulian et al., 2014)	Baró et al. (2016)
Filtració de contaminants atmosfèrics	Conjunt de la infraestructura verda de la província de Barcelona	Contaminant PM ₁₀ dipositat o absorbit (en kg/ha i any)	Mapa d'alta resolució de concentració mitjana anual de PM ₁₀ a escala europea que es basa en el model de Beelen et al. (2009) i en dades d'ús del sòl i de contaminació	Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020)
Captura i emmagatzematge de diòxid de carboni (regulació climàtica global)	Conjunt de la infraestructura verda de la Regió Metropolitana de Barcelona	Captura de carboni (kg/ha i any)	Modelització dels usos del sòl	Baró i Gómez-Baggethun (2017)
Captura i emmagatzematge de diòxid de carboni (regulació climàtica global)	Conjunt dels boscos de la província de Barcelona	Carboni aeri total (t C/ha)	Model estadístic basat en dades LIDAR segons una metodologia de Pino (2006)	Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020)
Control de l'escorrentia	Conjunt de la infraestructura verda de la província de Barcelona	Coefficient d'escolament superficial (<i>runoff</i>) (retenció de litres/m ²)	Coefficient d'escolament (<i>runoff</i>) de Tratalos et al. (2007) i el mètode dels complexos hidrològics de Cronshey (1986)	Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020)
Regulació de la temperatura urbana	Conjunt de la infraestructura verda de la província de Barcelona	Evapotranspiració real (mm/any)	Coefficient evaporatiu de Specht (Specht, 1972) i l'equació Hargreaves-Samani (Hargreaves i Samani, 1985), i incorporant, mitjançant una combinació de les capes ràster, les dades climàtiques de cada mes	Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020)

(*Ecosystem Services Mapping Tool*, Zulian et al., 2014), per a la definició i quantificació dels indicadors de provisió de cada servei analitzat.

A la Taula 3 es descriuen els diversos mètodes i indicadors utilitzats per quantificar i cartografiar la demanda de tres dels serveis ecosistèmics de regulació. Els estudis Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020) no analitzen directament la contribució de la infraestructura verda en relació amb els reptes climàtics (ja que les unitats dels mapes de provisió i demanda no són directament comparables), però, tanmateix, sí que permeten deduir o estimar la rellevància del paper de la infraestructura verda metropolitana/regional en relació amb la qualitat de l'aire i la mitigació i adaptació climàtica.

L'estudi de Baró et al. (2016) analitza el servei de filtració de l'aire i mostra, com era previsible, que les àrees forestals de la Regió Metropolitana de Barcelona són les que tenen una major capacitat per eliminar el contaminant NO₂ de l'atmosfera. Tanmateix, el paper de la infraestructura verda pel que fa a l'eliminació efectiva de NO₂ en algunes d'aquestes àrees (com ara al massís del Montseny) és relativament baix, perquè no són adjacents a les principals ciutats i per això no poden contribuir de manera rellevant a reduir-ne les concentracions (Figura 2a i 2b). En canvi, s'evidencia la importància dels boscos periurbans, com és el cas de

la serra de Collserola, en la provisió d'aquest servei ecosistèmic atesa la seva proximitat a zones urbanes on s'origina la contaminació de l'aire. Aquest fet permet que es pugui generar el flux del servei, a diferència d'altres àrees més allunyades de nuclis urbans d'igual o major capacitat.

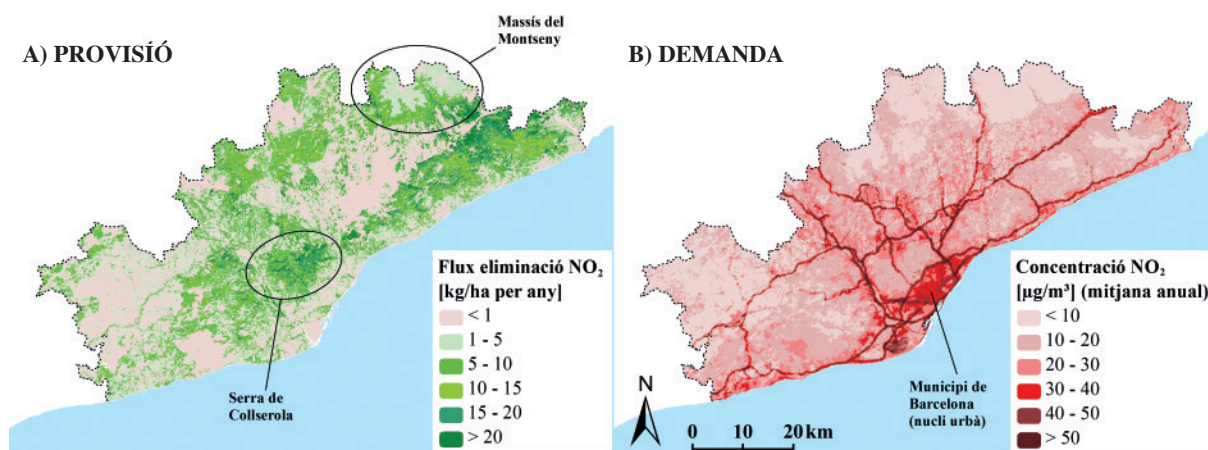
El mapa de concentració de NO₂ (Figura 2b) també revela que les vies d'alta capacitat (autovies i autopistes) constitueixen importants fonts de contaminació per NO₂. El mapa mostra els llocs en què el servei ecosistèmic no és capaç de mantenir la qualitat de l'aire al nivell establert per la Directiva sobre la qualitat de l'aire de la UE, segons la qual el límit anual de concentració mitjana de NO₂ és de 40 micrograms per metre cúbic.

