

**LA PÈRDUA DE PAISATGE EN MOSAIC
I D'EFICIÈNCIA METABÒLICA AGRÀRIA
A LA REGIÓ METROPOLITANA
DE BARCELONA (1956-2009)**

SUMARI

1. Introducció

2. Hipòtesi, metodologia i bases de dades del cas d'estudi

3. La pèrdua de mosaic: canvis d'usos del sòl i de la ramaderia

4. La trampa energètica de l'agricultura industrial

5. La pèrdua de complexitat metabòlica i territorial

6. Factors determinants del canvi a les taxes de retorn energètic

7. Pèrdua de circularitat metabòlica agrària i de paisatges en mosaic

8. Conclusió

LA PÈRDUA DE PAISATGE EN MOSAIC I D'EFICIÈNCIA METABÒLICA AGRÀRIA A LA REGIÓ METROPOLITANA DE BARCELONA (1956-2009)

1. Introducció

Els conceptes d'infraestructura verda i serveis ecosistèmics han emergit de manera simultània, i estan estretament interrelacionats. Entenem per infraestructura verda el conjunt d'àrees verdes urbanes, hortícoles, agrícoles, forestals i ramaderes que proporcionen un ampli ventall de serveis ecosistèmics a la ciutadania (MEA, 2005; Baró et al., 2016; Depietri et al., 206; Potschin-Young et al., 2018): de proveïment, de regulació i culturals o recreatius, que, al seu torn, requereixen el bon estat ecològic d'unes estructures biofísiques que els generen (i que se solen anomenar serveis ecosistèmics de suport). La idea cabdal és que es tracta d'un *sistema*, la integració i connectivitat ecològica del qual són de vital importància per la seva capacitat de subministrar el ventall sencer de serveis ecosistèmics. La societat els necessita *tots* perquè que són complementaris i no pas substituïbles, de manera que cercar incrementar-ne només alguns (com els de proveïment, que són als mercats on tenen un preu) a costa dels altres (la regulació del clima global i els microclimes propers, l'aigua dolça, la fertilitat i estabilitat del sòl, la pol·linització, el control de plagues i malures, la bellesa, el confort i el sentit d'identitat que proporcionen els paisatges en bon estat, etc.) comporta no poder gaudir-ne cap a la llarga. I la majoria de serveis ecosistèmics que, tot i el seu gran valor, no són als mercats ni tenen un preu, depenen indirectament o directa dels serveis o funcions que proporciona la *biodiversitat* continguda en la infraestructura verda, tan en els hàbitats del sòl fèrtil com en els de les seves cobertes vegetals (European Commission, 2014).

La necessitat d'aquests conceptes, i la seva aplicació a la planificació i els usos que donem al territori, deriva de la crisi ambiental global que ha generat la nostra actual forma de viure, consumir i habitar la Terra. El seu impacte ha comportat la superació de diversos límits ambientals planetaris, com el canvi climàtic, la crisi de la biodiversitat o la disrupció dels grans cicles biogeoquímics del nitrogen o el fòsfor, mentre amenaça de superar-ne d'altres a escala global que, tanmateix, ja resulten insostenibles en molts entorns regionals i locals (Steffen et al., 2015; O'Neill et al., 2018). El sistema agroalimentari és un dels components que té una incidència rellevant no únicament en el canvi climàtic sinó també, i molt particularment, en el deteriorament de la capacitat dels paisatges culturals

d'acollir biodiversitat i proveir serveis ecosistèmics (Cardinale et al., 2012; Clark et al., 2020). Tal com argumenta la proposta de la FAO *Scaling Up Agroecology*, de 2018, l'assoliment de gran part dels Objectius de Desenvolupament Sostenible de l'Agenda 2030 de les Nacions Unides depèn estretament del gran salt que es faci cap a nous territoris agroecològics integrats (Altieri i Nicholls, 2012; FAO, 2018; Wezel, 2016).

Per a aquesta tasca calen noves idees i conceptes, indicadors mesurables i criteris clars on basar la presa de decisions, tant de la planificació territorial i altres polítiques públiques com dels productors, consumidors i ciutadans entrelaçats per les cadenes agroalimentàries que vinculen les ciutats amb l'entorn agrari, forestal i ramader. Ramon Margalef ens va deixar algunes nocions cabdals per abordar aquesta recerca (Margalef, 1989: 105-117, 1993, 2006[1973]) quan deia que els paisatges agraris tradicionals en mosaic que havia conegut en la seva infància i joventut eren un bon instrument de conservació de la biodiversitat que s'està esvaint a les masses cada cop més uniformes de camps, ciutats i boscos que generen una «*inversió topològica de la natura humanitzada*», on «*la xarxa "domesticada" esdevé contínua i més poderosa*, [mentre que] *la resta del paisatge passa gairebé a la categoria de residual*» (Margalef, 2005: 218). També va plantejar una manera molt precisa d'abordar aquesta recerca:

«*La relació entre energia i heterogeneïtat horitzontal és obvia als paisatges humanitzats. [...] Als espais cultivats, a mesura que creix la pressió d'exploació, s'erosiona el reticle primitiu de la naturalesa original, que queda reduït als marges de camps i tanques vegetals, cada cop més tènues, i la desaparició dels quals és un cop molt seriós a la conservació de la naturalesa i de les espècies. [...] La relació entre les entrades d'energia externa i les dimensions característiques dels motius de distribució, es fa evident en comparar el paisatge rural tradicional d'Europa i el nou paisatge on l'agricultura mecanitzada s'associa a grans concentracions urbanes. La diferència resulta impressionant quan es comparen imatges des de l'aire o des de l'espai. El mosaic dels països mediterranis i alpins contrasta amb tipus d'ecosistemes més uniformes i de distribució zonal a les mateixes latituds o més a nord [...]; però la nostra societat, canalitzant i fent disponible l'energia amb propòsits variats, està canviant la superfície dels continents, destrueix es-*

structures antigues i fa retrocedir els ecosistemes, des del seu "pattern" recent a adoptar novament la condició de processos. Es tracta d'una acceleració o "re-dinamització" de la biosfera, que perd algunes matisacions d'origen històric que reflectien, segurament millor, el rerefons de la topografia, de la qualitat dels sòls» (Margalef, 1993: 152-153).

Margalef ens convidava a analitzar com l'energia externa moguda pel metabolisme social transforma els territoris i en modifica els «*motius de distribució*». És a dir, entendre els paisatges culturals com una expressió territorial d'aquests fluxos metabòlics (Marull et al., 2010; Tello et al., 2017b). El projecte de recerca internacional *Sustainable Farm Systems: Long-Term Socio-Ecological Metabolism in Western Agriculture (2012-2018)* ens ha permès dur a terme aquesta recerca desenvolupant nous models i indicadors. Aquí presentem els resultats d'aplicar-los al canvi del paisatge agroforestal dels 164 municipis de la Regió Metropolitana de Barcelona (RMB) entre 1956 i 2009.

2. Hipòtesi, metodologia i bases de dades del cas d'estudi

La hipòtesi a corroborar és que la creixent dependència d'*inputs* externs i linearitat del metabolisme social agrari, i la seva desconexió de l'ús multifuncional d'uns boscos progressivament abandonats, han estat factors determinants de la simplificació i polarització de les cobertes del sòl, que, juntament amb l'expansió de la superfície urbanitzada, han destruït parts considerables de l'antic mosaic a la RMB entre 1956 i 2009 (Cattaneo et al., 2018, 2019). Ho farem calculant els balanços de matèria i energia d'aquests sistemes agraris amb una anàlisi que empra tres taxes de retorn energètic a l'energia invertida (TRE, o EROI en anglès). Els tres EROI estan relacionats per una funció que permet observar-ne la variació conjunta i comparar-la amb les direccions òptimes que caldria seguir per augmentar el rendiment energètic conjunt (Tello et al., 2016).

Aquest mètode ha estat considerat el més circular d'entre totes les formes d'anàlisi energètica de la interacció metabòlica agrària entre biosfera i tecnosfera existents fins ara (Hercher-Pasteur et al., 2020). El seu tret distintiu és establir una diferenciació entre els fluxos que provenen de fora dels límits del sistema analitzat, considerats *inputs* externs (*EI*) que transformen el sistema natural en un agroecosistema; els fluxos que surten a fora com a producte final (*FP*) agroalimentari consumible per la societat; i els fluxos que els agricultors fan circular dins l'agroecosistema com a biomassa reutilitzada (*BR*) per reproduir de forma directa o indirecta els seus béns fons vius: la vida del sòl, el bestiar i la biodiversitat associada a tots aquests espais agroforestals (Figura 1).

Les idees bàsiques d'aquesta anàlisi multi-EROI són dues. La primera és que les activitats agràries són una coproducció amb la natura que transforma ecosistemes en agroecosistemes amb la incorporació d'energia externa i informació a través del treball i el saber fer de la pagesia. La primera taxa de retorn energètic que fa mig segle que es calcula és la ràtio entre l'energia continguda en el producte final que s'extreu dels agroecosistemes per proveir la societat (*FP*), i l'energia externa invertida pel treball pagès i/o subministra-

da per la resta de la societat (*External Inputs* o *EI*) en obtenir-los:

$$\text{External Final EROI (o EFEROI)} = \frac{FP}{EI} \quad (1)$$

EFEROI mesura el grau de dependència d'*inputs* externs (*EI*) per unitat de producte final (*FP*) subministrat a la societat per l'agroecosistema analitzat.

La segona idea bàsica de l'anàlisi multi-EROI és que l'agroecosistema creat per la interacció d'aquesta energia externa (*EI*) moguda pel treball pagès amb el funcionament de la natura en el seu interior adquireix una conformació sociometabòlica circular. Per treure a la llum aquesta bioeconomia circular cal partir del procés d'apropiació i transformació de la producció primària neta (PPN) fotosintètica que les plantes realitzen als sòls fèrtils amb la radiació solar, de la qual s'alimenten totes les altres formes de vida, i que al seu torn depèn del retorn dels fluxos de matèria orgànica en descomposició que alimenten la vida del sòl. D'aquesta manera, la sostenibilitat de tot l'agroecosistema depèn dels fluxos de matèria i energia que circulen bescant-se entre un seguit de béns fons vius, com els sòls fèrtils, els animals domèstics i la biodiversitat associada. Aquests béns fons poden proporcionar fluxos biofísics útils als agricultors i a la societat, que surten de l'agroecosistema, però només a un cert ritme, i sempre que les seves pròpies necessitats reproductives de matèria i energia estiguin ben cobertes.

Aquesta reproducció dels béns fons vius –i, per tant, la sostenibilitat de tot l'agroecosistema— depèn del fet que una part significativa de tota la PPN vegetal els sigui retornada com a matèria orgànica que alimenta la biodiversitat edàfica mantenint la fertilitat del sòl; com a pastura i altres formes d'alimentació animal que permeten mantenir i reproduir la cabanya ramadera; i com a biomassa no collida o presa directament com a herbivoria que sosté la biodiversitat associada. Tots aquests processos de circulació i transformació interns romanen conceptualment tancats dins d'una caixa negra en la visió lineal de moltes anàlisis energètiques que només compten una sola taxa de retorn, la que aquí anomenem *EFEROI*, dividint els *outputs* que surten de l'agroecosistema pels *inputs* que venen de fora (Tello et al., 2016).

