

# La transformació històrica del paisatge entre l'economia, l'ecologia i la història: podem posar a prova la hipòtesi de Margalef?<sup>1</sup>

**Enric Tello**

*Departament d'Història i Institucions Econòmiques  
Facultat d'Economia i Empresa de la Universitat de Barcelona  
tello@ub.edu*

## Resum

Es presenta un resum dels plantejaments teòrics i el conjunt de metodologies emprades al projecte de recerca internacional d'història ambiental “*Sustainable farm systems: long-term socio-ecological metabolism in western agriculture*”, que combina l'anàlisi de fluxos d'energia i materials de l'economia ecològica i l'agroecologia, amb l'estudi dels canvis d'usos i cobertes del sòl avaluats des del punt de vista ambiental amb les mètriques i índexs de l'ecologia del paisatge. La hipòtesi orientadora bàsica del projecte prové de la idea de Ramon Margalef segons la qual els paisatges agroforestals tradicionals en mosaic són una bona forma d'explotació de la natura, que fins i tot incrementen la biodiversitat del territori perquè mantenen integrats diferents nivells de dissipació d'energia antròpica per unitat de superfície en una estructura complexa capaç de combinar producció amb conservació. Els mapes d'estructura i connectivitat ecològica mostren els efectes d'haver-los abandonat a la segona meitat del segle XX.

**Paraules clau:** agroecosistemes, ecologia del paisatge, metabolisme social, balanços d'energia i nutrients, transicions socioecològiques.

---

1. Aquest text reelabora la conferència de l'autor a la Societat Catalana de Geografia, el 19 de juny de 2012. Aquest treball ha estat realitzat en el marc dels projectes de recerca HAR2012-38920-C02-02 *Sistemas Agrarios Sostenibles y Transiciones en el Metabolismo Social: desigualdad y cambio institucional en España* finançat pel Ministerio de Economía y Competitividad de España, i de la Partnership Grant SSHRC-895-2011-1020 *Sustainable farm systems: long-term socio-ecological metabolism in western agriculture* finançat pel Social Sciences and Humanities Research Council of Canada.

**Resumen: *La transformación histórica del paisaje entre la economía, la ecología y la historia: ¿podemos poner a prueba la hipótesis de Margalef?***

Ofrecemos un resumen de los planteamientos teóricos y las metodologías del proyecto de investigación internacional en historia ambiental “*Sustainable farm systems: long-term socio-ecological metabolism in western agriculture*”, que combina el análisis de flujos de energía y materiales de la economía ecológica y la agroecología, con el estudio de los cambios de usos y cubiertas del suelo evaluados desde el punto de vista ambiental con las métricas e índices de la ecología del paisaje. La hipótesis básica proviene de Ramon Margalef, según el cual los paisajes agro-forestales tradicionales en mosaico son una buena forma de explotación de la naturaleza que incluso incrementan la biodiversidad del territorio porque mantienen integrados distintos niveles de disipación de energía antrópica por unidad de superficie en una estructura compleja capaz de combinar producción con conservación. Los mapas de estructura y conectividad ecológica muestran los efectos de haberlos abandonado en la segunda mitad del siglo XX.

**Palabras clave:** agroecosistemas, ecología del paisaje, metabolismo social, balances de energía y nutrientes, transiciones socioecológicas.

**Abstract: *The historical transformation of the landscape between economy, ecology and history: can we test the Margalef's hypothesis?***

We present a summary of the theoretical insights and the combination of methods used by the international research project in environmental history called “*Sustainable farm systems: long-term socio-ecological metabolism in western agriculture*”, which combines the energy and material flow analysis from an agroecology or an ecological economics standpoint with the study of land cover and land-use changes environmentally evaluated using the metrics and indices of landscape ecology. The basic hypothesis guiding the project is the idea of Ramon Margalef according to which the traditional agro-forestry landscape mosaics are a good way of exploiting nature, which even increase biodiversity thanks of using different levels of anthropic energy dissipation per unit area within an integrated matrix able to combine production with conservation. The maps of ecological structure and ecological connectivity are showing the effects of having abandoned these mosaics during the second half of the twentieth century.

**Keywords:** agroecosystems, landscape ecology, social metabolism, energy and nutrients balances, socioecological transitions.

\* \* \*

## 1. Introducció

Ignoro si algú ha posat mai per escrit les regles bàsiques de la recerca transdisciplinària, però al meu entendre la primera de totes hauria de ser aquesta: “quan t’atansis als límits d’allò que coneixes i comencis a endinsar-te en terreny desconegut no pretenguis aparentar allò que no ets. Simplement, demana ajut a algú altre que hi estigui més avesat”. És per a mi un gran honor, però també una gran responsabilitat que no deixa d’intimidat-me, que la Societat Catalana de Geografia m’hagi demanat cloure el seu cicle de conferències del 2012

a l'Institut d'Estudis Catalans. El meu títol oficial diu que soc doctor en Geografia i Història per la Universitat de Barcelona, però el cert és que em vaig especialitzar en història contemporània i ben poca geografia vaig estudiar a la carrera. Han estat els viaranyos imprevistos d'una recerca cada cop més interdisciplinària els que m'han portat a estudiar el territori i la transformació del paisatge. És a dir, atrevir-me a abordar l'assumpte central de la geografia sense gaudir d'una formació adient com a geògraf. Espero, doncs, que entengueu el meu atreviment en els termes d'aquella primera regla que ha de regir qualsevol aventura transdisciplinària: com un reconeixement, i una demanda d'ajut i col·laboració.

