El funcionament socioecològic del territori metropolità de BCN en deu indicadors

Joan Marull[a,b], Roc Padró[a,b,] Javier Gordillo[a,c], Tarik Serrano[a,b,] Pau Guzmán[a,c], María José La Rota-Aguilera[a,b,c] i Joan Pino[a,c]

Paraules clau: infraestructura verda, sistema socioecològic, indicadors socioambientals, metròpolis

Icono (Pexels)

Els sistemes metropolitans estan introduint en el seu planejament un nou paradigma: que els seus espais oberts constitueixen una infraestructura verda proveïdora de tot un seguit de serveis ecosistèmics dels quals en depèn tant la qualitat de vida de la gent que habita l'espai construït com la possibilitat de desenvolupar una economia més circular i sostenible que el model econòmic actual. Tanmateix, el debat que s'ha dut a terme per concretar aquest nou enfocament de la interdependència entre l'espai construït i l'espai obert també ha posat de manifest la necessitat de conèixer i avaluar les interaccions que es donen, o es podrien donar, entre els dos subsistemes. L'objectiu d'aquest article és presentar una avaluació de les dinàmiques socioecològiques recents ocorregudes a la metròpolis de Barcelona, mitjançant una selecció de deu indicadors socioambientals. Finalment, se n'extreuen conclusions i implicacions per a la gestió i la planificació metropolitana.

Introducció

Les àrees metropolitanes estan introduint en el seu planejament un nou paradigma: que els seus espais oberts constitueixen una infraestructura verda proveïdora de tot un seguit de serveis ecosistèmics dels quals en depèn tant la qualitat de vida de la gent que habita l'espai construït com la possibilitat de desenvolupar una economia més circular i sostenible que el model econòmic actual. Aquest canvi de paradigma es considera imprescindible perquè les metròpolis puguin desplegar el rol que els pertoca en els objectius de desenvolupament sostenible (ODS) proposats en l'Agenda 2030 de les Nacions Unides i assumits pels governs espanyol i català.

a. Laboratori Metropolità d'Ecologia i Territori de Barcelona (LET).
b. Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (IERMB).
c. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF).

Tanmateix, el debat que s'ha dut a terme per concretar aquest nou enfocament de la interdependència entre l'espai construït i l'espai obert també ha posat de manifest la necessitat de conèixer i avaluar les interaccions que es donen, o es podrien donar, entre els dos subsistemes. Actualment s'accepta que aquest repte requereix una altra mirada sobre els sistemes socioambientals metropolitans, que n'identifiqui el paper en el funcionament del sistema i en permeti quantificar els fluxos de matèria i energia que es mouen en ambdues direccions. Això permetrà estudiar com aquest bescanvi configura una determinada biodiversitat i unes determinades estructures d'usos del sòl que s'expressen en paisatges que han de proveir d'uns serveis ecosistèmics vitals per a la xarxa de ciutats i l'adaptació al canvi global. Per afrontar aquest repte, l'any 2018 es va posar en marxa el Laboratori Metropolità d'Ecologia i Territori de Barcelona (LET)[1]. El LET es constitueix per mitjà d'un acord entre l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), l'Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (IERMB) i el centre de recerca en ecologia CREAF. El LET es proposa tres objectius fonamentals:

1. Completar i actualitzar les bases de dades i la informació cartogràfica sobre les variables biofísiques més significatives a la metròpolis de Barcelona, d'acord amb les administracions implicades, perquè puguin ser utilitzades en la planificació sostenible del territori.

2. Fer un seguiment de dimensions clau (eficiència metabòlica, conservació de la biodiversitat, funcionament del paisatge, serveis ecosistèmics, canvi global i cohesió social) i d'eines de planificació (infraestructures verdes, agricultura periurbana, etc.) del sistema metropolità.

3. Impulsar la recerca aplicada per generar coneixement sobre el sistema socioecològic metropolità i identificar elements crítics o estratègics per al planejament i la gestió del territori.

El LET pretén, en especial, posar a punt criteris i eines per a l'anàlisi del sistema metropolità de Barcelona des d'aquesta perspectiva funcional del territori com a sistema, amb l'objecte d'incidir en el canvi necessari en polítiques públiques i el planejament territorial per assolir els reptes i objectius plantejats. Des de l'àmbit de l'ordenació territorial, cada cop prenen més rellevància els conceptes i mètodes de l'ecologia del paisatge per relacionar els patrons dels usos del sòl i els processos ecològics associats amb el manteniment de la biodiversitat i els serveis ecosistèmics. Tanmateix, sovint manca incorporar la perspectiva de com l'activitat humana, més enllà de la seva capacitat d'alteració dels ecosistemes, modifica el funcionament general del sistema metropolità amb processos específics d'intercanvi de matèria i energia. El marc conceptual i metodològic de l'economia ecològica, i en especial l'enfocament del metabolisme social, permeten també aproximar-nos a aquesta nova visió funcional de les interaccions entre societat i natura. En definitiva, la comptabilització de fluxos de matèria i energia interns o amb altres regions, juntament amb la perspectiva renovada de l'ecologia del paisatge, permeten una valoració multidimensional i multiescalar de la contribució dels espais oberts al funcionament del sistema metropolità i el disseny d'infraestructures verdes multifuncionals a la metròpolis de Barcelona.

L'objectiu d'aquest article és presentar una avaluació de les dinàmiques socioecològiques recents ocorregudes a l'àrea (AMB) i la regió (RMB) metropolitanes de Barcelona, mitjançant una selecció de deu indicadors elaborats pel LET (publicats a "La metròpoli en 100 indicadors. L'AMB en xifres

1. Vegeu-ho a: https://iermb.uab.cat/ca/let-bcn/

2019”)[2] a partir de diverses fonts: variabilitat climàtica; usos del sòl; estat de la vegetació; biomassa vegetal; estructura funcional del paisatge; estat de la biodiversitat; consum d’aigua per la infraestructura verda; estat ecològic dels rius; consum d’energia i emissions amb efecte d’hivernacle; i contaminació atmosfèrica. Finalment, se n’extreuen conclusions i implicacions per a la gestió i la planificació dels sistemes socioambientals metropolitans.

1. Dinàmiques socioecològiques recents

1.1. Variabilitat climàtica

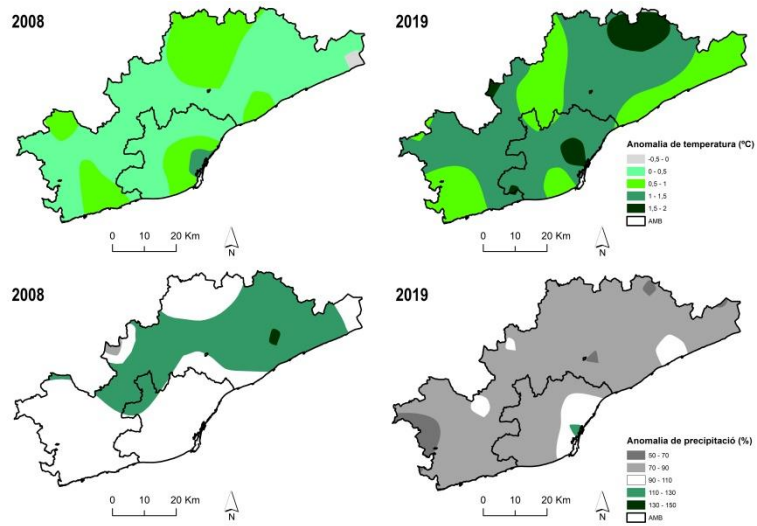
El seguiment d’indicadors anuals meteorològics pot ser útil per observar tendències en les variables climàtiques. El canvi climàtic es caracteritza per una anomalia sostinguda al llarg del temps, malgrat les variacions interanuals que hi pugui haver. Per això, des del 2008 es fa seguiment territorial de la diferència de la temperatura mitjana i la precipitació anuals respecte a un període de referència fixat per l’IPCC (1961-1990), i s’observa així la variabilitat climàtica recent.