Per copsar la dimensió d'aquesta recirculació de matèria-energia interna en els agroecosistemes, emprem una segona taxa de retorn energètic que mesura el producte final obtingut per cada unitat de biomassa reutilitzada (*BR*) en el manteniment de l'agroecosistema:

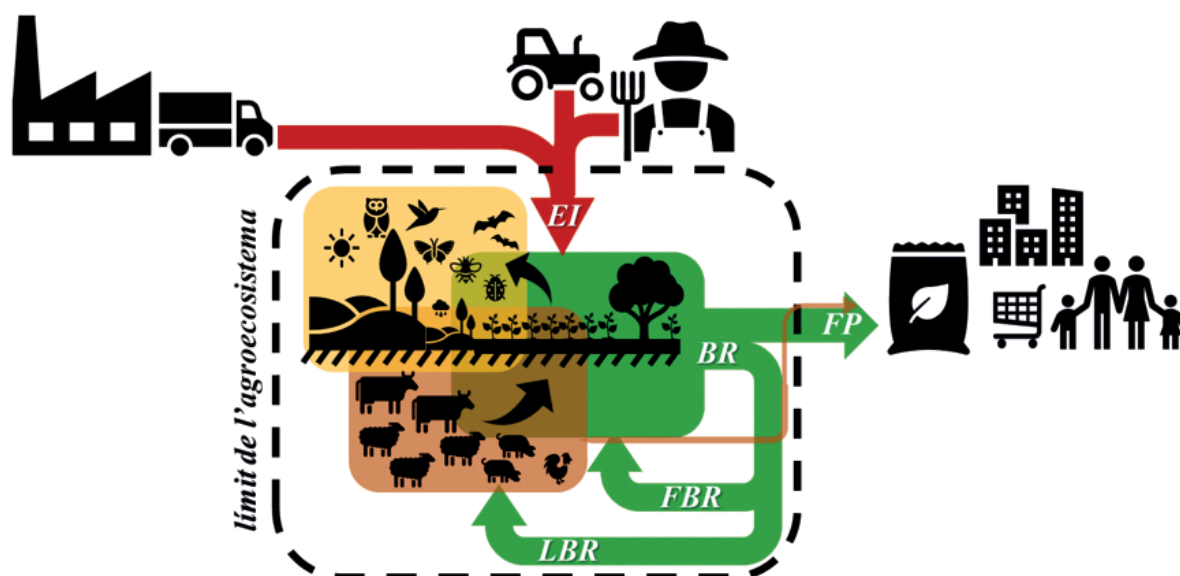
$$\text{Internal Final EROI (o IFEROI)} = \frac{FP}{BR} \quad (2)$$

IFEROI mesura l'esforç inversor en la reproducció i manteniment dels béns fons de l'agroecosistema (i el seu augment pot amagar una manca de cura dels béns fons que en comprometi la sostenibilitat).

Finalment, podem calcular l'eficiència energètica conjunta de l'agroecosistema tenint en compte, alhora, la quantitat d'energia dels *inputs* externs (*EI*) i les reutilitzacions internes de biomassa (*BR*) per unitat de producte final extret (*FP*):

$$\text{Final EROI (o FEROI)} = \frac{FP}{EI+BR} \quad (3)$$

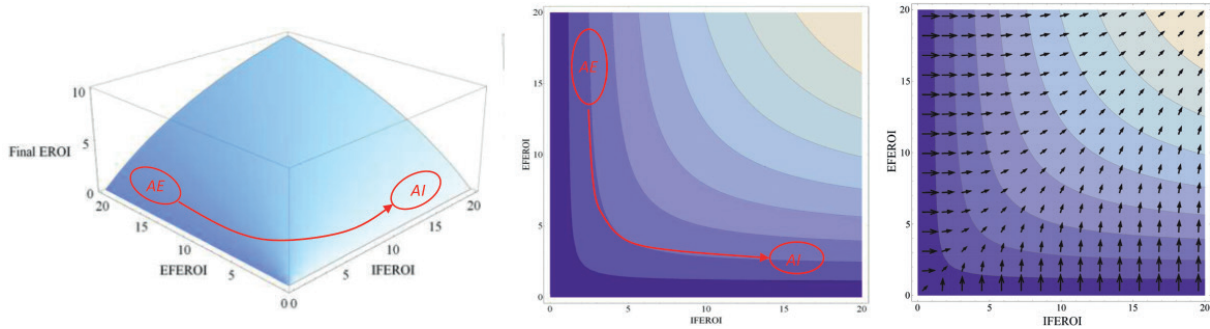
Figura 1. Delimitació conceptual i comptable dels *inputs* externs, biomassa reutilitzada i producte final que circulen com a fluxos entre els béns fons d'un agroecosistema.



Béns fons vius de l'agroecosistema	Sòls dels cultius herbacis anuals i llenyosos permanents	
	Sòls dels boscos, garrigues, prats i herbassars	
	Animals domèstics: bestiar d'engreix (i de treball si s'escau)	
	Biodiversitat associada a l'agroecosistema	Edàfica A les cobertes del sòl
Inputs externs (EI) <i>[Es compta el contingut energètic + energia incorporada al seu transport + amortització quan s'escau]</i>	Treball pagès <i>[com a part de l'aliment destinat a treballar]</i>	
	<i>Inputs</i> de la comunitat rural (compost de restes domèstiques)	
	Inputs industrials	Llavors adquirides de fora
		Pinsos adquirits de fora
		Tractors i utilitatge
Fertilitzants industrials		
Pesticides i herbicides		
Biomassa reutilitzada (BR) <i>[Es compta només el contingut energètic (fins a l'aliment animal)]</i>	Directament als sòls cultivats o prats de sembra (<i>FBR</i>)	Llavors seleccionades a dins
		Adob en verd
		Biomassa enterrada
	A través de l'alimentació animal (<i>LBR</i>)	<i>[Fem compostat o purí]¹</i> <i>[Força de tir animal si s'escau]¹</i>
Producte final (FP)	Producte final agrícola (<i>CP</i>)	
	Producte final forestal (<i>WP</i>)	
	Producte final ramader (<i>LBP</i>)	

Font: Elaboració pròpia a partir de Tello et al. (2016). Notai: aquests fluxos secundaris de la bioconversió ramadera es compten, però no se sumen als inputs totals consumits (TIC), per evitar incórrer en doble comptabilització d'un mateix flux.

Figura 2. Superfície de valors possibles *FEROI-EFEROI-IFEROI*, perfils contrastats de l'agricultura ecològica (AE) i industrial (AI), i vectors d'optimitat per millorar *FEROI*.



Font: Elaboració pròpia a partir de Tello et al. (2016).

Les tres taxes de retorn energètic estan connectades per una funció¹ que relaciona *FEROI* amb *EFEROI* i *IFEROI*:

$$FEROI = \frac{EFEROI \cdot IFEROI}{EFEROI + IFEROI} \quad (4)$$

Podem fer servir l'equació (4) per analitzar els canvis que experimenten les tres taxes de retorn energètic, observant-ne la transformació en funció de la relació *EFEROI-IFEROI* (que depèn, en darrer terme, de les ràtios $\frac{EI}{BR}$, $\frac{FP}{BR}$, i $\frac{FP}{EI}$) i el seu impacte conjunt en els valors que pren *FEROI*. Aquestes trajectòries del canvi estructural dels agroecosistemes es poden comparar amb les que haurien estat teòricament òptimes per incrementar, en cada situació, el seu rendiment energètic conjunt (*FEROI*).

Per fer-ho, emprem la superfície del conjunt de valors possibles que poden prendre simultàniament aquestes tres taxes de retorn energètic (*FEROI-EFEROI-IFEROI*), representada en la Figura 2. A l'esquerra la veiem en forma tridimensional, i al mig com un «mapa energètic» bidimensional en què l'alçada que representa el rendiment conjunt (*FEROI*) és expressada per «corbes de nivell» o isoquantas que mantenen el mateix valor.

Els pendents d'aquesta superfície de valors possibles que pot prendre la relació *FEROI-EFEROI-IFEROI* presenten rendiments decreixents en qualsevol punt que, tanmateix, varien segons la regió del «mapa energètic» on es trobin. Això permet calcular, amb les derivades parcials de cada punt, els diferents potencials d'increment de *FEROI* en el camp de vectors representat a la dreta de la Figura 2. La mida relativa de cada vector expressa el potencial de millora del retorn energètic conjunt seguint la direcció òptima assenyalada (Figura 2). Farem servir aquesta referència d'optimitat per comparar-la amb les trajectòries històriques reals experimentades pels agroecosistemes.

El perfil energètic dels sistemes agraris preindustrials, i també de l'agricultura ecològica actual, és una baixa dependència d'*inputs* externs (*EI*) mercès a una forta inversió en reutilitzacions internes de biomassa (*BR*)

per tal de sostenir la reproducció dels béns fons. Per tant, tendiran a situar-se a la regió marcada com a AE a la superfície de valors possibles (Figura 2). Aquesta regió de la superfície de valors possibles es caracteritza per valors relativament més alts dels retorns energètics externs (*EFEROI* amb una elevada ràtio $\frac{FP}{EI}$), i relativament més baixos dels retorns energètics interns (*IFEROI* amb una menor ràtio $\frac{FP}{BR}$). Totes dues coses responen a una baixa ràtio $\frac{EI}{BR}$.

Inversament, el perfil energètic distintiu dels sistemes agroindustrials serà una elevada dependència d'*inputs* externs (*EI*) majoritàriament provinents de combustibles fòssils (fertilitzants industrials, tractors, herbicides, pesticides i també pinsos animals transportats a llargues distàncies amb molta energia incorporada). Hom podria suposar que la barator relativa d'aquests *inputs* externs adquirits als mercats haurà induït una reducció de l'esforç en reutilitzacions internes de biomassa (*BR*) més costoses en treball, desplaçant el perfil energètic dels sistemes agroindustrials (amb augments de la ràtio $\frac{EI}{BR}$) cap a la regió de la superfície de valors possibles marcada com a AI a la Figura 2. Aquests trets del perfil energètic agroindustrial responen a una ràtio $\frac{EI}{BR}$ molt elevada.

Les trajectòries reals seran força més complexes que aquesta senzilla aproximació, perquè les tres taxes de retorn que interrelacionem en aquesta anàlisi dels perfils energètics dels agroecosistemes també estan profundament afectades pel canvi en la composició entre activitats agrícoles, ramaderes i forestals, pel seu grau de funcionament integrat o desintegrat, i el seu grau d'abandonament relatiu. L'explotació forestal, considerada separatament de la resta, tindrà retorns elevats tant dels fluxos externs com interns pel fet que la fusta té una major densitat energètica per unitat de pes, i per tallar-la i extraure-la cal un menor ús d'*inputs* externs (*EI*) i unes reutilitzacions de biomassa (*BR*) molt minses comparades amb les de qualsevol altre producte agrícola o ramader.

La ramaderia, en canvi, té rendiments energètics més baixos a causa de la gran dissipació metabòlica d'energia que comporta la cria i l'engreix animal. Per obtenir una unitat d'energia en forma de carn, llet i ous calen entre dues i deu vegades més d'energia continguda en l'aliment emprat per alimentar gallines, porcs o vedells. Els rendiments energètics dels cultius vegetals

¹ La demostració és senzilla:

$$\frac{EFEROI \cdot IFEROI}{EFEROI + IFEROI} = \frac{\frac{FP}{EI} \cdot \frac{FP}{BR}}{\frac{FP}{EI} + \frac{FP}{BR}} = \frac{FP^2}{EI \cdot BR} = \frac{FP}{EI + BR} = FEROI$$

se situen en posicions intermèdies entre la silvicultura i la ramaderia, depenent de si són herbacis o llenyosos, de secà o de regadiu, i també de quin aprofitament es fa dels productes principals i els subproductes. El canvi en la composició dels béns fons dels agroecosistemes, i també de la cistella de productes finals oferts (FP), té impactes considerables en el seu rendiment energètic conjunt.