Rere un projecte de recerca amb ambició hi ha sempre una intuïció bàsica. En el nostre cas, rere la recerca de les forces motrius i els agents rectoros de la transformació històrica dels paisatges de la Mediterrània rau aquesta idea: els paisatges es poden entendre com l'expressió territorial d'un determinat metabolisme social. És a dir, podem veure i analitzar el paisatge com una transformació cultural de la natura que opera a través dels fluxos d'energia i materials que les societats humanes remouen al territori (Haberl *et al.*, 2004; Marull *et al.*, 2010). Els ecosistemes es reproduïxen i evolucionen per ells mateixos. Però els paisatges són una natura transformada per l'acció humana. Per mantenir-se els cal un flux constant d'energia, materials i informació que els ve de fora (Gliessman, 2002; Altieri i Nicholls, 2005; Snapp i Pound, 2008). Si hom deixa d'invertir-hi aquest treball, els paisatges evolucionen novament cap alguna altra forma d'ecosistema natural que tampoc no serà mai com el que havia estat originàriament transformat pel metabolisme social (González de Molina i Toledo, 2011).

Voldria compartir amb vosaltres els plantejaments i resultats d'aquesta recerca, començant per exposar en primer lloc per què ens hem proposat estudiar l'evolució del paisatge agrari com una expressió territorial del metabolisme social que canvia (Tello, 1999 i 2010). En segon lloc, em referiré a una hipòtesi de Ramon Margalef sobre el paper dels mosaics agroforestals en relació amb el que ell en deia "ecologia de la pertorbació", i que ha esdevingut una noció orientadora bàsica per a la nostra recerca. En tercer lloc, exposaré amb quins mètodes cerquem corroborar o corregir empíricament i històricament aquella hipòtesi que relaciona els fluxos sociometabòlics dels paisatges culturals amb els seu funcionament ecològic. Finalment, us mostraré alguns dels primers resultats obtinguts que són encara massa parcials i limitats per assolir gaire conclusions definitives.

## **2. Posant en primer lloc el bon estat ecològic del territori**

Sóc dels qui creuen que la recerca ha de cercar respondre preguntes socialment rellevants, per trobar després resultats que ajudin a resoldre els grans

desafiaments als quals s'enfronta la Humanitat. No cal que perdi temps a argumentar que entre aquests destaca ara la crisi ecològica global, i que la seva resolució implica un gran capgirament dels enfocaments i els valors encara predominants que hem heretat del segle XX. Vivim instal·lats en la creença que allò que més importa, o gairebé l'únic que importa, és el creixement econòmic. La gestió ambiental, i tot el que comporta com a cost o condicionant de l'activitat econòmica, es troba sempre relegat al capdavant de la llista de prioritats oficials. Però com a mínim ja tenim un text normatiu que desafia aquest inveterat ordre simbòlic. La Directiva Marc de la Gestió de l'Aigua a la Unió Europea de l'any 2000 proclama obertament que el primer objectiu ha de ser mantenir el "bon estat ecològic", i restaurar-lo si ha estat malmès. La idea és ben simple: si el recurs natural es deteriora, tard o d'hora tota la resta en patirà, des de l'activitat econòmica fins els drets socials de la gent. Però aquesta noció tan de sentit comú no ha arribat encara a la dimensió clau del territori.

Tenim una Carta Europea del Paisatge, també de l'any 2000, on es diu que "tot el territori és paisatge" i que ha inspirat la Llei del Paisatge 8/2005 del Parlament de Catalunya. És un pas endavant, perquè introdueix la noció que allò que importa de veritat és l'estat del territori entès com un tot. Però encara no hem assolit aquell punt d'inflexió clau consistent a reconèixer que conservar i millorar el funcionament ecològic dels paisatges hauria de ser el primer objectiu de qualsevol ordenació i intervenció en el territori. Que tots els usos i totes les funcions han de poder conviure en aquesta matriu territorial, dins un gradient diversificat de presència i intervenció humanes compatibles amb mantenir-hi el bon estat ambiental.

Tanmateix, la imminència del "pic de petroli" (*peak oil*), que ens endinsarà inexorablement cap una nova era d'energia cara després de la Gran Recessió actual –o potser a la vegada que aquesta–, obligarà a localitzar de nou al nostre territori una petjada ecològica que durant l'era del creixement econòmic basat en els combustibles fòssils barats havíem projectat cap el subsòl, o altres indrets molt allunyats de la Terra. Això generarà nous dilemes i conflictes –ja els està provocant, de fet, per exemple en relació amb els aprofitaments de l'energia eòlica–, que obligaran a redescobrir la virtut perduda de l'eficiència territorial. Per això pensem, modestament, que la nostra recerca sobre què és i com opera aquesta "eficiència territorial" és ara molt necessària, i que els seus resultats poden esdevenir socialment útils. El mateix podem dir de l'estudi de la transició socioecològica des de les agricultures orgàniques del passat cap a la insostenible agricultura industrialitzada posterior a l'anomenada Revolució Verda, per tal de treure'n lliçons útils per a una nova transició cap a agricultures més ecològiques i sustentables.

Vosaltres sabeu millor que jo que hi ha diverses maneres d'entendre i estudiar el paisatge. En cap cas creiem que la nostra sigui millor que una altra, ni que la forma materialista i quantitativa que fem servir per estudiar la relació entre els fluxos del metabolisme social i el funcionament ecològic dels paisatges no

hagi de ser complementada des d'altres visions del paisatge entès com a percepció, informació, representació simbòlica o identitat. Tanmateix, comptar bé les coses que es poden comptar i comparar acostuma a revelar coses importants que poden diferir força de les percepcions o idees prèvies predominants.

Sense anar més lluny, els *Land Accounts for Europe* publicats per l'Agència Europea de Medi Ambient ens diuen que en un continent tan densament poblat i farcit d'activitat econòmica humana com el nostre, les àrees urbanes i els sòls industrials només ocupen un 4,7% de tot el territori. Els mosaics agroforestals s'escampen pel 84%, i la vegetació seminatural o els aiguamolls ocupen un 8,5% (la resta són roquissars o cursos d'aigua). Quan hom veu les xifres dels canvis d'usos a les darreres dècades s'adona que la dinàmica predominant consisteix a tot el continent en una contraposició entre l'*urban sprawl* i l'abandonament dels antics mosaics agroforestals (European Environment Agency, 2006; Weber, 2007; Feranec *et al.*, 2010). A Catalunya els ordres de magnitud són semblants: els usos urbans i industrials ocupen el 4,7% del sòl mentre un 94,5% del territori resta cobert d'espais agroforestals: el 32,5% són conreus, un 31,3% matollar, i un 30,7% es pot considerar forestal. En conjunt la superfície arbrada s'estima en el 36% del total, una proporció comparable a la dels Estats Units i força per sobre la mitjana espanyola o de la Unió Europea (25%).<sup>2</sup>

