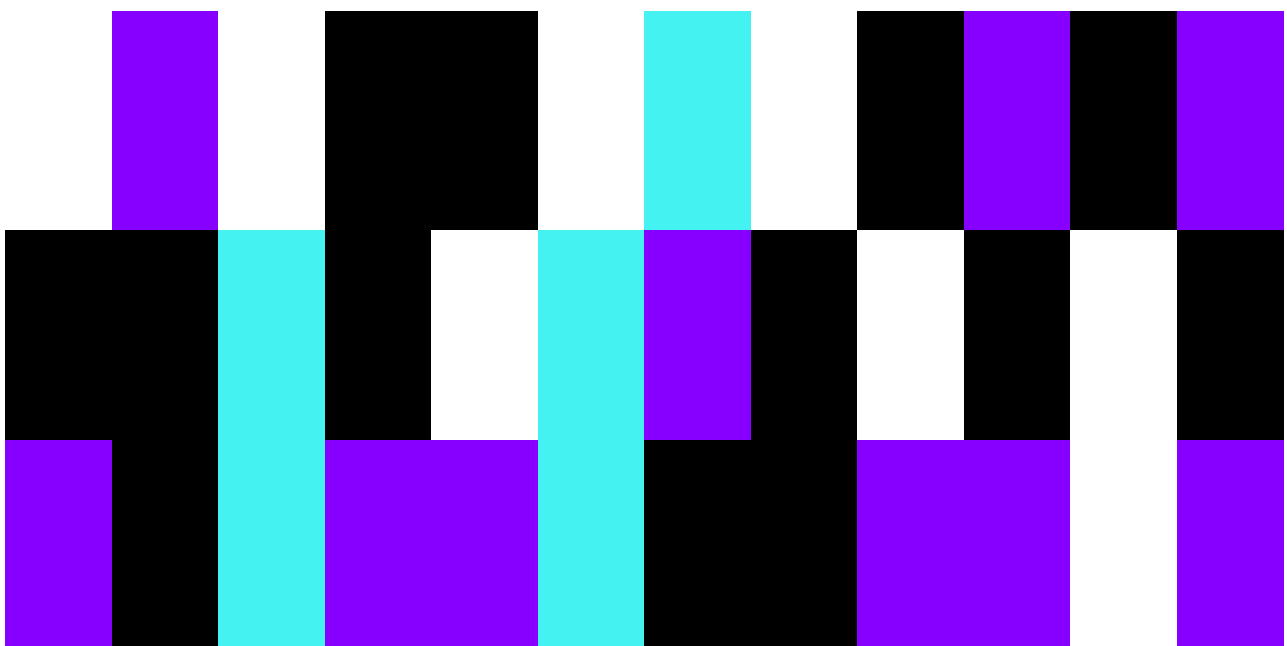


# El Nexe com a eina de diagnosi i simulació per l'àrea metropolitana de Barcelona. Escenaris de planejament territorial, transició agroecològica i canvi climàtic

Actuació 6.1.2.

Desembre 2023



**Treball realitzat per**

**Direcció**

Elena Domene Gómez

**Autors/res**

Tarik Serrano Tovar, Diego Saez Ujaque, Jaume Vila Traver

Bellaterra, 19/12/2023

# Índex de contingut

---

<b>1. Introducció i objectius</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Marc teòric i metodològic</b> .....	<b>6</b>
2.1. El model Nexe i marc teòric empleat .....	7
2.2. Els elements fons .....	8
2.2.1. Usos del sòl.....	9
2.2.2. L'activitat humana.....	10
2.3. Els elements fluxos.....	11
2.3.1. El flux d'aliments.....	12
2.3.2. El flux de nutrients del sòl.....	14
2.3.3. El flux d'energia.....	16
2.3.4. El flux de gasos d'efecte hivernacle .....	19
2.3.5. El flux d'aigua .....	20
2.3.6. El flux monetari.....	21
2.4. El càlcul d'escenaris .....	22
<b>3. Resultats</b> .....	<b>25</b>
3.1. El Nexe com a eina de diagnosi.....	25
3.2. El Nexe com a eina per simular escenaris.....	28
<b>4. Discussió</b> .....	<b>35</b>
4.1. Limitacions de l'estudi .....	36
<b>5. Conclusions</b> .....	<b>37</b>
<b>6. Bibliografia</b> .....	<b>39</b>

---

# 1. Introducció i objectius

Les complexes interdependències entre diferents recursos com l'aigua, l'energia i els aliments sovint fan que la gestió d'un recurs genera reptes o friccions en la gestió d'altres. Aquesta multiplicitat de reptes, tots ells interconnectats, s'ha d'abordar des d'un enfocament integrat que consideri de manera sistèmica el nexa entre les diferents dimensions (econòmica, social, ambiental) i les diverses escales espacials on interactuen (local, metropolitana, regional). Per tant, és essencial desenvolupar un enfocament analític sòlid que pugui connectar quantitativament aquestes interrelacions en sistemes complexos, com són les àrees metropolitanes, amb multiplicitat de sectors d'activitat en paisatges urbans i rurals.

El concepte de Nexa com a marc d'estudi es va desenvolupar durant la dècada de 1980 (Sachs i Silk, 1990). es va crear inicialment per la necessitat d'implementar una gestió integrada de l'aigua, l'energia i la seguretat alimentària. Però és des de fa menys d'una dècada que s'ha estat utilitzant àmpliament en l'àmbit acadèmic com a enfocament analític per proporcionar un marc per dissenyar polítiques que siguin transversals i coherents entre totes les dimensions socioecològiques que caracteritzin el territori d'un sistema (Hoff, 2011). Actualment, és possible trobar diferents perspectives del concepte Nexa segons el context (Brouwer et al. 2017)..

„ El Nexa es va proposar inicialment com un concepte des de l'àmbit agrari, i es va centrar en la necessitat d'implementar una gestió integrada de l'aigua, l'energia i l'agricultura, a partir del qual s'ha anat ampliant amb altres variables clau. Reconèixer aquestes connexions, és a dir, que l'avaluació i la gestió de l'aigua i l'energia s'haurien de coordinar amb la gestió de l'agricultura, suposadament permetria una millor eficàcia de la producció d'aliments i l'eficiència en l'ús dels recursos hídrics i energètics d'un territori. Actualment, aquests camps es consideren majoritàriament de manera aïllada i, tot i que la seva finalitat és clara (per exemple, una part de l'aigua s'utilitza per al reg de l'agricultura), qüestions importants segueixen sent difícils de connectar i avaluar. Per exemple, en l'agricultura l'aigua s'utilitza per al reg, l'energia és necessària per al subministrament i el transport d'aigua; i totes dues s'utilitzen al llarg de tota la cadena de subministrament agroalimentària. S'ha informat que proporcionar una eina útil per poder analitzar el nexa entre aquests recursos naturals és un objectiu molt important en la ciència sobre temes de sostenibilitat (Hoff, 2011). A més, hi ha una manca manifestada de capacitats per controlar una gestió integrada dels sistemes de producció agrària, subministrament d'aigua i energia, i per coordinar possibles intercanvis per part de les institucions governants de cada temàtica (Howarth and Monasterolo 2016). Com es mostra en aquest estudi, el Nexa es pot dissenyar per incloure més dimensions a la representació analítica, com ara els usos del sòl, l'activitat humana o els residus

L'objectiu general del present informe és aportar un conjunt d'eines que siguin d'utilitat per donar suport i facilitar una governança transversal multinivell del sistema metropolità de Barcelona. En aquest treball, es presenta l'aproximació Nexa com un enfocament metodològic innovador que pretén avaluar la relació entre aliments, fertilitzants, aigua, energia, usos del sòl, gasos d'efecte hivernacle, temps i diners. Per aquesta tasca, fem servir uns casos pilots on es mostren possibles escenaris de futur per la infraestructura verda de l'àrea metropolitana de Barcelona.

L'objectiu de fons és que el Nexa esdevingui un sistema de suport a la decisió de format interactiu, disponible per a polítics, tècnics, acadèmics i ciutadania interessada; capaç de mostrar les interaccions que es donen, entre les diferents dimensions que caracteritzen la infraestructura verda, amb simulació d'escenaris de futur en relació amb el sistema metropolità. Els escenaris desenvolupats tenen la intenció de mostrar com, si es modifiquen variables del model, es pot simular el canvi a la resta de les dimensions del sistema, cosa que permetrà avaluar escenaris futurs.

## 2. Marc teòric i metodològic

El concepte de Nexe proporciona un marc analític per abordar els sistemes socioecològics des d'una perspectiva holística, integrant múltiples dimensions i buscant dissenyar polítiques que reflecteixin aquesta complexitat interconnectada. Aquest enfocament és fonamental per abordar els reptes contemporanis que abasten àmbits com la gestió dels recursos i la planificació territorial, especialment en un context de canvi climàtic. A continuació, es detallen alguns aspectes clau d'aquest concepte:

- **Interconnexió de Dimensions:** El concepte de Nexe reconeix que les diverses dimensions d'un sistema, com ara els recursos naturals, els processos econòmics, les dinàmiques socials i les polítiques, estan estretament interconnectades. Aquesta interconnexió implica que les accions o canvis en una dimensió poden tenir impactes significatius en altres àmbits del sistema.
- **Consideració de la Complexitat:** Es destaca la complexitat dels sistemes socioecològics, reconeixent que aquests són entitats dinàmiques amb moltes variables i interrelacions. L'ús del terme "Nexe" implica la necessitat d'abordar aquesta complexitat mitjançant enfocaments analítics sofisticats i integradors.
- **Consideració de les Dimensions Temporals i Espacials:** Implica comprendre com els processos evolucionen en el temps i varien en funció de l'espai, consideració essencial per a una anàlisi completa.
- **Disseny de Polítiques Coherents:** Un dels objectius centrals del concepte de Nexe és proporcionar una base per al disseny de polítiques coherents i sostenibles. A través de l'anàlisi de les interconnexions i la comprensió de com els canvis en una dimensió poden afectar altres, es busca desenvolupar estratègies que abordin de manera efectiva els reptes socioecològics.

Actualment, és possible trobar tres aspectes complementaris del concepte de Nexe (Brouwer et al., 2017) que s'utilitzaran en el plantejament metodològic d'aquest estudi:

- L'enfocament biofísic, relacionat amb la capacitat del sistema per atendre les demandes de recursos i fer front als reptes de l'escassetat, especialment en un context de crisi de recursos naturals. Per exemple, es pot avaluar com crisis globals d'energia o aigua afecten els patrons de consum de recursos i com les pràctiques actuals poden contribuir a l'escassetat o la sostenibilitat.
- La gestió integrada dels compromisos i les sinergies entre diversos àmbits polítics per superar la gestió sectorial dels recursos. Per exemple, es pot avaluar com l'augment de la infraestructura verda pot augmentar la demanda d'aigua.
- El reconeixement de l'alta complexitat i incertesa que introdueixen les interaccions biofísiques, socioeconòmiques i polítiques, que necessàriament requereixen enfocaments transdisciplinaris a través de diverses escales i sectors d'activitat. Això vol dir que mai es perd de vista els altres sectors del sistema analitzat quan es parla d'un en concret, com pot ser l'agricultura i els altres sectors productius.

El present estudi integra cadascuna d'aquestes tres perspectives quan es fan simulacions d'escenaris de futur. Per exemple, es quantifica biofísicament el subministrament d'aliments i les seves dependències d'insums externs en escenaris de transició agroecològica, i es veu el grau de dependència alimentària que assolixen

diferents escenaris.

## 2.1. El model Nexe i marc teòric empleat

L'aproximació Nexe utilitzada en aquest estudi es basa principalment en els antecedents teòrics i metodològics del model Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism -MuSIASEM- (Giampietro et al., 2009; Giampietro i Mayumi, 2000, 2001). Aquest enfocament es basa el concepte de metabolisme social, que estudia sistemes complexos en termes biofísics i socioeconòmics.

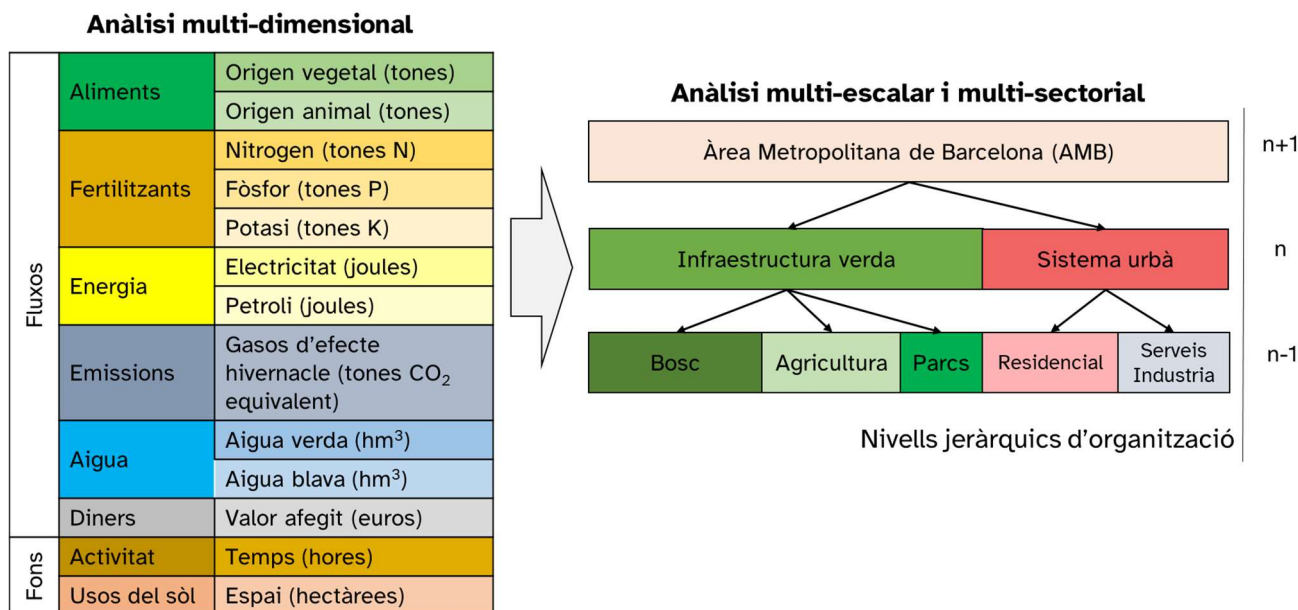
L'enfocament MuSIASEM va analitzar inicialment els agroecosistemes, i més tard es va ampliar als sectors urbans i desenvolupar per estudiar en profunditat altres sectors productius com els d'energia, aigua, residus i aliments (Giampietro & Mayumi 1997, Giampietro et al. 2009). L'objectiu és quantificar i integrar diferents dimensions (per exemple, energia, aliments, aigua, treball, terra) en una mateixa representació analítica utilitzant el concepte de metabolisme social. De la mateixa manera que els organismes, les societats metabolitzen materials i energia per realitzar activitats de les seves economies i per a l'autoreproducció, en forma de fluxos que es poden mesurar en unitats físiques, alternativament als indicadors econòmics estàndard, que no se centren a analitzar directament els intercanvis físics de l'economia. El concepte de patró metabòlic fa evident el nexa entre aigua, energia i aliments, que és determinat per les relacions entre els elements estructurals i funcionals d'un sistema complex (Giampietro et al. 2017). Una altra característica innovadora de l'enfocament MuSIASEM és que també és capaç d'establir relacions quantitatives simples però robustes entre tots els elements biofísics i socioeconòmics analitzats, una debilitat coneguda d'altres enfocaments que intenten integrar quantitativament models de diferents dimensions (per exemple, el model hidrogeològic amb models econòmics o models de consum energètic).

A diferència d'altres enfocaments que estudien el "metabolisme social", l'enfocament MuSIASEM no només quantifica els elements de flux, sinó que sempre els posa en relació amb els elements del fons. Els elements de flux quantifiquen el que fa el sistema i els elements del fons quantifiquen què és el sistema i donen una mètrica de la seva mida. Així, la quantitat d'un flux sempre es posa en relació amb l'extensió del sistema on s'està produint, en una relació de relació flux/fons. Per exemple, la quantitat de producció de cultiu es comptabilitza en termes de tones per hectàrea o quilograms per hora d'activitat humana, on el flux són les tones o quilograms i el fons les hectàrees o les hores. La consideració d'aquests fluxos i elements de fons per caracteritzar els sistemes socioeconòmics es basa en l'enfocament bioeconòmic proposat per Nicolas Georgescu-Roegen (1971).

Per altra banda, aquesta aproximació Nexe també fa servir la base de dades dels balanços de matèria i energia de models EROI (Energy Return on Investment) en agroecosistemes, fets per l'Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (IERMB, ara conegut com a Institut Metròpoli) per dades sobre producció d'aliments, i alguns insums agraris com fertilitzants o maquinària agrària.