I encara cal afegir-hi que els béns fons dels agroecosistemes estiguin estretament integrats de forma circular, fent que els subproductes o residus dels uns puguin aprofitar-se com a *inputs* per d'altres (pastures, palles i pel·lofes per alimentar bestiar, fems per fertilitzar el sòl, etc.); o que, en canvi, es desintegren estructuralment i els fluxos de matèria i energia esdevinguin lineals, augmentant la generació de residus i l'energia dissipada (Ho i Ulanowicz, 2005; Ho, 2013; Giampietro et al., 2013; Vranken et al., 2014). Tot això fa encara més interessant, i útil, situar les trajectòries reals en el marc de possibilitats teòricament possibles i òptimes que pot prendre la relació simultània entre els tres tipus de retorn energètic dels sistemes agraris, per tal d'analitzar com canvien la seva estructura i el seu funcionament en passar d'una agricultura i ramaderia ecològiques a una altra d'industrial, o a l'inrevés.

Sabem que la pèrdua d'eficiència metabòlica agrària i la de paisatges complexos en mosaic s'han produït simultàniament a la RMB entre 1956 i 2009 (Marull et al., 2010). Tanmateix, per considerar que l'una (la desintegració entre béns i fons i la linealització dels fluxos biofísics del metabolisme agrari) és la causa principal de l'altra (la pèrdua de mosaic a la infraestructura verda que roman més enllà de l'espai urbà-industrial) cal examinar *com* estan entrelaçades les dues dimensions. Per fer-ho fem un altre model anomenat ELIA (*Energy-Landscape Integrated Analysis*), desenvolupat per Marull et al. (2016, 2019), que relaciona els fluxos energètics dels sistemes agraris amb les mètriques d'heterogeneïtat del paisatge. En comptes de procedir per agregació fins a calcular diverses taxes de retorn en el balanç d'energia dels agroecosistemes, el model ELIA opera per mitjà d'una anàlisi de

graf calculant les proporcions amb què cada flux que arriba d'un node procedent d'un altre es divideix en dos nous fluxos que enllacen amb altres nodes. De dos fluxos de sortida de cada node, l'un es dirigeix sempre cap a l'interior i l'altre cap a l'exterior de l'agroecosistema (Figura 3):

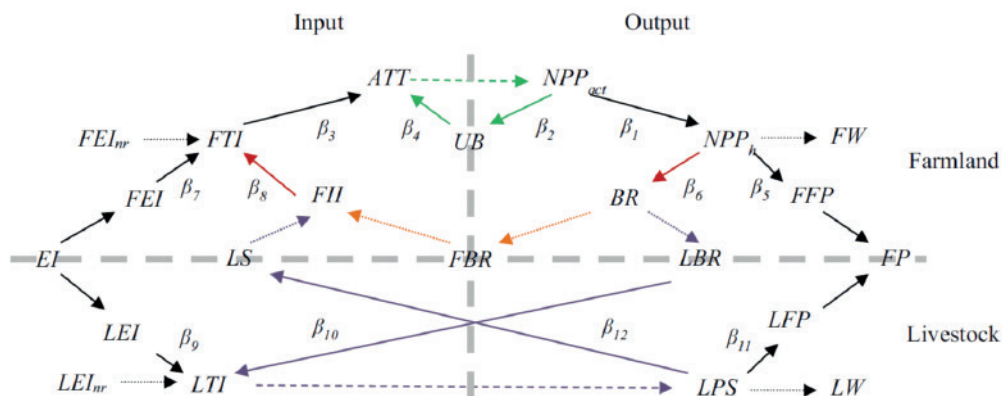
D'aquesta manera, el graf ELIA permet resseguir tota la circulació d'energia que té lloc dins d'un agroecosistema a partir de la producció primària neta fotosintètica, connectant-la amb els fluxos provinents de l'exterior (a l'esquerra del graf) o que marxen cap a l'exterior (a la dreta). El conjunt d'enllaços entre nodes recorre tres bucles principals de l'agroecosistema: el primer (en verd) representa les activitats merament recol·lectores de biomassa produïda per la fotosíntesi, com l'extracció forestal o la pastura de ramats en prats naturals, garrigues o boscos; el segon (rogenc) recorre el circuit agrícola de tota mena de cultius; i el tercer (violeta) ho fa amb les connexions del component ramader. D'aquesta manera, el graf representa la complexitat d'un sistema agrari mixt que és alhora agrícola, ramader i forestal (Figura 3).

Els valors de $\beta_{1..12}$ compten les proporcions de cada parell de fluxos d'energia que arriba a cada node, un dels quals gira cap endins romanent temporalment incorporat a l'agroecosistema i permetent el seu manteniment al llarg del temps (β parells), mentre que l'altre marxa cap enfora i esdevé, per tant, dissipatiu per a la reproducció de l'agroecosistema (β senars).

La primera variable que el graf ELIA permet comptar és E , la proporció (en tant per 1) dels fluxos emmagatzemats a l'agroecosistema (principalment a la matèria orgànica i la biota del sòl, les estructures llenyoses vegetals, els animals domèstics i els no domesticats que ocupen els hàbitats existents a les cobertes del sòl).

En segon lloc, el graf permet calcular I , la informació incorporada pel treball pagès per mitjà de la seva interacció sociometabòlica amb la natura transformada per l'energia externa. Ho fa de manera indirecta, a través

Figura 3. Graf del model ELIA amb els enllaços entre els components forestals (verd), agrícoles (rogenc) i ramaders (violeta) d'un agroecosistema complex.



Font: Marull et al. (2016). NPP_{gr} : producció primària neta fotosintètica real; UB: biomassa no collida que resta a mercè de totes les altres espècies no domesticades; ATT: rotació final de la matèria-energia que circula a l'agroecosistema permetent-ne la reproducció d'un any a un altre; NPP_{agr} : fracció de la producció primària neta fotosintètica que és collida o apropiada pels agricultors; FFP: producció final agrícola i forestal; BR: biomassa reutilitzada procedent de la collida; FBR: part de la biomassa reutilitzada que va directament als sòls cultivats; FBR: part de la biomassa reutilitzada que es destina a l'alimentació animal; FII: biomassa reutilitzada que s'incorpora als sòls cultivats, tant directament com a través del bestiar (fems i tracció animal); FTI: tots els inputs incorporats als sòls cultivats (que funcionen com a acumulador temporal d'energia), tant procedents de l'interior com de l'exterior de l'agroecosistema; FEI: inputs externs que s'incorporen als sòls cultivats; EI: tots els inputs externs; LEI: inputs externs incorporats al component ramader de l'agroecosistema; LTI: tots els inputs incorporats al component ramader; LPS: productes i serveis generats pel component ramader; LFP: productes ramaders que s'incorporen al producte final de l'agroecosistema; FW, LW, FEI_mr i LEI_mr: tots els residus generats pel cultiu o el bestiar, o procedents dels inputs externs agrícoles o ramaders, que no compleixen cap funció en la reproducció de l'agroecosistema i esdevenen, per tant, «recursos fora de lloc» que suposen una pèrdua d'energia metabòlica agrària.

de la complexitat del graf (en llatí «*cum plexum*» volia dir això, entrelaçat), d'una manera que resulta entenedora si considerem que el maneig d'un agroecosistema complex, en què els fluxos d'energia interrelacionen tots els components agrícoles, forestals i ramaders alhora, requereix més informació i saber fer de la pagesia més que un sistema simple, desintegrat i lineal. La variable *L* es calcula amb l'índex de Shannon-Winer aplicat al conjunt d'enllaços entre nodes per mesurar fins a quin punt l'energia que recorre l'agroecosistema flueix d'una manera equidistribuïda entre tots els canals possibles (i aleshores pren el valor 1), o es concentra només en alguns d'aquests canals, simplificant el sistema (i apropant a 0 els valors de *L*).

L'índex de Shannon-Winer prové de la teoria de la informació, i es basa en el fet que la quantitat total d'informació que qualsevol canal pot transmetre és màxima quan els esdeveniments que poden succeir-hi per transmetre-la són igualment probables. Aquesta noció d'equiprobabilitat d'esdeveniments va atraure l'interès dels ecòlegs —Ramon Margalef entre ells—, que començaren a fer-lo servir com a indicador de biodiversitat. Considerant la probabilitat d'observar espècies diferents seguint un transsecte traçat a l'atzar, la biodiversitat no tan sols mesura quantes espècies hi ha en un territori sinó també com de barrejades i interactuant es troben.

En la teoria ecològica i l'ecologia del paisatge hi ha un cert consens, dins d'un persistent debat, en el fet que els paisatges heterogenis amb major diversitat de cobertes vegetals generen una major diferenciació d'hàbitats que els permeten acollir més biodiversitat (Alteri, 1999; Loreau et al., 2003; Shea et al., 2004; Perfecto i Vandermeer, 2010; Cardinale et al., 2012; Tschardt et al., 2012a, 2012b; Vranken et al., 2014; Geertsema et al., 2016). Basant-se en aquests fonaments, el model ELIA compta, com a tercera variable *L*, l'índex de Shannon-Wiener de l'equidistribució de cobertes del sòl en el paisatge analitzat; o, alternativament, L_g , que és la mitjana entre l'equidiversitat de cobertes i l'índex de connectivitat ecològica calculat amb SIG en el mapa de cobertes (Marull et al., 2019).

Els usos del sòl de cada municipi han estat obtinguts al CREA per fotointerpretació de les fotografies aèries del vol de l'exèrcit dels Estats Units de 1956, i de les imatges satel·litàries de 2009. Això comporta que els cultius d'horta i regadiu no s'han pogut diferenciar del conjunt de cultius herbacis, i altres limitacions. El còmput de fluxos materials s'ha obtingut dels diversos censos agraris i ramaders, estadístiques forestals i altra informació disponible a l'IDECAT, que en força casos també té la important limitació d'estar disponibles només a escala provincial (el 1956) o comarcal (el 2009). Això obliga a aplicar certes mitjanes provincials o comarcals per unitat de superfície als usos del sòl de cada municipi, oferint una imatge de la distribució espacial dels fluxos de matèria i energia més homogènia que la real, difuminant-ne la polarització territorial. Cal tenir-ho present, atès que introdueix un biaix en sentit contrari a la hipòtesi que volem corroborar: que la creixent dependència d'*inputs* externs, la creixent linearitat del metabolisme social agrari i la seva desconnexió de l'ús multifuncional d'uns boscos progressivament abandonats han estat factors determinants de la simplificació i polarització de les cobertes del sòl, les

quals, juntament amb l'expansió de la superfície urbanitzada, han destruït parts considerables de l'antic mosaic que tant apreciava Ramon Margalef com a instrument de conservació de la biodiversitat en els paisatges humanitzats.