Una part gens menyspreable del territori català, superior a un terç del total, són espais naturals protegits si més no sobre el paper. Ara bé, quan hom mira el mapa d'espais protegits s'adona d'immediat que es tracta d'un conjunt de taques aïllades que no conformen per si sol un sistema viable per preservar la biodiversitat del nostre territori. Això ens recorda també que arreu del món les polítiques de conservació de la natura han arribat a un atzucac, més enllà del qual cal abandonar dues creences errònies: 1) que la protecció dels espais naturals ha de consistir en la retirada de qualsevol forma d'intervenció o presència humana –aquells “parcs naturals sense gent” que la pròpia UICN ja ha posat en qüestió– per tal de “retornar-los” a un suposat “estat natural primigeni” inexistent; i 2) que, més enllà de la frontera dels espais naturals protegits, les accions humanes sobre la resta del territori es poden seguir desenvolupant sense gaire miraments atès que la “conservació de la natura” ja estaria garantida. La sortida de l'atzucac implica entendre que el veritable objectiu ha de ser mantenir i millorar l'estat ecològic de tot el territori, amb nosaltres a dins, perquè la natura no entén ni respecta els límits administratius entre espais protegits, cultivats o abandonats i aforestats (Farina, 2000).

Aquest canvi de paradigma ens porta cap a una visió més ecològica del territori com un tot, i també cap a una ecologia capaç de veure els humans formant part dels propis ecosistemes (McDonnell i Pickett, 1993; Haberl *et al.*, 2004). És a dir, una lectura que entengui el paisatge com una complexitat

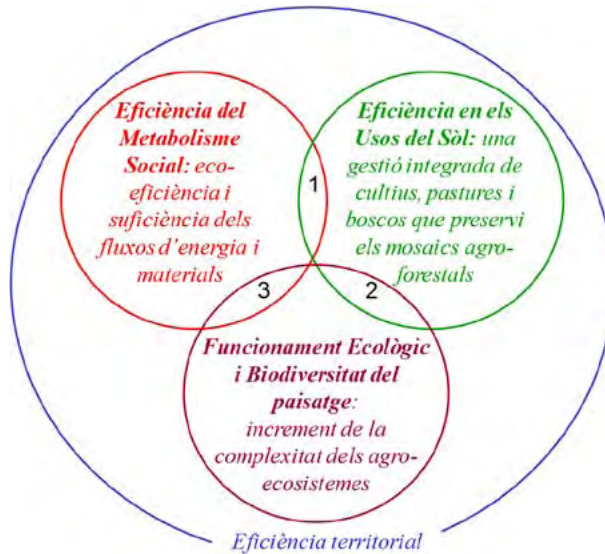
2. Dades facilitades per Joan Marull a l'Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (UAB).

organitzada i en evolució que té una estructura (un seguit d'elements i patrons que conformen la seva disposició a l'espai terrestre), un funcionament (fluxos d'energia, materials i informació que circulen al territori) i una dinàmica evolutiva (la història del canvi en la trajectòria de l'estructura i el funcionament) que podem estudiar. En paraules de Ramon Margalef, "a la biosfera qualsevol augment d'entropia està associat a l'adquisició de complexitat" atès que els sistemes vius empren la radiació solar como si fos una mena de "llibreta d'estalvis termodinàmica" que aprofita la dissipació d'energia "per augmentar la informació, complicar-se la vida i escriure la història" (Margalef, 1993, p. 79-103). Quan l'augment d'energia dissipada disminueix la complexitat del sistema, la degradació ambiental esdevé pregona, tan dins el seu territori com en indrets molt allunyats. Per això cal entendre la sostenibilitat d'un paisatge no com una cosa, o una situació estàtica, sinó com la sostenibilitat d'una coevolució dinàmica que és funció directa de la complexitat, i inversa a la dissipació d'energia (Odum, 1984 i 2007).

La biodiversitat que un territori és capaç d'acollir està estretament relacionada amb la complexitat i resiliència del seu funcionament ecològic, i esdevé per tant un indicador del bon o mal estat ambiental. No es tracta només de quantes espècies vegetals i animals hi ha en un espai determinat, sinó com es combinen i interaccionen entre elles. La riquesa en biodiversitat sorgeix de les combinacions i connexions de la diversitat biològica en l'espai, que donen diferents expressions al territori. Per això la biodiversitat està molt relacionada amb la topodiversitat: és a dir, el caràcter de la matriu, la mida de gra i les combinacions de les tesselles o unitats de paisatge, la multiplicitat d'ecotons, i el funcionament dels connectors o corredors ecològics. Per afavorir i conservar la biodiversitat la clau es troba en l'estructura i connectivitat ecològica de la matriu territorial sencera.

Totes aquestes nocions bàsiques, i aquesta terminologia, provenen del model matriu-tessel·la-corredor emprat per l'ecologia del paisatge (Forman, 1998). La matriu és la unitat de paisatge més gran i característica d'un territori, que conté les demés. La diversitat de tesselles afavoreix la biodiversitat per dos camins. D'una banda hi ha un nombre més gran d'espècies d'interior (*inner species*) que les habiten, i de l'altra la generació d'espais de contrast també dóna oportunitat a espècies de vora (*edge species*) especialistes en aprofitar els ecotons (Murcia, 1995). Les tesselles que conformen connectors amplis, o també corredors més estrets sovint lligats als cursos d'aigua, permeten a aquestes espècies moure's pel territori i interactuar entre elles. Això explica per què certs graus d'heterogeneïtat a l'estructura espacial, i certs nivells de pertorbació temporal en la dinàmica dels ecosistemes, poden afavorir la biodiversitat (Benton *et al.*, 2003). Ara bé, tot depèn de l'escala i intensitat de l'heterogeneïtat o la pertorbació en qüestió, perquè una excessiva fragmentació o freqüentació i la imposició de barreres que impedeixin la connectivitat també esdevenen amenaces molt directes que minven la biodiversitat (Guirado *et al.*, 2006).