Els resultats dels estudis Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020) referents a la filtració de les partícules PM₁₀ (Figura 3a) són molt similars al cas anterior de filtració de NO₂, en què el component de la infraestructura verda format per les àrees forestals de la província de Barcelona és el que té una major capacitat per eliminar el contaminant PM₁₀ de l'atmosfera. Tal com es pot observar, la provisió del servei és especialment elevada a la zona del massís del Montseny, el Parc del Montnegre i el Corredor, el Parc de Collserola o les muntanyes del Berguedà, i molt baixa o baixa en totes les zones urbanes i agrícoles de la regió. Si mi-

Taula 3. Indicadors de demanda dels serveis ecosistèmics de regulació analitzats a escala metropolitana i regional de Barcelona.

Servei ecosistèmic	Indicador de demanda del servei ecosistèmic	Mètode	Font
Captura i emmagatzematge de diòxid de carboni (regulació climàtica global)	Emissions de gasos d'efecte hivernacle totals provinents de diferents sectors en t CO ₂ equivalent/ha i any	Emissions de gasos d'efecte hivernacle municipals estimades en els Plans d'Acció per a l'Energia Sostenible (PAES) (font: Diputació de Barcelona)	Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020)
Control de l'escorrentia	Risc d'inundacions	Combinació de topografia i escorrentia seleccionant les zones amb valors més elevats d'escorrentia (18-20 mm)	Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020)
Filtració de contaminants atmosfèrics	Nivells de contaminació atmosfèrica i desviació respecte dels estàndards europeus (en concentració de PM ₁₀ i NO ₂ mitjana anual)	ESTIMAP (Zulian et al., 2014)	Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020)

Figura 2. a) Distribució territorial a la Regió Metropolitana de Barcelona de: a) Flux d'eliminació anual de NO₂, i de b) Concentració mitjana anual de NO₂.



Font: Baró et al. (2016).

rem el mapa de concentració de PM₁₀ (Figura 3b), veiem que els nivells de contaminació són més elevats a les zones urbanes de major densitat, especialment a la ciutat de Barcelona. Les zones amb menys contaminació de l'aire se situen en àrees com el massís del Montseny o bona part de les comarques no metropolitanes.

Els resultats de l'estudi Baró i Gómez-Baggethun (2017) demostren que la contribució de la infraestructura verda per compensar les emissions de carboni és, com a terme mitjà, reduïda (menys del 5% del total d'emissions són absorbides) en tota la Regió Metropolitana de Barcelona (Figura 4c). Només en cinc dels 164 municipis les emissions de carboni estimades es veuen del tot compensades per la captura i emmagatzematge de carboni efectuats pels ecosistemes locals. Aquests municipis es caracteritzen per una població molt escassa (menys de 500 habitants) i el predomini de cobertes forestals.

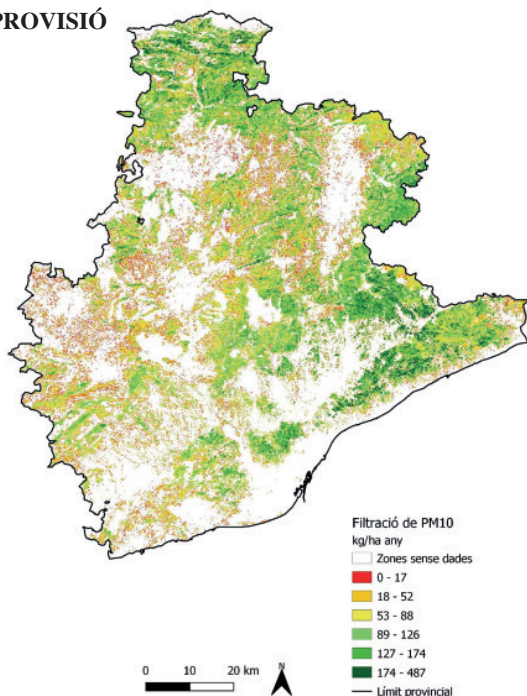
Si tenim en compte l'escala de província, els estudis Maestre-Andrés et al. (2018) i Basnou et al. (2020) mostren que els components de la infraestructura ver-

da que capturen i emmagatzemen més de 50 t C/ha es reparteixen en un 13% del territori de la província i corresponen als boscos dels espais protegits de Collserola, Parcs de Serralada Litoral i de Marina, Montseny, Espai Natural de les Guilleries-Savassona o el Parc Natural del Cadí-Moixeró (Figura 5a). Destaquen els boscos de l'Espai Natural de les Guilleries-Savassona i d'Osona, amb 100-200 t C/ha. Pel que fa a les emissions de diòxid de carboni equivalent com a indicador indirecte de la demanda del servei de regulació climàtica global, el mapa resultant (Figura 5b) mostra que els municipis amb major densitat de població i activitat industrial de la província són, com era previsible, els que generen més emissions de CO₂ equivalent per unitat de superfície.