Tot i que la sèrie des del 2008 és curta per definir tendències en termes climàtics, en els darrers anys hi ha un efecte sostingut d’anomalia en la temperatura, la qual des del 2014 ha estat almenys d’1 °C per sobre la mitjana del període 1961-1990. En els últims cinc anys, aquesta diferència ha estat superior a la mitjana en el cas de Barcelona, la qual cosa ha agreujat l’efecte illa de calor (figura 1). També pel mateix període es manté un increment superior a la mitjana en el cas del massís del Montseny, amb l’impacte que pot implicar per als seus ecosistemes. En la sèrie d’onze anys de dades de temperatura mitjana que van del 2008 al 2019, només l’any 2010 va ser proper al període de referència.

2. Vegeu-ho a: https://iermb.uab.cat/es/amb-en-xifres/la-metropoli-en-100-indicadors-lamb-en-xifres-2019-2/

En l’anomalia de la precipitació, la variabilitat és molt més alta que en el cas de la temperatura. Així com l’any 2018 va tenir una precipitació de mitjana un 50% per sobre de la referència, l’any 2019 a la RMB ha estat un 20% per sota. L’anomalia es va distribuir de manera força homogènia a tota la regió (figura 1). No s’observa una tendència clara, ja que l’any 2018 va trencar una certa tendència decreixent, atès que des del 2010 no hi ha hagut cap any amb una precipitació mitjana superior a la del període de referència.

Figura 1. Anomalia de temperatura i de precipitació a la regió metropolitana de Barcelona (RMB). Anys 2008 i 2019



Font: Laboratori Metropolità d’Ecologia i Territori de Barcelona (LET) a partir de la cartografia elaborada pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC, 2020).

1.2. Usos del sòl

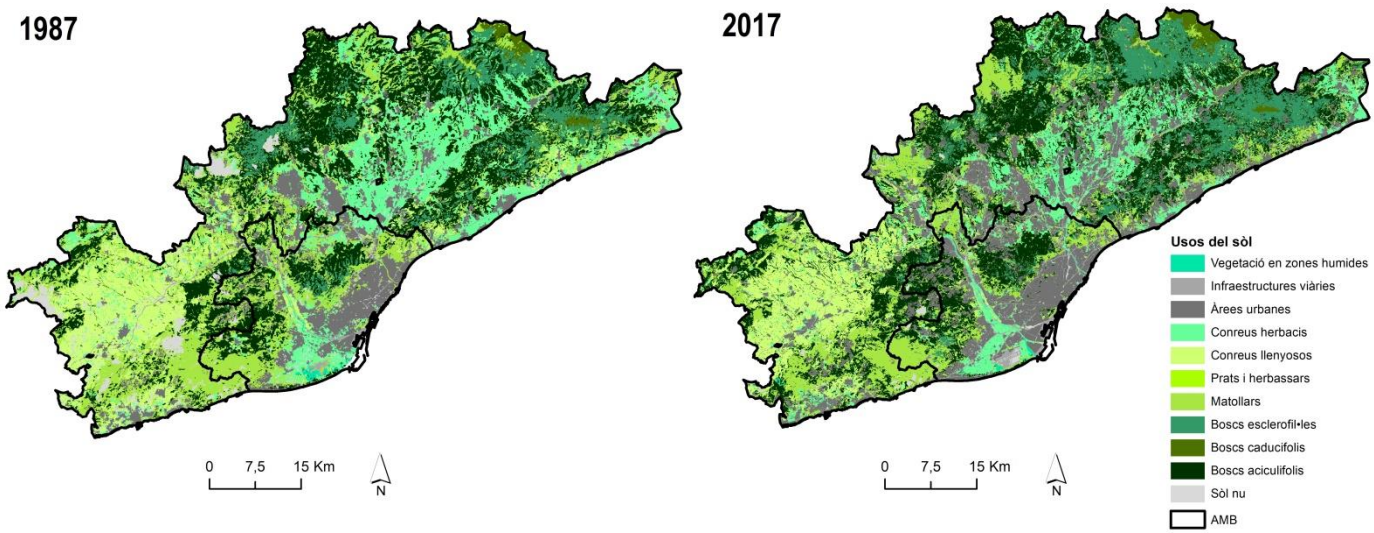
Com és conegut, el canvi d’usos del sòl més important en termes absoluts en els darrers 30 anys a la metròpolis de Barcelona ha estat l’expansió urbana (ha augmentat un 70% a la RMB i un 37% a l’AMB, segons dades del satèl·lit Landsat),

procés que ha estat acompanyat per un augment també molt significatiu de les infraestructures viàries (figura 2). La tendència del 1987 al 2017 ha estat tant de generació de continuïtats i tancaments en trames urbanes com d'aparició de noves urbanitzacions disperses. Malgrat que els espais oberts continuen sent majoritaris, l'impacte que aquest espai urbà —sigui dens o dispers— té en la fragmentació del territori i la funcionalitat del paisatge és clau per entendre els reptes socioecològics actuals de la metròpolis.

dominats per pi blanc— i esclerofil·les —majoritàriament alzinars—. Ambdós processos també s'han donat en els matollars, que han caigut un 9% i un 22% a la RMB i l'AMB respectivament. L'any 1987 hi havia també molt sòl nu, com es pot veure sobretot al nord-oest, fruit de les zones cremades pels incendis del 1986 (vegeu l'indicador de biomassa vegetal).

Quant als usos agrícoles, a l'AMB la superfície cultivada és

Figura 2. Usos del sòl a la regió metropolitana de Barcelona (RMB). Anys 1987 i 2017



Font: Laboratori Metropolità d'Ecologia i Territori de Barcelona (LET) a partir dels mapes elaborats pel Departament de Territori i Sostenibilitat (DTES) i la UAB-CREAF (GRUMETS, 2018).

L'expansió urbana, però també l'abandonament de l'activitat agrària, han suposat una reducció constant en la superfície agrícola fins a fer-la caure un 25% a l'AMB i un 18% a la RMB entre el 1987 i el 2017. Una part important s'ha convertit en espai urbà, però una altra ha passat a engrossir les massesforestals, que són principalment boscos aciculifolis —

d'un 8,1 % del total, mentre que a la RMB encara assoleix un 16,9%. El procés d'abandonament d'aquesta superfície continua actiu i en el darrer decenni s'estan perdent de mitjana 231 ha/any a la RMB i 37 ha/any a l'AMB, de manera que s'està reduint progressivament la sobirania alimentària de la metròpolis de Barcelona. A l'AMB (2019) predominen

els conreus herbacis de regadiu (principalment al Parc Agrari del Llobregat) i una zona de fruita fresca a l'Ordal. A la RMB, en canvi, continua dominant la vinya al Penedès, la terra campa a la plana del Vallès i l'horta al Maresme.