**Figura 1.** “Eficiència territorial” entesa com una sinèrgia entre els fluxos d’energia i materials moguts pel metabolisme social, i el funcionament ecològic del paisatge



Font: Marull i Tello (2010)

És amb aquestes eines bàsiques de l'ecologia del paisatge que podem tractar d'endinsar-nos en la recerca d'un vincle perdut entre els usos de l'energia i el territori, que en Joan Marull i jo proposem anomenar eficiència paisatgística o territorial per referir-nos a aquelles formes d'ús del territori que satisfan les necessitats humanes a la vegada que mantenen la complexitat i bon estat ecològic del paisatge. Per avaluar aquesta eficiència territorial cal analitzar tres interfases força complexes: 1) les relacions que uneixen l'ús de l'energia amb l'eficiència en la gestió integrada dels diferents usos del sòl; 2) entre les pautes estructurals del paisatge i els processos ecològics que s'hi desenvolupen (*patterns & processes*); i 3) entre la pertorbació exercida pels fluxos d'energia externa, o l'apropiació humana de biomassa, i el funcionament ecològic de la matriu territorial (fig. 1).

Els ecòlegs Joan Marull i Joan Pino, i l'ambientòleg Josep M. Mallarach amb altres col·laboradors, han desenvolupat dos índexs complexos d'estructura eco-paisatgística i connectivitat ecològica adreçats a una avaluació ambiental estratègica dels plans i programes d'actuació en el territori (Marull *et al.*, 2007). La cartografia que han obtingut per a tota Catalunya permet observar que la capacitat d'acollir moltes espècies no sempre es localitza als espais més remots, sovint aforestats des de fa mig segle per l'abandonament rural, que la conservació d'espais naturals ha tendit fins ara a privilegiar. Sovint es troba a zones de transició entre aquells entorns protegits i els espais més agraris on encara sovintegen antics paisatges agroforestals en mosaic.

Ara bé, com que aquests mosaics es troben més a prop de les zones urbanes i industrials, farcides d'infraestructures lineals que actuen com a barreres, la seva connectivitat ecològica també es troba sovint reduïda i amenaçada. Aquesta constatació ens porta cap a una idea bàsica que inspira la nostra recerca: l'estat ecològic de la matriu territorial depèn principalment dels mosaics agroforestals (Benton *et al.*, 2003; Marull *et al.*, 2008a i 2008b). Entre les zones urbanes o industrials, i els espais naturals protegits, són els espais agrícoles i forestals els que ocupen la major proporció de la matriu territorial. Moltes espècies que nien en espais protegits fan un intens aprofitament tròfic dels mosaics agrícoles, hortícoles i forestals on troben gran part del seu aliment.

Si tot això és cert, implica un corollari prou important: atès que l'agricultura, la ramaderia i la silvicultura han esdevingut activitats econòmiques cada cop més residuals, resulta que l'estat ambiental actual i futur de la major part del nostre territori depèn d'una població activa agrària cada cop més empetitida i empobrida. Les velles cultures pageses es troben en perill d'extinció quan més necessàries esdevenen en un món sotmès a un canvi ambiental global incert! Aquesta convicció ens ha portat a bastir un projecte de recerca internacional, anomenat *Sustainable farm systems: long-term socio-ecological metabolism in western agriculture*, finançat des del Canadà, en el qual participen les universitats de Saskatchewan i Michigan (amb una gran base de dades sobre les Grans Planures nord-americanes), l'Institut d'Ecologia Social a Viena (primer centre internacional de referència en l'estudi del metabolisme social), la Universidad Pablo de Olavide (Sevilla), la de Barcelona, la Nacional de Colòmbia, i la Fundación Antonio Núñez para el Estudio de la Naturaleza y el Hombre a Cuba. L'objectiu és interpretar de manera comparada el procés històric de les transicions sociometabòliques a les agricultures a una i altra banda de l'Atlàntic, i els seus impactes ambientals, per identificar les forces motrius que ens han portat fins aquí. També tractem d'entendre i recuperar pràctiques del coneixement tradicional quan puguin esdevenir útils a l'hora d'afavorir una nova transició cap a agricultures i paisatges més sostenibles.

### **3. La hipòtesi de Ramon Margalef sobre “l'ecologia de la pertorbació”**

Partim d'una hipòtesi formulada per Ramon Margalef, segons la qual els antics mosaics agroforestals bastits al llarg de molts segles pel treball pagès eren –i són encara– una bona explotació humana del medi natural:

“A Europa l'explotació tradicional del sòl es basava en granges que organitzaven l'espai al seu voltant com un mosaic de camps de conreu, bardisses, pastures i fragments de boscos, seguint una organització del camp més o menys relacionada amb



les conques de recepció. S'ha comprovat que aquest mosaic resulta un instrument de conservació molt eficaç, i així mateix ha mantingut i fins i tot ha augmentat la diversitat de les comunitats vegetals. [...] El mecanisme bàsic que ha conduït a una estructura d'aquest tipus és el diferent grau d'explotació [...], és a dir, l'explotació va ser més intensa on el sistema ja era més productiu, i més suau a les regions més agrestes i els sòls més pobres. [...] Probablement a causa d'una certa impregnació cultural i a causa de la tradició considerem aquest paisatge humanitzat com a "natural" i estèticament agradable, i és també "raonable" des de qualsevol punt de vista ecològic. [...] Diversos ecòlegs han destacat la conveniència de desenvolupar algun tipus de mosaic adequat constituït per zones dedicades a diferents usos, les més importants de les quals són les que Odum anomena "protectores" i "productores". [...] Un objectiu important en gestió ambiental seria conservar el que queda i reconstruir, fins on sigui possible i en les millors condicions, algun tipus de nova estructura complexa" (Margalef, 2006, p. 59-60).