En l'aproximació del model Nexe utilitzada en el present treball, es va més enllà de l'estudi de les connexions tradicionals centrades en aigua, energia i aliments. Encara que se centra en aquests tres fluxos metabòlics, el nostre model pot avaluar escenaris de canvi climàtic i transició ecològica, incorporant també nutrients del sòl i emissions de gasos d'efecte hivernacle (com es mostra a la figura 1). Aquests cinc elements de fluxos biofísics es relacionen després amb dos elements de fons, els usos del sòl i l'activitat humana, aquesta última referida a la distribució temporal de la població a les diferents activitats de la societat. El concepte del Nexe que s'utilitza inclou afegir noves dimensions al sistema i estructurar-lo a través dels nivells d'organització de la informació (figura 1), segons l'aproximació MuSIASEM.

**Figura 1. Síntesi de les dimensions estudiades, els nivells analítics i els sectors bàsics de l'àrea metropolitana de Barcelona**



Font: elaboració pròpia.

L'anàlisi del metabolisme permet relacionar els fluxos amb els fons, de manera que sempre es relaciona quant de flux s'està metabolitzant en relació al component del sistema que el metabolitza. D'aquesta manera, es pot saber, per exemple la producció agrícola per hora de treball, els aliments consumits per càpita o la quantitat d'aigua per hectàrea de cultiu.

Finalment, també s'inclou en el model el flux monetari, que no és un flux biofísic sinó que aporta una perspectiva econòmica al desenvolupament de les activitats productives i de consum de la societat (figura 1). La dimensió econòmica no és trivial en aquest tipus d'avaluació, ja que està limitant l'espai d'opcions i el cost d'oportunitats del que es produeix i consumeix per la societat. Per exemple, la recol·lecció de fusta excedentària dels boscos metropolitans com a font d'energia podria semblar una proposta perfecta des de la perspectiva ambiental, però probablement l'ingrés monetari per hora no seria gens competitiu en comparació amb la resta d'activitats econòmiques, i per tant representa un cost d'oportunitat que podria impedir el seu èxit en el context econòmic actual.

A continuació s'explica com es materialitza a la pràctica el Nexa en aquest treball.

## 2.2. Els elements fons

Quan analitzem el metabolisme social, els elements fons són les dimensions que estableixen què és el sistema analitzat, dona una mida de la seva mida, i romanen inalterables al llarg de la durada de l'anàlisi. Per exemple, si estudiem una fàbrica de cotxes, l'element fons es la fàbrica (que té una mida determinada i no augmenta ni disminueix), i l'element flux serien els cotxes, perquè aquests entren en peces, es transformen i surten diferents. Continuant amb l'exemple, per un cotxe funcionant, l'element fons és el cotxe, i l'element flux seria la gasolina que fa servir, y surt diferent (en forma de fums). És a dir, els fons ens diuen qui metabolitza, i els fluxos què fan. En aquest estudi s'han utilitzat els usos del sòl i l'activitat humana com a elements fons que

**Institut Metropolí**

El Nexa com a eina de diagnosi i simulació per l'àrea metropolitana de Barcelona. Escenaris de planejament territorial, transició agroecològica i canvi climàtic

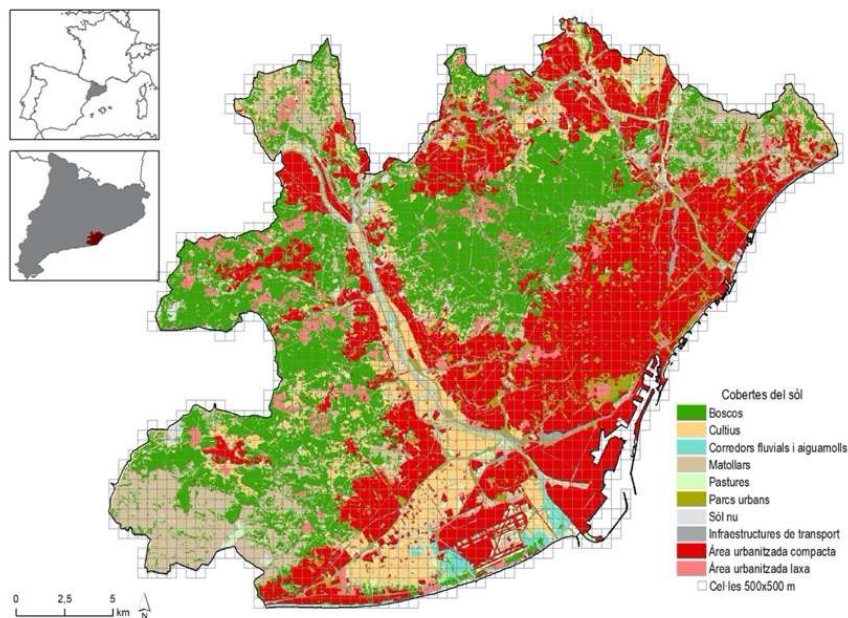


ens diuen què és el sistema analitzat -l'àrea metropolitana de Barcelona- i mesuren aquest territori en dos aspectes: superfície en hectàrees, i població en hores d'activitat humana.

### 2.2.1. USOS DEL SÒL

La dimensió usos del sòl és fonamental, ja que és un element fons que proporciona una mètrica a la quantitat d'espai físic del sistema considerat, on es produeixen els processos. Els usos del sòl són especialment rellevants a l'hora d'analitzar la infraestructura verda i el sector d'activitat primari, perquè tots els processos agraris estan condicionats per les superfícies disponibles i les ràtios de rendiment metabòlic per hectàrea. El present cas d'estudi es basa en les dades del Mapa de Cobertes del Sòl de l'àrea metropolitana de Barcelona (CREAF, 2016).

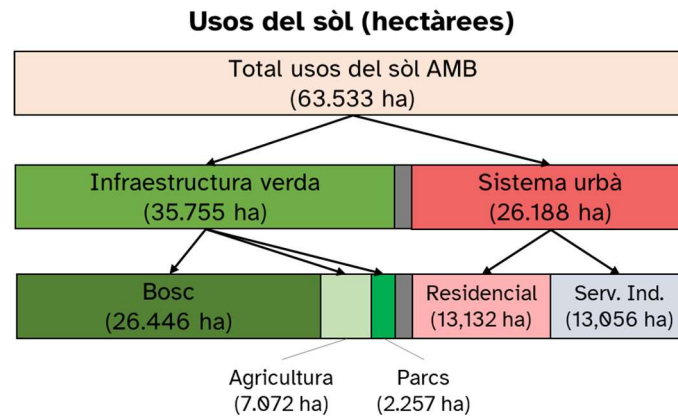
**Figura 2. Mapa de cobertes del sòl de l'àrea metropolitana de Barcelona (categories simplificades)**



Font: elaboració pròpia en base al Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya 2015 (CREAF, 2016).

Primer cal definir les categories que són més rellevants per a l' anàlisi: en aquest cas desagreguem la infraestructura verda i les seves relacions amb la resta del sistema metropolità i els sectors d'activitat que la componen. Es divideix en agricultura, silvicultura, i parcs (Figura 3). La resta del territori, que no forma part de la infraestructura verda, es considera principalment com a sistema urbà, que comprèn la resta de sectors d'activitat (secundari i terciari, incloent-hi indústria, construcció, transport, comerç, turisme i govern), i les zones residencials, que ocupen una part considerable del sòl urbà de l'àrea metropolitana.

**Figura 3. Distribució de les cobertes del sòl en tres nivells jeràrquics d'agregació a l'àrea metropolitana de Barcelona (2015)**



Font: elaboració pròpia.

En el cas de la infraestructura verda metropolitana, el Mapa de Cobertes del Sòl s'utilitza per a distingir entre els diferents usos agrícoles que es donen a l'àmbit d'estudi (per exemple, diversos cultius, pastures, guarets) i els hàbitats naturals (com boscos, aiguamolls, arbustos o prats), així com els parcs urbans.

### 2.2.2. L'ACTIVITAT HUMANA

La dimensió activitat humana és un element fonamental per iniciar la comptabilitat metabòlica de l'àrea metropolitana de Barcelona. Reflecteix l'assignació temporal de la població a les diferents activitats productives o de consum de la societat, quantificant i distribuint així quant de temps dedica la societat als diferents processos metabòlics, com ara consumir aliments, o produir productes manufacturats.

Les dades de població s'han extret directament de l'Institut Nacional d'Estadística (INE, 2021), agregant les dades de cadascun dels 36 municipis que conformen la metròpoli de Barcelona. Per a l'assignació del temps que la població dedica als sectors econòmics considerats, s'utilitzen dades sobre el nombre de treballadors de cada sector, multiplicades per la mitjana d'hores de treball anuals -1.760 hores- (Velasco-Fernández et al., 2020). El nombre de treballadors dels principals sectors econòmics (agricultura, indústria, construcció i serveis) prové de l'afiliació a la Seguretat Social disponible a l'Observatori del Treball i Model Productiu de la Generalitat de Catalunya, considerant tant el règim general com el règim especial i els treballadors autònoms.

Com que aquest treball se centra en la infraestructura verda, es calculen els fons de l'activitat humana en detall pel sector agrícola, forestal, i de gestió de parcs.

**Sector agrícola:** prové de l'afiliació a la Seguretat Social pel sector primari per la mitjana d'hores de treball anuals abans mencionades.

**Sector forestal:** el nombre de treballadors del sector forestal i en els parcs urbans. Utilitzant el Cens Agrari de 2009 i la població ocupada per 2015 i 2009 a partir de les dades del IDESCAT del municipi en xifres. S'estableix que es requereix una mitjana de 0,0026 Unitats de Treball Agrari (UTA) per hectàrea. Aquest factor es multiplica pel nombre d'hectàrees considerades de terrenys forestals (26.446 ha) i 1.760 hores de treball anuals.

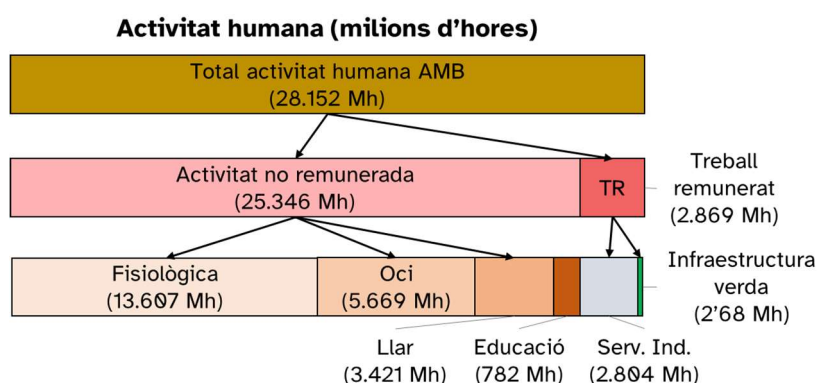
**Sector parcs urbans:** Per estimar el nombre d'hores de treball dels parcs urbans s'utilitza la mitjana d'hores de

treball per hectàrea de parc que proporcionen les empreses de manteniment dels parcs metropolitans, que és de 250 hores per hectàrea.

Per desagregar el temps de la població que no es troba en els sectors econòmics anteriors (és a dir, els sectors de treball remunerat) i que es pot considerar com a part del temps de permanència a les llars, s'utilitzen les dades de l'Enquesta d'Ús del Temps de l'Idescat. S'han agregat totes les categories de temps de l'enquesta (excloent el treball remunerat) en cinc categories generals rellevants per a una perspectiva metabòlica social: despeses generals fisiològiques (inclou dormir, menjar, higiene, etc.), tasques domèstiques (inclou totes les activitats laborals no remunerades, com la cura dels fills, la neteja o la cuina), el lleure, l'educació i el transport.

A la figura 4 es pot observar com la distribució de l'element fons 'activitat humana' difereix radicalment de la distribució de l'element fons 'ús del sòl' vista a l'apartat anterior (figura 3), ja que el temps que es dedica a les llars és sempre molt gran en comparació amb els sectors laborals remunerats. L'activitat humana total del sistema és simplement el resultat de multiplicar la quantitat de població l'any 2015 (3.213.699) per les hores de cada persona a l'any (24 hores x 365 dies = 8.760 hores). La quantitat de treball destinat a la infraestructura verda es pot veure representada a la part inferior dreta de la figura 4.

**Figura 4. Distribució de l'activitat humana en tres nivells jeràrquics d'agregació a l'àrea metropolitana de Barcelona (2015)**



Font: elaboració pròpia.

## 2.3. Els elements fluxos

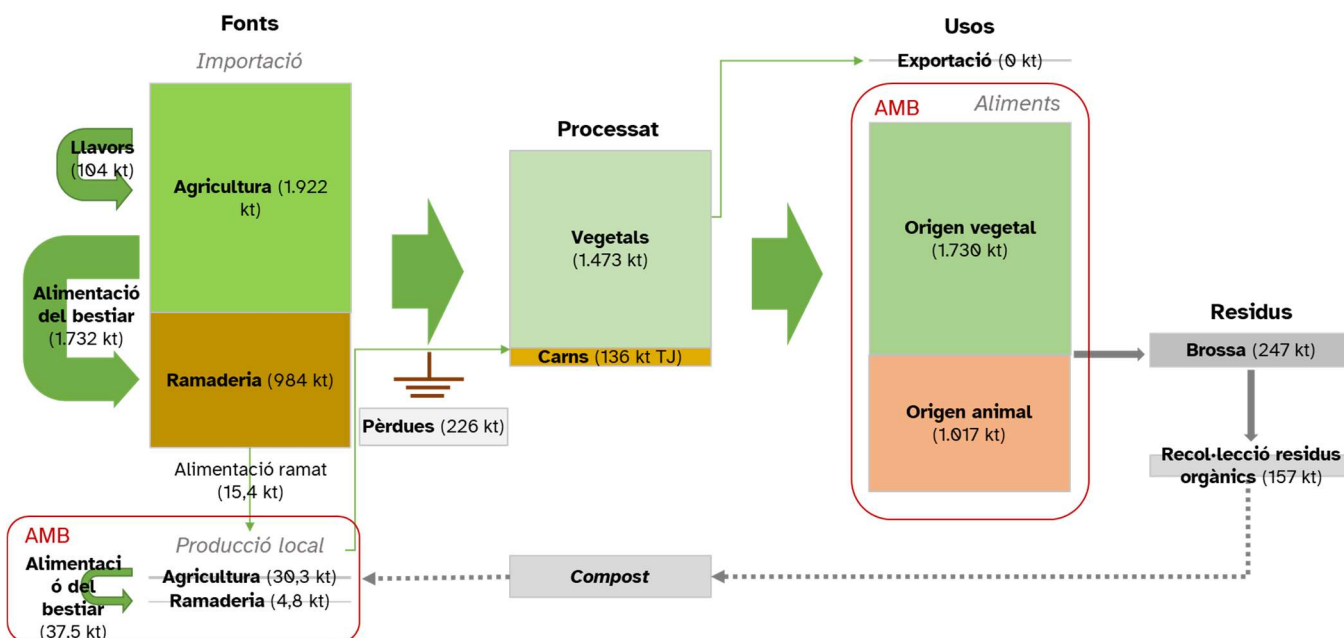
Els elements fluxos són aquells que són metabolitzats pels elements fons, i ens parlen i mesuren què fan. Per exemple, una cèl·lula (el fons) metabolitza glucosa, un humà metabolitza aliments i aigua, o una societat metabolitza petroli i minerals per funcionar i fer activitats. En aquest estudi, els elements fons considerats descriuen què fa l'àrea metropolitana de Barcelona en diferents aspectes biofísics, i mesurem el flux d'aliments, el flux de fertilitzants, el flux d'energia, el flux de gases d'efecte hivernacle, el flux d'aigua, i el flux de diners. La inclusió d'aquesta gran quantitat d'elements fluxos és molt innovadora com aproximació analítica i requereix un gran esforç d'integració i coneixement tècnic, però a canvi dona una descripció molt rica i holística del funcionament d'un territori complex com és l'àrea metropolitana de Barcelona.

### 2.3.1. EL FLUX D'ALIMENTS

El primer element de flux representat és el dels aliments (figura 5). El flux d'aliments es divideix en productes vegetals i animals, ja que representen els dos tipus principals de productes alimentaris amb característiques nutricionals, tècniques de conreu i impactes en altres dimensions (per exemple, els productes animals solen requerir més recursos per unitat d'aliment que els productes vegetals, però proporcionen aminoàcids d'alta qualitat).

La figura 5 mostra el flux d'aliments a l'àrea metropolitana de Barcelona, on es distingeix entre productes procedents de l'agricultura i la ramaderia, i es pot observar com hi ha alguns bucles interns de fluxos d'aliments, especialment pel que fa a la necessitat de cultius com a pinso per la producció animal.

**Figura 5. Diagrama del flux d'aliments a l'àrea metropolitana de Barcelona (2015)**



Com s'ha comentat a la metodologia, se suposa que tota la producció d'aliments locals es destina al consum intern, i com que és tan escàs, es considera que aquest aliment no es ven a fora. És important remarcar que en el model part de la producció de cultius dins de l'àrea metropolitana de Barcelona s'ha considerat que es destina a alimentar el bestiar. Aquesta part de la producció interna de cultius per a pinsos és més gran que la d'aliments (37,5 kt enfront de 30,3 kt), i fins i tot necessita la importació de més pinsos de fora del territori per satisfer els requisits de la dieta animal (figura 5). En el diagrama es mostra una xifra orientativa sobre la part de l'aliment que és processada per la indústria alimentària abans de ser consumida pels usuaris finals, que no es ven directament als mercats.