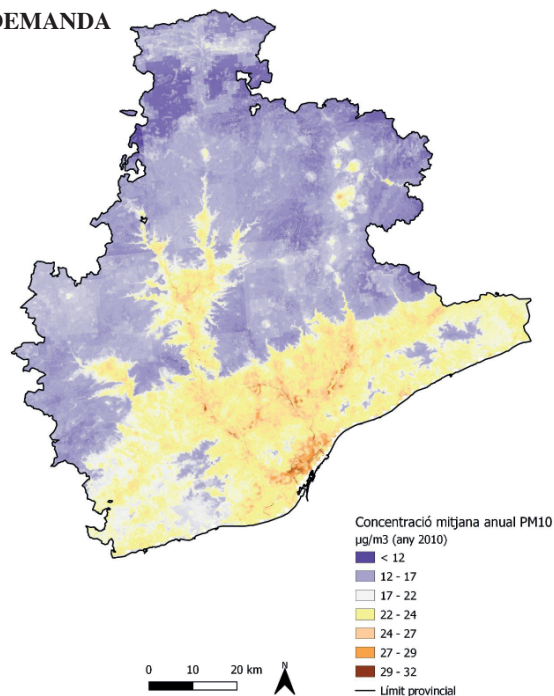
Pel que fa al servei de control de l'escorrentia, els mateixos estudis anteriors mostren que els valors més elevats d'escolament superficial corresponen a les categories urbanes (construïdes), impermeables, sense (o amb poca) vegetació natural, i es concentren a les zones densament urbanitzades, sobretot a la zona de la costa (infraestructures viàries, ports, aeroports, indústries). Els components de la infraestructura verda

Figura 3. Distribució territorial a la província de Barcelona de: a) la filtració de PM₁₀ i b) la concentració de PM₁₀.

A) PROVISIÓ



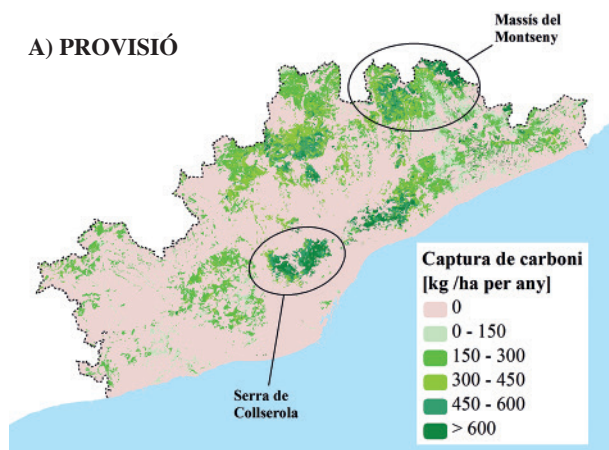
B) DEMANDA



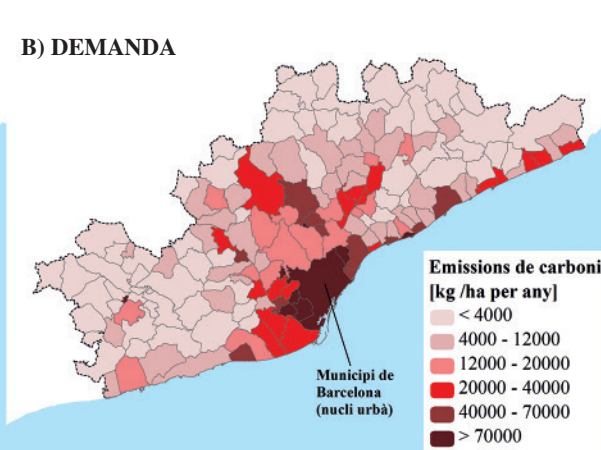
Font: Maestre-Andrés et al. (2018).

Figura 4. Distribució territorial a la Regió Metropolitana de Barcelona de: a) captura de carboni, b) emissions de carboni, i c) balanç final de carboni.