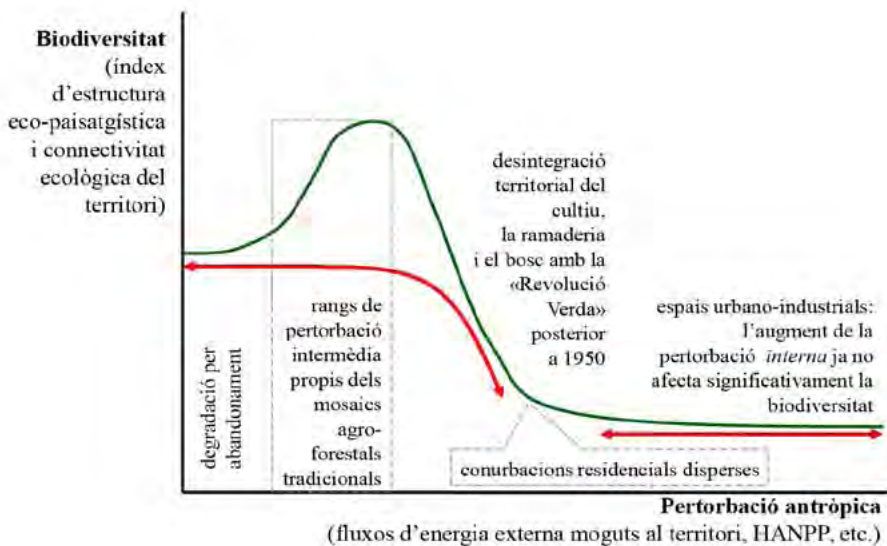
Per què era tan "bona" aquella forma d'explotació del medi natural? Els fonaments de la resposta rau en el que Ramon Margalef anomenava "ecologia de la pertorbació", que convidava a estudiar:

"La nostra civilització realitza contínuament experiments a gran escala, que podrien ser més utilitzats del que són per al desenvolupament dels fonaments d'una ecologia de la pertorbació. [...] L'home és molt poderós en l'ús de l'energia externa per moure materials, especialment sobre el pla horitzontal. El transport horitzontal destrueix el mosaic d'àrees que podien tenir un desenvolupament independent. [...] L'home crea sistemes de control i amplificació de les vies d'energia externa cada cop més poderosos. [...] A través de la consideració de l'energia subsidiària estem en millors condicions per entendre l'acció de l'energia externa als ecosistemes" (Margalef, 1993, p. 250).

En termes històrics podríem presentar la hipòtesi de Margalef dient que les formes pageses tradicionals de treballar la terra cercaven ser territorialment eficients a través d'uns paisatges agraris en mosaic capaços de combinar producció amb conservació. Treballant amb els trets distintius de la matriu territorial mediterrània, aprenueren per assaig i error a coevolucionar amb ella tot cercant diferents equilibris dinàmics entre explotació i conservació a través de la localització en l'espai de tesselles diverses. El resultat fou una gran varietat de paisatges en mosaic, on la intervenció humana en el medi tendia a incrementar o mantenir l'agrodiversitat i la biodiversitat com a garanties d'estabilitat i resiliència. Tanmateix la industrialització de l'agricultura a través del que s'ha anomenat Revolució Verda ha provocat la fi sobtada d'aquella antiga eficiència territorial, en provocar una greu dislocació entre el cultiu, la cria ramadera i el bosc. La vella gestió integrada del territori ha estat abandonada, i la consegüent desintegració espacial dels fluxos materials i energètics de l'activitat agrària ha originat una dràstica simplificació dels paisatges culturals. L'antic mosaic agroforestal ha estat substituït a les planes per peces cada cop més grans i uniformes de monocultius intensius, on sovintegen granges industrials d'engreix animal desintegrades del territori, mentre

als vessants abandonats proliferen noves masses contínues i uniformes de boscos joves, monoespecífics, excessivament densos, molt vulnerables i no aprofitats (fig. 2).

**Figura 2.** Metabolisme social i biodiversitat: la hipòtesi de la "pertorbació intermèdia"



Elaboració pròpia, basada en Margalef (1993 i 2006) i Wrbrka *et al.* (2004).  
HANPP és el percentatge d'apropiació humana de la producció primària neta.

#### 4. Com podem corroborar empíricament i històricament aquesta hipòtesi?

Per posar a prova aquella hipòtesi de Ramon Margalef –que òbviament no és només seva, i està molt relacionada amb altres línies i estratègies de recerca a l'àmbit energètic o agroecològic (Giampietro, 1997; Gliessman, 2002; Wrbrka, 2004)–, el nostre projecte cerca establir un pont entre dues metodologies: l'elaboració de balanços sociometabòlics dels fluxos d'energia, nutrients o aigua dels sistemes agraris i urbans, d'una banda; i de l'altra la reconstrucció digital mitjançant SIG dels mapes d'usos del sòl, avaluant el seu funcionament ambiental amb els índexs i mètriques de l'ecologia del paisatge. Ras i curt, podríem dir que vinculem les eines i indicadors de l'economia ecològica, l'agroecologia, l'estudi del canvi global en els usos del sòl, i l'ecologia del paisatge.

Tot seguint literalment Margalef, la densitat d'energia dissipada per unitat de superfície –que esdevé també un indicador indirecte del transflux de materials que aquesta energia permet remoure al territori– és considerada al