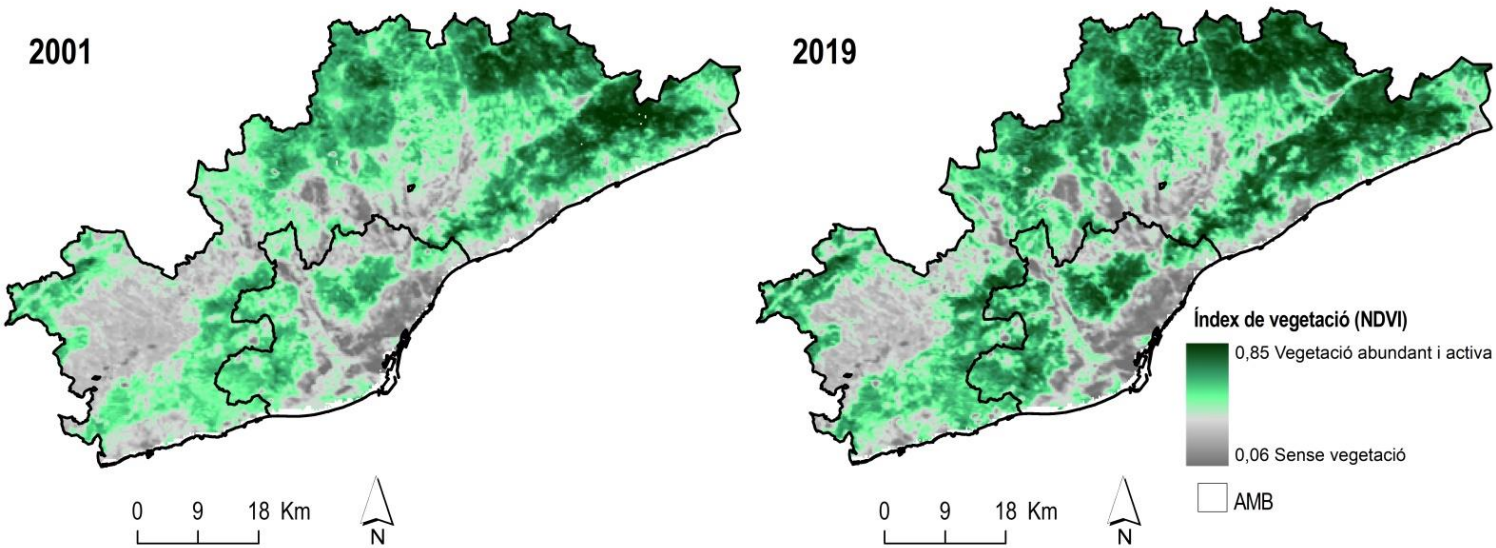
1.3. Estat de la vegetació

L'índex de vegetació normalitzat (NDVI per les sigles en anglès), obtingut amb dades del satèl·lit Terra (MODIS), indica quin és l'estat i l'abundància de la vegetació. Es tracta d'una mesura relativa (valors entre 0 i 1) del vigor i l'activitat fotosintètica de les masses vegetals, força acceptada internacionalment. Valors propers a 1 indiquen un millor estat vegetatiu, valors intermedis es relacionen amb estats de la vegetació més estressats, i els valors baixos corresponen a cobertes no vegetals.

En el context mediterrani, aquest indicador està molt relacionat amb la disponibilitat d'aigua per part de la vegetació i, per tant, és molt utilitzat en indicadors d'adaptació al canvi climàtic (vegeu els indicadors de consum d'aigua i de variabilitat climàtica). No obstant això, cal anar amb cura en la interpretació dels valors d'aquest indicador perquè poden variar amb el clima més recent.

Com es pot veure a la figura 3, els valors mitjans d'NDVI a la RMB es troben lleugerament per sobre de l'AMB, atès que aquesta regió incorpora grans massissos amb condicions climàtiques més favorables al desenvolupament de grans formacions forestals. Les zones de més frondositat corresponen als massissos del nord-est (Montseny i Montnegre) especialment plujosos. En canvi, en els vessants

Figura 3. Valor mitjà anual de l'índex de vegetació NDVI a la regió metropolitana de Barcelona (RMB). Anys 2001 i 2019



Font: Laboratori Metropolità d'Ecologia i Territori de Barcelona (LET) a partir de les dades del satèl·lit Terra (MODIS).

meridionals del massís del Garraf, així com en altres zones amb predomini de matollar, els valors són més baixos. En el cas del Penedès, el valor d'NDVI és baix en els conreus vitícoles, ja que en tractar-se d'una dada anual i ser cultius de fulla caduca, durant gran part de l'any el sòl es troba nu.

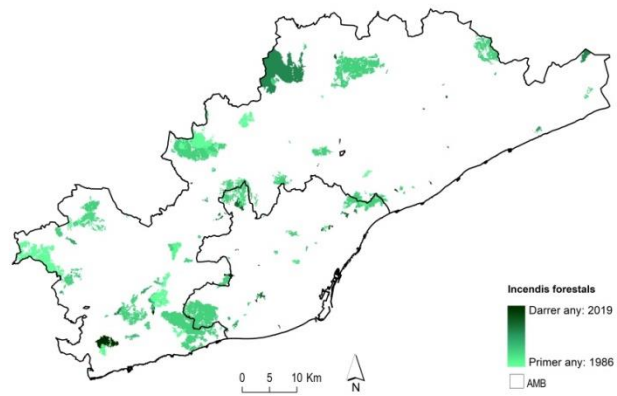
Els anys 2018 i 2019 els valors d'NDVI s'han situat per sobre de la mitjana de la sèrie, sobretot a la tardor del 2018, que va suposar el màxim en 18 anys de sèrie de dades, tant per a la RMB com per a l'AMB. Així mateix, la primavera i tot l'any en general van ser humits. Aquest efecte de les fortes pluges de la tardor del 2018 (vegeu l'indicador de variabilitat climàtica) va afavorir també una primavera del 2019 amb un índex elevat. El fet de tractar-se d'un any especialment humit afavoreix un augment del valor d'NDVI en les cobertes vegetals amb valors intermedis, mentre que aquelles que ja tenen valors elevats (com el Montseny o el Montnegre) no augmenten tant.

1.4. Biomassa vegetal

L'acumulació de biomassa en els boscos depèn de múltiples factors, com el mateix creixement de les masses forestals o la gestió que se'n fa. La pèrdua d'una part important de la gestió dels boscos en les darreres dècades, l'esvaïment del mosaic agroforestal o la pràctica desaparició de la pastura al bosc han afavorit un estat de les masses forestals procliu als grans incendis forestals. Les zones amb més acumulació de biomassa en l'arbrat (mesurades en carboni emmagatzemat) estan al Montseny i al Montnegre, però també a Collserola, coincidint amb els valors elevats d'NDVI (vegeu l'indicador d'estat de la vegetació). Entre el 2001 i el 2013 s'estima que s'ha continuat acumulant biomassa en la major part del territori, especialment en masses forestals que ja presentaven valors elevats a causa de la climatologia favorable.