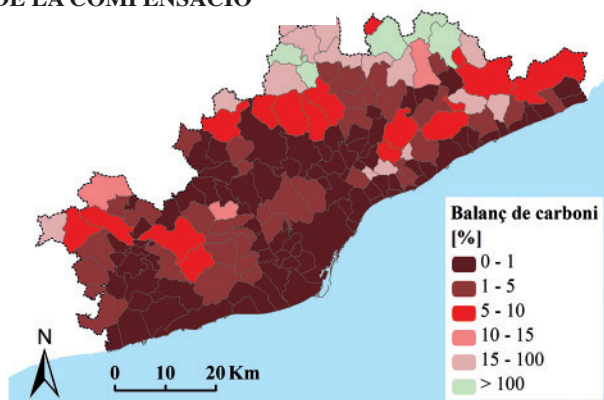
A) PROVISIÓ



B) DEMANDA



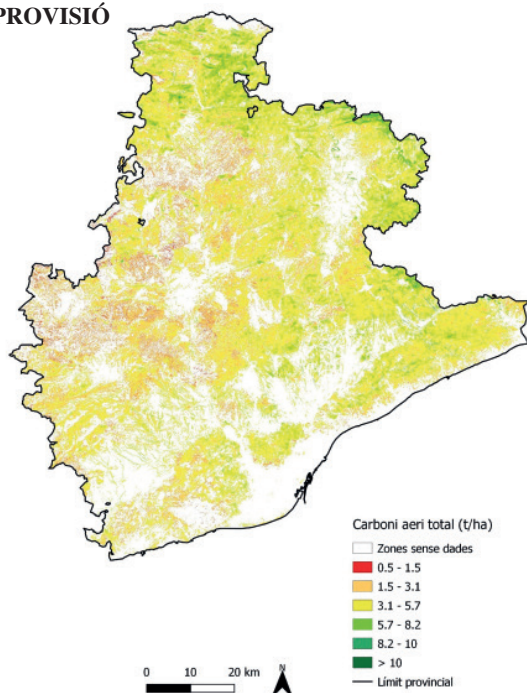
C) IMPACTE DE LA COMPENSACIÓ



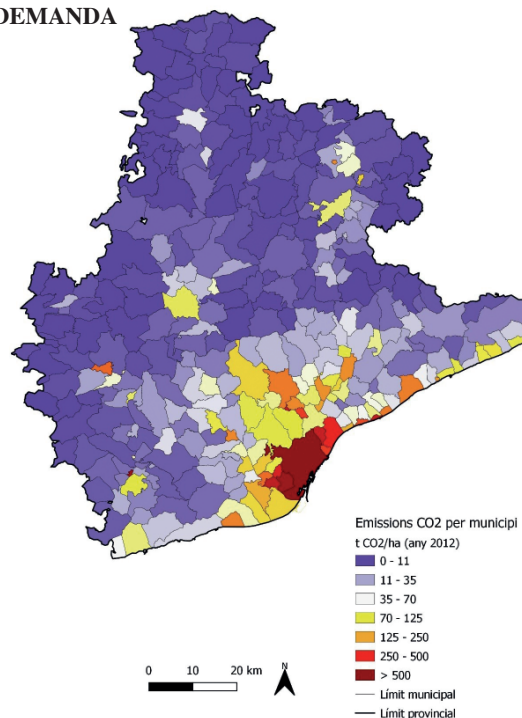
Font: Baró i Gómez-Baggethun (2017).

Figura 5. Distribució territorial a la província de Barcelona de: a) el carboni aeri total dels boscos, i b) les emissions de CO₂ per municipi.

A) PROVISIÓ



B) DEMANDA



Font: Maestre-Andrés et al. (2018).

corresponents a les cobertes del verd natural dels sòls permeables mostren l'índex d'escolament més baix, que, per tant, afavoreix la intercepció d'aigües de pluja contribuint al control de l'escorrentia. D'aquestes categories, les cobertes amb més capacitat d'intercepció de l'aigua de pluja són els matollars calcaris (Garraf), els conreus dels sòls permeables (com, per exemple, els cultius del Parc Agrari del Baix Llobregat), els boscos i els prats del Parc Natural del Cadí-Moixeró i la majoria dels parcs urbans (Figura 6a).

Aquests resultats fan palesa l'estreta relació entre la urbanització i l'augment de l'índex d'escolament superficial, a causa de l'increment de les superfícies impermeables. Una de les conseqüències d'aquest increment és l'augment del risc d'inundacions en el cas d'un fenomen de precipitació molt intensa a les zones urbanitzades amb més superfícies impermeables. L'augment de les superfícies impermeables, sobretot a les zones ripàries, pot afectar seriosament el cicle hidrològic, la qualitat de l'aigua i la flora i la fauna dels ecosistemes aquàtics, i pot 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. Pel que fa al risc d'inundació, la Figura 6b mostra un model millorat de l'escolament superficial a la província de Barcelona. Destaquen (en blau) les àrees impermeables (tant des del punt de vista hidrogeològic com les superfícies construïdes) en zones majoritàriament planes i còncaves. La majoria de les zones urbanes i construïdes, en general, presenten un risc alt d'inundació, en cas d'esdeveniments de forta intensitat de precipitació. Cal considerar que el mapa de risc d'inundacions és només una pri-

mera aproximació, ja que l'anàlisi de la contribució de la infraestructura verda a reduir el risc d'inundació és complex i té una distribució multiescalar. Per exemple, a escala provincial, la presència a la part alta de les conques hidrogràfiques de components de la infraestructura verda en sòls permeables que generin un índex d'escolament baix té repercussions a la part baixa de les conques, reduint el risc d'inundacions a escala urbana/local.