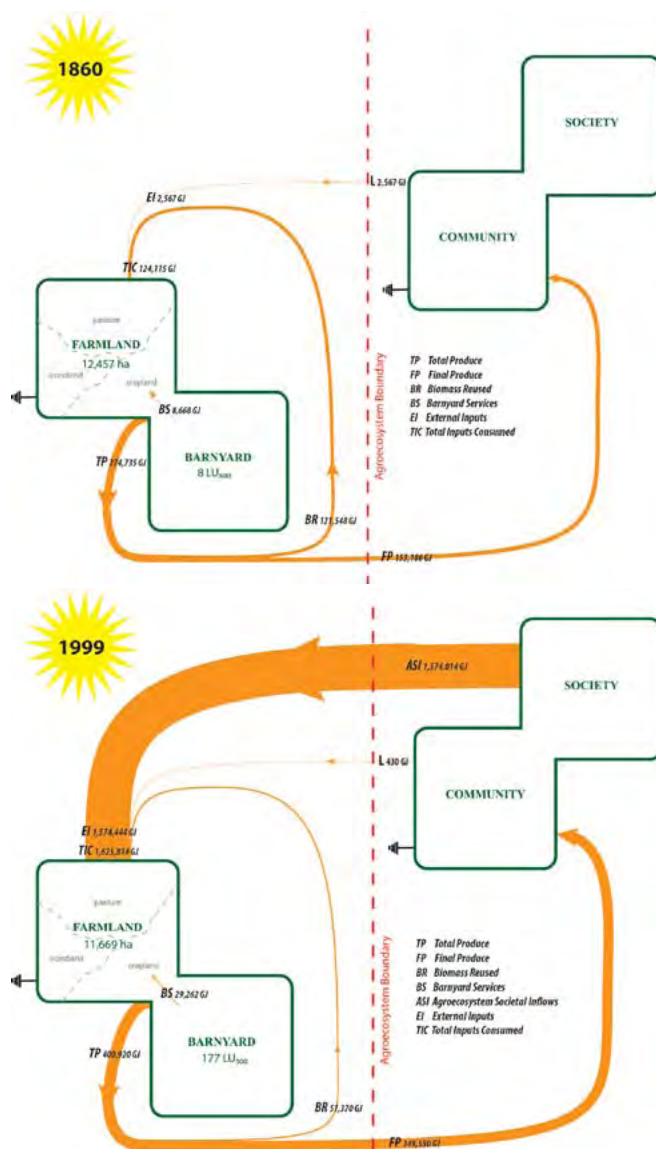
nostre projecte com una força motriu bàsica del canvi ambiental, l'impacte ambiental del qual cerquem avaluar després amb els indicadors d'ecologia del paisatge. Com que seguim sent historiadors, encara que ens haguem posat a treballar amb equips interdisciplinaris per analitzar una qüestió massa complexa per ser abordada des d'un sol angle, també distingim entre les *forces motrius* de caire sociometabòlic –que bàsicament ens revelen com s'esdevenen les transformacions del paisatge en “obrir la caixa negra” dels agroecosistemes–, i els *agents rectors* socioeconòmics de dits canvis que ens han d'aclarir *per a què* i *per a qui* van ser adoptades i dutes a terme aquelles transformacions.

Per facilitar l'estudi dels balanços d'energia i nutrients dels sistemes agraris hem elaborat una aplicació informàtica pròpia, anomenada MENBAS (*Manager of Energy and Nutrient Balances of Agricultural Systems*), per a què la puguin fer servir tots els grups de recerca vinculats al projecte *Sustainable Farm Systems*, i que també esperem poder oferir aviat en accés obert a totes les persones interessades en aquesta aventura per tal de crear una base de dades internacional que permeti comparar-ne els resultats. Ara bé, aquesta és només una eina de càlcul. Els resultats que se n'obtinguin seran comparables o no depenent del marc previ de referència i els criteris emprats per definir diverses taxes de retorn energètic a l'energia invertida en el funcionament d'un sistema agrari (*EROIs*). Per això estem treballant també en una proposta analítica i comptable de dits *EROIs* que permeti aclarir una mica la complexitat dels perfils energètics de diferents agroecosistemes, i les diverses maneres d'avaluar-ne l'eficiència energètica.

La idea bàsica de partida és que un agroecosistema és sempre resultat d'un bucle energètic com el representat a la figura 3. Fixeu-vos que no hi ha només uns inputs que entren i uns outputs que surten, atès que cal considerar també la funció cabdal que realitzen el fluxos de reinversió en el propi agroecosistema d'una part del producte total obtingut en forma de biomassa (*BR*). Només invertint-hi un determinat flux d'energia interna o externa els agricultors poden transformar un ecosistema en un agroecosistema, que únicament pot perdurar en el temps si segueix rebent aquella dissipació d'energia organitzada a través de la informació.

Mercès aquesta circulació d'energia, els qui operen l'agroecosistema no només s'apropien de la producció primària neta d'un determinat territori, sinó que modifiquen les cobertes del sòl i la seva composició específica per derivar de la fotosíntesi un determinada composició del producte final útil per a ells. Per tant, el producte total (*TP*) apropiat es divideix –en proporcions i continguts diferents segons els diversos tipus de sistemes agraris– entre un producte final consumible (*FP*) i uns fluxos interns de biomassa reutilitzada (*BR*) que directament o indirecta –per mitjà d'altres bucles interns com la conversió animal– són reinvertits en el sistema juntament amb els fluxos externs (*EI*). Segons quins d'aquests fluxos posem en el numerador i

**Figura 3.** Dos exemples del bucle energètic bàsic d'un agroecosistema: el municipi de Sentmenat pels voltants de 1860, i el 1999



Font: elaboració pròpia (Tello *et al.*, 2013).

el denominador obtindrem taxes de retorn energètic de l'energia invertida (*EROIs*) força diferents.

Nosaltres pensem que cal emprar varis *EROIs* per donar compte adient de les diferents facetes del rendiment energètic d'un agroecosistema. Quan hom entén l'agroecosistema com un bucle energètic, és fàcil adonar-se que si a dalt

i a baix de la ràtio d'eficiència posem l'output total i els inputs totals estem incorrent en doble comptabilitat perquè els *IFBR* són a les dues bandes. Només podem mantenir l'output total al numerador si al denominador posem únicament els inputs externs, la qual cosa expressa molt bé el grau de dependència energètica externa de la producció bruta total (o de la part consumible final si substituïm *TP* per *FP*), però al preu de deixar en situació de caixa negra el bucle energètic intern de l'agroecosistema que passa per la *BR*. També podem dividir el producte final (*FP*) pels inputs totals consumits (*TIC*), però aleshores els agroecòlegs ens adverteixen, amb raó, que estem sumant uns fluxos externs i interns que són de naturalesa ben diferent i tenen impactes o externalitats associades de signe contrari.