En els darrers 30 anys i escaig s'han cremat unes 32.000 ha a la RMB (figura 4), gairebé un 10% de la superfície total de la regió. Els incendis més devastadors han estat els del 1986 i el 1994 (al Garraf i Montserrat, però també diversos municipis més de la RMB, amb 6 focus de més de 1.000 ha) i el 2003 (Sant Llorenç del Munt), els quals suposen el 60% de la superfície cremada en tot el període. Fins a 1.700 ha s'han cremat almenys dues vegades entre el 1986 i el 2019, com va passar amb més de 900 ha entre Vacarisses i Collbató el 1986 i de nou el 1994. Aquesta reincidència suposa una dificultat afegida als ecosistemes a l'hora de recuperar-se després d'una pertorbació tan gran. Malgrat que bona part dels incendis s'han produït a les comarques prelitorals i al Garraf, sobretot a la meitat sud-oest de la RMB on les condicions climàtiques (temperatura i pluviositat) i meteorològiques (règim de vents) són especialment favorables a l'aparició i propagació dels focs, es constata una gran acumulació de biomassa i alta inflamabilitat potencial en zones com el

Figura 4. Superfície cremada (>1ha) a la regió metropolitana de Barcelona (RMB). 1986-2019



Font: LET a partir de les dades del Departament de Territori i Sostenibilitat (2020) i del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural (DAAM, 2015).

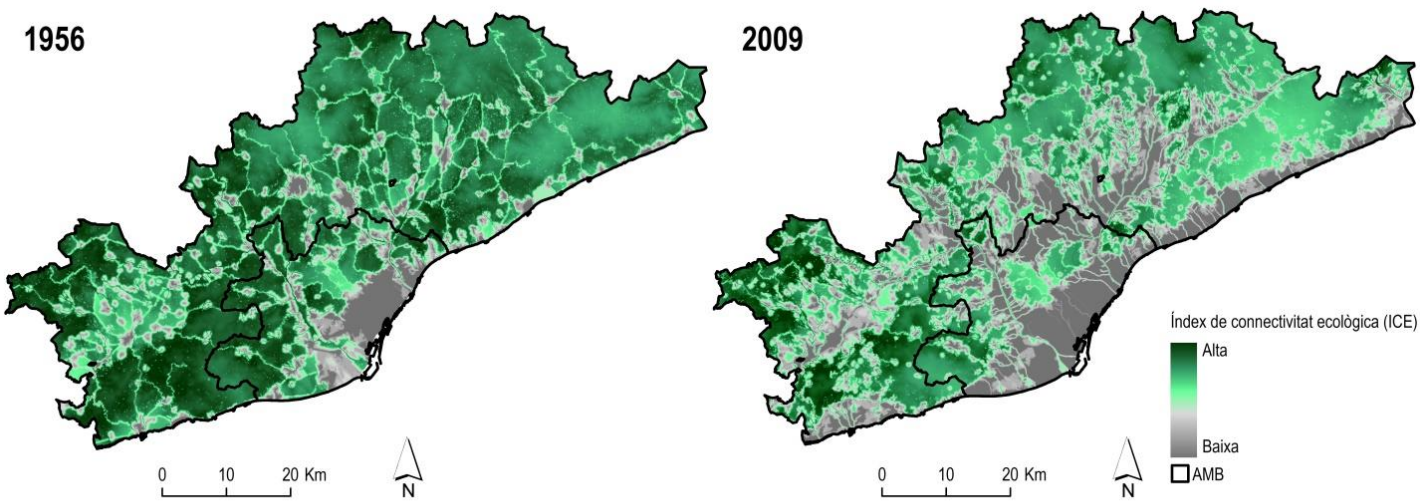
Montnegre (a diferència del Montseny, que té un valor baix d'inflamabilitat) i una gran continuïtat de la massa forestal que suposen un risc d'incendi important.

1.5. Estructura funcional del paisatge

El funcionament ecològic del paisatge a la RMB es veu molt afectat tant per la construcció progressiva d'usos urbans com per les infraestructures de transport que els connecten (vegeu l'indicador d'usos del sòl), així com per les diverses pertorbacions que es produeixen als ecosistemes (vegeu l'indicador de biomassa vegetal). Des de l'any 1956 la caiguda en la connectivitat ecològica del paisatge ha estat contínua, si bé a la resta de regió l'índex s'ha mantingut sempre per sobre del de l'AMB (figura 5). L'efecte de les barreres antròpiques (urbanes, infraestructures) en la connectivitat és molt elevat, aïllant algunes masses forestals com Collserola, o fins i tot fragmentant espais de més superfície com el Montnegre, la qual cosa n'afecta la biodiversitat (vegeu l'indicador d'estat de la biodiversitat). Comprovant la diferència entre el 1956 i el 2009 en els mapes de la RMB, el Garraf o la zona de la Llacuna, per sobre de Vilafranca, són les úniques zones que mantenen valors de l'índex de connectivitat ecològica (ICE) relativament similars respecte a l'any de partida. L'expansió urbana ha fragmentat el territori a la plana del Vallès, amb l'efecte barrera de l'espai urbà i les infraestructures, però també a tota la costa, de Vilanova i la Geltrú a l'alt Maresme.

Un element que també afecta de manera rellevant el funcionament ecològic i la capacitat d'allotjar biodiversitat és la complexitat del paisatge, que té en compte no només la connectivitat sinó també la diversitat de les cobertes del sòl. Així, espais amb un mosaic agroforestal dinamitzat com és el Penedès afavoreixen els processos ecològics, ja que disposen,

Figura 5. Índex de connectivitat ecològica (ICE) a la regió metropolitana de Barcelona (RMB). Anys 1956 i 2009



Font: Laboratori Metropolità d'Ecologia i Territori de Barcelona (LET) a partir del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (CREAF, 2015).

a més d'una bona connectivitat, de diversitat de cobertes i, per tant, d'hàbitats heterogenis. Per acabar, territoris amb usos menys diversos però amb masses forestals importants, com el Montseny, els cingles de Bertí o Sant Llorenç del Munt i la serra de l'Obac, presenten nivells de complexitat del paisatge mitjans.

1.6. Estat de la biodiversitat

Les papallones i els ocells són grups d'espècies animals que s'utilitzen internacionalment com a bioindicadors de l'estat general de la biodiversitat gràcies a la seva àmplia distribució, fàcil reconeixement i la sensibilitat que tenen als canvis en les dinàmiques socioambientals.

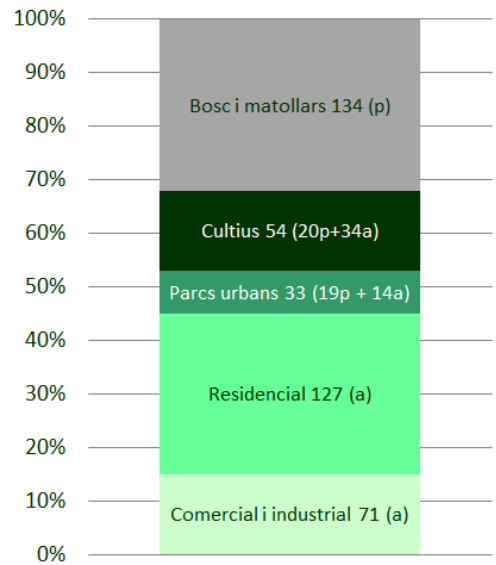
A la metròpolis de Barcelona s'ha fet un seguiment del nombre d'espècies i l'abundància de papallones i ocells, per part del Catalan Butterfly Monitoring Scheme (CBMS) del Museu de Ciències Naturals de Granollers —41 transsectes— i del Programa de seguiment dels ocells comuns de Catalunya (SOCC) de l'Institut Català d'Ornitologia (ICO) —91 transsectes—. Seguidament se'n presenten les dades obtingudes entre l'any 2005 i el 2015.