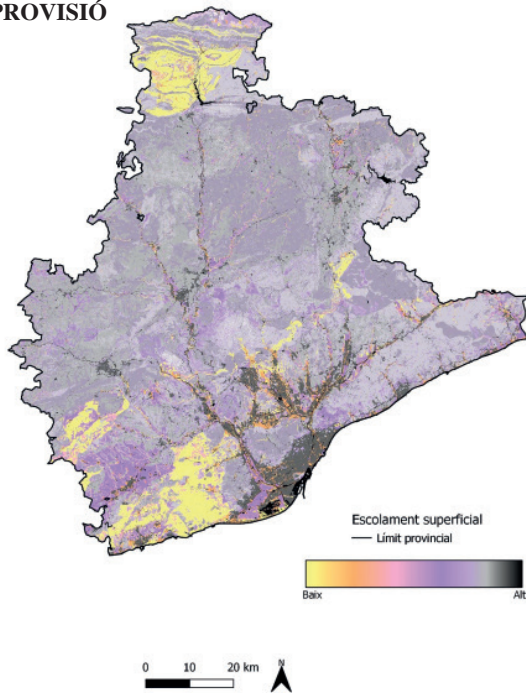
Pel que fa a la regulació de la temperatura, els estudis anteriorment esmentats consideren com a indicador indirecte l'evapotranspiració real (anual). Els components de la infraestructura verda que generen més evapotranspiració, i que per tant poden contribuir a la reducció de l'estrès tèrmic, són majoritàriament els boscos de les zones nord i est de la província (Figura 7). Ara bé, aquestes zones boscoses es troben lluny dels grans nuclis urbans, fet que indica que la seva contribució a reduir l'efecte d'illa de calor de les ciutats és limitada. Les zones amb evapotranspiració anual baixa es concentren a l'oest, en àrees cultivades (Anoia), però també en els nuclis urbans importants (Barcelona).

3. Síntesi i principals conclusions

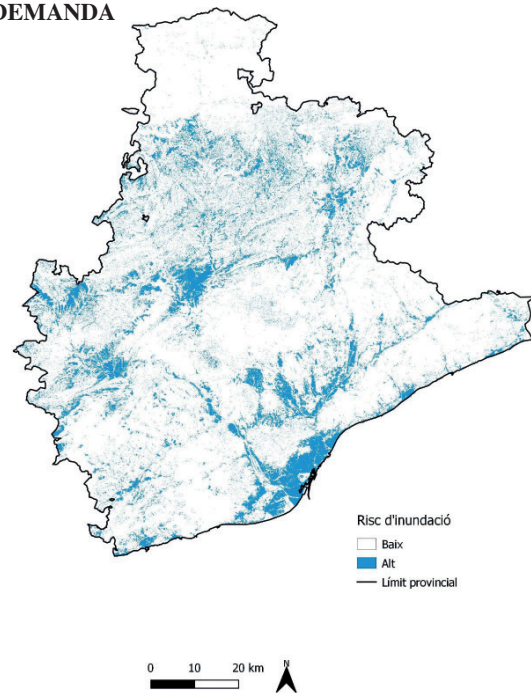
El potencial de la infraestructura verda urbana de Barcelona per contrarestar les emissions de carboni, la contaminació atmosfèrica i els episodis extrems de calor o de precipitació sol ser limitat i/o incert, sobretot a escala municipal. Això vol dir que, en general, la magnitud d'aquests problemes mediambientals i climàtics és encara massa elevada a escala de ciutat en comparació amb la contribució que fan o poden fer els serveis ecosistèmics urbans de regulació per atenuar-ne els impactes.

Figura 6. Distribució territorial a la província de Barcelona de: a) l'escolament superficial, i b) les àrees amb alt risc d'inundació.

A) PROVISIÓ



B) DEMANDA

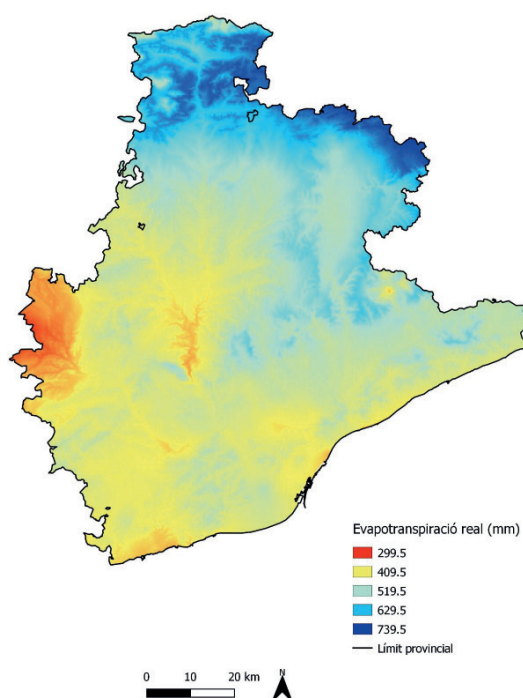


Font: Maestre-Andrés et al. (2018).