Finalment, s'estima quins són els residus dels productes alimentaris després del consum per part dels usuaris finals (figura 5), i la quantitat de residus orgànics recollits actualment, que eventualment es podrien utilitzar com a compost per a l'agricultura local. Però no tots els residus orgànics es poden utilitzar com a compost a les terres agrícoles, de forma que es requeriria un estudi específic del potencial real d'aquest procés, tenint en compte la composició dels residus orgànics, la capacitat de les plantes de processament per generar

diferents tipus de compost, i els requisits específics de l'agricultura local.

**Taula 1. Fonts, any i escala de les dades de flux d'aliments**

<b>Element</b>	<b>Font i any</b>	<b>Escala</b>
Rendiments per cultiu	Estadístiques de superfícies, rendiments i producció de cultius de l'any 2015 del Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya (DARPA).	Comarcal
Cabanya ramadera	Enquesta de nombre d'explotacions i places ramaderes per 2015 (DARPA). Cens agrari 2009 (MAPA)	Municipal
Producció animal	Enquesta de sacrificis de ramaderia 2014 (MAPA) Enquesta del sector lacti (MAPA) Enquesta de producció d'ous, mel i llana 2015 (MAPA)	Provincial Municipal
Consum, tractament, pèrdues d'aliments	Fulls de Balanços Alimentaris 2015 (FAO)	Nacional
Malbaratament alimentari	Informe sobre l'índex de residus alimentaris 2021 del Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA)	Nacional
Recollida de residus orgànics	Tractament Residus 2015 (AMB)	Metropolità

Les dades de la producció dels cultius provenen de les estadístiques de superfícies, rendiments i producció de cultius de l'any 2015 del Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya (DARPA) en l'àmbit comarcal. Aquesta dada es creua amb les dades del Mapa de Cobertes del Sòl per obtenir la producció final de cultius a l'àrea metropolitana de Barcelona.

Les dades sobre la producció animal s'estimen mitjançant les enquestes oficials sobre granges i unitats animals del DARPA, i les enquestes sobre matança de bestiar, lactis, ous i producció de mel del Ministeri d'Agricultura (MAPA). El balanç agrari també assumeix els pinsos que no es poden subministrar internament dins del territori i que requereixen ser importats de fora.

En aquesta aproximació, s'assumeix que tots els aliments produïts internament pel sector agrari es consumeixen també internament, i no s'exporten a mercats exteriors. S'ha decidit seguir la premissa on en primer lloc es destinen tots els fluxos per complir amb els requisits interns, mentre que la resta s'exporten.

Aquesta assumpció implica un biaix important, però, atès que la capacitat de producció interna d'aliments de l'àrea metropolitana de Barcelona és sempre inferior al 2% del que consumeix la seva població, aquesta hipòtesi no modifica significativament el comportament general del territori.

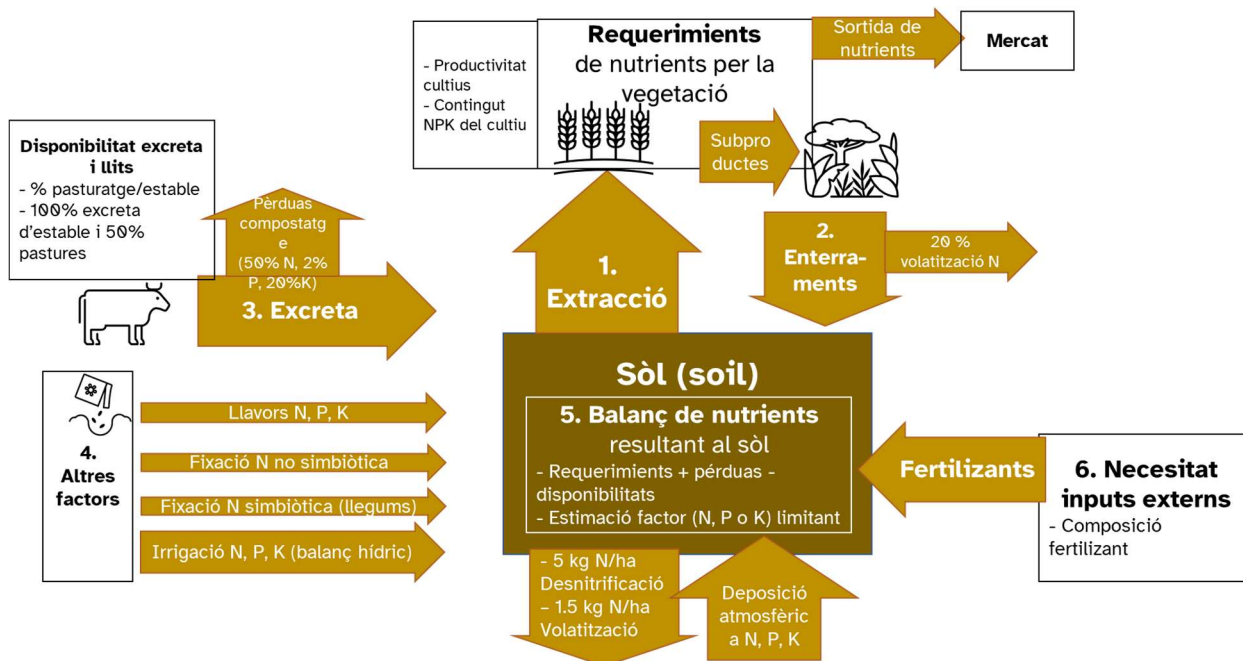
Les fonts de dades per estimar el consum d'aliments (dieta de la població), la transformació i les pèrdues d'aliments a l'àrea metropolitana de Barcelona es calculen mitjançant els Balanços Alimentaris de l'Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació (FAOSTAT, 2021). Els Balanços Alimentaris proporcionen dades estadístiques sobre el flux d'aliments en l'àmbit nacional, sobre importacions, producció, exportacions, pinsos, llavors, pèrdues, processament i consum final de 94 productes alimentaris principals per cada any.

L'estimació del malbaratament alimentari que resulta dels usuaris finals es realitza a partir de la quantitat de residus per càpita disponible per a Espanya a l'Informe sobre l'índex de residus alimentaris 2021 del Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA, 2021). Les dades sobre la recollida de residus orgànics es troben a les dades de tractament de residus de l'AMB (AMB, 2021).

### **2.3.2. EL FLUX DE NUTRIENTS DEL SÒL**

Com innovació als estudis d'aproximacions analítiques del Nexa i de MuSIASEM, s'ha inclòs per primera vegada el flux de nutrients del sòl. Aquest flux ha esdevingut una tasca pendent en les aproximacions del metabolisme social, sobretot quan s'estudien sistemes agraris i ecosistemes de zones naturals. Per sòl s'entén la capa de terra fèrtil que condiciona totalment el desenvolupament de la vegetació i, per tant, de l'agricultura. El sòl és un recurs escàs i fràgil, i el seu estudi és primordial en qualsevol anàlisi de temes agraris. En el present cas (figura 6), s'ha decidit quantificar aquesta dimensió com el flux de nutrients bàsics necessaris per la vegetació, que es divideix en els elements nitrogen, fòsfor i potassi (N, P i K en la seva nomenclatura atòmica respectiva). Aquests tres elements componen els macronutrients principals entorn dels quals es pot fer un balanç de nutrients del sòl.

**Figura 6. Diagrama del balanç de nutrients del sòl**



Font: elaboració pròpia.

El balanç de nutrients comença determinant quin és el contingut d'aquests macronutrients (N, P i K) per cada cultiu. Després es fa una identificació dels subproductes dels cultius que poden ser enterrats per contribuir a l'aportació de nutrients en el balanç. En aquest cas, aquests subproductes provenen de restes de l'horta, les pel·lofes de la majoria de cereals de secà i de regadiu, restes de plantes de patata, les pel·lofes dels fruits secs, i la sansa i brisa d'oliveres i vinya respectivament. La contribució de l'excreta de la ramaderia es fa combinant amb els balanços de les dietes animals, i després es fan diversos ajustos com detalla la figura 6 per estimar quines són les pèrdues i guanys naturals en el procés de compostatge, volatilització, aportació de llavors dins del sòl, fixació de nitrogen, irrigació i deposició atmosfèrica. Finalment, es fa el balanç de nutrients disponibles al sòl, i comparar amb les necessitats dels cultius. Tots els nutrients que no puguin ser satisfets naturalment es consideren que han de ser afegits com a fertilitzants de diferents composicions. Aquesta última dada de la composició N, P i K dels fertilitzants afegits són les quantitats que es mostren finalment com a flux a les matrius del Nexa, perquè determinen el grau de dependència de l'agricultura d'inputs externs.

**Taula 2. Fonts, any i escala de les dades de flux de e nutrients del sòl**

Element	Font i any	Escala
Composició NPK cultius	Soroa (1953) Galán et al. (2012) Yeager & Ingram (2003) Uchida (2000)	Cultiu

Institut Metròpoli

El Nexa com a eina de diagnosi i simulació per l'àrea metropolitana de Barcelona. Escenaris de planejament territorial, transició agroecològica i canvi climàtic

	(FEDNA (2010))	
Enterrament	Aguilera, Guzmán, & Alonso, (2015a, 2015b)	Cultiu
Excreta	ASAE (2000) Cens ramader 2009 (MAPA)	Animal
Altres pèrdues i guanys naturals	IPCC (2006) Vinther & Hansen (2004) Holtan-Hartwig et al. (1994) García-Ruiz et al. (2012) Vázquez et al. (2003)	Cultiu

Les dades pel balanç de nutrients del sòl estan disponibles en la base de dades del model EROI per agroecosistemes fet per l'àrea metropolitana de Barcelona l'any 2015 (IERMB, 2020). Els valors mitjans de composició provenen sobretot de Soroa (1953) i Galán et al. (2012). Pel que fa pels cultius de consum directe humà s'utilitza l'informe de Yeager & Ingram (2003) i de Uchida (2000) prenent valors mitjans. Pel que fa a alfals i altres productes per a l'alimentació animal es prenen les dades de les taules FEDNA (Fundacion Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2010). Els subproductes dels cultius disponibles per enterrament es determinen segons estudis d'Aguilera, Guzmán, & Alonso, (2015a, 2015b). Per la composició de l'excreta s'utilitzen les dades de les característiques del fem de l'American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2000). Tanmateix, per tal de poder-ho calcular es necessiten les dades de pesos, que s'extreuen del cens ramader de 2009. La volatització (és a dir, el procés de transformació natural de components nitrogenats del sòl en amoníac que es per en forma de gas)es determina segons dades de l'IPCC (2006), les desnitrificacions segons Vinther & Hansen (2004) i Holtan-Hartwig et al. (1994), les fixacions de nitrogen simbiòtiques i no simbiòtiques de les llegums segons García-Ruiz et al. (2012), i finalment es pren per la deposició atmosfèrica un valor estàndard per a tots els cultius de 3,7 kg N/ha d'acord amb Vázquez et al. (2003).

### 2.3.3. EL FLUX D'ENERGIA

Quan es parla de flux d'energia en aquesta aproximació de metabolisme social, es quantifica l'energia exosomàtica, que és la part d'energia utilitzada per màquines i dispositius, i exclou l'energia endosomàtica utilitzada en forma d'aliment pels éssers vius. Per les seves propietats tècniques, les seves fonts i aplicacions diferents, quan s'analitza l'energia exosomàtica es distingeixen dues categories principals de vectors d'energia (energy carrier): electricitat i combustibles.

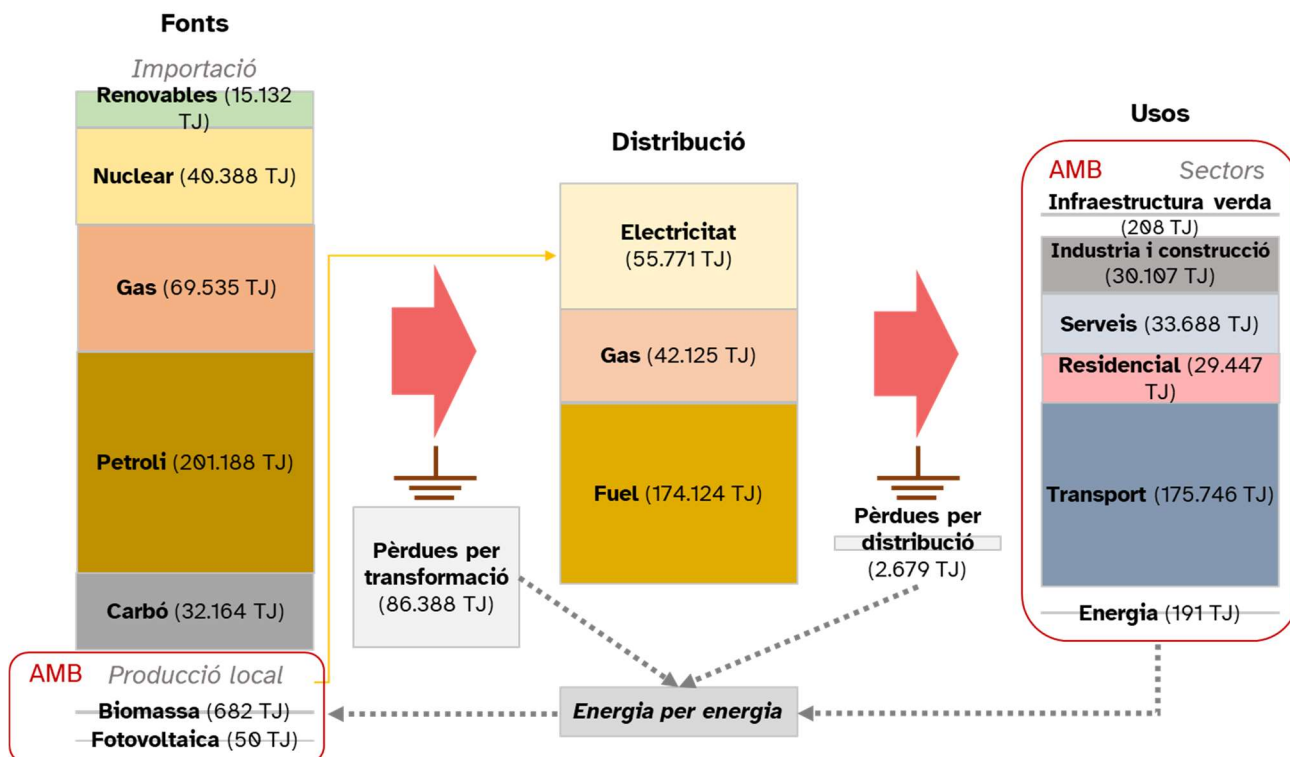
La figura 7 mostra el flux d'energia exosomàtica de l'àrea metropolitana de Barcelona. La infraestructura verda consumeix una petita part de l'energia del sistema en comparació amb la resta de sectors. El sector que consumeix més energia amb diferència és el transport. El consum d'energia per part dels usuaris finals es tradueix en una quantitat de vectors d'energia que entren al sistema, que distingim com electricitat, fuel i gas. Aquests vectors d'energia s'han de produir a partir de fonts d'energia primàries, que es reflecteixen al diagrama en unitats d'energia (TeraJoules). Les úniques fonts d'energia primària dins de la metròpoli són la combustió de biomassa i l'energia solar per generar electricitat.

**Institut Metròpoli**

El Nexe com a eina de diagnosi i simulació per l'àrea metropolitana de Barcelona. Escenaris de planejament territorial, transició agroecològica i canvi climàtic



**Figura 7. Diagrama del flux d'energia a l'àrea metropolitana de Barcelona (2015)**



Font: elaboració pròpia.

Finalment, cal una certa quantitat d'energia per fer funcionar les centrals elèctriques, i hi ha algunes pèrdues de transformació i distribució. Tots aquests fluxos pertanyen a l'energia que es requereix per proporcionar energia i es poden considerar com a bucles interns d'energia en el metabolisme energètic exosomàtic. Depenent de diferents tècniques, la combinació de fonts d'energia, les taxes de transformació i la ubicació de les fonts d'energia, aquests bucles interns canviaran i es podran analitzar per millorar la circularitat del sistema en escenaris futurs. En la taula 3 es mostren les fonts principals de les dades utilitzades per estimar el flux d'energia per l'àrea metropolitana de Barcelona.