En general, la tendència que s'observa (gràfic 1 de la pàgina següent) és de disminució en l'abundància (nombre d'observacions), molt més clara en el cas de les papallones d'espais oberts i dels ocells associats a espais agrícoles. Això estaria en consonància amb el fet que la pèrdua de superfície agroforestal i connectivitat ecològica en la RMB (vegeu els indicadors d'usos del sòl i d'ecologia del paisatge) és un vector important en la caiguda de la biodiversitat, atès que aquestes tendències són més fortes en les espècies d'espais oberts, normalment associats a l'activitat agrària (conreus, pastures, etc.). Tot i la davallada en l'abundància, el nombre d'espècies identificades s'ha mantingut amb poques variacions al llarg dels 11 anys de la sèrie, però si la tendència de reducció de les poblacions continua, inevitablement afectarà la riquesa i la diversitat d'espècies a la metròpolis.

1.7. Consum d'aigua per la infraestructura verda

El consum d'aigua per la infraestructura verda de l'AMB, segons els requeriments d'aigua de la vegetació, es calcula mitjançant l'evapotranspiració de cobertes agrícoles, boscos, matollars i parcs urbans (vegeu l'indicador d'usos del sòl). Aquesta dada permet estimar l'ús d'aigua de la infraestructura verda, i l'aigua de la precipitació que roman potencialment disponible en cada municipi. Segons el municipi, s'estima que entre un 20 i un 80% de la precipitació a l'AMB és utilitzada directament per a la vegetació, i són lògicament els municipis amb més superfície urbanitzada els que consumeixen una part menor de la precipitació en la infraestructura verda.

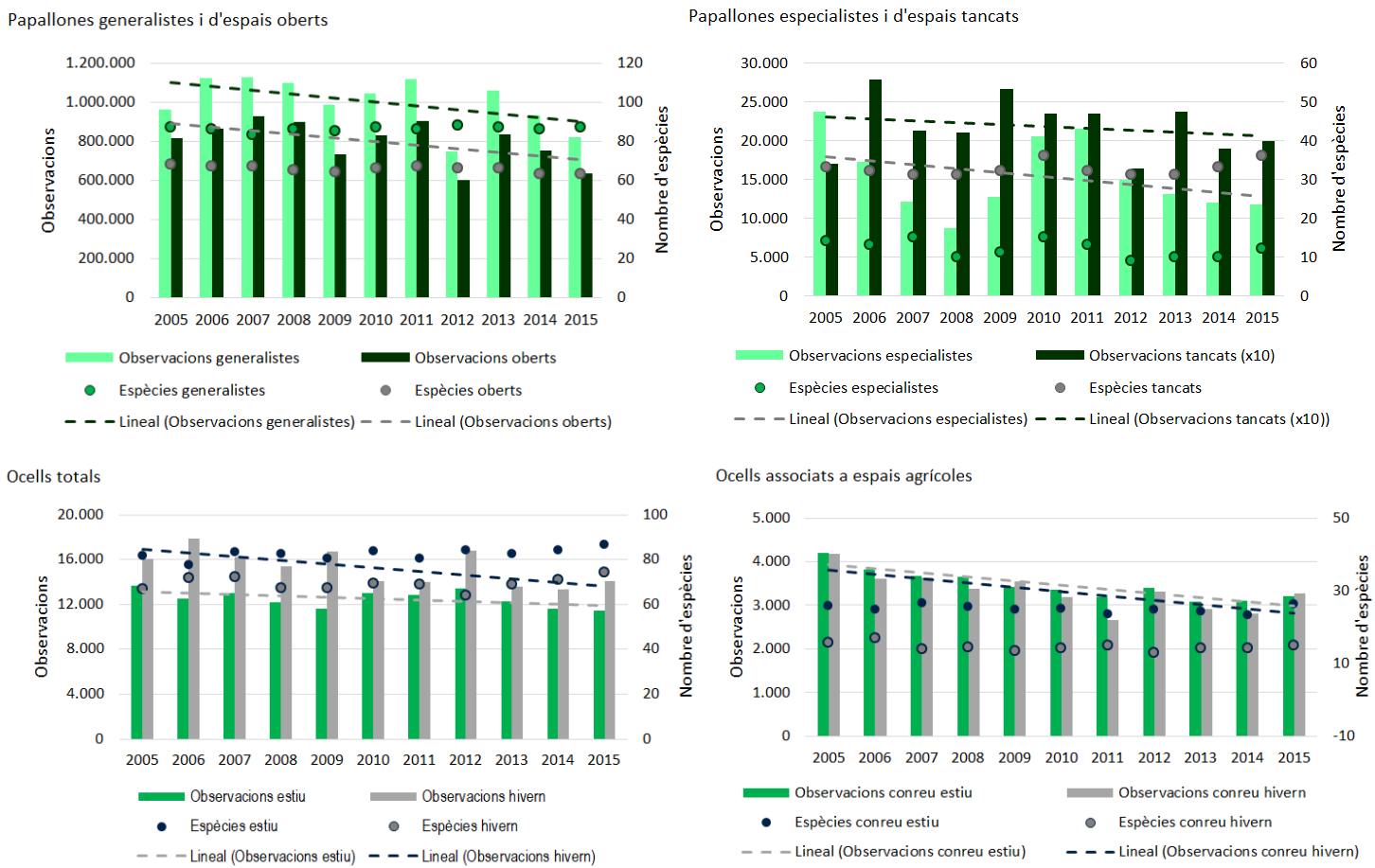
Gràfic 2. Consum d'aigua (dreta) als principals sectors de l'AMB l'any 2015 (volum hm^3)



Nota: *(p) = precipitació, (a) =abastament. Font: LET i AMB.

Aquests volums es poden contrastar amb els consums d'aigua dels diferents sectors d'activitat a l'AMB (gràfic 2 de la pàgina anterior), diferenciant l'aigua de reg del total d'aigua que requereix la vegetació (incloent-hi la que agafa de la precipitació) en els conreus i els parcs. S'observa com a l'AMB la infraestructura verda (boscos, conreus i parcs) consumeix més de la meitat dels fluxos hídrics del territori. Canvis d'usos del sòl al territori metropolità alteraran, doncs, la distribució de l'aigua interna disponible i, per tant, també les dependències d'abastament, aspecte especialment rellevant en escenaris de canvi climàtic (vegeu l'indicador de variabilitat climàtica).

Gràfic 1. Diversitat de papallones i ocells a la regió metropolitana de Barcelona (RMB) entre el 2005 i el 2015



Font: Laboratori Metropolità d'Ecologia i Territori de Barcelona (LET) a partir de les dades del CBMS (2016) i del SOCC (2016).