Topem aleshores amb un curiós dilema: si comptem tots els inputs estem barrejant massa coses diferents, però si només comptem els inputs externs estem deixant de banda uns fluxos interns que l'agroecologia ens diu que juguen un paper clau en el bon o mal estat ambiental del agroecosistema: fertilitat del sòl, biodiversitat, etc. (Edwards *et al.*, 1993; Giampietro, 1997; Altieri i Nicholls, 2005; Snapp i Pound, 2008). La via de sortida a aquest dilema, que hem pogut trobar conjuntament amb l'ambientòloga Elena Galán gràcies a l'ineestimable ajut del bioquímic David Moreno (UB) i la matemàtica Vera Sacristán (UPC), rau a descompondre l'*EROI* final en els seus components externs i interns a través de la fórmula que els relaciona, segons la qual l'eficiència conjunta final és resultat del producte dels retorns energètics parcials interns i externs dividit per la seva suma:

$$EROI \text{ Final (FEROI)} = \frac{EFEROI \cdot IFEROI}{EFEROI + IFEROI} \quad (1)$$

$$\text{on } EFEROI = \frac{\text{Output Final}}{\text{Inputs Externs}} = \frac{FO}{EI},$$

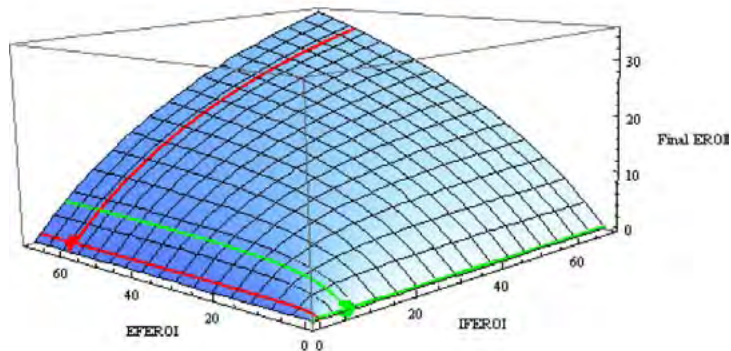
$$IFEROI = \frac{\text{Output Final}}{\text{Fluxos Interns de Biomassa Reutilitzada}} = \frac{FO}{IFBR},$$

$$\text{i } EROI \text{ Final (FEROI)} = \frac{\text{Output Final}}{\text{Inputs Totals Consumits}} = \frac{FO}{TIC} = \frac{FO}{EI + IFBR},$$

L'expressió (1) és l'equació de la superfície quadràtica que apareix a continuació a la Figura 4, que resulta ser un con centrat a l'origen o, per ser més precisos, la porció d'un con atès que els valors de *EFEROI* i *IFEROI* només poden ser positius:

Les coordenades que localitzen en aquesta figura la descomposició interna i externa de l'eficiència energètica final dels nostres dos casos d'estudi el 1860 i 1999, permeten constatar-hi els perfils simètricament oposats d'un agroecosistema orgànic tradicional i d'un altre industrialitzat. Els agroecosistemes tra-

**Figura 4.** Localització en la superfície cònica de l'equació (1) dels retorns energètics interns i externs corresponents al *EROI* final assolit per un agroecosistema (Sentmenat cap a 1860 amb les coordenades de color vermell, i el 1999 de color verd)



Font: Tello *et al.* (2013)

dicionals contrarestaven el seu elevat “cost de sostenibilitat” que havien internalitzat a base d’operar amb un gran flux de reutilitzacions internes de biomassa, la qual cosa els permetia practicar un estalvi sistemàtic d’inputs externs (Guzmán-Casado i González de Molina, 2009; Guzmán-Casado *et al.*, 2011).

Aleshores, tal com podem comprovar a la taula 1, un gran retorn energètic extern aconseguia compensar el baix retorn energètic intern derivat de l’assumpció d’aquell cost de la seva pròpia sostenibilitat. Les agricultures industrialitzades posteriors a la Revolució Verda funcionen, per contra, injectant enormes fluxos energètics externs derivats de combustibles fòssils barats que deterioren la seva eficiència energètica externa fins a nivells extrems. En aquestes circumstàncies l’única manera que tenen per compensar-ho –i només en part, atès que l’*EROI* Final és ara de 0,21 enfront 1,23 el 1860– consisteix a desfer-se del cost d’unes reutilitzacions internes de biomassa que els han deixat de ser útils a curt termini (taula 1).

Quan disposem d’una base de dades suficientment àmplia per dur a terme un estudi comparatiu, podem localitzar en la mateixa superfície cònica les coordenades de cada sistema per comprovar mitjançant una anàlisi de clúster si, en efecte, els diferents sistemes s’agrupen o no en regions específiques d’aquella figura. També podem situar les trajectòries seguides per les coordenades *EFEROI* i *IFEROI* del retorn energètic final obtingut a un mateix sistema al llarg del temps, i calcular el pes que la variació d’aquells retorns interns i externs han jugat en qualsevol augment o disminució de l’eficiència energètica final experimentada per un agroecosistema entre dos o més períodes.

**Taula 1.** Diferents taxes de retorn energètic de l'energia emprada en el funcionament del sistema agrari (*EROIs*) en el cas d'estudi de la comarca del Vallès

	Definició	1860	1999
EROI bàsic	$\frac{\text{Output Total}}{\text{Inputs Totals Consumits}} = \frac{TO}{TIC} = \frac{FO + IFBR}{EI + IFBR}$	2,21	0,25
EROI total extern	$\frac{\text{Output Total}}{\text{Inputs Externs}} = \frac{TO}{EI} = \frac{FO + IFBR}{EI}$	107,04	0,25
EROI final	$\frac{\text{Output Final}}{\text{Inputs Totals}} = \frac{FO}{TIC} = \frac{FO}{EI + IFBR}$	1,23	0,21
EROI final extern	$\frac{\text{Output Final}}{\text{Inputs Externs}} = \frac{FO}{EI}$	59,68	0,22
EROI final intern	$\frac{\text{Output Final}}{\text{Fluxos Interns de Biomassa Reutilitzada}} = \frac{FO}{IFBR}$	1,26	6,80