A escala metropolitana i provincial, la proporció d'infraestructura verda respecte del sòl edificat o urbanitzat és substancialment superior a la del municipi de Barcelona. No obstant això, l'avaluació dels serveis ecosistèmics a aquestes escales també mostra contribucions generalment modestes en el balanç general del carboni, és a dir, en la relació entre la captura i les emissions de carboni del territori, exceptuant les zo-

nes més forestals i poc poblades de la província. A més, l'alta capacitat de les grans àrees d'infraestructura verda metropolitana (com ara els espais naturals protegits) per tal de contribuir a la millora de la qualitat de l'aire o a la reducció de l'estrès tèrmic (per mitjà de l'evapotranspiració) generalment no es pot materialitzar a causa de la distància a què es troben dels llocs de major 'demanda', com ara les zones urbanes residencials més afectades per la contaminació de l'aire o l'efecte d'illa de calor.

Figura 7. Distribució territorial de l'evapotranspiració anual a la província de Barcelona.



Font: Maestre-Andrés et al. (2018).

Aquests resultats indicarien que l'escala rellevant per a l'aplicació d'estratègies d'infraestructura verda orientades a la millora de la qualitat de l'aire o l'adaptació al canvi climàtic probablement es limita al nivell de ciutat o fins i tot a escales inferiors. D'altra banda, segurament les estratègies de mitigació del canvi climàtic s'han d'abordar des d'una escala global, és a dir, reduint emissions i conservant o incrementant els grans embornals naturals de carboni a nivell mundial, com els boscos tropicals. La Taula 4 sintetitza l'evidència científica relacionada amb el potencial dels quatre serveis ecosistèmics de regulació analitzats en aquest article com a «solucions basades en la natura» per a la millora de la qualitat de l'aire i la mitigació i adaptació al canvi climàtic a Barcelona, considerant alhora les tres escales territorials: metropolitana/regional, urbana i suburbana. La taula és consistent amb altres estudis similars realitzats prèviament tenint en compte altres casos d'estudi (vegeu Pataki et al., 2011 i Demuzere et al., 2014).

Sobre la base d'aquesta síntesi del coneixement disponible (i també de les incerteses encara existents), es poden extreure les següents implicacions o conclusions pel que fa a la planificació i gestió multiescala de la infraestructura verda en l'àmbit de Barcelona i el seu rol potencial per a la millora de la qualitat de l'aire i la mitigació/adaptació al canvi climàtic.

Taula 4. Rol de la infraestructura verda en relació amb la qualitat de l'aire i la mitigació i adaptació al canvi climàtic a Barcelona, considerant l'escala suburbana, urbana (ciutat) i regional (província/regió metropolitana). Font: Elaboració pròpia a partir de les fonts citades anteriorment (vegeu Taules 1, 2 i 3).

	Província/regió metropolitana (escala regional)	Ciutat (escala urbana)	Espai verd o carrer (escala suburbana)
Filtració de contaminants atmosfèrics (millora de la qualitat de l'aire)	Rellevància baixa	Rellevància baixa	Depenent de la composició i configuració de la vegetació
Captura i emmagatzematge de CO ₂ (mitigació del canvi climàtic)	Rellevància moderada/baixa	Rellevància baixa	No definit
Control de l'escorrentia (adaptació al canvi climàtic)	Rellevància potencial moderada	Rellevància moderada	Rellevància moderada/alta
Regulació de la temperatura urbana (adaptació al canvi climàtic)	Rellevància potencial baixa	Rellevància moderada	Rellevància moderada/alta

Primer, els problemes de contaminació atmosfèrica i els objectius locals de reducció de gasos d'efecte hivernacle s'han d'abordar principalment mitjançant polítiques de reducció de les emissions, com ara mesures per a la limitació del trànsit motoritzat o d'eficiència energètica. En altres paraules, les polítiques urbanes de mitigació del canvi climàtic i millora de la qualitat de l'aire s'haurien de centrar sobretot en les fonts de contaminació (infraestructures edificades i sistemes de transport) més que no pas en els embornals (la vegetació urbana que absorbeix carboni i altres contaminants). Les estratègies d'infraestructura verda urbana poden jugar un paper complementari, però no principal, en la implementació d'aquestes polítiques.

Segon, la infraestructura verda urbana pot contribuir a desenvolupar estratègies d'escala suburbana per millorar la qualitat de l'aire i l'adaptació al canvi climàtic, contribuint alhora a la salut i el benestar dels ciutadans. Així, per exemple, els parcs, jardins o eixos verds poden actuar com a 'espais saludables' d'aire fresc i net dins de les ciutats. El potencial de les cobertes verdes, l'arbrat urbà o altres intervencions verdes a petita escala és també especialment rellevant a causa de la densitat i compacitat del teixit urbà de Barcelona i altres ciutats metropolitanes. Tal com mostra l'estudi de Baró et al. (2019), l'arbrat urbà juga un paper redistributiu rellevant en relació amb la provisió local de serveis ecosistèmics de regulació a Barcelona, especialment a causa de la distribució desigual i irregular d'altres components de la infraestructura verda urbana, com ara els parcs o jardins urbans. A més, aquest rol redistributiu de l'arbrat sembla que beneficia especialment col·lectius vulnerables als impactes del canvi climàtic i la contaminació atmosfèrica, com ara la gent gran.