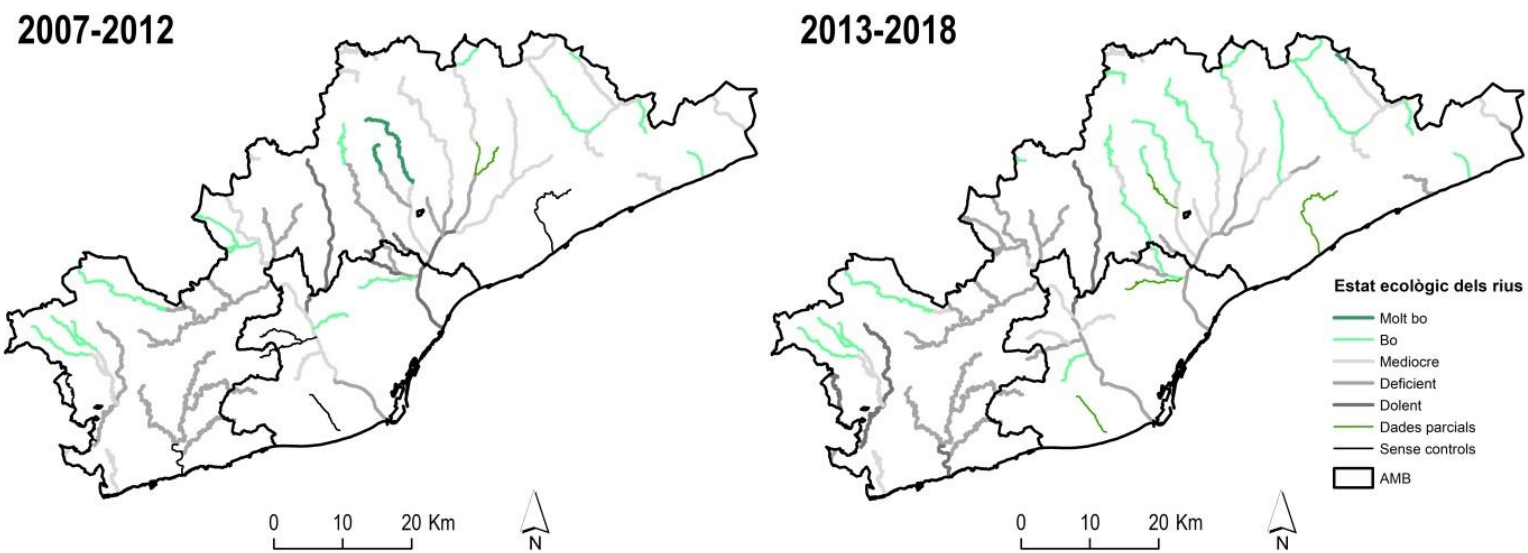
1.8. Estat ecològic dels rius

L'estat ecològic dels rius (figura 6) combina la qualitat biològica, fisicoquímica i hidromorfològica, mitjançant un seguiment que es fa als diferents trams dels rius metropolitans de Barcelona (IMPRESS, ACA). Així, la qualitat biològica mesura la presència de macroinvertebrats, algues diatomees, macròfits i peixos. La qualitat fisicoquímica mesura la concentració d'amoni, nitrats, fosfats, càrrega orgànica, conductivitat, clorurs i altres contaminants específics. I, finalment, la qualitat hidromorfològica avalua si hi ha alteracions al riu que n'afectin la continuïtat fluvial, el règim hidrològic o la morfologia.

Els trams dins de l'AMB han canviat de forma diversa el seu estat ecològic quan comparem els dos períodes analitzats (2007-2012 i 2013-2018): vuit trams han millorat, cinc romanen igual, i només dos trams han empitjorat. Tot i aquesta variabilitat, es pot dir que la tendència general ha sigut de millora, amb les excepcions de la riera de Vallvidrera o al riu Llobregat, de la riera de Rubí fins a Sant Joan Despí. L'estat químic dels rius avalua un seguit de contaminants (metalls, plaguicides, dissolvents i altres substàncies químiques) segons els llindars tolerats en les normatives legals.

En general, la contaminació química es concentra en els cursos que passen per zones més industrialitzades i poblades, especialment a les conques del Llobregat i l'Anoia, o al Besòs, on es detecten metalls pesants i diversos compostos industrials.

Figura 6. Estat ecològic dels rius a la regió metropolitana de Barcelona (RMB). Períodes 2007-2012 i 2013-2018



Font: Laboratori Metropolità d'Ecologia i Territori de Barcelona (LET) a partir de dades de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA).

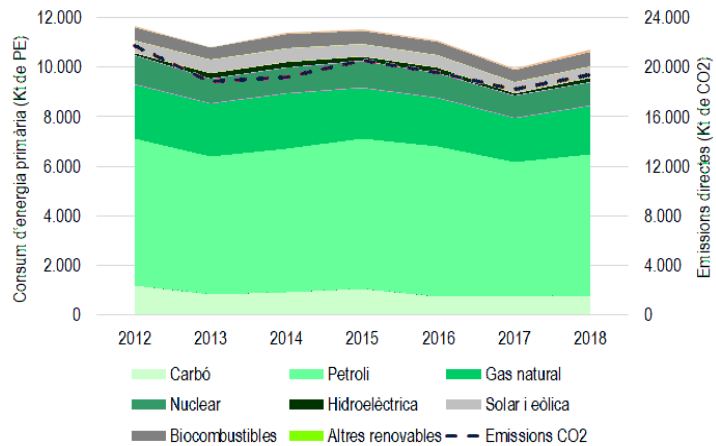
1.9. Consum d'energia i emissions amb efecte d'hivernacle

La distribució de la intensitat lumínica que proporcionen les dades satel·litàries (NTL) té una relació directa amb el consum total d'energia en els territoris. Així, es pot estimar la distribució del consum d'energia primària (CEP) a escales regionals a partir del consum estatal (que s'obté a partir dels balanços energètics proveïts per l'Eurostat). El CEP es concentra sobretot a la plana de Barcelona però també de manera molt important a la plana del Vallès, així com també s'expandeix per l'eix del Llobregat. Al mateix temps, es pot observar com del 2012 al 2018 hi ha hagut una lleugera disminució general dels valors de CEP (gràfic 3).

Des de l'any 2012 el consum d'energia primària ha tendit a baixar a la RMB (gràfic 3). Tot i que la davallada en CEP va arribar a ser del 15 % l'any 2017 respecte a l'any inicial de la sèrie, el 2018 va augmentar de nou un 8%, trencant així la tendència a la moderació del consum total d'energia. A partir d'aquestes dades de CEP, es poden estimar els valors de CO_2 segons les fonts d'origen de l'energia que es consumeix a la RMB. Els combustibles fòssils continuen representant pràcticament el 80% del consum total d'energia primària, una proporció que ha experimentat poques variacions. El segon grup quant a fonts d'energia són les energies renovables, que tanmateix són minoritàries i oscil·len entre el 10 i el 12% del consum total d'energia primària, seguit poc per darrere per l'energia nuclear, que té certa tendència a la baixa i passa del 9,8% de contribució el 2012 al 8,6% el 2018.

Dins de les energies renovables no s'observen canvis substancials al llarg del període analitzat, de manera que el repte per a una veritable transició ecològica continua sent molt important.

Gràfic 3. Evolució del consum d'energia primària (CEP) a la RMB, fonts d'origen i emissions de gasos amb efecte d'hivernacle associades (CO_2). 2012-2018



Font: LET a partir de les dades del balanç d'energia estatal (Eurostat, 2019) i els factors d'emissió de l'Observatori Català del Canvi Climàtic.

Amb tot, doncs, les emissions directes de CO_2 associades a aquest consum d'energia, calculades a partir dels criteris de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, oscil·len entre 18.200 i 21.700 milers de tones al llarg del període 2012-2018, sense que s'observi una tendència sostinguda a la baixa.

1.10. Contaminació atmosfèrica

Les dades de contaminants atmosfèrics (NO_2, $PM_{2,5}$, O_3) a la metròpolis de Barcelona obtingudes per satèl·lit (Sentinel-5) es basen en mitjanes anuals d'observacions, cosa que ofereix una informació complementària als models que interpolen dades de mostreig. Això permet donar una imatge de la distribució dels contaminants a tota la RMB. Per exemple,

aquestes dades satel·litàries permeten observar l'efecte de l'aturada de l'activitat econòmica per la crisi sanitària de la Covid-19.