**Taula 3. Fonts, any i escala de les dades de flux d'energia**

Element	Font i any	Escala
Consum electricitat	ICAEN 2015	Municipal
Consum gas	ICAEN 2015	Municipal
Consum gasolina i dièsel vehicles terrestres	Parc de vehicles matriculats 2015 (DGT) Quilometratge 2015 (ITV) Consum mitjà per tipus de vehicle	Municipal Per vehicle

Institut Metropolità

El Nexa com a eina de diagnòsi i simulació per l'àrea metropolitana de Barcelona. Escenaris de planejament territorial, transició agroecològica i canvi climàtic

	2020 (US Department of Energy)	
Consum transport marítim	Distribució fueloil i gasoil 2008 (EnerTrans) Subministrament combustibles al port 2020. (Observatorio de Servicios Portuarios)	Per port
Consum querosè transport aeri	Trànsit aeri 2015 (Ministeri de Transports) Consum combustible per vol 2015 (Ministeri de Transició Ecològica)	Per aeroport Per vol
Energia primària per electricitat	Flux de Balanç Energètic 2015 (Eurostat)	Nacional

Les dades de consum d'electricitat i gas canalitzat per municipis i sectors econòmics provenen de l'Institut Català d'Energia. Es considera que el consum elèctric del sector forestal és insignificant en comparació amb la resta de sectors, ja que majoritàriament utilitza combustibles. També s' estima insignificant el consum de gas dels sectors de la infraestructura verda, puix ni tan sols es té en compte a les estadístiques de gas.

L'electricitat utilitzada pel transport prové de les estadístiques de consum elèctric per sector esmentades anteriorment. El consum de combustible s'estima per separat per al transport terrestre, aeri i marítim. Per als vehicles terrestres, cal recollir dades sobre: i) el parc de vehicles matriculats, segons el tipus de vehicle i el tipus de combustible -gasolina o gasoil, facilitat per la DGT, ii) el quilometratge mitjà registrat per tipus de vehicle, proporcionat per la ITV, iii) el consum mitjà de combustible per tipus de vehicle i tipus de combustible. Un cop combinades aquestes tres variables, és possible estimar el total de litres de gasolina i gasoil. Posteriorment, es transforma en joules tenint en compte el contingut energètic d'un litre de gasolina (34,78 MJ) i d'un litre de gasoil (38,65 MJ).

Pel que fa als combustibles utilitzats pel transport marítim, els dos combustibles que utilitzen les embarcacions són fueloil i gasoil, amb una distribució del 80% i 20% respectivament, i el contingut energètic dels quals ronda els 40,5 MJ per quilogram i 42,5 MJ per quilogram (EnerTrans, 2008). Les dades del subministrament total de combustibles al port de Barcelona per a l'any 2015 són extretes de l'Observatorio de Servicios Portuarios (2020).

Els combustibles que consumeix el transport aeri en aquest cas d'estudi també són molt rellevants, ja que Barcelona té un dels aeroports més grans d'Europa. Les dades del trànsit aeri per aeroport són facilitades pel Ministeri de Transports. Les dades sobre el consum de combustible d'avions tipus querosè per vols nacionals i internacionals a Espanya estan disponibles al Ministeri de Transició Ecològica. El contingut energètic del combustible per a avions de tipus querosè és de 46,5 MJ per quilogram.

Tot i que la major part dels fluxos d'energia exosomàtica que consumeix l'àrea metropolitana de Barcelona són importats de l'exterior, hi ha una certa producció d'electricitat dins del territori, en forma de dues grans centrals de cicle combinat, i algunes petites plantes de crema de residus, a part d'algunes de generació solars.

També cal estimar les fonts d'energia primàries (com el carbó, l'urani o el petroli), necessàries per subministrar electricitat i combustibles. L'electricitat prové d'una combinació de fonts d'energia comuna a tota la xarxa

#### **Institut Metròpoli**

elèctrica. La combinació de fonts és d'àmbit nacional i les dades estan disponibles al Flux de Balanç Energètic d'Eurostat. En el context actual de crisi energètica global, el tipus de fonts d'energia utilitzada és estratègic, a causa de les altes taxes de dependència dels recursos energètics externs com el petroli, el gas o l'urani, i la creixent escassetat i competència.

La combinació de fonts d'energia primària determina la quantitat d'emissions de gasos d'efecte hivernacle relacionades amb el consum d'energia. L'estimació de la distribució d'energia primària segons les seves fonts és delicada i compta amb diversos mètodes que segueixen diferents autoritats d'estadística energètica. Aquí s'han utilitzat les dades d'Eurostat (Eurostat, 2021), que consideren un factor de conversió 3/1 a nuclear. Per a les fonts d'energia eòlica, solar i hidràulica, es considera un factor de conversió 1/1; i per la combustió de residus i biomassa per a l'electricitat un factor de conversió 3/1. La metodologia utilitzada pretén reflectir pèrdues, ineficiències i conseqüències per altres dimensions en escenaris futurs amb diferents mixos de fonts energètiques, quelcom rellevant per a calcular escenaris de canvi climàtic o escassetat de recursos energètics.

### 2.3.4. EL FLUX DE GASOS D'EFECTE HIVERNACLE

Les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) són un tipus de flux de residus amb impactes en els complexos processos climàtics a escala global. Es considera el consum d'energia dels sectors socioeconòmics, l'ús d'alguns recursos i cicles de carboni i N<sub>2</sub>O en l'activitat agrícola, i del subministrament d'aigua blava. Hi ha un quart tipus d'emissions associades a la gestió de residus sòlids que encara no es pot incloure en aquest primer enfocament del model Nexe, ja que caldria estudiar primer els fluxos de residus sòlids. A la taula 4 podem observar les tres fonts de dades que s'han fet servir per el càlcul d'emissions de GEH.

**Taula 4. Fonts, any i escala de les dades de flux de gasos d'efecte hivernacle**

Element	Font i any	Escala
Factors d'emissió consum energia	Oficina Catalana de Canvi Climàtic (2019)	Per tipus de vector d'energia
Emissions de l'agricultura	Aguilera et al. (2015a, 2015b)	Coeficients per cultiu
Subministrament d'aigua	Oficina Catalana de Canvi Climàtic (2019)	Per m <sup>3</sup> d'aigua

Les emissions de gasos d'efecte hivernacle associades al consum d'energia provenen de l'aplicació de factors d'emissió a cada tipus de font d'energia primària, les quantitats de les quals s'estimen en l'apartat anterior analitzant el flux energètic. Els factors d'emissió provenen de l'Oficina Catalana de Canvi Climàtic de la Generalitat de Catalunya (2019).

Les emissions de l'agricultura es basen en Aguilera et al. (2015a, 2015b). Es considera l'ús energètic de la maquinària, crema de biomassa, fertilitzants, pesticides, reg, estructures, fixació del sòl i equilibri de N<sub>2</sub>O. Aquesta estimació es limita als cultius agrícoles i no té en compte la producció animal, excepte la part d'excrements. Cal tenir en compte que el model considera que l'activitat agrícola té una part de fixació de carboni al sòl, que compensa part de les emissions a l'atmosfera. Per a aquest primer enfocament, les emissions de gasos d'efecte hivernacle dels sectors forestal i de parcs només es consideren pel seu ús energètic.

**Institut Metròpoli**

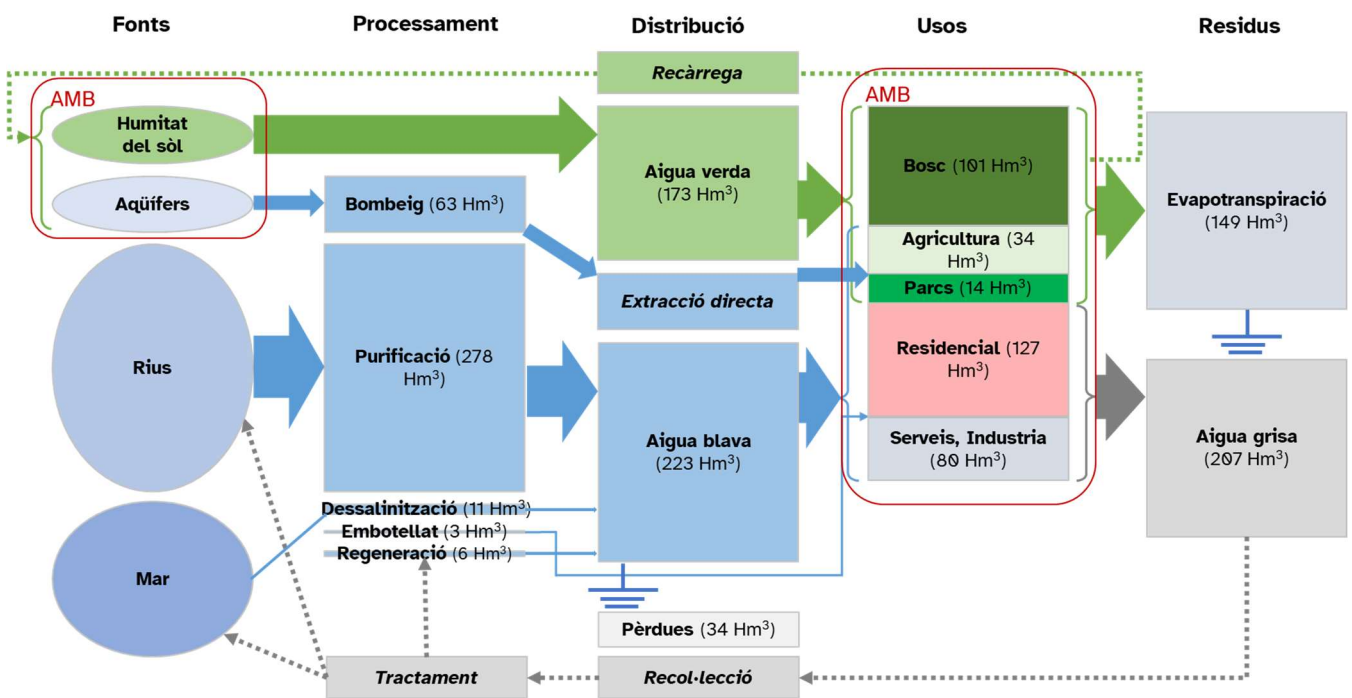
El Nexe com a eina de diagnosi i simulació per l'àrea metropolitana de Barcelona. Escenaris de planejament territorial, transició agroecològica i canvi climàtic

Finalment, es calculen les emissions de gasos d'efecte hivernacle per l'ús d'aigua al territori procedents de la xarxa de subministrament, el factor d'emissió dels quals s'estima en 395 g de CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>, segons l'Oficina Catalana de Canvi Climàtic de la Generalitat de Catalunya (2019). Com es veurà en l'apartat següent, els cabals d'aigua requereixen alguns processos que consumeixen energia, com ara la captació, depuració, distribució, clavegueram, tractament d'aigües residuals i reutilització.

### 2.3.5. EL FLUX D'AIGUA

La figura 8 mostra els fluxos d'aigua a l'àrea metropolitana de Barcelona, distribuïts en etapes seqüencials, des de la font fins als residus. La infraestructura verda assoleix més d'un 40% del consum d'aigua, en incloure en el diagrama l'aigua verda que requereix la vegetació (i que, per tant, no està disponible per a altres usos). La major part del subministrament d'aigua blava prové de sistemes fluvials fora de la metròpoli, però l'agricultura utilitza una gran part de l'aigua bombejada dels aqüífers interns. A la metròpoli hi ha algunes fonts alternatives d'aigua, com és l'aigua dessalada del mar (que requereix molta energia), i aigua regenerada, que és la part d'aigua reutilitzada en l'agricultura a partir de les aigües residuals. Polítiques que tinguin per objecte augmentar la independència de fonts externes, mitjançant la circularitat dels fluxos interns, poden considerar les implicacions d'aquestes fonts d'aigua alternatives.

**Figura 8. Diagrama del flux d'aigua a l'àrea metropolitana de Barcelona (2015)**



Font: elaboració pròpia.

Per avaluar els cabals d'aigua de la infraestructura verda amb relació a la resta del sistema metropolità, s'han hagut d'implementar dues metodologies complementàries.

Per estimar l'aigua utilitzada per la infraestructura verda, s'ha dut a terme un model agrícola d'estimació dels requeriments hídrics per les diferents cobertes vegetals. Per a fer això, s'ha hagut de considerar una mitjana

de 10 anys de dades climàtiques al voltant del període de referència (any 2015), i cartografiar dades de les cobertes vegetals predominants en terrenys agrícoles, hàbitats naturals i parcs i després s'ha hagut d'incloure el balanç hídric dels sòls. Les variables considerades per a aquest model són el clima, el tipus de vegetació, la precipitació efectiva, el reservori d'aigua del sòl, el reg i l'escorrentia.

Per estimar el rendiment de l'aigua que flueix per la resta del sistema metropolità i que interactua amb la infraestructura verda, primer hem identificat les diferents etapes per les quals flueix l'aigua segons els sectors rellevants seleccionats. Aleshores, distingim entre dues categories d'aigua: l'aigua blava (aigua que pot ser apropiada pels humans i ser utilitzada directament) i l'aigua verda (aigua en forma d'humitat del sòl que només pot utilitzar la vegetació i no pot ser utilitzada directament pels éssers humans).

Una descripció completa dels mètodes i els materials utilitzats per estudiar el metabolisme de l'aigua a l'àrea metropolitana de Barcelona es pot trobar a Serrano-Tovar et al. (2021).

### 2.3.6. EL FLUX MONETARI

Per donar una primera dimensió econòmica relacionada amb el comportament biofísic dels fluxos anteriors, s'inclou el valor afegit brut generat en cada sector econòmic considerat en el sistema estudiat. El valor afegit brut aporta una aproximació sobre els beneficis nets dels sectors productius, és a dir, el valor de la seva producció menys els costos per produir-los, i per tant dona una idea sobre la quantitat de diners generats a cada sector. Aquestes dades les facilita l'Institut Català d'Estadística per municipis. Evidentment, el valor afegit només pot ser generat pels sectors de treball remunerat, per la qual cosa el sector residencial no pot generar valor afegit monetari.

**Taula 5. Fonts, any i escala de les dades de flux monetari**

Element	Font i any	Escala
Valor afegit	Valor Afegit Brut per sector d'activitat 2015 (Idescat)	Municipal
Cost monetari aliments	Panel de Consum Alimentari 2015 (MAPA)	Per aliment

En el cas de la infraestructura verda, només es considera l'activitat agrària, ja que el pressupost de gestió forestal i parcs és una despesa que prové del sector públic amb tributs i, per tant, no compta com a valor afegit. La possible explotació econòmica dels recursos forestals a l'àrea metropolitana de Barcelona és insignificant i no es reflecteix en les dades estadístiques disponibles.

L'estimació del cost monetari dels aliments consumits per la població de l'àrea metropolitana de Barcelona es fa a partir dels preus per quilogram o litre de tots els productes alimentaris que es troben a les estadístiques del Panel de Consum Alimentari del Ministeri d'Agricultura (2015). Aquests preus es multipliquen per les categories utilitzades en les dades d'aliments esmentades pels Balanços Alimentaris de la FAO per estimar el cost general del consum d'aliments de la població. Per estimar el cost monetari de la producció d'aliments per l'agricultura metropolitana, els preus anteriors es multipliquen pels cultius i productes animals per a humans donats per les dades de superfícies, rendiments i producció de cultius de l'any 2015 del Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya (DARPA).

**Institut Metròpoli**

El Nexe com a eina de diagnosi i simulació per l'àrea metropolitana de Barcelona. Escenaris de planejament territorial, transició agroecològica i canvi climàtic

## 2.4. El càlcul d'escenaris

L'aproximació Nexa no només serveix per donar un diagnòstic multiescala i multidimensional amb dades observades pel cas d'estudi, sinó que permet la simulació de possibles escenaris futurs. Aquesta simulació es realitza establint les relacions quantitatives entre diferents dimensions fent servir dades reals de la diagnosi d'un territori, i permet a el Nexa de respondre a la pregunta de "què passaria si". Aquest fet és fonamental per ajudar a comprendre les conseqüències a tots els nivells d'apostar per una estratègia de desenvolupament, i conèixer les seves possibles contrapartides en altres sectors, o les limitacions i abast d'una determinada política.

A partir del diagnòstic de la situació en el territori metropolità l'any 2015 (Escenari 0 actual), s'han implementat la simulació de sis escenaris de futur on s'il·lustra la combinació de diferents situacions, basades en tres tipus de transformacions: canvis d'usos del sòl, una transició agroecològica, i efectes del canvi climàtic. Se simulen dos tipus de canvis d'usos del sòl a l'àrea metropolitana de Barcelona: el primer és basat en el pla d'ordenació vigent segons els Plans d'ordenació urbanística dels municipis (POUMs), i l'altre en el Pla Director Urbanístic Metropolità impulsat com a planejament de més abast per l'AMB i actualment en tramitació. Per altra banda, se simula l'efecte de transformar tota l'agricultura metropolitana a ecològica segons els criteris del CCPAE. I també els efectes del canvi climàtic basats en els escenaris RCP 8.5 de l'IPCC l'any 2050, comparant els canvis en variables climàtiques entre 2015 i 2050. Per donar robustesa a la comparació entre aquests anys, s'ha fet servir els resultats per l'AMB d'una mitjana de les dades de 16 models climàtics oferts pel Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic (PNACC), i s'han considerat sèries de dades de 10 anys entorn l'any 2015 i 2050 per descartar comportaments climàtics singulars dels anys concrets considerats. A la següent taula 6 es pot consultar una visualització de totes les variables modificades en els escenaris.