3. La pèrdua de mosaic: canvis d'usos del sòl i de la ramaderia

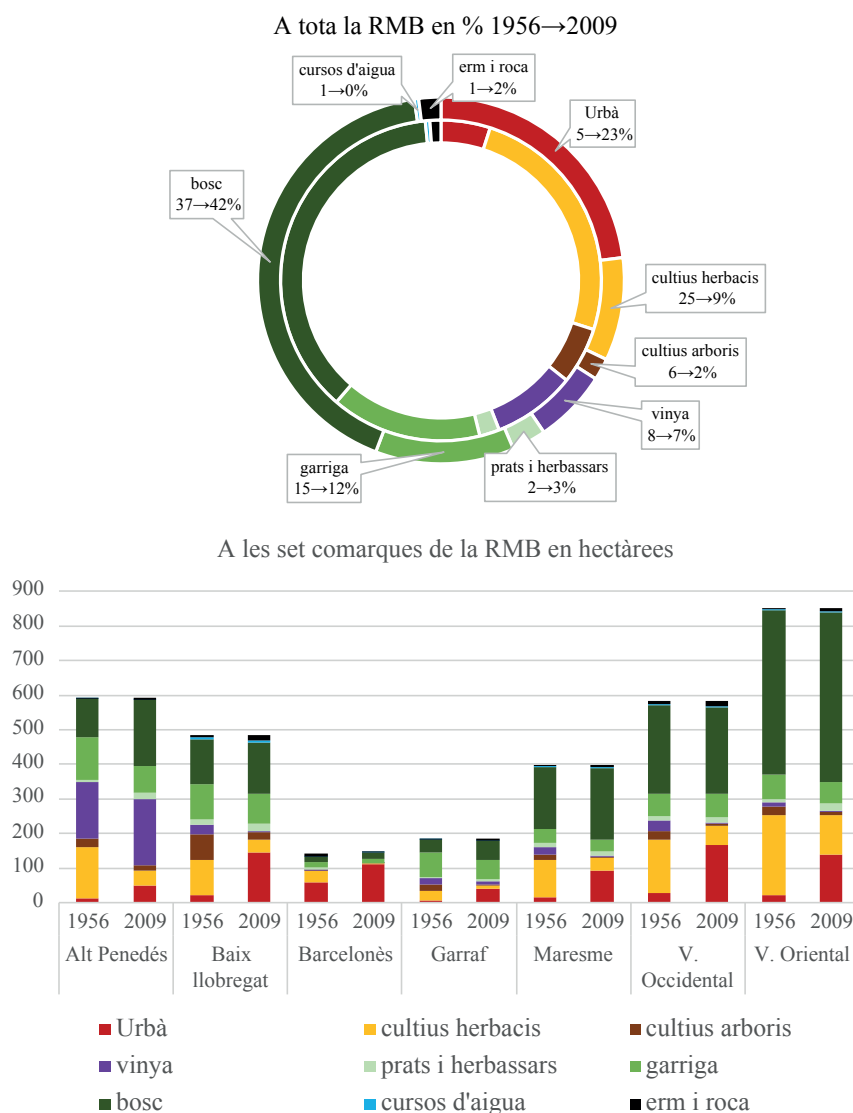
La Figura 4 sintetitza els canvis d'usos i cobertes del sòl entre 1956 i 2009 a les set comarques de la RMB, i a tota la regió. Les zones urbanes s'han multiplicat gairebé per sis, augmentant en 585 km² fins a segellar el 23% del territori. Les cobertes forestals, que ja ocupaven un 37%, han guanyat 156 km², fins a arribar a cobrir el 42%. Entre les dues, els cultius han perdut 699 km², reduint la seva proporció del 39 al 18%. La major reducció absoluta l'han soferta els cultius herbacis, que han perdut 514 km² i han passat del 25 al 9% del territori. En termes relatius, la major contracció, del 66%, l'han experimentada els cultius arbustius, que han perdut 123 km², passant del 6 al 2%. La menor reducció percentual l'ha experimentada la vinya, un 23%, que ha perdut 61 km² en passar del 8 al 7% de la RMB.

Aquestes dades avalen la diagnosi de Margalef, però només capten una part de la pèrdua de paisatge en mosaic, que ha estat un fenomen multiescalar. Sota les variacions en el conjunt de la RMB hi ha hagut una creixent polarització d'usos dins de cada comarca i municipi. La part inferior de la Figura 1 mostra que la superfície urbanitzada ha assolit la màxima proporció al Barcelonès, passant del 41 al 77%, però els majors increments absoluts de cobertes urbanes s'han enregistrat al Vallès Occidental (+136 km², del 5 al 28%), Baix Llobregat (+125 km², del 4 al 30%), Vallès Oriental (+120 km², del 2 a 16%) i Maresme (+77 km², del 4 al 23%). Per contra, els majors increments del bosc s'han produït a les zones més escarpades de l'Alt Penedès (79 km², del 19 al 32%), Maresme (+28 km², del 45 al 52%), Baix Llobregat (+20 km², del 26 al 30%) i Vallès Oriental (+17 km², del 56 al 58%).

L'abandonament de l'activitat agrària ha reforçat la polarització d'usos i cobertes del sòl. La contracció dels espais agrícoles i ramaders ha estat de -769 km² a la RMB, superior als +741 km² guanyats conjuntament per zones urbanes i boscos. S'ha concentrat al Baix Llobregat (-155 km², del 66 al 35%), Vallès Oriental (-142 km², del 41 al 24%), Vallès Occidental (-135 km², del 49 al 26%), Alt Penedès (-122 km², del 79 al 58%) i Maresme (-108 km², del 50 al 23%). Les majors reduccions de cultius herbacis (-514 km²) s'han produït al Vallès Oriental (-118 km², del 27 al 13%), Alt Penedès (-106 km², del 25 al 7%) i Vallès Occidental (-98 km², del 26 al 10%). En termes relatius, la menor presència d'aquests conreus s'enregistrava el 2009 al Barcelonès (0,5%) i el Garraf (5%). La vinya ha perdut 61 km², especialment al Vallès Occidental (-31 km², del 5 al 0,1%), Baix Llobregat (-23 km², del 6 a l'1%) i Maresme (-17 km², del 5 a l'1%). Però ha guanyat +28 km² a l'Alt Penedès, on ha passat del 28 al 32%, a costa dels cultius herbacis.

Aquestes dades mostren un triple procés de polarització en els usos del sòl: 1) l'avenç dels espais urbanitzats i industrials, concentrat en zones planeres de la

Figura 4. Canvis d'usos i cobertes del sòl a la RMB i les seves comarques (1956-2009).



costa i la depressió prelitoral; 2) els processos d'especialització agrària a les planes, amb millors sòls fàcilment mecanitzables, on s'ha concentrat bona part del que queda de cultius herbacis al Vallès Oriental i l'Occidental (el 13% i 10% de la superfície comarcal concentra el 58% d'aquests usos a la RMB), i a l'Alt Penedès la vinya (al 32% de la superfície comarcal hi ha el 90% de la superfície vitícola de la RMB); 3) l'abandonament del cultiu, la pastura i molts usos forestals en els sòls més pobres i pendents, que en el darrer mig segle s'han reforestat. La polarització d'usos també s'ha donat en la distribució d'una ramaderia que ha canviat profundament de composició, funcionament i densitat (Figura 5):

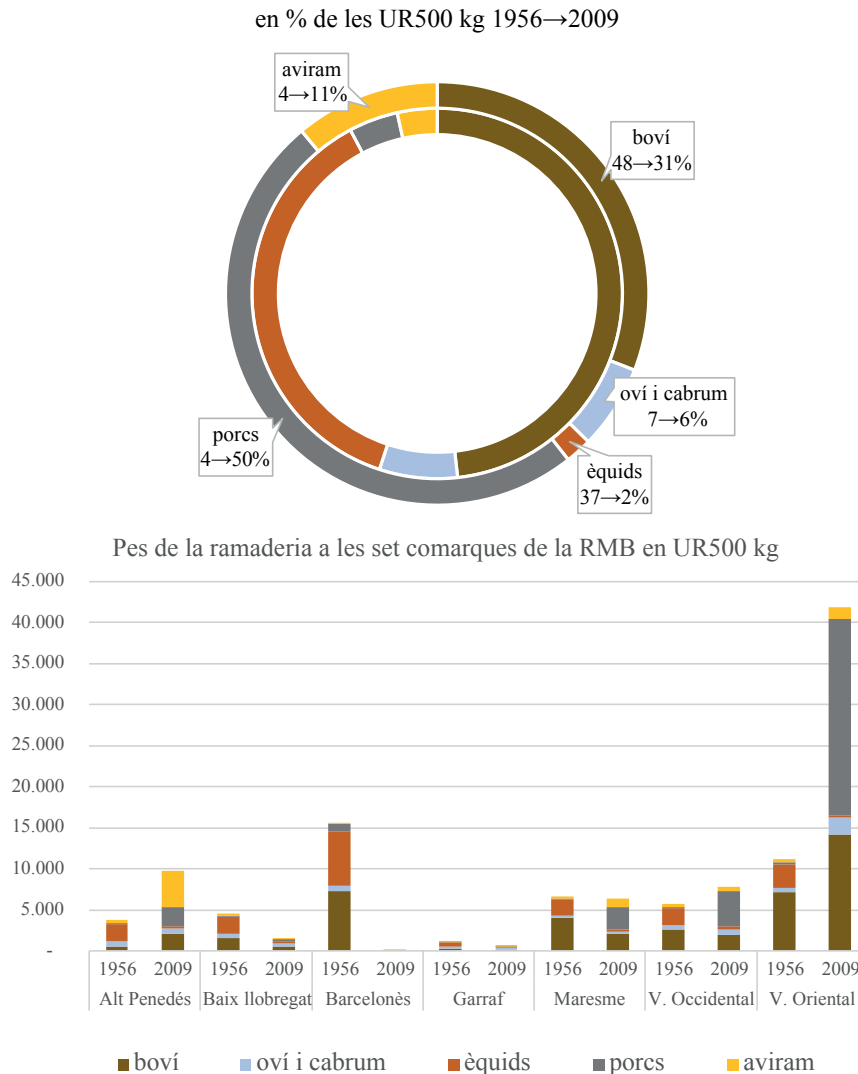
A la RMB el pes en unitats ramaderes estandarditzades de 500 kg (UR500) ha crescut un 40% de 1956 a 2009. Els cavalls i muls emprats com a bestiar de treball el 1956 (un 37% del pes ramader) han estat substituïts per tractors. La cria de porcs (que han passat del 4 al 50% de les UR500), aviram (del 3% a l'11%) i bestiar boví de llet s'ha industrialitzat amb granges d'engreix que importen pinsos compostos de molt lluny (Padró et al., 2017). La ramaderia extensiva d'oví i cabrum ha romàs en el 7 o el 6%.

Si els efectes de la intensificació agroindustrial i ramadera especialitzada en una part del territori, l'abandonament i reforestació en una altra i l'avenç de la urbanització no han arribat més lluny encara, ha estat a causa de la complexa orografia i hidrografia de la RMB, que limita l'existència de sòls planers. La conjunció d'aquestes tres dinàmiques no ha estat casual. Formen part d'un mateix canvi sistèmic en els usos de l'energia externa emprada pel metabolisme social agroindustrial, i els seus «motius de distribució» en el territori.

4. La trampa energètica de l'agricultura industrial

En la Figura 6 podem observar els punts corresponents als valors *FEROI-EFEROI-IFEROI* de l'activitat agrària als municipis de la RMB el 1956 i el 2009, i els valors agregats de les set comarques. La primera impressió és que hi ha hagut un canvi estructural molt clar entre les activitats agroramaderes i silvícoles de 1956 (representades en color carbassa), amb un perfil intermediari entre l'agricultura ecològica tradicional — quan no n'hi havia cap altra— i la incorporació parcial d'un cert nombre d'*inputs* externs d'origen industrial

Figura 5. Canvi de composició i pes en UR500 kg de la cabanya ramadera a la RMB



Font: elaboració pròpia amb les dades del CREAF a partir de Cattaneo et al. (2018 i 2019)

(com ara fertilitzants minerals i sintètics, que aleshores encara es barrejaven amb fems animals compostats, i el cultiu de lleguminoses incorporades a les rotacions amb cereals), i l'agricultura i la ramaderia ja plenament industrials de 2009, que han esdevingut totalment dependents d'inputs externs provinents de combustibles fòssils.