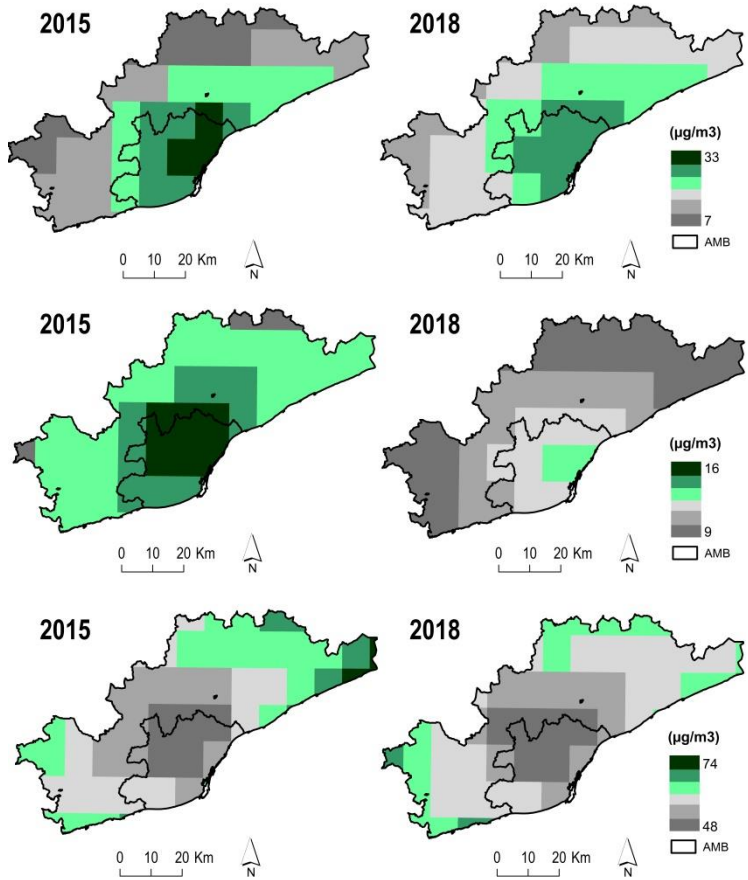
El diòxid de nitrogen (NO_2) és un gas que provoca malalties respiratòries, pluja àcida i boira fotoquímica. A més, és precursor de $PM_{2,5}$ i O_3. Es produeix en combustió als motors, centrals tèrmiques i escalfadors de gas butà. La concentració acostuma a ser més alta als mesos freds. La disminució dels vehicles dièsel i millores tecnològiques en centrals i fàbriques han reduït les concentracions de NO_2 els últims anys (figura 7, a dalt).

La matèria particulada en suspensió menor a 2,5 micròmetres ($PM_{2,5}$) suposa un risc perquè té una gran capacitat de penetració a les vies respiratòries. A diferència de les partícules més grans PM_{10}, que són fruit de fonts naturals com la sorra, les $PM_{2,5}$ provenen principalment dels vehicles dièsel.

La tendència els últims anys ha estat de lleugera baixada de $PM_{2,5}$ per efecte de les noves normatives per als vehicles (figura 7, al mig).

Finalment, l'ozó troposfèric (O_3) és un gas que a nivell de superfície causa problemes respiratoris. És un contaminant secundari, que es crea per interacció d'altres contaminants precursors amb la llum solar, i per això se n'observa un augment als mesos càlids. No és tan abundant als grans nuclis de població com els de l'AMB, ja que els precursors que provenen d'aquests llocs s'han de combinar amb altres elements, els quals es difonen a fora d'aquest territori i, per tant, és allà on es produeix principalment l'O_3 (figura 7 a baix).

Figura 7. Concentració mitjana anual de NO_2, $PM_{2,5}$ i O_3 (µg/m^3) a la regió metropolitana de Barcelona (RMB). Anys 2015 i 2018



Font: LET a partir d'una reanàlisi del model ENSEMBLE amb dades del satèl·lit Sentinel-5 - Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS).

2. Conclusions

En aquest article s'ha fet una avaluació de les principals dinàmiques socioecològiques recents ocorregudes a l'àrea (AMB) i la regió (RMB) metropolitanes de Barcelona,

mitjançant una selecció de deu indicadors socioambientals elaborats pel LET a partir de diverses fonts, cosa que permet comprendre la interdependència entre l'espai construït i l'espai obert per a la correcta gestió i planejament del sistema metropolità de Barcelona. Tot seguit, es resumeixen els resultats obtinguts de l'aplicació d'aquests indicadors.

Els resultats posen de manifest diversos factors de canvi que impacten directament o indirectament sobre el funcionament del territori metropolità i sobre la seva capacitat d'integrar biodiversitat i de proveir béns i serveis ecosistèmics: el canvi climàtic i el canvi en les cobertes i els usos del sòl.

El canvi climàtic al territori metropolità es caracteritza per l'aparició d'una anomalia sostinguda al llarg del temps. En els darrers anys hi ha un efecte sostingut d'anomalia en la temperatura, la qual des del 2014 ha estat almenys d'1 °C per sobre de la mitjana del període 1961-1990. En l'anomalia de la precipitació s'observa que la variabilitat any rere any és molt més alta que en la temperatura. Malgrat ser un fenomen global, les repercussions locals del canvi climàtic són evidents. Els últims cinc anys l'anomalia tèrmica ha estat particularment superior a la mitjana en el cas de la ciutat de Barcelona, la qual cosa ha agreujat l'efecte illa de calor.

Pel que fa als usos i les cobertes del sòl, és evident que el territori metropolità ha sofert un canvi espectacular en el darrer mig segle, motivat principalment per la urbanització. Com és conegut, l'expansió urbana a la metròpolis ha produït una important fragmentació del territori i la conseqüent pèrdua de funcionalitat ecològica del paisatge. Però encara més important en termes de superfície ha estat l'abandonament de l'activitat agrària, fet que ha suposat una reducció constant en la superfície agrícola que ha caigut un 25% a l'AMB i un 18% a la RMB (entre el 1987 i el 2017), reduint progressivament la sobirania alimentària de la metròpolis, aspecte especialment rellevant per tancar els cicles metabòlics del sistema urbà.
D'altra banda, aquest canvi en les cobertes i els usos del sòl és també conseqüència del canvi socioeconòmic que va provocar l'èxode rural i la desaparició dels usos tradicionals. Això va comportar la proliferació del bosc en detriment del mosaic agroforestal i la pràctica desaparició de la pastura que, unides a una pràctica desaparició de la gestió forestal, han afavorit (juntament amb altres factors com el canvi climàtic i l'ús lúdic creixent dels espais naturals) un estat de les masses forestals procliu als grans incendis a la metròpolis de Barcelona. En els darrers 30 anys i escaig s'han cremat unes 32.000 ha a la RMB. La recurrència d'incendis en algunes zones suposa una dificultat afegida als ecosistemes a l'hora de recuperar-se, la qual cosa produeix paisatges degradats amb poca resiliència davant de pertorbacions.

Des del 1956, primer any en què es tenen dades històriques de les cobertes del sòl a la metròpolis de Barcelona, la caiguda en la connectivitat ecològica del paisatge ha estat contínua, i ha afectat la biodiversitat i els serveis ecosistèmics que aquesta aporta a la societat. La pèrdua de paisatges culturals, expressada en mosaics agroforestals amb una economia circular integrada, que també incloïa la ramaderia, ha disminuït la funcionalitat dels espais oberts i la seva relació amb els espais urbans, fent que el sistema metropolità sigui cada cop menys resilient i depengui més dels inputs externs (energia, materials), i augmentant la seva petjada ecològica.