**Taula 6. Variables d'entrada en les que es basen cadascun dels escenaris simulats**

ESCENARI	DIMENSIO	VARIABLE	COEFICIENT	REFERÈNCIA
CANVI DE COBERTES DEL SÒL	SUPERFÍCIE -Variació Superfície destinada a infraestructura verda	Escenari ACTUAL	35.775 ha	Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (CREAF 2015)
		Escenari TENDENCIAL	31.503 ha (-11,94%)	Planejament vigent dels municipis de la AMB
		Escenari PDU	36.975 ha (+3,36%)	Proposta Pla Director urbanístic (PDU)
PRODUCCIÓ ORGÀNICA	PRODUCTIVITAT AGRÀRIA -Variació de la productivitat dels conreus	Hortalisses	0.75	Alonso et al. / De Ponti et al. (2012)
		Cereals / forratges	0.7 - 0.9	Dierauer et al., DARP (2009)
		Cítrics	1	Dierauer et al., DARP (2009)
		Patata	0.71	Dierauer et al., DARP (2009)
		Fruiters	0.72	Dierauer et al., DARP (2009)
		Fruita seca	0.85 - 1	Alonso et al. (2008)
		Lleguminoses	0.9	Seufert et al. (2012)
		Olivera	0.8(S) - 0.82(R)	Dierauer et al., DARP (2009)
		Vinya	0.81	Alonso et al. (2008)
	Resta de productes	0.75	Seufert et al. (2012)	
	TREBALL	Hortalisses	1.5	Dierauer et al., DARP (2009)
Cereals / forratges		1 - 1.1	Dierauer et al., DARP (2009)	
Cítrics		1	Dierauer et al., DARP (2009)	

Institut Metropolità

El Nexa com a eina de diagnosi i simulació per l'àrea metropolitana de Barcelona. Escenaris de planejament territorial, transició agroecològica i canvi climàtic

CANVI CLIMÀTIC	-Variació hores de dedicació per família de conreus	Patata	1.1	Dierauer et al., DARP (2009)
		Fruiters	1.3	Dierauer et al., DARP (2009)
		Fruita seca	1*	Dierauer et al., DARP (2009)
		Lleguminoses	0.9*	Dierauer et al., DARP (2009)
		Olivera	1	Dierauer et al., DARP (2009)
	Vinya	1*	Dierauer et al., DARP (2009)	
	ENERGIA -Variació de la energia virtual incorporada en la importació de inputs per la agricultura	Fertilitzants importats	0,034	Catalan Council of Organic Production - CCPAE (2017)
		Biocides importats	0	Catalan Council of Organic Production - CCPAE (2017)
		Energia pel transport de la importació de pinsos	0,279	Catalan Council of Organic Production - CCPAE (2017)
	PRODUCTIVITAT AGRÀRIA -Variació de la productivitat dels conreus	Hortalisses	0.85	Duran y Salamanca (2008)
		Cereals / forratges	0.9(S) - 0.75(R)	Hristov et al. (2020)
		Cítrics	0.9	Duran y Salamanca (2008)
		Patata	0.83(S) - 0.93(R)	Duran y Salamanca (2008)
Fruiters		0.9	Duran y Salamanca (2008)	
Fruita seca		0.67	Duran y Salamanca (2008)	
Lleguminoses		0.74	Duran y Salamanca (2008)	
Olivera secà		0.8(S) - 1.1(R)	Fraga et al. (2020)	
Vinya		0.5	Duran y Salamanca (2008)	
Resta de productes	0.83	Iglesias et al. (2011)		
AIGUA -Variació de les variables climàtiques per al model hídric	Temperatura (T <sup>a</sup> )	Variació mensual T <sup>a</sup> 2015-2050	A partir de dades climàtiques descarregades des de <a href="http://adaptecca.es/">http://adaptecca.es/</a> per al període 2010-2020 i 2045-2055 de la mitjana d'escenaris RCP8.5 del IPCC	
	Precipitació (P)	Variació mensual P 2015-2050		
	Evapotranspiració potencial (ET <sub>0</sub> )	Variació mensual ET <sub>0</sub> 2015-2050		

\* Data inferida a partir de Dierauer et al., DARP (2009)

La simulació d'escenaris del Nexe es pot fer sota les regles de l'aproximació MuSIASEM, on s'estableixen coeficients tècnics entre diferents dimensions i escales (p. ex. 14 m<sup>3</sup> de consum d'aigua anual per tona de producció de blat) que serveixen per inferir dades entre nivells d'anàlisi –efecte mosaic (Giampietro et al. 2008)– i a més predir com es veuran afectades altres dimensions –efecte Sudoku (Giampietro et al. 2014)– per fer les connexions quantitatives del nexe entre aigua, energia, aliments, etc. És a dir, l'efecte mosaic estableix coeficients del tipus ràtios flux/fons que obliguen a fer que totes les peces encaixin quantitativament a través de diferents nivells – la suma de les peces d'un nivell ha de ser igual al total del nivell d'agregació superior. Per exemple, les ràtios de tones de collita per hectàrea per cada cultiu multiplicat per les hectàrees de cada cultiu en un municipi, ha de donar la quantitat total de producció agrària del municipi, i així amb cada peça analitzada. L'efecte Sudoku estableix els coeficients tècnics entre dimensions diferents, com poden ser litres d'aigua per tona de blat, o MegaJoules de consum de gasolina per hectàrea d'arròs. Llavors, si es vol incrementar els cultius de blat, es podrà establir el nou consum d'aigua associat, o el nou consum de gasolina per reduir la superfície d'arròs. L'efecte Sudoku estableix així les possibles contrapartides i limitacions entre dimensions.

Els resultats donen escenaris exploratoris que no tracten de ser predictius, i serveixen per il·lustrar com es veuran afectades totes les parts del sistema a conseqüència de canvis proposats per tal d'entendre quines són les potencials restriccions i riscos d'una determinada estratègia. Per exemple, l'aproximació Nexe pot simular l'efecte de canvis en variables climàtiques i canvis en la productivitat dels cultius per transformacions a agricultura ecològica. D'altra banda, es poden fer escenaris més clàssics on es mantenen uns factors constants per tal de veure quin és el comportament aïllat del factor que varia, a l'estil de models amb la limitació ceteris paribus, és a dir, mantenir constants totes les variables d'un model i canviar només una variable. Per exemple, en aquests escenaris pilots no s'ha variat la demografia de l'àrea metropolitana amb els

**Institut Metropolità**

canvis d'usos del sòl que incrementaven les zones residencials a la metròpoli.

En aquest sentit, per aquests escenaris s'han introduït canvis en els valors d'entrada (p. ex. usos del sòl o productivitat) que es poden veure a la taula 6, però mantenint inalterats una sèrie de paràmetres. Hi ha algunes limitacions en certes variables que recull el model que es mantenen constants, perquè no hi ha informació adient per fer-les variar sense introduir arbitrarietat. Així doncs, en aquests escenaris hi ha una sèrie de paràmetres pels quals es mantenen les magnituds constants:

- la demografia i per tant sense els efectes de canvis demogràfics en altres dimensions.
- la producció local d'energia dins de l'àrea metropolitana de Barcelona,
- la producció ramadera,
- i la capacitat de subministrament d'aigua canalitzada (blava).

Variacions en aquestes dimensions obeirien a uns criteris fora de l'abast d'aquest exercici, com seria inventar una nova producció d'energia renovable dins del territori, o incrementar la producció ramadera o el subministrament d'aigua blava sense un criteri que ho justifiqui. Així doncs, es considera que la quantitat d'elements fons és constant, és a dir, en el nostre sistema es té una quantitat fixa de població que no varia, i una quantitat de superfície de terra que no es pot incrementar ni disminuir. Pel que fa als canvis en les hores de treball corresponent als sectors de la infraestructura verda, els criteris utilitzats són: a) si hi ha menys cultius, l'excedent de treball són hores de la població que es consideren que deixen de treballar en agricultura per passar a l'atur i no els assignem a altres sectors econòmics, i per tant aquestes hores passen al sector residencial; b) si hi ha un increment de superfície agrícola, es considera que la població del sistema és fixa (no hi ha immigració) i les hores que manquen s'extreuen del sector serveis.

Als resultats de les simulacions dels escenariss'ha inclòs estimacions senzilles sobre l'ús de recursos com aigua o energia que serien necessaris per produir els aliments que s'importen de fora de l'àrea metropolitana. Amb això, s'ha volgut expressar quant costaria produir internament els aliments ara importats des de territoris externs a l'àrea metropolitana de Barcelona, i es mostra com una dada d'importació, però que és una dada virtual, que no s'importa realment. Aquesta informació és rellevant per entendre els graus de dependència externa en diferents tipus de recursos, i les possibles restriccions o impossibilitats si es vol aconseguir una major autosuficiència en certs aspectes, com per exemple l'alimentari o l'energètic. Per aquestes estimacions, s'utilitzen coeficients de consum de recursos (energia, GEH, aigua, diners, treball, i terra) per tona d'aliments fent servir les ràtios trobades dins del territori analitzat i aplicant-los als aliments importats, de forma que es consideren fluxos virtuals, i no corresponen necessàriament al consum real de recursos que ha sigut necessari per produir tots aquells béns fora de l'àrea metropolitana de Barcelona.



# 3. Resultats

## 3.1. El Nexxe com a eina de diagnosi

La Taula 7 ofereix un resum visual del Nexxe en forma de matriu d'usos finals, que relaciona quantitativament totes les dimensions analitzades a diferents nivells. Aquesta anàlisi mostra, en primer lloc, la infraestructura verda, així com la resta de sectors del sistema metropolità, que s'agrupen en el sector residencial i els sectors productius secundari i terciari. Com que el focus principal d'aquest estudi pilot és la infraestructura verda en relació amb el sistema metropolità, en aquesta matriu es mostren files pels tres subsectors desagregats (agricultura, forestal, parcs), seguidament pel sector de la infraestructura verda agregat, i, per altra banda, els altres sectors d'activitat de la metròpoli. Però es podria desagregar la informació pels altres sectors en altres files si per exemple es vol analitzar el sector industrial o el sector turístic. La fila vermella reflecteix l'ús de recursos del sistema metropolità en la seva totalitat, per tal de posar en perspectiva la contribució de cada sector.

**Taula 7. Matriu que representa el Nexxe entre els fluxos d'aliments, fertilitzants, energia, aigua, gasos d'efecte hivernacle i monetaris, en relació amb els fons d'activitat humana i usos del sòl, a l'àrea metropolitana de Barcelona (2015)**

Nexxe	FLUXOS									FONS	
	Aliments		Fertilitzants	Energia		GEH	Aigua		Diners	Activitat humana	Usos del sòl
	(k ton)	(k ton)	(ton)	(TJ)		(k t CO <sub>2</sub> eq)	(hm <sup>3</sup> )		(M €)	(M hora)	(ha)
EO - ACTUAL	Vegetal	Animal	NPK	Electricitat	Combustibles		Verda	Blava	Valor afegit		
<b>Agricultura</b>	52,9	-	257/100/287	100,3	61	30	23,2	11,2	96,1	2,08	7.072
<b>Forestal</b>	-	-	-	negl.	1,86	0,12	100,6	0	negl.	0,03	26.446
<b>Parcs</b>	-	-	-	54,8	6,22	13,6	9,63	4,3	-	0,57	2.257
<b>Total Verda Infr.</b>	52,9	-	257/100/287	155	69	43	133	15,5	96,1	2,68	35.775
<b>Residencial</b>	1.730	1.017	-	13.352	16.095	3.661	-	127	-	25.346	13.132
<b>Serveis i Indústria</b>	-	-	-	39.434	200.108	21.503	-	80	95.233	2.804	13.056
<b>Total AMB</b>	1.783	1.017	257/100/287	52.941	216.272	25.207	133	223	95.329	28.152	63.533
<b>Importacions I. V.</b>	1.715	1.012	257/100/287	2539	1546	748	587	283	5.522	117	614.061
<b>Producció interna I.V.</b>	67,7	4,85	0	50,4	0	43,3	133	85,7	96,1	2,68	35.775

A més, la matriu proporciona informació sobre les fonts dels fluxos, per establir el grau de dependència o autosuficiència. Aquesta informació distingeix entre els fluxos que provenen de sistemes externs, i els fluxos que se subministren des del mateix sistema metropolità.

Com es pot observar a la matriu de la taula 7, a més de mostrar a les files diferents nivells d'agregació dels sectors del sistema, es poden veure els fluxos i fons analitzats (aliments, fertilitzants, energia, emissions, aigua,

diners, activitat humana i sòl), representats en les diferents columnes. És en aquest tipus de representació on es visualitza l'aproximació Nexa en acció, perquè s'estan relacionant quantitativament diferents dimensions i els efectes que fan unes sobre les altres. Aquesta matriu és, per tant, multinivell i multidimensional, i es comporta com un Sudoku, en el sentit que tots els números han de quadrar amb la resta de la taula, i quan modifiquem alguna cosa, tota la matriu canvia per ajustar-se als totals sobre el sistema i a tota la resta de dimensions.

La situació de partida (amb dades de 2015) revela diferències de proporcions molt acusades entre dimensions quan es compara la infraestructura verda amb la resta del sistema metropolità. En concret, el flux de recursos del sector primari és gairebé irrellevant comparat amb la resta de sectors productius i de consum (sector de llars) en termes d'energia i emissions associades, en diners i en hores de treball. En canvi, l'ús d'aigua i superfície de terra és altíssim comparat amb qualsevol altre sector. Aquestes proporcions, encara que semblen òbvies, són molt rellevants per quantificar i comparar el paper de cada sector al territori i l'abast i impacte de les polítiques i inversions que es poden fer per tal de millorar determinades situacions o promoure una línia de desenvolupament.

En concret, la infraestructura verda té un pes molt marginal respecte a la resta del sistema metropolità de Barcelona tant en la producció com en el consum d'aliments, energia i emissions d'efecte hivernacle (taula 7). Un exemple evident d'aquest fet és que la quantitat d'hores de mà d'obra destinades a la infraestructura verda se situa al voltant del 0,1% de la força de treball disponible, i el valor afegit generat correspon a un percentatge similar en comparació amb la resta de sectors productius.

La producció d'aliments que es realitza dins l'àrea metropolitana de Barcelona és molt limitada en comparació amb el consum d'aliments per part de la població d'aquest territori (només el 1,7% per productes vegetals excloent forratges, i del 0,5% per productes animals), per la qual cosa actualment la majoria dels productes alimentaris provenen de fora de la metròpolis (taula 7).

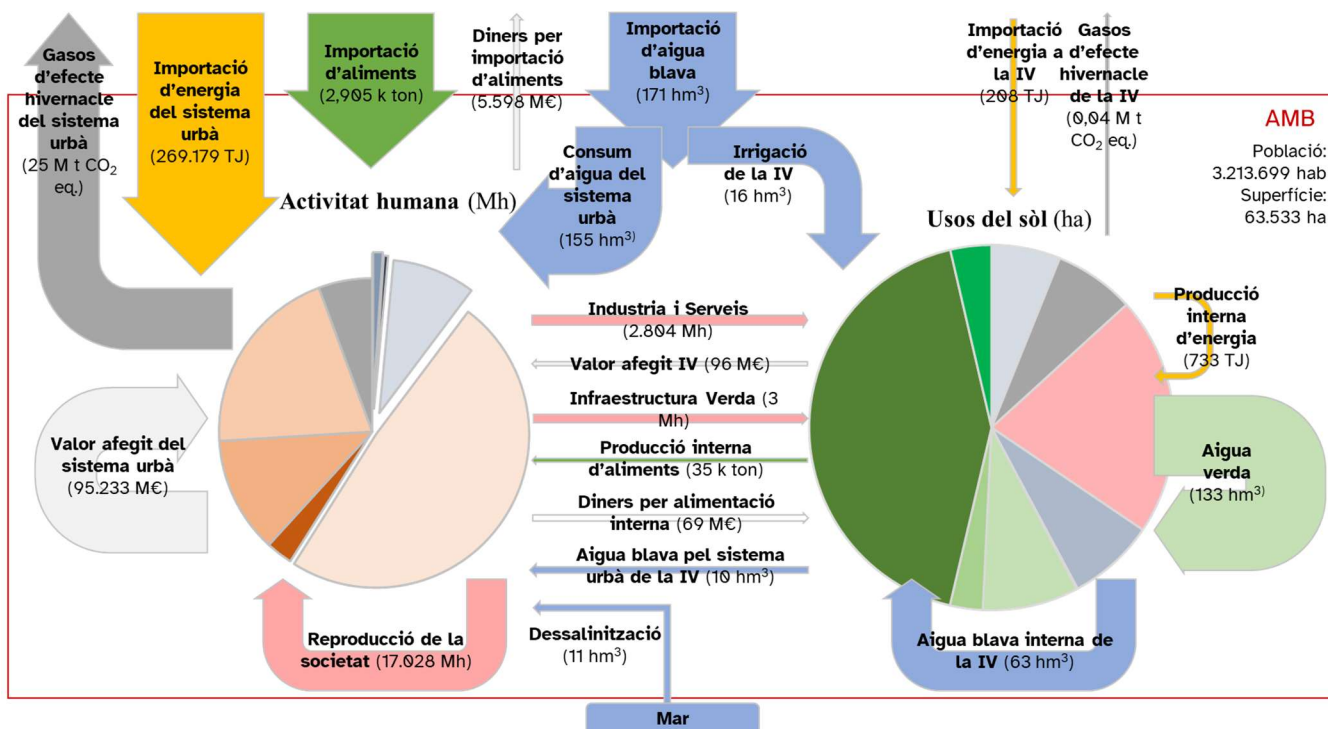
Tanmateix, la infraestructura verda és una part fonamental dels recursos hídrics i usos del sòl al territori metropolità (taula 7). En el cas dels cabals d'aigua, la infraestructura verda consumeix un 7% de l'aigua blava, però abasteix el 38% d'aquest recurs al territori. Finalment, un 56% del sòl és utilitzat per la infraestructura verda, però la major part d'aquest sòl està cobert per hàbitats naturals, mentre que l'agricultura ocupa actualment només el 11% del sòl disponible al territori.