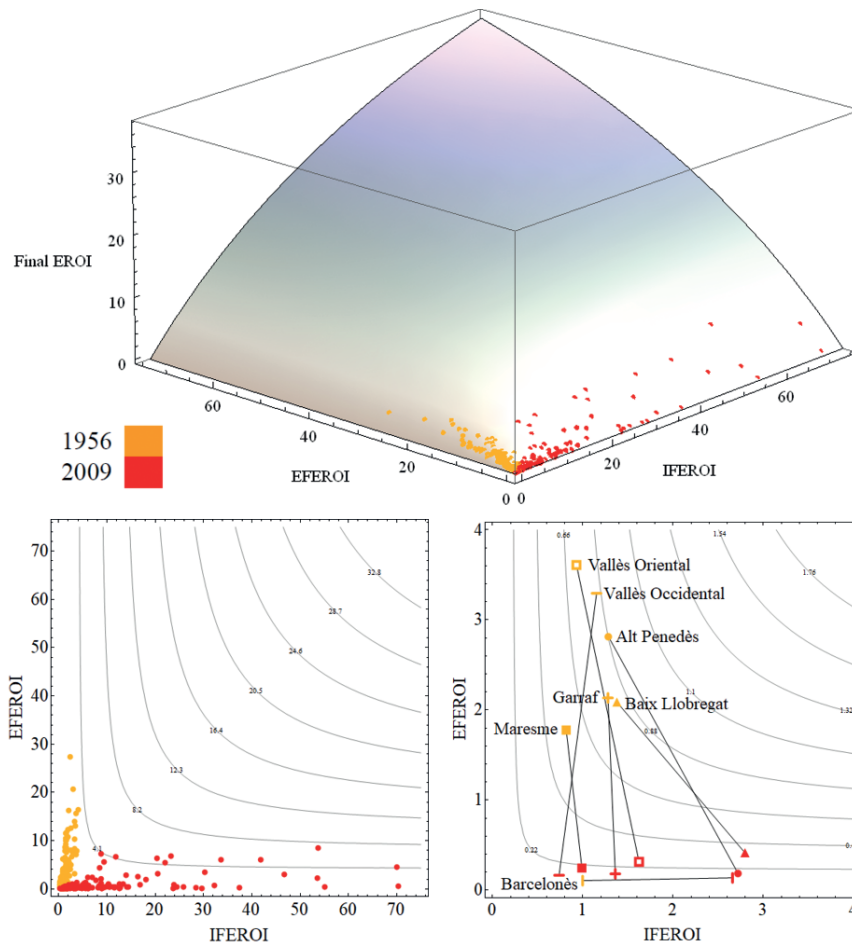
El núvol de punts de color carbassa se situava el 1956 formant un arc paral·lel a l'eix dels retorns als inputs externs (*EFEROI* a l'esquerra de la Figura 5), amb valors entre 27,40 (Tagamanent, un municipi bàsicament forestal del massís del Montseny) i 0,09 (Barcelona). El 2009, el núvol de punts se situa en paral·lel a l'eix dels retorns als inputs interns (*IFEROI*, a la dreta de la Figura 5), amb valors entre 70,33 (Olesa de Bonesvalls, un municipi forestal del massís de l'Ordal) i 0,27 (Santa Perpètua de Mogoda, a la plana de Vallès, amb una elevada proporció de ramaderia industrial).

Aquests primers resultats confirmen l'existència d'un desplaçament des de la regió AE, caracteritzada per elevades taxes de retorn energètic als inputs externs (*EFEROI* amb una alta ràtio $\frac{FP}{EI}$ i una baixa ràtio $\frac{EI}{BR}$), cap a valors molt baixos de les tres taxes de retorn ener-

gètic (*FEROI-EFEROI-IFEROI*), propers al vèrtex d'origen dels tres eixos —que anomenem «trampa energètica de l'agricultura industrial»—; i després, des d'aquí, cap a la regió oposada AI del «mapa energètic», caracteritzada per taxes de retorn a la biomassa reutilitzada més elevades (*IFEROI* amb una alta ràtio $\frac{FP}{BR}$ i una baixa ràtio $\frac{EI}{BR}$), a causa de la dependència d'inputs externs i el relaxament de l'esforç en la reproducció dels béns fons vius excepte quan la ramaderia manté un fort pes en el conjunt del sistema agrari.

Més enllà d'aquests grans ordres de magnitud, la dispersió entre els valors dels retorns energètics agraris dels diversos municipis ja era força alta el 1956, i ha augmentat considerablement el 2009. Atès que les variacions de les tres taxes de retorn energètic són consistents amb les diferents ràtios $\frac{EI}{BR}$, que, al seu torn, estan determinades en bona mesura pel pes diferencial dels usos forestals, ramaders i agrícoles en cada comarca, això sembla apuntar als efectes d'una pèrdua de circularitat, interconnexió i complexitat dels paisatges agroecològics (Cattaneo et al., 2018, 2019). La Taula 1 permet comparar aquests valors, i observar que el desplaçament des de la «trampa energètica» al vèrtex d'origen de la Figura 5 cap a valors més alts

Figura 6. Canvi de perfil energètic dels agroecosistemes als municipis i comarques de la RMB segons els indicadors *FEROI- EFEROI-IFEROI* a la superfície de valors possibles.



Font: Elaboració pròpia amb les fonts exposades en el text. Nota: S'ha prescindit del municipi de Caldes d'Estrac perquè amb menys d'1 km² d'extensió distorsiona tots els resultats.

d'*IFEROI* (i en alguns casos, també de *FEROI*) està estretament relacionat amb unes majors reduccions en la biomassa reutilitzada en relació amb l'extreta de l'agroecosistema (augmentant la ràtio $\frac{FP}{BR}$) on han acabat predominant els usos del bosc (% de producte forestal en el producte final, o $\frac{WP}{FP}$) en relació amb el pes de la ramaderia (% de producte ramader en el producte final, o $\frac{LBP}{FP}$) i també en relació amb l'agricultura industrial.

Les dades de la Taula 1 s'han de llegir tant diacrònicament (el canvi de cada variable de 1956 a 2009) com sincrònicament en la variació entre comarques en cadascun dels dos moments. El canvi de les ràtios $\frac{EI}{BR}$ en els dos sentits resulta especialment significatiu si el llegim de forma correlativa amb les variacions en els pesos relatius dels components forestals (*WP*) i ramaders (*LBP*) en el producte final (*FP*), les variacions dels fluxos energètics per unitat de superfície (*FP*, *EI* i *BR* per hectàrea), i les corresponents taxes de retorn energètic (*FEROI-EFEROI-IFEROI*).

Per exemple, les majors proporcions de producte forestal en la producció final agrària ($\frac{WP}{FP}$) les trobem el 2009 al Vallès Oriental (58%), el Maresme (48%) i el Vallès Occidental (46%), però les seves ràtios $\frac{EI}{BR}$ es mantenen baixes en relació amb altres comarques

perquè també tenen, juntament amb l'Alt Penedès, les majors proporcions de producte ramader en la producció final agrària $\frac{LBP}{FP}$. Tanmateix, en aquestes comarques la ràtio $\frac{EI}{BR}$ era la més baixa de 1956 i ha augmentat considerablement de 1956 a 2009. Aquesta conjunció de factors acaba determinant les seves trajectòries respectives en la Figura 4, més orientades cap a valors elevats dels retorns energètics interns (*IFEROI*) al Vallès Oriental i l'Alt Penedès pel major impacte dels increments relatius del bosc respecte de la situació de 1956, i en la direcció contrària al Vallès Occidental pel major pes relatiu del cultiu agroindustrial malgrat la seva contracció (amb una reducció del producte final de 17 a 8 GJ per hectàrea, i una proporció del component ramader que, tot i haver augmentat del 5 a 13%, és gairebé un 60% inferior als del Vallès Oriental, el Maresme i l'Alt Penedès).

L'anòmala trajectòria del Barcelonès en la Figura 4 i en la Taula 1 és deguda a la importància que el 1956 encara tenien les vaqueries i altra mena de bestiar allotjat a la ciutat de Barcelona i la comarca, que calia alimentar de pinsos o farratges portats en gran part de fora (amb nivells de $\frac{EI}{ha}$ altíssims). El 2009 aquest bestiar ha desaparegut, l'espai agroforestal és molt minso i poc explotat, i l'extracció de biomassa recollida als censos i estadístiques agràries força residual (1,8 GJ/ha, setze vegades menys que el 1956). Aquest i altres

Taula 1. Indicadors del canvi de perfil energètic agrari a les set comarques de la RMB.

	FEROI		EFEROI		IFEROI		FP/ha		EI/ha		BR/ha		EI/BR		% LBP/FP		% WP/FP	
	1956	2009	1956	2009	1956	2009	1956	2009	1956	2009	1956	2009	1956	2009	1956	2009	1956	2009
Alt Penedès	0,88	0,17	2,81	0,19	1,28	2,72	13,9	17,3	4,9	92,4	10,8	6,3	0,46	14,56	2%	21%	23%	13%
Baix Llobreg.	0,83	0,36	2,09	0,42	1,38	2,80	18,1	14,7	8,7	35,4	13,2	5,3	0,66	6,74	3%	3%	26%	16%
Barcelonès	0,10	0,13	0,11	0,14	1,00	2,66	27,9	1,8	261,4	12,9	28,0	0,7	9,35	19,37	51%	0%	12%	9%
Garraf	0,80	0,16	2,13	0,18	1,28	1,36	10,9	5,7	5,1	31,4	8,5	4,2	0,60	7,47	4%	4%	33%	7%
Maresme	0,56	0,20	1,78	0,25	0,82	0,99	16,8	13,4	9,4	54,4	20,6	13,6	0,46	4,01	9%	21%	48%	57%
Vallès Occid.	0,85	0,14	3,30	0,17	1,15	0,74	17,3	8,1	5,2	48,5	15,0	10,9	0,35	4,43	5%	13%	46%	57%
Vallès Orient.	0,74	0,26	3,61	0,32	0,93	1,62	16,8	20,3	4,6	64,2	18,1	12,5	0,26	5,14	7%	22%	58%	68%
RMB	0,51	0,19	1,20	0,23	0,88	1,29	14,9	13,7	12,4	60,3	16,9	10,6	0,74	5,68	8%	19%	45%	47%

Font: Elaboració pròpia amb les fonts exposades en el text. *FEROI*: taxa de retorn energètic a tots els *inputs* consumits; *EFEROI*: taxa de retorn energètic als *inputs* externs; *IFEROI*: taxa de retorn energètic als *inputs* interns; *FP/ha*: producte final per ha en GJ; *EI/ha*: *inputs* externs per ha en GJ; *BR/ha*: biomassa reutilitzada per ha en GJ; *EI/BR*: ràtio entre *inputs* externs i biomassa reutilitzada; % *LBP/FP*: percentatge de producte ramader en el producte final; % *WP/FP*: percentatge de producte forestal en el producte final.

exemples ens mostren que l'existència de densitats ramaderes sobredimensionades en relació amb la capacitat de l'alimentar-lo amb les terres de l'entorn no tan sols augmenta molt els fluxos de biomassa reutilitzada per unitat de superfície ($\frac{BR}{ha}$), sinó també els *inputs* externs ($\frac{EI}{ha}$) a causa de la importació de pinsos compostos (Padró et al., 2017; Marco et al., 2018). El resultat és l'efecte net de les dues forces en joc que cal descabdellar per entendre com es relacionen, al seu torn, amb el canvi del paisatge.

5. La pèrdua de complexitat metabòlica i territorial

La Figura 7 mostra la distribució de valors d'aquests tres indicadors, *E*, *I* i *L*, als 164 municipis de la RMB els anys 1956 i 2009. Les dues primeres variables, l'energia reinvertida (*E*) i l'energia redistribuïda per la informació del treball pagès (*I*) segons el grau de complexitat dels agroecosistemes, estan representades en els eixos horitzontal i vertical de les dues figures. La tercera variable, l'heterogeneïtat de cobertes del sòl en el paisatge corresponent (*L*), apareix indicada per la gamma de colors entre groc i verd que marca la llegenda de la dreta.