L'augment de les cobertes forestals ens ha portat a un nou paradigma que emergeix amb força davant l'emergència climàtica actual: la vegetació i la societat competeixen cada cop més per l'aigua. S'estima que, segons el municipi, entre un 20 i un 80% de la precipitació a l'AMB és utilitzada

directament per part de la vegetació. La infraestructura verda (boscos, conreus i parcs) consumeix més de la meitat dels fluxos hídrics a l'AMB. Canvis d'usos del sòl poden alterar la distribució de l'aigua interna disponible i, per tant, també les dependències d'abastament, aspecte rellevant en escenaris de canvi climàtic. El volum total d'abastament ha disminuït en un 23% al llarg del període analitzat (2002-20018), fet que és una tendència positiva. Dades satel·litàries han permès avaluar l'estat i l'abundància de la vegetació (NDVI) a la metròpolis de Barcelona, la qual cosa es relaciona amb la disponibilitat d'aigua i l'adaptació al canvi climàtic. Anys amb més pluviometria, com els darrers dos anys (2018 i 2019), presenten valors d'NDVI per sobre de la sèrie (2001-2019).

Pel que fa a la biodiversitat, la tendència és cap a una disminució i homogeneïtzació d'aquesta com a conseqüència dels canvis d'usos i cobertes, però també de la pressió creixent sobre els sistemes naturals. A la RMB s'observa que, entre el 2005 i el 2015, s'ha produït una progressiva disminució en l'abundància de papallones (principalment d'espais oberts) i d'ocells (sobretot dels associats a espais agrícoles). Aquest fet es relaciona amb la pèrdua de superfície agroforestal i connectivitat ecològica a la metròpolis de Barcelona. Les dades són preocupants ja que, si aquesta tendència de reducció de les poblacions continua, inevitablement afectarà la riquesa i diversitat d'espècies i els serveis ecosistèmics (de provisió, de suport, de regulació i culturals) que aporten a la societat, incloent-hi el benestar i la salut de la població. Cal remarcar, en el context actual de crisi sanitària, que la biodiversitat s'associa al benestar i la salut de la població, i a la prevenció de pandèmies, com la de la Covid-19.

Tanmateix, els esforços de millora en la infraestructura verda i blava del territori esmerçats els darrers decennis a la RMB han donat els seus fruits. La tendència (2007-2018) en l'estat ecològic dels rius ha estat cap a la millora, amb excepcions com ara la riera de Vallvidrera o al riu Llobregat, de la riera de Rubí fins a Sant Joan Despí. La contaminació química es concentra en cursos que passen per les zones més industrialitzades i poblades, sobretot a les conques del Llobregat i l'Anoia, o al Besòs, on es detecten metalls pesants i diversos compostos industrials que cal gestionar adequadament, per tal d'evitar fuites d'alt impacte ecològic com la darrera produïda en el Besòs (2019).

Pel que fa als indicadors de processos antròpics, cal destacar que de l'any 2012 al 2018 hi ha hagut una disminució general dels valors de consum d'energia primària (CEP) a la metròpolis de Barcelona. Els combustibles fòssils continuen representant pràcticament el 80% del CEP, proporció que ha experimentat poques variacions. Les energies renovables són minoritàries i oscil·len entre el 10 i el 12% del CEP, seguides per l'energia nuclear. Les emissions directes de CO_2 associades al CEP oscil·len entre 18.200 i 21.700 milers de tones al llarg del període 2012-2018, sense que s'observi una tendència sostinguda a la baixa, de manera que el repte per a una transició socioecològica continua sent molt important.

Les dades de contaminants atmosfèrics (NO_2, $PM_{2,5}$, O_3) a la metròpolis de Barcelona obtingudes per satèl·lit ja mostren l'efecte de l'aturada de l'activitat econòmica deguda a la crisi sanitària per la Covid-19 en els primers mesos de l'any 2020. La disminució dels vehicles dièsel i les millores tecnològiques en centrals i fàbriques han reduït les concentracions de NO_2 els últims anys. També s'observa una lleugera baixada de $PM_{2,5}$ per efecte de les noves normatives per als vehicles (2015-2018). No obstant això, el repte d'una mobilitat sostenible a la metròpolis de Barcelona és encara una assignatura pendent.

L'aplicació dels deu indicadors per avaluar les dinàmiques socioecològiques de la metròpolis de Barcelona posa en evidència la forta relació entre l'espai obert i l'espai construït, però també la necessitat d'afrontar cinc grans reptes a l'hora de comprendre i, per tant, gestionar el sistema urbà: i) xarxes multifuncionals: cal passar de ciutat a xarxa de ciutats (per exemple, importància de la infraestructura verda com a xarxa ecològica estructuradora del territori); sistemes complexos: cal passar d'ecologia urbana a sistema metropolità (per exemple, importància de l'agricultura periurbana com a nexe aigua-energia-aliments-societat); iii) sistemes dissipatius: cal passar de metabolisme urbà a anàlisi socioecològica integrada (per exemple, model metabòlic-territorial: cicles d'energia - usos del sòl, emissions); iv) anàlisi multiescalar: cal passar d'escala urbana a escala metropolitana (per exemple, gestió de recursos: cicle de l'aigua, paisatges agraris en mosaic); v) anàlisi multidimensional: cal passar de polítiques sectorials a polítiques transversals (planejament sistèmic: avaluació estratègica de plans i programes).

Partint de la conceptualització de la contribució dels espais oberts al sistema metropolità, el LET està treballant en una Anàlisi socioecològica integrada (SIA), model que es caracteritza per una sèrie d'indicadors interrelacionats que avaluen quantitativament l'aportació de la infraestructura verda en la sostenibilitat de la metròpolis, considerant sis dimensions fonamentals: eficiència metabòlica (energia, aigua, residus), conservació de la biodiversitat, funcionament del paisatge, canvi climàtic, serveis ecosistèmics (provisió, suport, regulació) i cohesió social. L'objecte del SIA és assessorar en les polítiques públiques, tenint en compte els cinc grans reptes per entendre i gestionar adequadament el territori com a sistema. Actualment el SIA s'està aplicant en l'avaluació ambiental estratègica del Pla director urbanístic de l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

D'aquesta manera, el LET afronta el repte d'una transició socioecològica a la metròpolis de Barcelona, introduint en el planejament territorial el nou paradigma esmentat en la introducció d'aquest article: la necessitat d'una infraestructura verda funcional que permeti proveir d'un seguit de serveis ecosistèmics essencials dels quals en depèn tant la qualitat de vida dels habitants de la ciutat com la possibilitat de desenvolupar una economia més circular i sostenible que el model econòmic actual, tot mitigant el canvi global i adaptant-s'hi.

El LET, doncs, preveu aconseguir els següents impactes en l'avaluació socioecològica de la metròpolis de Barcelona: i) reforçar els criteris i mètodes per al tractament del territori com a sistema socioecològic; ii) completar les bases de dades i el coneixement sobre variables territorials significatives; iii) elaborar un sistema de suport a la planificació i gestió de la metròpolis; iv) col·laborar en el disseny de polítiques i governança metropolitana, i v) facilitar la transferència d'informació ecològica i territorial a la ciutadania.

Aquest canvi de paradigma és imprescindible perquè les ciutats puguin desplegar els objectius de desenvolupament sostenible (ODS) de les Nacions Unides, però requereix nous criteris i mètodes innovadors per al planejament de les ciutats en relació amb les seves metròpolis, a més de voluntat política.