Tercer, per tal d'estimar la contribució o efectivitat de la infraestructura verda en relació amb la qualitat ambiental i els reptes climàtics, també cal tenir-ne en compte els potencials perjudicis o «desserveis», sobretot a l'hora de planificar i gestionar la seva implementació en entorns urbans. Com s'ha comentat anteriorment, existeix evidència científica dels efectes negatius que poden provocar algunes espècies d'arbrat sobre la qualitat de l'aire, ja sigui per mitjà de l'emissió de compostos volàtils orgànics, de pol·len

al·lergogen o a causa de l'efecte barrera per a la dispersió de contaminants atmosfèrics que en determinades condicions poden provocar a escala de carrer. L'arbrat urbà o els boscos periurbans/metropolitans també poden ser contribuïdors nets d'emissió de gasos d'efecte hivernacle, especialment si es troben sotmesos a factors que en limitin el creixement i la vitalitat o directament a perturbacions ambientals com ara els incendis forestals. Així mateix, en climes mediterranis com el de Barcelona, l'augment de l'efecte microclimàtic de reducció de temperatures mitjançant l'evapotranspiració pot comportar un risc d'escassetat de recursos hídrics, especialment si aquest increment va lligat a una major necessitat d'aigua de reg per part de la vegetació urbana.

Quart, tot i que l'abast de la nostra síntesi es limita a quatre serveis de regulació, la infraestructura verda òbviament també proporciona serveis i beneficis addicionals, com ara el control de l'erosió, la millora de la qualitat de l'aigua o tota una sèrie de beneficis per a la salut i el benestar de les persones relacionats amb els serveis intangibles o culturals de la natura, incloent-hi les oportunitats per al lleure, l'apreciació estètica o l'educació ambiental. A diferència de les infraestructures urbanes tradicionals (per exemple, la infraestructura viària), en general dissenyades amb un sol propòsit, el valor afegit de la infraestructura verda urbana i metropolitana és la seva naturalesa multifuncional.

En resum, la planificació i la gestió de la infraestructura verda de l'àmbit de Barcelona en el context de la seva contribució a mitigar el canvi climàtic i adaptar-s'hi, juntament amb la millora de la qualitat atmosfèrica, requereixen un plantejament holístic i multiescalar. Els planificadors i gestors del territori han de tenir en compte tot el ventall de serveis ecosistèmics proporcionats pels diversos components de la infraestructura verda i les sinèrgies o incompatibilitats entre ells, juntament amb les diferents escales territorials en què aquests serveis poden ser significatius o rellevants. Aquest plantejament exigeix una elevada coordinació institucional entre tots els ens públics que s'ocupen de les polítiques urbanes i ambientals a la metròpoli de Barcelona, així com també l'harmonització dels instruments de planificació territorial i sectorial.

Agraïments

Aquest capítol es basa en una revisió de diversos treballs de recerca publicats anteriorment i referenciats a continuació que han estat finançats pels programes següents: xarxa ERA-Net BiodivERsA a través dels projectes 'URBES' (codi PRI-PIMBDV-2011-1179) i 'ENABLE' (codi PCIN-2016-002); 7è Programa Marc i Horizon 2020 per a la recerca i la innovació de la Comissió Europea a través dels projectes 'OpenNESS' (codi 308428) i 'Naturvation' (codi 730243); Consell Europeu de Recerca (ERC) a través del projecte Greenlulus (codi 678034); i el conveni de col·laboració amb la Diputació de Barcelona corresponent al projecte «Definició, caracterització i difusió de la Infraestructura Verda de la província de Barcelona en el marc del Sistema d'Informació Territorial de la Xarxa d'Espais Lliures (SITXELL)». També agraïm el suport tècnic i a nivell d'obtenció de dades proporcionat per l'Ajuntament de Barcelona i l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