Mentre que el 1956 la majoria de punts es trobaven agrupats en valors similars, el 2009 hi ha molta dispersió. El 1956 predominaven valors intermedis-alts d'energia incorporada (*E* entre 0,6 i 0,8), intermedis d'energia redistribuïda (*I* entre 0,5 i 0,3, amb un màxim factible de 0,7 en aquest cas) i intermedis-alts d'heterogeneïtat del paisatge (*L* entre 0,6 i 0,8). Per contra, el 2009 aquell clúster de valors intermedis o intermedis-alts s'ha polaritzat en un gran arc en què pràcticament tots els punts mostren valors més baixos d'informació mesurada com a energia redistribuïda en el sistema agrari (*I* entre 0,4 i 0,1).

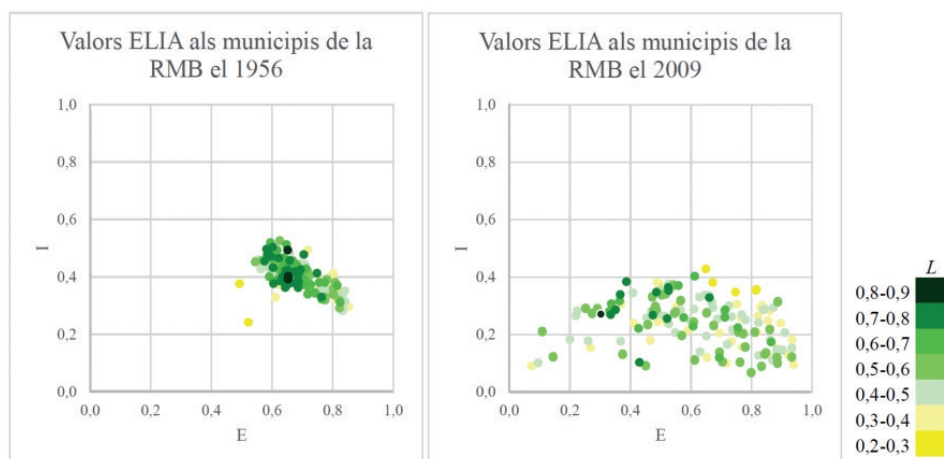
L'obertura de l'arc de la parella de valors *E-I* que observem el 2009 prové de la variació en l'energia reinvertida (*E* entre menys de 0,1 i més de 0,9). L'acumulació de proporcions altíssimes de matèria-energia

(*E* entre 0,6 i 0,9) es dona en zones boscoses abandonades amb molt poc aprofitament forestal, o cap, on hi ha una elevada propensió a patir incendis forestals (Cervera et al., 2019). A l'extrem oposat, els punts agrupats en valors molt baixos d'energia reinvertida a l'agroecosistema (*E* entre 0,1 i 0,4) són de municipis on predominen monocultius industrials intensius altament dependents d'*inputs* externs i baixa reutilització interna. En aquest tipus d'agricultura, quantitats molt elevades d'energia externa d'origen fòssil travessen el territori per extreure'n el producte desitjat sense establir cap interacció metabòlica i sinèrgica amb la vida del sòl, ni amb la que habita les cobertes vegetals del paisatge, que tendeix a destruir.

Com deia Margalef, aquest moviment horitzontal d'energia externa desintegrat dels processos ecològics «liquida» els complexos patrons de cobertes i usos del sòl que mantenien en el paisatge una certa memòria biocultural, degradant-ne la biodiversitat i els serveis ecosistèmics. Observant el racó inferior esquerre de les dades de 2009 pot semblar, a primera vista, que en aquest extrem només hi ha un nombre reduït de punts. Però això es deu al fet que aquests monocultius industrials se solen associar en la majoria de casos a granges industrials d'engreix animal on una part significativa del cultiu local és emprada com a pinso. Aleshores l'augment de *E* que això comporta desplaça el perfil cap a valors més intermedis o fins i tot alts d'energia reinvertida.

Amb una sola excepció, els pocs punts de 2009 que mantenen valors elevats d'heterogeneïtat de cobertes del sòl (*L* amb valors entre 0,6 i 0,8) continuen trobant-se en el quadrant on els agroecosistemes mantenen nivells més alts de complexitat a l'energia redistribuïda (*I* entre 0,25 i 0,4), combinats amb nivells intermedis d'energia reinvertida (*E* entre 0,3 i 0,7). Això sembla indicar una estreta relació entre nivells intermedis de recirculació interna d'energia (que acostuma a suposar una baixa dependència d'*inputs* externs no renovables malgrat la distorsió de la coexistència entre monocultius industrials i granges industrials d'engreix animal) i nivells inter-

Figura 7. Valors de *E*, *I*, *L* als municipis de la Regió Metropolitana de Barcelona.



Font: elaboració pròpia amb les fonts exposades al text. Nota: s'ha prescindit del municipi de Caldes d'Estrac perquè amb menys d'1 km² d'extensió distorsiona tots els resultats.

medis-alts d'informació a l'energia redistribuïda i d'heterogeneïtat de cobertes en els paisatges agroforestals.

6. Factors determinants del canvi a les taxes de retorn energètic

Per comprovar la hipòtesi que el factor més determinant de les variacions en el perfil energètic dels sistemes agraris ha estat la desintegració metabòlica entre els seus components agrícoles, ramaders i forestals, que ha simplificat els agroecosistemes reduint-ne la circularitat i la interconnexió de fluxos, i esvaint els paisatges culturals en mosaic, posarem a prova la seva capacitat explicativa de la variació dels rendiments energètics als municipis de la RMB. La prova-t aparellada que determina (amb la distribució t-Student segons la hipòtesi nul·la) la significació estadística de les variacions entre les dues dates mostra que, a escala comarcal, els retorns energètics als *inputs* externs (*EFEROI*) han disminuït significativament ($p = 0,003$) de 1956 a 2009, des de valors mitjans de 2,3 a 0,2. L'increment dels retorns als *inputs* interns (*IFEROI*) d'1,1 el 1956 a 1,8 el 2009 no és estadísticament significatiu amb aquest criteri ($p = 0,06$). La reducció del rendiment energètic conjunt (*FEROI*), de 0,7 el 1956 a 0,2 el 2009, és també estadísticament significatiu ($p = 0,003$).

Les anàlisis de clúster revelen que el 1956 el Barcelonès tenia un perfil completament diferent de la resta, amb valors més baixos d'*IFEROI* i *FEROI*, a causa —com ja hem vist— de la important presència d'una ramaderia urbana que calia alimentar important pinsos

de les altres comarques. L'arboricultura del Baix Llobregat i el Garraf d'una banda, i l'especialització vitícola de l'Alt Penedès i el Vallès Occidental de l'altra, les emparella com a clústers també associats entre ells, mentre que el Vallès Oriental s'emparella amb el grup anterior o amb el Maresme, amb qui compartia un pes relativament més important del bosc, segons els criteris que adoptem en les anàlisis de clúster (Figura 1). El 2009 les comarques tenen un perfil més homogeni, tot i que l'Alt Penedès, el Baix Llobregat i el Barcelonès mostren valors d'*IFEROI* més alts que la resta (tal com ja havíem observat amb el seu desplaçament cap a la dreta en la Figura 4).

A escala municipal, la disminució dels retorns energètics als *inputs* externs (*EFEROI*) entre 1956 (valor mitjà de 4,2) i 2009 (1,4) és estadísticament significativa ($p < 0,001$). L'augment dels retorns als *inputs* interns (*IFEROI*) d'1,4 a 9,5 també esdevé aquest cop significatiu ($p < 0,001$), mentre que el manteniment d'un valor mitjà de 0,9 als retorns energètics conjunts (*FEROI*) no és significatiu ($p = 0,9$). L'anàlisi de regressió mostra que la variació de tots tres indicadors pot explicar-se amb una combinació de les proporcions que la producció forestal (*WP*) i la producció ramadera (*LBP*) representen en relació amb la producció final agrària (*FP*), de manera que augmenten en fer-ho $\frac{WP}{FP}$ i disminueixen en augmentar $\frac{LBP}{FP}$ (Taula 2).

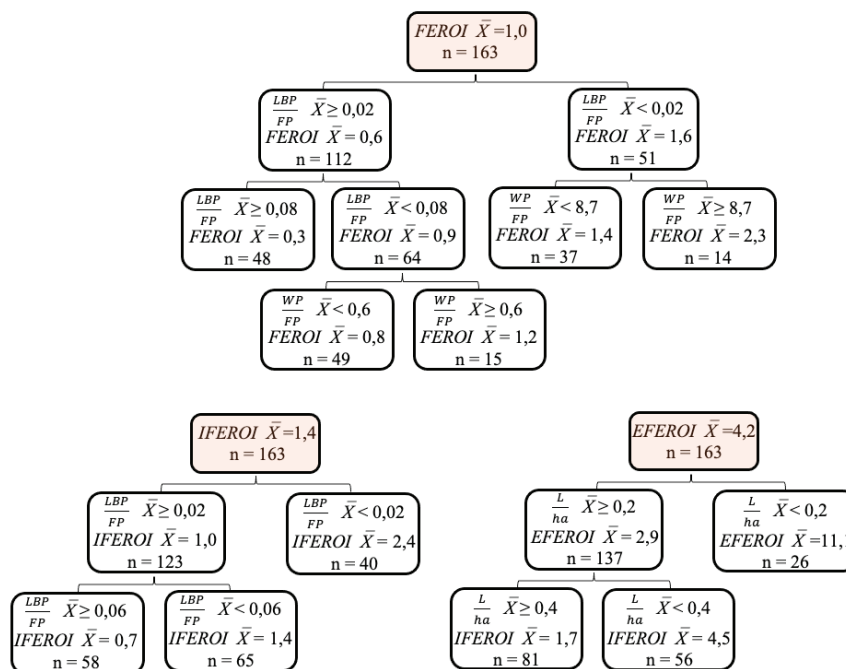
L'anàlisi mitjançant arbres de regressió també mostra una gran influència de la proporció ramadera ($\frac{LBP}{FP}$) en els retorns energètics interns (*IFEROI*) i conjunts (*FEROI*), però hi introdueix la intensitat de treball per hec-

Taula 2. Models de regressió no lineal d'*EFEROI*, *IFEROI* i *FEROI* per a 1956.

Variable dependent	Models		
	Terme independent	Variables independents	
EFEROI	-7,2 ($p < 0,001$)	$5,4 * \exp(WP/FP)$ ($p < 0,001$)	$-1,0 * \log(LBP/FP)$ ($p < 0,001$)
IFEROI	-0,8 ($p < 0,05$)	$0,8 * (LBP/FP)^{0,26}$ ($p < 0,05$; $p < 0,001$)	$0,5 * (WP/FP)$ ($p < 0,001$)
FEROI	-1,9 ($p < 0,001$)	$0,5 * \exp(WP/FP)$ ($p < 0,01$)	$1,3 * (LBP/FP)^{0,16}$ ($p < 0,001$; $p < 0,001$)

Font: Elaboració pròpia amb les fonts exposades en el text. Nota: WP/FP: proporció de producció forestal en el producte final. LBP/FP: proporció de producció ramadera en el producte final.

Figura 8. Arbres de regressió dels factors determinants dels valors *EFEROI-IFEROI-FEROI* amb el pes del bosc, la ramaderia i la intensitat de treball (1956).



Font: elaboració pròpia amb les fonts exposades al text. Nota: s'ha prescindit del municipi de Caldes d'Estrac perquè amb menys d'1 km² d'extensió distorsiona tots els resultats.

tàrea ($\frac{L}{ha}$) com a única variable explicativa significativa dels retorns externs (*EFEROI*), i redueix l'impacte de la producció forestal en els retorns finals conjunts (*FEROI*) a un paper secundari (Figura 8).