Quan s'analitza la relació de les files de la matriu, es pot comparar la relació entre la infraestructura verda i la resta de subsistemes metropolitans pel que fa a l'oferta i el consum de recursos (taula 7). En el cas de l'alimentació, l'any 2015 la infraestructura verda va produir l'1,75% dels productes vegetals i el 0,48% dels productes animals que consumeix la població de l'àrea metropolitana de Barcelona. Per tant, l'àrea metropolitana de Barcelona té una gran dependència de les importacions externes, el que es pot observar a la part inferior de la taula 7, on s'estimen les importacions (virtuals) d'emissions de gasos d'efecte hivernacle, aigua verda, mà d'obra i superfície requerida d'altres territoris per subministrar la quantitat de productes alimentaris que necessita la població metropolitana de Barcelona. Tot i que aquestes xifres són només una aproximació, proporcionen una referència útil dels impactes externs que genera el sistema metropolità, o de la quantitat de recursos que caldria fer servir dins del territori per obtenir la producció alimentària que ara s'importa. Fent una ullada a aquesta matriu, ràpidament es pot veure que amb els consums actuals, l'àrea metropolitana no podria abastir mai en la seva totalitat molts dels recursos importats de fora, i per tant cal entendre molt bé el grau de dependència i capacitats internes per dissenyar polítiques que tinguin sentit dintre de les possibilitats del territori. Això és especialment rellevant en el cas de l'agricultura, per evitar plans on es

persegueixin objectius que no canviaran substancialment res (com maximitzar la producció d'aliments per tractar de ser autosuficients) a costa d'altres objectius (com cuidar del patrimoni natural i social, de la salut dels agroecosistemes, i de la qualitat dels aliments produïts).

Una forma complementària de generar una representació del Nexe (figura 9), és utilitzar un diagrama flux-fons (Serrano-Tovar, 2014).

**Figura 9. Diagrama flux-fons del Nexe a l'àrea metropolitana de Barcelona (2015)**



Font: elaboració pròpia.

A la figura 9, es representa amb gràfics circulars la distribució dels elements fons, activitat humana i usos del sòl, que caracteritzen el sistema metropolità, representant el seu metabolisme mitjançant l'ús d'elements de flux, expressats com a fletxes. Els elements fons també es poden interpretar com una quantitat fixa en el temps i l'espai que no es pot augmentar, de manera que les societats han de distribuir una quantitat limitada de temps i espai disponible. Al gràfic circular de l'esquerra (figura 9), es representa l'activitat humana, que és la distribució del temps de dedicació de la població (en milions d'hores). Aproximadament la meitat del temps la població es dedica a activitats fisiològiques (com dormir o menjar). Gairebé una quarta part del temps es destina a l'educació i el lleure, i al voltant del 6% del temps es dedica al transport. Dins de les llars la població dedica molt de temps a les tasques domèstiques (com la cura de la canalla o la neteja). L'educació i el lleure són altres dues grans activitats de la societat. I la resta de temps pertany als sectors de treball remunerat, dels quals només 2,68 milions d'hores es destinen a la infraestructura verda, el que representa només el 0,009% del temps que inverteix la societat. En canvi, el gràfic circular de la dreta mostra la distribució dels usos del sòl a l'àrea metropolitana de Barcelona, que es classifica segons els sectors d'activitat analitzats. En aquest cas, la infraestructura verda representa fins un 56% de la superfície disponible (26.446 ha per usos forestals,

7.072 ha per usos agrícoles, i 2.257 ha per parcs urbans), el que contrasta amb el gràfic anterior sobre activitat humana.

Pel que fa als elements de flux (figura 9), amb fletxes roses es mostra com una part important del temps de la societat fa bucles interns per a la reproducció de les llars (17.028 milions d'hores), i com es destina un temps molt inferior als sectors de treball remunerat repartits pels usos del sòl, com ara fàbriques, comerços o granges. Les fletxes verd fort representen els fluxos d'aliments, i es mostra com només una part molt petita es pot abastir des de les superfícies agrícoles existents dins del territori metropolità, per la qual cosa la resta s'ha d'importar de fora de la metròpolis. Un fenomen similar es pot observar en el flux d'energia exosomàtica, representat per fletxes grogues, que s'importa principalment, ja que la generació elèctrica interna que no es basa en importacions de combustibles externs representa només el 0,3% de la demanda energètica neta. Les fletxes grises fosques, que indiquen les emissions de gasos d'efecte hivernacle, estan relacionades amb el patró d'energia anterior observat per a la infraestructura verda, de manera que les seves emissions són només el 0,15% de la quantitat total del sistema.

Les fletxes blaves, que representen els fluxos d'aigua blava (figura 9), mostren un patró diferent. Tot i que una part important dels cabals d'aigua blava provenen de l'exterior (importacions de sistemes fluvials externs i, en molta menor mesura, aigua dessalada del mar), la infraestructura verda aporta gran part de l'aigua blava que s'utilitza a través de les aigües subterrànies utilitzades per al reg dels cultius. La fletxa verda clara representa l'aprofitament de l'aigua verda, que prové principalment de la pluja, i els requeriments hídrics de les plantes que no es poden satisfer amb la pluja s'han de prendre com a reg de l'abastament humà d'aigua blava, en el cas de conreus de regadiu i parcs urbans.

Finalment, la figura 9 també mostra fluxos monetaris en fletxes grises clares, que representen el valor afegit que aporta el sector agrari en comparació amb la resta de sectors econòmics (96 milions d'euros) de l'àrea metropolitana de Barcelona, i quants diners s'han de gastar per a les importacions d'aliments. També es mostra una fletxa amb el preu dels aliments produïts per l'agricultura dins del territori metropolità (69 milions d'euros), que s'intercanvien pel flux d'aliments de la producció local (35 mil tones). Cal tenir en compte que aquest cost només considera els productes alimentaris per a humans i no inclou altres productes agrícoles com els cultius per a pinsos, fusta, palla o fems, i que el preu dels aliments no és el mateix que el valor afegit generat pel conjunt del sector agrari (96 milions d'euros).

## 3.2. El Nexe com a eina per simular escenaris

A l'apartat anterior s'ha mostrat la informació resultant de l'estudi de la situació actual a l'àrea metropolitana de Barcelona, representant simultàniament les múltiples dimensions analitzades a través de diverses escales i etapes metabòliques. Aquesta avaluació del Nexe multidimensional constitueix una anàlisi transversal d'un sistema territorial tan complex com és el metropolità, el que representa un resultat analític molt valuós per si sol. No obstant això, la característica més interessant d'aquesta aproximació analítica és que s'han establert les connexions quantitatives entre dimensions (és a dir, alimentació, energia, emissions, aigua, diners, temps i usos del sòl) a través de diversos nivells d'anàlisi (tot el sistema metropolità, sectors i subsectors socioeconòmics). Això implica que es pot obtenir els coeficients tècnics de les relacions entre les diferents dimensions, i són aquests coeficients els que determinen els patrons de funcionament del sistema.

Per exemple, amb aquest diagnòstic es coneixen els coeficients tècnics en què opera el sector agrari per produir una tona de cultiu, en termes de m<sup>3</sup> de consum d'aigua per tona, MJ d'energia per tona, kg de CO<sub>2</sub> eq. per tona, hectàrees ocupades per tona, hores de treball per tona o diners obtinguts per tona. Una característica

interessant és que aquests coeficients es poden utilitzar per fer simulacions del que passaria amb el sistema metropolità, en totes les seves dimensions i escales, si es canviés algun dels paràmetres considerats. És a dir, si es canvia una variable (per exemple, s'augmenta l'ús del sòl destinat a l'agricultura), aleshores s'obtenen escenaris de quines serien les conseqüències resultants per a totes les altres variables (producció d'aliments, consum d'aigua, consum d'energia, emissions de gasos d'efecte hivernacle, ingressos monetaris, hores de treball necessàries). I llavors, en aquests escenaris simulats, es pot avaluar les possibles limitacions i contrapartides- Informació molt valuosa per entendre les conseqüències d'una política o projecte de forma holística . És a dir, una política agrària pot, amb aquesta eina, veure el seu impacte en l'aigua, emissions de CO<sub>2</sub>, ocupació, o valor afegit de la resta del sistema metropolità. A les següents taules es mostren els resultats de les simulacions en els sis escenaris mencionats al punt 2.4.

El primer escenari simulat es basa en el pla territorial vigent a l'àrea metropolitana de Barcelona (AMB), on hi ha un creixement de superfícies urbanitzades en detriment de la infraestructura verda (taula 8).

**Taula 8. Matriu amb els resultats de la simulació de l'escenari 1**

Nexe	FLUXOS									FONS	
	Aliments		Fertilizants	Energia		GEH	Aigua		Diners	Activitat humana	Usos del sòl
	(k ton)	(k ton)	(ton)	(TJ)		(kt CO <sub>2</sub> eq)	(hm <sup>3</sup> )		(M €)	(M hora)	(ha)
E1 - TENDENCIAL	Vegetal	Animal	NPK	Electricitat	Combustibles		Verda	Blava	Valor afegit		
<b>Agricultura</b>	52,9	-	219/87/253	81,7	55	25	18,3	9,9	85,3	1,91	5.632
<b>Forestal</b>	-	-	-	negl.	1,65	0,11	89,9	0	negl.	0,03	23.614
<b>Parcs</b>	-	-	-	54,8	6,22	13,6	9,63	4,3	-	0,57	2.257
<b>Total Verda Infr.</b>	52,9	-	219/87/253	137	63	38	118	14,2	85,3	2,51	31.503
<b>Residencial</b>	1.730	1.017	-	13.352	16.095	3.661	-	127	-	25.346	15.348
<b>Serveis i Indústria</b>	-	-	-	39.434	200.108	21.503	-	80	95.233	2.804	15.260
<b>Total AMB</b>	1.783	1.017	219/87/253	52.922	216.265	25.202	118	222	95.318	28.152	63.533
<b>Importacions I. V.</b>	1.723	1.012	219/87/253	4789	3473	709	524	635	5.538	126	780.501
<b>Producció interna I.V.</b>	60,1	4,85	0	50,4	0	38,5	118	85,7	85,3	2,51	31.503

En aquest escenari les àrees urbanes creixen un 14,4% de mitjana amb les dades disponibles, en detriment de l'agricultura (-25,6%) i els boscs (-12%). S'observa que la disminució de la producció d'aliments (-13%) no és linealment proporcional a la disminució de la superfície agrària (-25%). Això és degut al fet que l'escenari 1 destrueix sòl agrícola sobretot en zones de cultius herbacis de secà, que tenen menys productivitat que els cultius a les terres agrícoles de la plana del delta del Llobregat. La menor producció agrària té efectes sobre el consum de recursos per part de l'agricultura, però posant aquesta reducció en perspectiva s'observa que no representa una gran millora sobre el total de l'AMB, amb menys d'un 1% d'estalvi de recursos a costa de perdre un 13,6% de tota la superfície verda del territori. Cal tenir en compte que la humitat dels sòls només és consumida per les plantes, i per tant les zones urbanes no en fan ús. Només es veu una excepció on aquesta destrucció d'infraestructura verda representa un estalvi considerable, i és per l'indicador del flux d'aigua verda que consumeixen les plantes que disminueix un 13,2%. El resultat pel consum d'aigua blava (l'aigua disponible per humans) és especialment rellevant en aquest escenari, ja que la disminució de les terres agrícoles d'un 25,6% només suposa un 12,6% d'estalvi d'aigües de reg per l'agricultura perquè encara es mantenen els cultius amb més necessitats de reg, i el que és encara pitjor, tot just un 0,56% d'estalvi total d'aigua al conjunt de

l'àrea metropolitana.

És important recordar que en les simulacions d'escenaris, no s'ha inclòs un augment proporcional de la demografia, malgrat l'increment de la superfície urbanitzada. Per tant, tampoc hi ha hagut canvis en el consum associat d'aliments, energia, emissions, aigua o producció de valor afegit dels sectors residencial, serveis i industrial que componen la resta del sistema. Pel que fa a la part d'importacions de la infraestructura verda (penúltima fila), també es veu una reducció del consum de recursos corresponent a la menor mida del sector, excepte per les hores de treball virtuals incorporades en les importacions d'aliments, a causa de la menor producció agrària local. Finalment, en l'última fila, es resumeix la principal contrapartida d'aquest escenari 1: el subministrament local d'aliments es veu severament afectat, així com l'aprofitament d'aigua verda, el valor afegit i el treball dels sectors de la infraestructura verda. En resum, en aquest escenari 1, s'aconsegueixen reduccions marginals de consum d'alguns recursos sobre el global de l'AMB a costa de treure un 13,6% de la infraestructura verda, danyant considerablement els seus beneficis.

A l'escenari 2 es realitza una combinació dels efectes del pla territorial vigent de l'escenari 1 amb els efectes del canvi climàtic previst per l'any 2050 (taula 9).

**Taula 9. Matriu amb els resultats de la simulació de l'escenari 2**

Nexe	FLUXOS									FONS	
	Aliments		Fertilizants	Energia		GEH	Aigua		Diners	Activitat humana	Usos del sòl
	(k ton)	(k ton)	(ton)	(TJ)		(k t CO <sub>2</sub> eq)	(hm <sup>3</sup> )		(M €)	(M hora)	(ha)
E2 - TENDENCIAL CANVI CLIMÀTIC	Vegetal	Animal	NPK	Electricitat	Combustibles		Verda	Blava	Valor afegit		
<b>Agricultura</b>	52,9	-	219/87/253	81,7	55	25	18,2	11,2	156,4	1,91	5.632
<b>Forestal</b>	-	-	-	negl.	1,65	0,11	90,1	0	negl.	0,03	23.614
<b>Parcs</b>	-	-	-	54,8	6,22	14,0	9,50	5,2	-	0,57	2.257
<b>Total Verda Infr.</b>	52,9	-	219/87/253	137	63	39	118	16,4	156,4	2,51	31.503
<b>Residencial</b>	1.730	1.017	-	13.352	16.095	3.661	-	127	-	25.346	15.348
<b>Serveis i Indústria</b>	-	-	-	39.434	200.108	21.502	-	80	95.233	2.804	15.260
<b>Total AMB</b>	1.783	1.017	219/87/253	52.922	216.265	25.203	118	223	95.389	28.152	63.533
<b>Importacions I. V.</b>	1.734	1.012	219/87/253	4955	3557	887	640	652	5.560	152	782.382
<b>Producció interna I.V.</b>	49,3	4,85	0	50,4	0	39,3	118	85,7	156,4	2,51	31.503

En aquest escenari s'utilitza la projecció RCP 8.5 de l'IPCC, que és la més acusada de les usualment projectades, per tal de veure més clarament la possible afectació del canvi climàtic. En comparació amb l'escenari 1, es pot observar una davallada encara més gran de la producció agrícola local a causa de la reducció de la productivitat esperada dels cultius per l'efecte del canvi climàtic. També s'ha detectat un consum considerablement més alt d'aigua blava, que s'utilitza com a reg per a l'agricultura i els parcs. Això és degut a l'efecte de la variació de la precipitació en el model de requeriments hídrics de la vegetació, que resulta en un major dèficit d'aigua i en un augment de les necessitats de reg per assolir la demanda d'aigua que les plantes requereixen. Els indicadors que depenen del consum d'aigua, com el consum d'aigua virtual de la importació d'aliments o les emissions de gasos d'efecte hivernacle, també es veuen incrementats de forma corresponent. Les hores de treball virtual associades a la importació d'aliments també augmenten a causa de la davallada de la productivitat dels cultius per efecte del canvi climàtic, que implica una productivitat agrària per hora

menor. Fes una frase en mode de conclusió, com en l'escenari 1.

L'escenari 3 planteja una situació pràcticament oposada a les anteriors, perquè es basa en el fet que la superfície de l'agricultura i els parcs augmenta respecte a l'actual, segons la proposta que treballa el Pla Director Urbanístic Metropolità (taula 10).