Referències

- BARÓ, F.; CHAPARRO, L.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; LANGEMEYER, J.; NOWAK, D.; TERRADAS, J. (2014). «Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona, Spain». *Ambio*, 43:466-479.
- BARÓ, F.; PALOMO, I.; ZULIAN, G.; VIZCAINO, P.; HAASE, D.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E. (2016). «Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: a case study in the Barcelona metropolitan region». *Land Use Policy*, 57:405-417.
- BARÓ, F.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E. (2017). «Assessing the Potential of Regulating Ecosystem Services as Nature-Based Solutions in Urban Areas», en: KABISCH, N.; KORN, H.; STADLER, J.; BONN, A. (eds.), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice*. Cham: Springer International Publishing, pàg. 139-158. doi:10.1007/978-3-319-56091-5_9
- BARÓ, F.; CALDERÓN-ARGELICH, A.; LANGEMEYER, J.; CONNOLLY, J. J. T. (2019). «Under one canopy? Assessing the distributional environmental justice implications of street tree benefits in Barcelona». *Environmental Science and Policy*, 102:54-64.
- BASNOU, C.; BARÓ, F.; LANGEMEYER, J.; CASTELL, C.; DALMASES, C.; PINO, J. (2020). «Advancing on green infrastructure approach: integrating biodiversity, ecosystem functions and services into landscape planning in the Province of Barcelona». *Urban Forestry & Urban Greening*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126797>
- BEELEN, R.; HOEK, G.; PEBESMA, E. et al. (2009). «Mapping of background air pollution at a fine spatial scale across the European Union». *Science of the Total Environment*, 407:1852-1867.
- CE (COMISSIÓ EUROPEA) (2013). *Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's natural capital*. Brussel·les: European Commission, COM (2013) 249 final.
- CE (COMISSIÓ EUROPEA) DG RESEARCH & INNOVATION (2015). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: Final report of the Horizon 2020 expert group 'Nature-based solutions and re-naturing cities'*.
- CRONSHEY, R. (1986). *Urban hydrology for small watersheds*. US Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division.
- DEMUZERE, M.; ORRU, K.; HEIDRICH, O.; OLAZABAL, E.; GENELETTI, D.; ORRU, H.; BHAVE, A. G.; MITTAL, N.; FELIU, E.; FAEHNLE, M. (2014). «Mitigating and adapting to climate change: multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure». *Journal of Environmental Management*, 146:107-115.
- EISENMAN, T. S.; CHURKINA, G.; JARIWALA, S. P.; KUMAR, P.; LOVASI, G. S.; PATAKI, D. E.; WEINBERGER, K. R.; WHITLOW, T. H. (2019). «Urban trees, air quality, and asthma: An interdisciplinary review». *Landscape and Urban Planning*, 187:47-59. doi:10.1016/j.landurbplan.2019.02.010
- HAASE, D.; LARONDELLE, N.; ANDERSSON, E.; ARTMANN, M.; BORGSTRÖM, S.; BREUSTE, J.; GOMEZ-BAGGETHUN, E.; GREN, Å.; HAMSTEAD, Z.; HANSEN, R.; KABISCH, N.; KREMER, P.; LANGEMEYER, J.; RALL, E.; MCPHEARSON, T.; PAULEIT, S.; QURESHI, S.; SCHWARZ, N.; VOIGT, A.; WURSTER, D.; ELMQVIST, T. (2014). «A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation». *Ambio*, 43:413-433. doi:10.1007/s13280-014-0504-0
- HANSEN, R.; PAULEIT, S. (2014). «From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas». *Ambio*, 43(4):516-529.
- JIN, S.; GUO, J.; WHEELER, S.; KAN, L.; CHE, S. (2014). «Evaluation of impacts of trees on PM_{2.5} dispersion in urban streets». *Atmospheric Environment*, 99:277-287.
- LUEDERITZ, C.; BRINK, E.; GRALLA, F.; HERMELINGMEIER, V.; MEYER, M.; NIVEN, L.; PANZER, L.; PARTELOW, S.; RAU, A. L.; SASAKI, R.; ABSON, D. J.; LANG, D. J.; WAMSLER, C.; VON WEHRDEN, H. (2015). «A review of urban ecosystem services: six key challenges for future research». *Ecosystem Services*, 14:98-112. doi:10.1016/j.ecoser.2015.05.001
- MAESTRE-ANDRÉS, S.; BASNOU, C.; BARÓ, F.; LANGEMEYER, J.; PINO, J. (2018). *Definició, caracterització i difusió de la infraestructura verda de la província de Barcelona en el marc del Sistema d'Informació Territorial de la Xarxa d'Espais Lliures (SITXELL)*. Diputació de Barcelona.
- PATAKI, D. E.; CARREIRO, M. M.; CHERRIER, J.; GRULKE, N. E.; JENNINGS, V.; PINCETL, S.; POUYAT, R. V.; WHITLOW, T. H.; ZIPPERER, W. C. (2011). «Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions». *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9:27-36.
- 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*, 23:287-294.

REVI, A.; SATTERTHWAIT, D. E. et al. (2014). «Urban areas», en: FIELD, C. B.; BARROS, V. R. et al. (eds.): *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability*, Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge / Nova York: Cambridge University Press [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap8_FINAL.pdf].

TEEB (THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY) (2011). *TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*, consultable via teebweb.org.

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.

ONU (ORGANITZACIÓ DE LES NACIONS UNIDES). (2018). *World urbanization prospects: the 2018 revision*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (ST/ESA/SER.A/420).

ZULIAN, G.; POLCE, C.; MAES, J. (2014). «ESTIMAP: a GIS-based model to map ecosystem services in the European Union». *Annali di Botanica*, 4:1-7. doi: 10.4462/annbotrm-11807