Tanmateix, en aplicar les mateixes anàlisis a les dades de 2009 els resultats no mostren cap mena de relacions entre aquestes variables que resultin estadísticament significatives. Ho interpretem com una mostra addicional de la desintegració entre els components dels agroecosistemes que s'expressa territorialment en una polarització en la distribució espacial d'usos i cobertes del sòl, i una pèrdua de l'anterior congruència dels mosaics agroforestals.

7. Pèrdua de circularitat metabòlica agrària i de paisatges en mosaic

Finalment, pot aquesta pèrdua de circularitat i complexitat metabòlica explicar les variacions de la complexitat dels paisatges agraris (L_e mesurada amb les cobertes del sòl heterogènies i ben connectades) d'aquests municipis? Per cercar una resposta relacionem la variació dels valors de diversitat i connectivitat ecològica del paisatge (L_e) amb els dos indicadors de circularitat metabòlica de l'activitat agrària que tenim: la proporció de biomassa reutilitzada en els *inputs* totals invertits ($\frac{BR}{EI+BR}$) en el model multi-EROI, i la proporció d'energia (*E*) que roman temporalment acumulada dins l'agroecosistema en el model ELIA. En la Figura 10 veiem que els valors L_e de 1956 eren força alts (0,67 de mitjana) i mantenien una estreta correlació amb valors intermedis i alts de $\frac{BR}{EI+BR}$ (0,68 de mitjana), que encara apareixen més concentrats si prenem *E* com a variable de circularitat (0,70 de mitjana). El 2009 tots els valors d'aquestes variables han disminuït i

s'han dispersat. La mitjana de L_e és 0,38 i 0,12 la de $\frac{BR}{EI+BR}$. Tot i haver disminuït deu punts, la *E* mitjana es

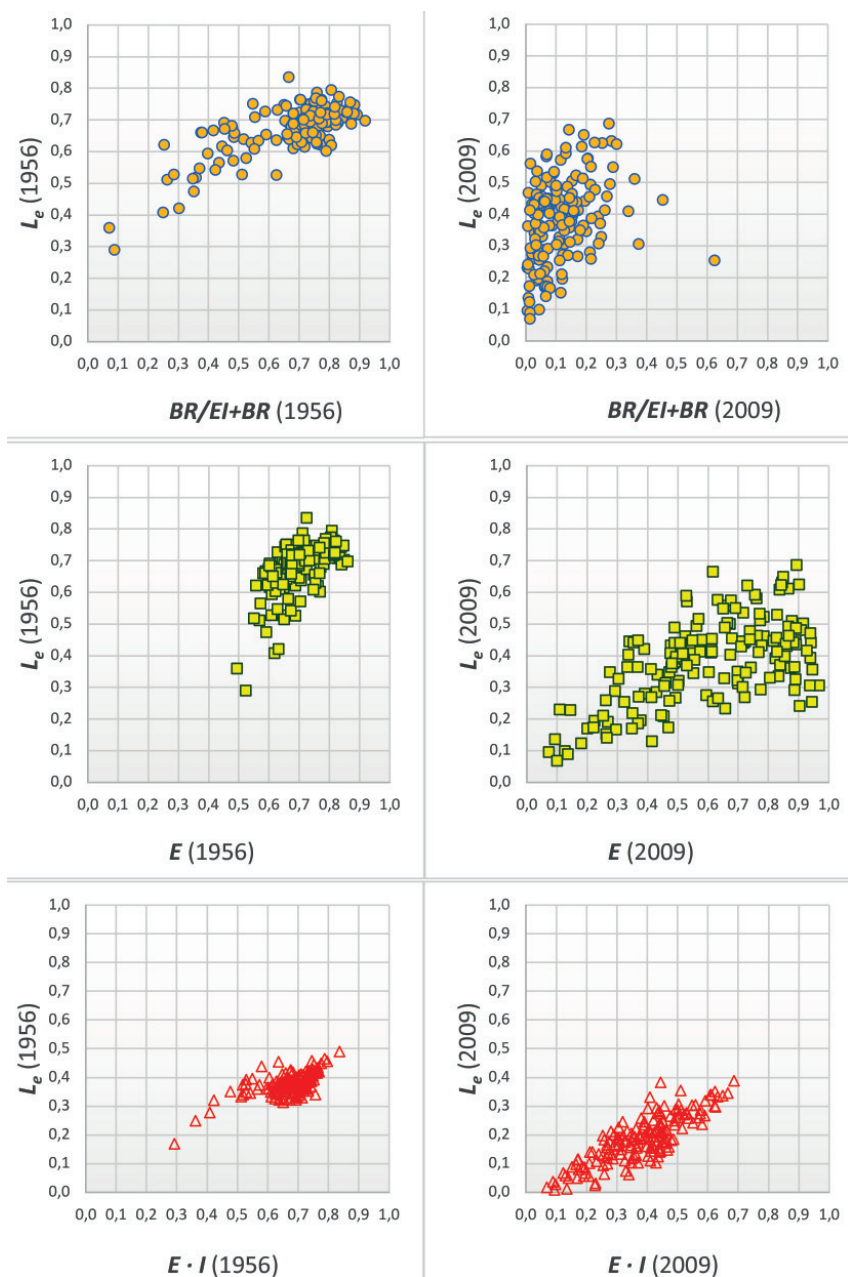
manté a 0,60 a causa de la biomassa que s'acumula als boscos poc explotats o abandonats.

Els dos indicadors de circularitat metabòlica agrària mesuren coses diferents i complementàries. Si, com es veu a la part inferior de la Figura 9, correlacionem els valors de diversitat i connectivitat paisatgística (L_e) amb la interacció entre la informació incorporada a la complexitat de l'agroecosistema i l'energia que hi recircula (*E-I*, normalitzat per al valor màxim que pot prendre aquest producte), constatem novament que els valors han disminuït i s'han dispersat entre 1956 i 2009. El 1956 les mitjanes eren de 0,67 la de L_e i de 0,38 la de *E-I*. El 2009, la de L_e s'havia reduït a 0,38, i a 0,19 la de *E-I*.

8. Conclusió

En aquest article hem cercat de corroborar que Ramon Margalef tenia raó quan relacionava l'esvaïment dels paisatges agraris en mosaic amb l'impacte dels augments d'energia externa aplicada per l'agricultura i la ramaderia plenament industrials posteriors a la revolució verda, emprant com a evidència les dades disponibles en les estadístiques agràries i forestals de la província de Barcelona i el canvi d'usos del sòl en els municipis de la RMB entre 1956 i 2009. Per fer-ho, hem combinat els indicadors del model bioeconòmic circular del metabolisme social agrari, que anomenem multi-EROI, i el model ELIA, que analitza la relació energia-paisatge de forma integrada. Tot i l'inevitable soroll i els biaixos introduïts per les importants limitacions de la informació estadística disponible, els resultats avalen empíricament la hipòtesi formulada per Margalef.

Figura 9. Correlació de la complexitat del paisatge (L_e) amb la circularitat energètica ($\frac{BR}{EI+ER}$ i E), i la relació energia reutilitzada-redistribuïda ($E \cdot I$) el 1956 i el 2009.



Font: Elaboració pròpia amb les fonts exposades en el text.

D'aquest resultat, i també de les dificultats analítiques que ha calgut resoldre per arribar-hi, se'n desprenen dues conclusions. La primera és de caire metodològic. La creixent dependència de les activitats agràries industrials d'*inputs* externs provinents directament o indirecta de combustibles fòssils, i la corresponent davallada de les taxes de retorn a la seva despesa energètica (*EROI*), són fets que es coneixen des de fa gairebé cinquanta anys malgrat no haver-hi prestat l'atenció que es mereixen (Hercher-Pasteur et al., 2020; Pimentel et al., 1973; Naredo i Campos, 1980). Tanmateix, per poder corroborar la hipòtesi de Margalef ha calgut aplicar l'anàlisi energètica dels sistemes agraris d'una nova forma circular que tregui a la llum la importància dels fluxos d'energia que recircula i roman temporalment emmagatzemada als agroecosistemes (Tello et al., 2016; Guzmán Casado i González de Molina, 2017).

La circularitat bioeconòmica és cabdal per incorporar una visió reproductiva dels béns fons de l'agroecosistema que connecti els indicadors energètics amb els d'ecologia del paisatge mitjançant l'anàlisi de la complexitat d'integració entre béns fons i fluxos (Marull et al., 2016, 2019). Només interrelacionant les mètriques i indicadors biofísics de l'economia ecològica, l'ecologia del paisatge i l'agroecologia podem entendre degudament el complex funcionament dels paisatges agroecològics.

L'altra conclusió té rellevància política: la via de sortida a la trampa energètica de l'agricultura industrial no pot ser cap altra que una nova transició cap a nous territoris agroecològics on la millora de l'eficiència depengui de la diversitat, la integració i la complexitat de béns fons vius a través del tancament de cicles sociometa-

bòlics (Altieri i Nicholls, 2012; FAO, 2018; Wezel, 2016).

Agraïments i finançament

Aquest treball has estat dut a terme dins dels projectes coordinats de recerca RTI2018-093970-B-C32 i RTI2018-093970-B-C33 finançats pel Ministeri de Ciència i Innovació d'Espanya (MCIU/AEI/FEDER, UE) dins dels Projectes Excel·lència i Projectes Reptes de l'Agència Estatal d'Investigació (2019-2021).

Referències bibliogràfiques

ALTIERI, Miguel (1999). «The ecological role of biodiversity in agroecosystems». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74:19-31. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-50019-9.50005-4>

ALTIERI, Miguel; NICHOLLS, Clara (2012). «Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency», en: LICHTFOUSE, E. (ed.), *Sustainable Agriculture Reviews*, vol. 11. Cham: Springer, pàg. 1-29. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5449-2_1

BARÓ, Francesc; PALOMO, Ignacio; ZULIAN, Grazia; VIZCAÍNO, Pilar; HAASE, Dagmar; GÓMEZ-BAGGETHUN, Erik (2016). «Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: A case study in the Barcelona metropolitan region». *Land Use Policy*, 57:405-417. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.06.006>

CARDINALE, Bradley J.; DUFFY, J. Emmett; GONZALEZ, Andrew; HOOPER, David U.; PERRINGS, Charles; VENAIL, Patrick; NARWANI, Anita; MACE, Georgina M.; TILMAN, David; WARDLE, David A.; KINZIG, Ann P.; DAILY, Gretchen C.; LOREAU, Michel; GRACE, James B.; LARIGAUDERIE, Anne; SRIVASTAVA, Diane S.; NAEEM, Shahid (2012). «Biodiversity loss and its impact on humanity». *Nature*, 486:56-67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>

CATTANEO, C.; MARULL, J.; TELLO, E. (2018). «Landscape Agroecology. The Dysfunctionalities of Industrial Agriculture and the Loss of the Circular Bioeconomy in the Barcelona Region, 1956-2009». *Sustainability*, 10:4722-4744. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/12/4722>

CATTANEO, Claudio; TELLO, Enric; MARULL, Joan (2019). «La pèrdua de sostenibilitat de l'agricultura industrial. El cas del Vallès (1956-2009)». *Ponències Revista del Centre d'Estudis de Granollers*, 23:91-115. <https://www.raco.cat/index.php/Ponències/issue/view/28305>

CLARK, Michael A.; DOMINGO, Nina G. G.; COLGAN, Kimberly; THAKRAR, Sumil K.; TILMAN, David; LYNCH, John; AZEVEDO, Inés L.; HILL, Jason D. (2020). «Global food system emissions could preclude achieving the 1.5° and 2 °C climate change targets». *Science*, 370 (6517):705-708. <https://science.sciencemag.org/content/370/6517/705/tab-pdf>