**Taula 10. Matriu amb els resultats de la simulació de l'escenari 3**

Nexe	FLUXOS									FONS	
	Aliments		Fertilizants	Energia		GEH	Aigua		Diners	Activitat humana	Usos del sòl
	(k ton)	(k ton)	(ton)	(TJ)		(k t CO <sub>2</sub> eq)	(hm <sup>3</sup> )		(M €)	(M hora)	(ha)
	Vegetal	Animal	NPK	Electricitat	Combustibles		Verda	Blava	Valor afegit		
E3 - PDU											
<b>Agricultura</b>	52,9	-	297/121/344	113,8	70,8	34,1	29,4	13,8	261	2,27	8.058
<b>Forestal</b>	-	-	-	negl.	1,85	0,12	98,0	0	negl.	0,03	26.031
<b>Parcs</b>	-	-	-	70,1	7,96	17,4	12,31	5,5	-	0,72	2.886
<b>Total Verda Infr.</b>	52,9	-	297/121/344	184	81	51,6	140	19,3	261	3,02	36.975
<b>Residencial</b>	1.730	1.017	-	13.352	16.095	3.661	-	127	-	25.346	12.592
<b>Serveis i Indústria</b>	-	-	-	39.434	200.108	21.502	-	79	95.221	2.803	12.520
<b>Total AMB</b>	1.783	1.017	297/121/344	52.970	216.283	25.215	140	226	95.482	28.152	63.533
<b>Importacions I. V.</b>	1.701	1.012	297/121/344	4911	3509	705	607	286	5.493	101	776.656
<b>Producció interna I.V.</b>	82,2	4,85	0	50,4	0	51,6	140	85,7	261	3,02	36.975

L'augment de la infraestructura verda a tota l'àrea metropolitana (fila vermella), suposa un augment ínfim de les necessitats de recursos com l'energia i l'emissió de gasos d'efecte hivernacle (menys d'un 0,1%). Si només es mira el sector agrari, però, sí que hi ha un augment en el consum de recursos, per exemple l'electricitat augmenta un 12%, els combustibles un 13,7% i els GEH un 13,3%, el que representa increments en proporció a l'augment de terres agrícoles (12,2%). Més interessant és que aquest escenari de planejament territorial sí que fa augmentar considerablement les necessitats d'aigua tan verda com blava de l'agricultura (21% i 19,2% respectivament), d'una forma més acusada que l'augment de terres agrícoles (12,2%). Tanmateix, això no suposa un gran impacte general, perquè augmenta només una mica més la demanda de recursos hídrics del territori, arribant a un 4,5% més demanda d'aigua verda i tot just un 1,2% d'aigua blava. Aquest mateix efecte sobre l'aigua a causa del canvi d'usos del sòl proposat pel PDU es repetirà als següents escenaris. També es pot observar com la producció alimentària pròpia augmenta un 17,6% (última fila), i per tant disminueix la importació virtual de terra i treball pels aliments importats.

A l'escenari 4 es simula que passaria si tota l'agricultura de l'àrea metropolitana fos de producció ecològica (taula 11).

**Taula 11. Matriu amb els resultats de la simulació de l'escenari 4**

Nexe	FLUXOS									FONS	
	Aliments		Fertilizants	Energia		GEH	Aigua		Diners	Activitat humana	Usos del sòl
	(k ton)		(ton)	(TJ)		(k t CO <sub>2</sub> eq)	(hm <sup>3</sup> )		(M €)	(M hora)	(ha)
E4 - PDU ORGÀNIC	Vegetal	Animal	NPK	Electricitat	Combustibles		Verda	Blava	Valor afegit		
Agricultura	52,9	-	263/108/304	83,6	53	26,5	29,4	13,8	302	3,01	8.058
Forestal	-	-	-	negl.	1,85	0,12	98,0	0	negl.	0,03	26.031
Parcs	-	-	-	70,1	7,96	17,4	12,31	5,5	-	0,72	2.886
<b>Total Verda Infr.</b>	<b>52,9</b>	<b>-</b>	<b>263/108/304</b>	<b>154</b>	<b>63</b>	<b>44,1</b>	<b>140</b>	<b>19,3</b>	<b>302</b>	<b>3,77</b>	<b>36.975</b>
Residencial	1.730	1.017	-	13.352	16.095	3.661	-	127	-	25.346	12.592
Serveis i Indústria	-	-	-	39.434	200.108	21.502	-	79	95.196	2.802	12.520
<b>Total AMB</b>	<b>1.783</b>	<b>1.017</b>	<b>263/108/304</b>	<b>52.939</b>	<b>216.266</b>	<b>25.208</b>	<b>140</b>	<b>226</b>	<b>95.498</b>	<b>28.152</b>	<b>63.533</b>
<b>Importacions I. V.</b>	<b>1.715</b>	<b>1.012</b>	<b>115/27/146</b>	<b>4920</b>	<b>3520</b>	<b>669</b>	<b>740</b>	<b>349</b>	<b>5.522</b>	<b>138</b>	<b>779.127</b>
<b>Producció interna I.V.</b>	<b>68,0</b>	<b>4,85</b>	<b>148/81/159</b>	<b>50,4</b>	<b>0</b>	<b>44,1</b>	<b>140</b>	<b>85,7</b>	<b>302</b>	<b>3,77</b>	<b>36.975</b>

Per obtenir aquest escenari es va introduir els criteris del CCPAE (Consell Català de la Producció Agrària Ecològica), aplicats a l'escenari 3 de canvi d'usos del sòl proposat pel PDU. Es pot veure que tot i que hi ha una disminució de la producció d'aliments respecte a l'escenari 3 per efecte d'una menor productivitat dels cultius en ecològic, la situació final no és més baixa que l'escenari 0 de partida, perquè es compensa amb l'augment de terres agrícoles. L'altre efecte negatiu de l'agricultura ecològica és la necessitat de més mà d'obra per la producció que no és major, que afegit a l'augment de terres agrícoles proposat pel PDU, incrementa en més d'un 30% el treball del sector agrari. Per altra banda, s'observen altres efectes rellevants derivats de la implementació de l'agricultura ecològica. Entre els efectes positius, s'observa que l'ús d'adobs orgànics i la reutilització de restes vegetals i excreta de la ramaderia local fa que disminueixi molt la importació de fertilitzants (penúltima fila), una qüestió que és clau en els postulats de l'agroecologia per trencar amb la dependència externa per la producció d'aliments. També s'evidencia que la disminució de l'ús d'inputs externs que caracteritza l'agricultura ecològica, es reflecteix en un menor consum tant d'electricitat com de combustibles (-20% i -15% respectivament), que repercuteix molt positivament en la disminució d'emissions de gasos d'efecte hivernacle de l'agricultura. En aquest escenari, el canvi de producció a ecològic, no només compensa l'increment de terres agrícoles, sinó que es queda per sota el nivell d'emissions de l'escenari 0 (un -11,3% per l'agricultura). Un últim efecte que es pot entendre com a positiu per l'agricultura és que el valor afegit del sector augmenta un 29% conseqüència dels majors preus de comercialització dels productes ecològics, compensant la baixada de la productivitat. Finalment, la possible variació del consum d'aigua en un escenari d'agricultura ecològica depèn de diversos supòsits que queden fora de l'abast d'aquest escenari pilot, perquè hi ha molta variabilitat segons quines pràctiques agrícoles s'assumeixin. Per exemple si s'utilitzen varietats resistents a la sequera, o es deixen créixer herbes entre cultius llenyosos que augmenten l'evapotranspiració, o bé s'utilitzen mantells per protegir el sòl de l'evapotranspiració.

A l'escenari 5 es simula l'efecte del canvi climàtic en la configuració d'usos del sòl proposat pel PDU (taula 12).



**Taula 12. Matriu amb els resultats de la simulació de l'escenari 5**

Nexe  E5 - PDU CANVI CLIMÀTIC	FLUXOS									FONS	
	Aliments		Fertilizants	Energia		GEH	Aigua		Diners	Activitat humana	Usos del sòl
	(k ton)		(ton)	(TJ)		(k t CO <sub>2</sub> eq)	(hm <sup>3</sup> )		(M €)	(M hora)	(ha)
	Vegetal	Animal	NPK	Electricitat	Combustibles		Verda	Blava	Valor afegit		
Agricultura	52,9	-	245/100/284	113,8	70,8	34,8	29,2	15,6	216	2,27	8.058
Forestal	-	-	-	negl.	1,85	0,12	98,2	0	negl.	0,03	26.031
Parcs	-	-	-	70,1	7,96	17,9	12,16	6,6	-	0,72	2.886
<b>Total Verda Infr.</b>	<b>52,9</b>	<b>-</b>	<b>245/100/284</b>	<b>184</b>	<b>81</b>	<b>52,8</b>	<b>140</b>	<b>22,2</b>	<b>216</b>	<b>3,02</b>	<b>36.975</b>
Residencial	1.730	1.017	-	13.352	16.095	3.661	0	127	-	25.346	12.592
Serveis i Indústria	-	-	-	39.434	200.108	21.502	0	78	95.221	2.803	12.520
<b>Total AMB</b>	<b>1.783</b>	<b>1.017</b>	<b>245/100/284</b>	<b>52.970</b>	<b>216.283</b>	<b>25.216</b>	<b>140</b>	<b>227</b>	<b>95.437</b>	<b>28.152</b>	<b>63.533</b>
<b>Importacions I. V.</b>	<b>1.715</b>	<b>1.012</b>	<b>245/100/284</b>	<b>4951</b>	<b>3538</b>	<b>878</b>	<b>738</b>	<b>649</b>	<b>5.522</b>	<b>121</b>	<b>779.137</b>
<b>Producció interna I.V.</b>	<b>67,9</b>	<b>4,85</b>	<b>0</b>	<b>50,4</b>	<b>0</b>	<b>52,8</b>	<b>140</b>	<b>85,7</b>	<b>216</b>	<b>3,02</b>	<b>36.975</b>

En aquest escenari hi ha un augment considerable de la demanda d'aigua de reg comparat amb l'escenari 3 (un 9,2% més que l'escenari 3 i un 28,4% més que l'escenari 0). Això fa que a la vegada les emissions de GEH de l'agricultura també pugin més que als altres escenaris (+15%), perquè es tenen en compte les emissions associades a l'abastament d'aigua de reg. La producció local de l'agricultura baixa, encara que aquesta davallada es veu compensada per l'augment de superfície verda. En general, en aquest escenari s'observa que l'efecte del canvi climàtic ha danyat considerablement els beneficis que s'aconsegueixen amb escenari 3.

Finalment, a l'escenari 6 s'ha simulat una composició de tres supòsits a la vegada, fent un escenari per veure que passaria quan es combina un augment de la infraestructura verda, amb l'agricultura ecològica i sota l'efecte del canvi climàtic (taula 13).

**Taula 13. Matriu amb els resultats de la simulació de l'escenari 6**

Nexe  E6 - PDU ORGÀNIC CANVI CLIMÀTIC	FLUXOS									FONS	
	Aliments		Fertilizants	Energia		GEH	Aigua		Diners	Activitat humana	Usos del sòl
	(k ton)		(ton)	(TJ)		(k t CO <sub>2</sub> eq)	(hm <sup>3</sup> )		(M €)	(M hora)	(ha)
	Vegetal	Animal	NPK	Electricitat	Combustibles		Verda	Blava	Valor afegit		
Agricultura	52,9	-	224/91/260	83,6	53	27,2	29,2	15,6	197	3,01	8.058
Forestal	-	-	-	negl.	1,85	0,12	98,2	0	negl.	0,03	26.031
Parcs	-	-	-	70,1	7,96	17,9	12,16	6,6	-	0,72	2.886
<b>Total Verda Infr.</b>	<b>52,9</b>	<b>-</b>	<b>224/91/260</b>	<b>154</b>	<b>63</b>	<b>45,2</b>	<b>140</b>	<b>22,2</b>	<b>197</b>	<b>3,77</b>	<b>36.975</b>
Residencial	1.730	1.017	-	13.352	16.095	3.661	0	127	-	25.346	12.592
Serveis i Indústria	-	-	-	39.434	200.108	21.502	0	78	95.196	2.802	12.520
<b>Total AMB</b>	<b>1.783</b>	<b>1.017</b>	<b>224/91/260</b>	<b>52.939</b>	<b>216.266</b>	<b>25.208</b>	<b>140</b>	<b>227</b>	<b>95.393</b>	<b>28.152</b>	<b>63.533</b>
<b>Importacions I. V.</b>	<b>1.721</b>	<b>1.012</b>	<b>95/23/120</b>	<b>4937</b>	<b>3532</b>	<b>755</b>	<b>810</b>	<b>652</b>	<b>5.534</b>	<b>151</b>	<b>780.154</b>
<b>Producció interna I.V.</b>	<b>62,1</b>	<b>4,85</b>	<b>130/69/139</b>	<b>50,4</b>	<b>0</b>	<b>45,2</b>	<b>140</b>	<b>85,7</b>	<b>197</b>	<b>3,77</b>	<b>36.975</b>

El resultat més destacat és que la producció agrícola local disminueix un 9,1% degut al menor rendiment de

l'agricultura ecològica i a l'efecte del canvi climàtic. Per altra banda, el consum d'energia de l'agricultura disminueix per efecte de l'agricultura ecològica, les emissions de GEH es queden en un punt intermedi entre l'escenari 4 i 5, disminuint un 8,4%. El consum d'aigua augmenta per efecte del canvi climàtic, el valor afegit de l'agricultura disminueix un 9%, i el treball agrari necessari augmenta igual que a l'escenari 4.

## 4. Discussió

En l'apartat anterior s'ha mostrat com l'aproximació Nexe ha estat capaç de simular sis escenaris amb diferents variables de partida, calculant automàticament els efectes del canvi dels paràmetres sobre la resta de dimensions del model a través de les connexions quantitatives establertes (coeficients tècnics).

La senzillesa però robustesa de les relacions quantitatives que estableix aquesta nova eina Nexe és un dels seus principals avantatges, especialment en comparació amb altres enfocaments d'avaluació integrada, que tenen enormes dificultats per establir els vincles entre complicats algorismes que modelen cada dimensió per separat (per a una discussió més àmplia de les capacitats d'avaluació integrada vegeu Serrano-Tovar, 2014).

En general, altres enfocaments del Nexe es fan combinant models sectorials ja existents, de manera que, al final, aquests models només poden tractar una pregunta a la vegada, perquè el model integrat resultant només és aplicable dins d'un rang donat pels components del model. Un altre problema recurrent d'altres models Nexe és la capacitat d'adaptació a diferents aplicacions a causa dels requisits conceptuals i tècnics manifestats per a l'acoblament entre els models sectorials disponibles (és a dir, una inconmensurabilitat tècnica de les dimensions considerades).

Exemples d'enfocaments d'avaluació integrada amb connexions febles entre els models sectorials que els componen són el MIT (Prinn et al., 1999), el model d'anàlisi de compensacions (Stoorvogel et al., 2004), ATEAM (Schroter et al., 2005), Eururalis (Westhoek et al., 2006; Verburg et al., 2008), o el més recent SIM4NEXUS (Sušnik et al., 2018). L'enfocament del Nexe presentat en aquest article pot fer front a qualsevol canvi proposat dins dels requeriments analítics establerts, no només sent flexible per incorporar més dimensions o tipus d'entrada de dades, sinó que és adaptable a qualsevol reestructuració del sistema en nivells d'agregació de la informació, o una ordenació diferent de les etapes metabòliques dels fluxos, sempre mantenint la coherència quantitativa entre els diferents elements que caracteritzen el sistema metropolità.

En la simulació dels escenaris futurs s'ha pogut calcular els avantatges i contrapartides que s'obtenen en molts aspectes quan s'introdueixen canvis en algunes variables, i fins on arriba cada canvi proposat. Aquest tipus d'informació és molt útil a l'hora de prendre decisions sobre quina és la millor estratègia pel territori, perquè es pot tenir en compte diversos sectors i temes a la vegada, i per tant ser capaços de fer una governança transversal innovadora. S'ha vist que els canvis de variables climàtiques i els canvis de rendiments productius agrícoles provocats pel canvi climàtic són capaços de produir tanta afectació al territori com els canvis en els usos del sòl que proposa el planejament territorial vigent (amb increment d'àrees urbanes en detriment d'infraestructura verda), fins i tot en combinació amb l'increment de l'agricultura que proposa el mapa del PDU (quan es comparen els escenaris 1 i 5). Per això és clau fer una planificació territorial molt acurada, perquè amb aquesta eina Nexe s'evidencia que l'ús de certs tipus de cultius i de cobertes vegetals (com poden ser els cultius orgànics) poden afectar tant als objectius que es volen obtenir, com a increments o detriments absoluts de superfícies de la infraestructura verda i urbanes, como proposen els planejament territorials.

Una aportació cabdal d'aquesta representació del Nexe de forma multinivell, és que permet posar en perspectiva la infraestructura verda amb la resta del sistema metropolità per entendre quines conseqüències té pel territori en el seu conjunt. A les matrius resultants de les simulacions dels escenaris es va poder veure

que hi ha certs recursos que consumeix la infraestructura verda (energia, GEH, diners i treball) que són molt escassos en comparació amb els fluxos que es donen a la resta de sectors que componen l'AMB. Els fluxos a la infraestructura verda d'alguns recursos com l'energia o els diners, arriben a ser gairebé negligibles en comparació amb el consum total del sistema metropolità. Per aquestes dimensions, es tracta de molts ordres de magnitud de diferència: l'energia consumida per la infraestructura verda mai arriba a un 0,5% del total dels altres sectors de l'AMB (recordar que només al sector transport es compta amb un port i aeroport de grans dimensions), i a pesar que la infraestructura verda consumeix una quantitat considerable d'aigua blava que té emissions de GEH associades, les emissions de la infraestructura verda tampoc sobrepassen el 0,4% de les xifres de tota l'AMB. De forma encara més acusada, el valor afegit produït per la infraestructura verda és d'un 0,1% del total dels sectors productius a l'AMB. Pel que fa a les hores d'activitat humana, la infraestructura verda suposa també en torn un 0,1% del treball remunerat a l'AMB. En canvi, la proporció del consum d'aigua i de terres per part de la infraestructura verda en comparació amb el total del sistema metropolità suposa fins a més de la meitat de l'ús d'aquests recursos. Llavors, és molt important posar dins del seu context què signifiquen els canvis d'aquestes variables en les simulacions dels diferents escenaris, i per això aquesta aproximació del Nexe insisteix a fer representacions multinivell i posar sempre referències externes per entendre que volen dir els números resultants i poder prendre decisions estratègiques.

## 4.1. Limitacions de l'estudi

Les dades que es presenten en aquest treball serveixen per analitzar el comportament general de les múltiples dimensions interconnectades a l'àrea metropolitana de Barcelona, amb l'objectiu principal de mostrar el potencial del model Nexe per fer diagnòs i per simular escenaris. Les dades utilitzades són robustes i coherents per a una aproximació al funcionament metabòlic general de la infraestructura verda metropolitana. No obstant això, en aplicar l'enfocament Nexe per avaluar una pregunta de recerca específica de forma profunda, possiblement caldrà ampliar i aprofundir les bases de dades utilitzades per abordar el problema concret que s'estigui estudiant. És a dir, a causa del nombre de dimensions considerades, aquesta imatge general del comportament del sistema metropolità no processa tots els possibles detalls específics de cada tema, ja que la ramificació de la informació es comporta com una fractal amb infinites possibilitats en cada part, el que requereix ajustar la resolució de les bases de dades en funció de l'objectiu de les anàlisis.

Per tant, s'han d'especificar els objectius concrets per a cada aplicació pràctica del model Nexe, de manera que es pugui abordar el nivell de detall requerit per a cada estudi. Per exemple, per a l'estimació de les pèrdues de transformació i distribució d'electricitat, per a una visió general es prenen les dades de la xarxa elèctrica d'Espanya disponible a Eurostat, tal com es recomana a les guies oficials de comptabilització d'emissions de gasos d'efecte hivernacle. Però si un objectiu particular de l'estudi requereix comparar les pèrdues energètiques actuals amb un escenari potencial per al sistema metropolità amb fonts d'energia alternatives situades dins del territori, l'anàlisi hauria d'estimar amb un major refinament les pèrdues, considerant el rendiment tèrmic real de cada planta de potència elèctrica al llarg del temps, els quilòmetres i el tipus de xarxa de distribució elèctrica des de les fonts als usuaris.

# 5. Conclusions

Aquesta nova aproximació del Nexe a l'àrea metropolitana de Barcelona ofereix una informació transversal i alhora robusta per als responsables de la presa de decisions. Ofereix una visió sistèmica del comportament d'un territori tan complex com és la metròpoli de Barcelona, indicant les possibles contrapartides, riscos i oportunitats simulant possibles escenaris de desenvolupament futur. Els resultats de l'avaluació de la infraestructura verda metropolitana mostren clarament el paper que pot i no pot desenvolupar el sector primari en comparació amb la resta del sistema metropolità.

L'anàlisi a través de múltiples nivells jeràrquics d'agregació de la informació (és a dir, tot el sistema metropolità, la infraestructura verda en comparació amb altres sectors, i els subsectors que componen les diferents peces de la infraestructura verda) és rellevant no només per mostrar les dades de manera organitzada, sinó per arribar al tancament quantitatiu dels processos analitzats utilitzant dades 'de baix a dalt' i enfocaments 'de dalt a baix'. El Nexe entre les diferents dimensions quantificades (aliments, nutrients del sòl, energia, emissions de gasos d'efecte hivernacle, aigua, diners, activitat humana i usos del sòl) és molt útil, en primer lloc, per fer una diagnosi de la situació actual, i, en segon lloc, per simular escenaris de futur i comprovar l'efecte resultant de canvis a la resta de dimensions del sistema. Això és especialment rellevant en un context de futures crisis en l'abastament de recursos externs estratègics com poden ser l'aigua, l'energia o els aliments. Com que la complexitat de gestionar múltiples aspectes del territori fa que el procés d'elaboració de polítiques sigui una tasca complicada, perquè els interessos són alts i els compromisos sempre estan presents, el conjunt d'eines presentat es desenvolupa per convertir-se en un Sistema de Suport a la Decisió per a responsables polítics, tècnics, acadèmics i ciutadania interessada, amb l'objectiu de proporcionar informació útil per a una governança transversal i multinivell.

En aquest cas, s'ha fet un pas endavant i s'han mostrat les capacitats del Nexe fent noves simulacions d'escenaris de futur, fent paleses les conseqüències d'introduir canvis en alguns paràmetres en tota la resta dimensions considerades del sistema, i als diferents sectors i subsectors que componen tant la infraestructura verda com la resta de sectors del sistema metropolità. En aquest sentit, s'ha pogut estimar quins són els efectes a diferents nivells d'escenaris de canvis d'ús dels sòls proposats per diversos planejaments territorials, una transformació de l'agricultura metropolitana cap a la producció ecològica, i els efectes del canvi climàtic considerant l'escenari més intens (RCP 8.5) de l'IPCC l'any 2050. Els resultats mostren que es pot quantificar quins són els possibles limitants, contrapartides i oportunitats a diferents sectors del sistema metropolità. Tots els escenaris resulten en pros i contres depenent de què es miri, però en general es pot concloure que escenaris de grans sacrificis per la infraestructura verda (destrucció de la seva superfície) suposen millores marginals en aspectes claus quan es veuen les xifres en absolut per tot el sistema metropolità. Per tant, es recomanaria el manteniment i augment d'aquesta infraestructura verda.

Finalment, els escenaris simulats han servit per calibrar i fer plenament operativa l'eina Nexe, i per mostrar el tipus de potencial que té combinant diferents paràmetres per obtenir una imatge del que passaria en el territori metropolità recorrent diferents camins. Aquest exercici té el propòsit de poder donar una informació útil a les inquietuds de l'àrea metropolitana de Barcelona. El Nexe és especialment útil per avaluar el grau de dependència i el rendiment metabòlic d'un sistema per tots els seus fluxos a la vegada, quan es busquen

polítiques de reduir dependències externes o d'estalvi de recursos amb processos més eficients. Altres escenaris en els quals aquesta aproximació Nexa ja es podria simular fàcilment donat el grau de desenvolupament que s'ha aconseguit són:

- Canvis de dieta de la població. Per exemple, estimar el consum de recursos, i les dependències externes d'un menor consum de carn.
- Escenaris d'escassetat d'aigua amb davallades en l'abastament extern donat pels sistemes del Ter i del Llobregat.
- Explorar l'abast i implicacions a altres dimensions d'un augment d'aigua de fonts pròpies (aqüífers i regenerada).
- Canvis en el sector turístic, com podria ser escenaris d'augment o de disminució de turistes.
- Escenaris que mostrin les implicacions pels sectors econòmics, el medi ambient, i la dependència externa d'un augment de fonts internes d'energia, per exemple amb el desplegament de fonts renovables pel territori.
- Conseqüències d'una reducció de la demanda energètica de la climatització dels habitatges amb una rehabilitació energètica integral.
- Escenaris dels impactes d'un tall o davallada del subministrament de gas.
- Escenaris d'electrificació, tant en la climatització de les llars, com de substitució del parc mòbil per cotxes elèctrics.
- I finalment, el Nexa és especialment adient per simular impactes de canvis demogràfics, com pot ser augment de sectors de la població, efectes migratoris, o canvis en la ubicació dels nuclis urbans.

## **Agraïments**

Aquesta recerca ha estat finançada per l'Àrea Metropolitana de Barcelona, i ha obtingut el suport del projecte LIFE Urban Greening Plans finançat per la Comissió Europea, el projecte MA4SURE PRIMA-H2020 finançat per la Comissió Europea, i el projecte BIOLANDSCAPES finançat pel Ministeri de Ciència, Innovació i Universitats.

## 6. Bibliografia

- Aguilera, Eduardo, Guzmán, G., Alonso, A., 2015a. Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. I. Herbaceous crops. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 713–724.
- Aguilera, Eduardo, Guzmán, G., Alonso, A., 2015b. Greenhouse gas emissions from conventional and organic cropping systems in Spain. II. Fruit tree orchards. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 725–737.
- Ajuntament de Barcelona, Departament d'Estudis i Programació Gabinet Tècnic de Programació. 2016. *El producte interior brut de barcelona i de l'àrea metropolitana (AMB) 2015*.
- AMB –Àrea Metropolitana de Barcelona, Direcció de Serveis Ambientals. 2014. *Pla de sostenibilitat ambiental de l'àrea metropolitana de Barcelona 2014-2020*.
- AMB –Àrea Metropolitana de Barcelona, Servei de redacció del Pla Director Direcció de Serveis d'Urbanisme Barcelona. 2019. *Avanç del pla director urbanístic metropolità*.
- AMB –Àrea Metropolitana de Barcelona. 2020. *Getting to know the metropolitan area*. Recuperat de <https://www.amb.cat/en/web/area-metropolitana/coneixer-l-area-metropolitana>
- AMB –Àrea Metropolitana de Barcelona. 2021. *Tractament de Residus*. Recuperat de <https://www.amb.cat/s/web/medi-ambient/residus/gestio/tractament.html>
- American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 2000. Manure production and characteristics. Saint Joseph.
- BiophysEco. 2018. *How much of the world's energy is supplied by renewables?* Recuperat de <https://biophyseco.org/2018/06/21/how-much-of-the-worlds-energy-is-supplied-by-renewables/>
- Brouwer F, Giampietro M, Anzaldi et al. 2017. The nexus: Efficient approaches. *Pan European Networks: Science & Technolog*
- CREAF –Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. 2016. *Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya de 2015*. <https://www.creaf.uab.es/mcsc/>
- BP –British Petroleum. 2021. BP statistical review of world energy. *BP Statistical Review*, London, UK.
- EnerTrans –Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación de la Universidad de Oviedo. 2008. *Monografía 15 - Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por barco*. Monografías EnerTrans, Oviedo.
- Eurostat, 2021. *Energy Flow Diagrams. Spain 2015*.
- FAOSTAT. 2021. Food Balance Sheets of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Balances (2014-). Recuperat de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
- Fundacion Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3a edición. Recuperat de: <http://www.fundacionfedna.org/ingredientes-para-piensos>

Galán, E., Tello, E., Cussó, X., Olarieta, J.R., 2012. Métodos de fertilización y balance de nutrientes en la agricultura orgánica tradicional de la biorregion mediterránea: Cataluña (España) en la década de 1860. *Hist. Agrar.* 95-119.

García-Ruiz, R., González de Molina, M., Guzmán, G., Soto, D., & Infante-Amate, J. (2012). Guidelines for constructing nitrogen, phosphorus, and potassium balances in historical agricultural systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(6), 650-682.

Georgescu-Roegen N. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press.

Giampietro M, Mayumi K. 2000. Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: introducing the approach. *Population and Environment* 22(2), 109-153.

Giampietro M, Mayumi K, Bukkens SG. 2001. Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: an analytical tool to study development and sustainability. *Environment, Development and Sustainability* 3(4), 275-307.

Giampietro M, Mayumi K, Ramos Martín J. (2008). Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MUSIASEM): an outline of rationale and theory.

Giampietro M, Mayumi K, Ramos-Martin J. 2009. Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale. *Energy* 34(3), 313-322.

Giampietro M, Mayumi K, Sorman Hadiye A. 2010. Assessing the quality of alternative energy sources: Energy Return On the Investment (EROI), the Metabolic Pattern of Societies and Energy Statistics.

Giampietro M, Bukkens SG, Aspinall R. (2014). The sudoku effect within musiasem. In *Resource Accounting for Sustainability Assessment* (pp. 169-182). Routledge.

Hoff H. 2011. Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn2011 Nexus conference: The Water, Energy and Food Security Nexus.

Holtan-Hartwig, L., & Bockman, O. C. (1994). Ammonia exchange between crops and air. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*.

IERMB –Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona. 2020. Suport a l'avaluació d'escenaris del Pla Director Urbanístic. Cap a una transició socioecològica de la infraestructura verda. Recuperado de <https://iermb.uab.cat/ca/recerca/estudis/sostenibilitat/>

INE –Instituto Nacional de Estadística. 2021. Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero. Detalle municipal. Barcelona: Población por municipios y sexo. [Fichero de datos]. Recuperat de <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2861&L=0>

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. Chapter 11, N2O Emissions from managed soils, and CO2, emissions from lime and urea application, in: IPCC (Ed.), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. IPCC, Ginebra, pp. 11.1-11.54.

Marull J, Padró R, Cirera J, et al. 2019. Cap a una anàlisi socioecològica integrada de la infraestructura verda metropolitana. Anuari Metropolità de Barcelona 2018. Del barri a la metròpoli. Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona, Bellaterra.

Observatorio de Servicios Portuarios. 2020. Estudio de las necesidades e implicaciones de la determinación del suministro de combustible a buques como servicio portuario. Recuperat de



[https://observatorio.puertos.es/DOC\\_PUBLICOS/Estudio%20de%20las%20implicaciones%20de%20la%20determinaci%C3%B3n%20del%20suministro%20de%20combustible%20a%20buques%20como%20servicio%20portuario.pdf](https://observatorio.puertos.es/DOC_PUBLICOS/Estudio%20de%20las%20implicaciones%20de%20la%20determinaci%C3%B3n%20del%20suministro%20de%20combustible%20a%20buques%20como%20servicio%20portuario.pdf)

Oficina Catalana de Canvi Climàtic, 2019. Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH).

Padró R, Marull J, Giocoli A, et al. 2019. Anàlisi Socioecològica Integrada: aplicació al planejament del territori metropolità. Anuari Metropolità de Barcelona 2018. Del barri a la metròpoli. Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona, Bellaterra.

Sachs I, Silk D. 1990. *Food and energy: strategies for sustainable development*. United Nations University Press.

Schroter D, Cramer W, Leemans R, et al. 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310 (5752), 1333–1337.

Serrano-Tovar T. 2014. Spatial analysis in MuSIASEM. The use of Geographic Information Systems and Land Use applied to the integrated analysis of rural systems' metabolism (Doctoral dissertation). Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Spain.

Serrano-Tovar T, Padró R, La Rota-Aguilera MJ, Velasco-Fernández R, Marull J, 2021. *Metabolismo hídrico de la infraestructura verde del área metropolitana de Barcelona*. Papers 64. Reptes i Oportunitats de la Infraestructura Verda Metropolitana. Publicacions IERMB

Soroa, J., 1953. Prontuario del agricultor y el ganadero, 8th ed. Dossta, Madrid.

Stoorvogel JJ, Antle JM, Crissman CC, et al. 2004. The tradeoff analysis model: integrated bio-physical and economic modeling of agricultural production systems. *Agricultural Systems* 80 (1), 43–66.

Sušnik J, Chew C, Domingo X, et al. 2018. Multi-stakeholder development of a serious game to explore the water-energy-food-land-climate nexus: The SIM4NEXUS approach. *Water* 10 (2), 139.

Uchida, R., 2000. Recommended Plant Tissue Nutrient Levels. Plant Nutr. Manag. Hawaii's Soils, Approaches to Trop. Subtrop. Agric. 57–65.

United Nations Environment Programme. 2021. *Food Waste Index Report 2021*. Nairobi.

Velasco-Fernández R, Perez-Sanchez L, Chen L, et al. 2020. A becoming China and the assisted maturity of the EU: Assessing the factors determining their energy metabolic patterns. *Energy Strategy Reviews* 32, 100562.

Verburg P, Eickhout B, van Meijl H. 2008. A multi-scale, multi-model approach for analysing the future dynamics of European land use. *The Annals of Regional Science* 42 (1), 57–77.

Vinther, F. P., & Hansen, S. (2004). SimDen-en simpel model til kvantificering af N2O-emission og denitrifikation.

Westhoek HJ, van den Berg M, Bakkes JA. 2006. Scenario development to explore the future of Europe's rural areas. *Agriculture Ecosystems & Environment* 114 (1), 7–20.

Yeager, T.H., Ingram, D.L., 2003. Use of Tissue Analyses in Woody Ornamental Nurseries. Univ. Florida IFAS Ext. OHC16, 1–4.



Recerca urbana  
per transformar

**Universitat Autònoma de Barcelona**

Campus de Bellaterra

Plaça del Coneixement, edifici MRA, p. 2

08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)

tel.: 93 586 88 80

info@institutmetropoli.cat

[www.institutmetropoli.cat](http://www.institutmetropoli.cat)