DEPIETRI, Yaella; KALLIS, Giorgos; BARÓ, Francesc; CATTANEO, Claudio (2016). «The urban political ecology of ecosystem services: The case of Barcelona». *Ecological Economics*, 125:83-100. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.003>

EUROPEAN COMMISSION (2014). *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Indicators for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020 2nd Report – Final*. Brussel·les: European Union Publication Office. <https://doi.org/10.2779/75203>

FAO (2018). *Scaling Up Agroecology to Achieve the Sustainable Development Goals*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/3/ca3666en/ca3666en.pdf>

FONT, Carme; PADRÓ, Roc; CATTANEO, Claudio; MARULL, Joan; TELLO, Enric; ALABERT, Aureli; FARRÉ, Mercè (2020). «How farmers shape cultural landscapes. Dealing with information in farm systems (Vallès County, Catalonia, 1860)». *Ecological Indicators*, 112:106104. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106104>

GEERTSEMA, Willemien; ROSSING, Walter A. H.; LANDIS, Douglas A.; BIANCHI, Felix J. J. A.; VAN RIJN, Paul C. J.; SCHAMINÉE, Joop H. J.; TSCHARNTKE, Teja; VAN DER WERF, Wopke (2016). «Actionable knowledge for ecological intensification of agriculture». *Frontiers in Ecology and Environment*, 14(4):209-216. <https://doi.org/10.1002/fee.1258>

GUZMÁN CASADO, Gloria I.; GONZÁLEZ DE MOLINA, Manuel (eds.) (2017). *Energy in Agroecosystems. A Tool for Assessing Sustainability*. Boca Raton: CRC Press.

GIAMPIETRO, Mario; MAYUMI, Kozo, SORMAN, Alevgul H. (2013). *Energy analysis for a sustainable future: multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism*. Oxon: Routledge.

HERCHER-PASTEUR, Jean; LOISEAU, Eleonor, SINFORT, Carole; HÉLIAS, Arnaud (2020). «Energetic assessment of the agricultural production system. A review». *Agroonomy for Sustainable Development*, 40, 29. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00627-2>

HO, Mae-Wan; ULANOWICZ, Robert (2005). «Sustainable systems as organisms?». *Biosystems*, 82(1):39-51. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2005.05.009>

HO, Mae-Wan (2013). «Circular Thermodynamics of Organisms and Sustainable Systems». *Systems*, 1(3):30-49; <https://doi.org/10.3390/systems1030030>

LEACH, Gerald (1976). *Energy and Food Production*. Gifford: IPC Science and Technology Press.

LOREAU, Michel; MOUQUET, Nicolas; GONZALEZ, Andrew (2003). «Biodiversity as spatial insurance in heterogeneous landscapes». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 100(22):12765-12770. <https://doi.org/10.1073/pnas.2235465100>

MARCO, I.; PADRÓ, R.; CATTANEO, C.; CARAVACA, J.; TELLO, E. (2018). «From vineyards to feedlots: A fund-flow scanning of sociometabolic transitions in the Vallès County (Catalonia, 1860-1956-1999)». *Regional Environmental Change* 18(4):981-993. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1172-y>

MARGALEF, Ramon (2006[1973]). «Ecological theory an prediction in the study of the interaction between man and the rest of the biosphere», en: SICHT, H. (ed.),

Ökologie und Lebensschutz in internationaler Sicht. Friburg: Rombach, pàg. 307-353; reeditat i traduït al català i al castellà a *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura*, 38:39-61, 82-94, 114-125.

MARGALEF, Ramon (1989). *La ecología*. Barcelona: Diputació de Barcelona.

MARGALEF, Ramon (1993). *Teoría de los sistemas ecológicos*, 2a edició. Barcelona: Publicacions de la Universitat de Barcelona.

MARGALEF, Ramon (2005). «Acelerada inversión en la topología de los sistemas epicontinentales humanizados», en: NAREDO, José Manuel; GUTIÉRREZ, José (eds.). *La incidencia de la especie humana sobre la faz de la Tierra (1955-2005)*. Granada: Universidad de Granada / Fundación César Manrique, pàg. 217-222.

MARULL, Joan; PINO, Joan; TELLO, Enric; CORDOBILLA, María José (2010). «Social metabolism, landscape change and land-use planning in the Barcelona Metropolitan Region». *Land Use Policy*, 27:497-510. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.07.004>

MARULL, Joan; FONT, Carme; PADRÓ, Roc; TELLO, Enric; PANAZZOLO, Andrea (2016). «Energy-Landscape Integrated Analysis: A proposal for measuring complexity in internal agroecosystem processes (Barcelona Metropolitan Region, 1860-2000)». *Ecological Indicators*, 66:30-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.015>

MARULL, Joan; HERRANDO, Sergi; BROTONS, Lluís; MELERO, Yolanda; PINO, Joan; CATTANEO, Claudio; PONS, Manel; LLOBET, Jordi; TELLO, Enric (2019). «Building on Margalef: Testing the links between landscape structure, energy and information flows driven by farming and biodiversity». *Science of The Total Environment*, 674:603-614. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.129>

MEA (2005). *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*. Washington DC: Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

NAREDO, José Manuel; CAMPOS, Pablo (1980). «Los balances energéticos de la agricultura española». *Agricultura y Sociedad*, 15:17-113. <https://digital.csic.es/handle/10261/20594>

O'NEILL, Daniel W.; FANNING, Andrew L.; LAMB, William F.; STEINBERGER, Julia K. (2018). «A good life for all within planetary boundaries». *Nature Sustainability*, 1: 88-95. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0021-4>

PADRÓ, Roc; MARCO, Inés; CATTANEO, Claudio; CARAVACA, Jonathan; TELLO, Enric (2017). «Does Your Landscape Mirror What You Eat? A Long-Term Socio-metabolic Analysis of a Local Food System in Vallès County (Spain, 1860–1956–1999)», en: FRAŇKOVÁ, E.; HAAS, W.; SING, Simron J. (eds.), *Socio-metabolic Perspectives on the Sustainability of Local Food Systems. Insights for Science, Policy and Practice*, Nova York: Springer, pàg. 133-164. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69236-4_5

PERFECTO, Ivette; VANDERMEER, John (2010). «The agroecological matrix as alternative to the landsparing agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 107(13):5786-5791. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905455107>

PIMENTEL, David; HURD, L. E.; BELLOTTI, A. C.; FORSTER, M. J.; OKA, I. N.; SHOLES, O. D.; WHITMAN, R. J. (1973). «Food Production and the Energy Crisis». *Science*, 182(4111):443-449. DOI: 10.1126/science.182.4111.443

POTSCHIN-YOUNG, M.; HAINES-YOUNG, R.; GÖRG, C., HEINK, U.; JAX, K.; SCHLEYER, C. (2018). «Understanding the role of conceptual frameworks: Reading the ecosystem service cascade». *Ecosystem Services*, 29:428-440. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.015>

SHEA, Katrina; ROXBURGH, Stephen H.; RAUSCHERT, Emily S. J. (2004). «Moving from pattern to process: coexistence mechanisms under intermediate disturbance regimes». *Ecology Letters*, 7:491-508. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00600.x>

STEFFEN, Will; RICHARDSON, Katherine; ROCKSTRÖM, Johan; CORNELL, Sarah E.; FETZER, Ingo; BENNETT, Elena M.; BIGGS, Reinette; CARPENTER, Stephen R.; DE VRIES, Wim; DE WIT, Cynthia A.; FOLKE, Carl; GERTEN, Dieter; HEINKE, Jens; MACE, Georgina M.; PERSSON, Linn M.; RAMANATHAN, Veerabhadran; REYERS, Belinda i SÖRLIN, Sverker (2015). «Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet». *Science*, 347 (6223): 1259855-1-10. <https://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855>

TELLO, E.; GALÁN, E.; SACRISTÁN, V.; CUNFER, G.; GUZMÁN, G. I.; GONZÁLEZ DE MOLINA, M.; KRAUSMANN, F.; GINGRICH, S.; PADRÓ, R.; MARCO, I.; MORENO-DELGADO, D. (2016). «Opening the black box of energy throughputs in farm systems: A decomposition analysis between the energy returns to external inputs, internal biomass reuses and total inputs consumed (the Valles County, Catalonia, c.1860 and 1999)». *Ecological Economics*, 121:160-174. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.11.012>

TELLO, Enric; GONZÁLEZ DE MOLINA, Manuel (2017a). «Methodological Challenges and General Criteria for Assessing and Designing Local Sustainable Agri-Food Systems: A Socio-Ecological Approach at Landscape Level», en: FRAŇKOVÁ, E.; HAAS, W.; SIMRON J. SINGH, S. J. (eds.), *Socio-metabolic Perspectives on the Sustainability of Local Food Systems. Insights for Science, Policy and Practice*, Nova York: Springer, 27-68. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69236-4_2

TELLO, Enric; MARCO, Inés; PADRÓ, Roc; CARAVACA, Jonathan; GÓMEZ, Laura; CATTANEO, Claudio; MARULL, Joan; COLL, Francesc; GARRABOU, Ramon; CUSSÓ, Xavier; SACRISTÁN, Vera; FONT, Carme; GALÁN DEL CASTILLO, Elena; OLARIETA, José Ramon (2017b). «Sinèrgies entre fluxos d'energia i materials agraris, i l'estat ecològic del territori: l'exemple del Vallès (1860-1999)», en: CUADROS VILA, Ignasi; FORT MARRUGAT, Oriol (eds.), *Recursos i territori. Perspectiva històrica i nous equilibris. Actes del XX Congrés de la CCEPC (Manresa, 21 i 22 d'octubre de 2016)*. Valls: Cossetània Edicions, pàg. 13-37.

TSCHARNTKE, Teja; TYLIANAKIS, Jason M.; RAND, Tatyana A.; DIDHAM, Raphael K.; FAHRIG, Lenore; BATÁRY, Peter; BENGTTSSON, Janne; CLOUGH, Yann; CRIST, Thomas O.; DORMANN, Carsten F.; EWERS, Robert M.; FRÜND, Jochen; HOLT, Robert D.; HOLZSCHUH, Andrea; KLEIN, Alexandra M.; KLEIJN, David; KREMEN, Claire; LANDIS, Doug A.; LAURANCE, William; LINDENMAYER, David; SCHERBER, Christoph; SODHI, Navjot; STEFFAN-DEWENTER, Ingolf; THIES, Carsten; VAN DER PUTTEN, Wim H.; WESTPHAL, Catrin (2012a). «Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses». *Biological Reviews*, 87: 661-685. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00216.x>

TSCHARNTKE, Teja; CLOUGH, Yann; WANGER, Thomas C., JACKSON, Louise; MOTZKE, Iris; PERFECTO, Ivette; VANDERMEER, John; WHITBREAD, Anthony (2012b). Global food security, biodiversity conservation and the fu-

ture of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151: 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>

VFRANKEN, Isabelle; BAUDRY, Jacques; AUBINET, Marc; VISSER, Marjolein; BOGAERT, Jan (2014). A review on the use of entropy in landscape ecology: heterogeneity, unpredictability, scale dependence and their links with thermodynamics. *Landscape Ecology*, 30: 51-65. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0105-0>

WEZEL, Alexander; BRIVES, H., CASAGRANDE, M., CLÉMENT, C.; DUFOUR, A. i VANDENBROUCKE, P. (2016). Agroecology territories: places for sustainable agricultural and food systems and biodiversity conservation. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(2):132-144. <http://dx.doi.org/10.1080/21683565.2015.1115799>