Font: Tello *et al.* (2013)

Entre tant, però, aquesta aproximació analítica ja permet intuir un aspecte força rellevant de la qüestió: l'equació (1), que relaciona el retorn energètic final amb els seus components intern i extern, incorre en rendiments decreixents en qualsevol dels punts del con representat a la figura 4. Per aconseguir un augment del *EROI* final conjunt sempre calen augments proporcionalment majors del retorn energètic intern (*IFEROI*), del retorn energètic extern (*EFEROI*) o ambdós alhora.<sup>3</sup> L'única escapatori a aquesta mena de “maledicció d'Adam” rau en el fet que dins de certs límits hom pugui substituir inputs energètics externs per interns o a l'inrevés. En aquestes circumstàncies, hi ha la possibilitat de compensar la disminució d'un *EROI* final, a causa per exemple de la necessitat d'emprar una quantitat creixent de fluxos interns de biomassa reutilitzada (*IFBR*), substituint amb aquests fluxos una certa quantitat d'entrades externes (*EI*). Aquella reducció d'inputs externs (*EI*) farà augmentar l'*EROI* final extern (*EFEROI*), que al seu torn compensarà en certa mida la disminució de l'*EROI* final intern (*IFEROI*) per obtenir un determinat *EROI* final conjunt.

El contrari també és cert. Els rendiments decreixents de l'*EROI* final deguts al fet d'emprar quantitats creixents d'inputs externs (*IE*) es poden contrarestar substituint amb ells una certa quantitat de fluxos interns de biomassa reutilitzada (*IFBR*). Aquesta reducció en els fluxos interns reinvertits augmentarà l'*EROI* final intern (*IFEROI*), compensant al seu torn en certa mesura la disminució de l'*EROI* final extern (*EFEROI*) per obtenir un determinat *EROI* final conjunt.

3. De fet, a qualsevol punt (x,y) de dita superfície la derivada direccional en la direcció del gradient és  $\frac{x^2 + y^2}{|x + y|^2}$ , que és estrictament menor que 1 per a tots els punts amb coordenades no nul·les i és igual a 1 quan qualsevol coordenada és 0.

Donades aquestes relacions bàsiques del funcionament d'un agroecosistema entès com a bucle energètic que combina inputs externs i interns, un cop els seus operadors adopten una estratègia basada en les reutilitzacions internes troben un fort incentiu a estalviar al màxim inputs externs. O a la inversa, quan passen a basar el funcionament en la injecció d'inputs externs troben un fort incentiu a alliberar-se del cost de les reutilitzacions internes. És força evident que l'estratègia basada en les reutilitzacions internes i l'estalvi d'inputs externs encaixa plenament en tot el que sabem de les agricultures orgàniques tradicionals anteriors a la Revolució Verda, i amb les noves estratègies agroecològiques del que ara s'anomena un canvi tècnic agrari adreçat a minimitzar dependències externes (*Low External Input Technologies*, o *LEIT*; Snapp i Pound, 2008).

Per contra, l'estratègia consistent a desfer-se del cost de reutilitzacions internes que es puguin substituir per energia externa barata d'origen fòssil és el veritable origen de la desintegració territorial de les agricultures industrialitzades posteriors a la Revolució Verda. Mentre la primera estratègia va crear aquells paisatges en mosaic que tan agradaven Ramon Margalef, la segona porta mig segle abandonant-los i degradant-los davant els nostres ulls.

No volem donar a entendre amb tot això que les agricultures orgàniques tradicionals hagin estat sempre ambientalment positives, o fins i tot "virginals". Ben al contrari, de fet ens preguntem fins a quin punt Karl Marx tenia raó quan, tot seguint els advertiments de Justus von Liebig i altres agrònoms, va considerar en una data tan primerenca com 1867 que el desenvolupament del capitalisme a les agricultures del seu temps –que aleshores eren totes "ecològiques" per necessitat– estaven obrint una fractura sociometabòlica entre el camp i la ciutat que degradava sense remei la fertilitat dels sòls. Volem saber fins a quin punt la transició socioecològica cap a la Revolució Verda va iniciar-se o no amb un procés de mineria de nutrients dels sòls que podria haver fer "necessària" la introducció creixent de fertilitzants minerals i de síntesi (Foster, 1999 i 2004; Moore, 2000).

El tema torna a ressonar a les pàgines de vàries revistes internacionals, però no sortirem de dubtes fins que reconstruïm una quantitat significativa de balanços de nutrients a diverses escales i en diferents etapes històriques. De moment partim de la hipòtesi que l'arribada de la "invasió de gra" a baix preu provinent de les Gran Planures nord-americanes, o altres fronteres agrícoles obertes amb la Primera Globalització (1870-1930), esdevingué un tombant decisiu que podria haver portat a una intensificació dels usos del sòl que anés més enllà dels límits aleshores possibles per a les agricultures orgàniques europees.

Per això el nostre programa informàtic MENBAS està dissenyat per elaborar un balanç de nutrients juntament amb el balanç d'energia d'un mateix sistema agrari. De moment, el primer resultat obtingut en la nostra àrea d'estudi del Vallès durant els anys 1860 ens ha mostrat una situació força límit. D'una banda, la via d'intensificació orgànica consistent a equilibrar l'augment de les densitats de població humana amb un augment correlatiu de les densitats ra-



maderes productores de fems –com es va fer amb el famós *high farming* anglès introduint farratges lleguminosos a les rotacions i estabulant el bestiar– era molt difícil, si no directament impossible a la bioregió mediterrània, a causa de l'inferior nivell i regularitat de les precipitacions (Pujol *et al.*, 2001; González de Molina, 2005). Igual que els nostres col·legues d'Andalusia amb qui treballem, només trobem densitats de bestiar entre 6 i 13 unitats ramaderes estandarditzades de 500 quilos per quilòmetre quadrat en cultiu (UR500/km<sup>2</sup>), quan a Àustria o França ja s'assoliren 24 LU500/km<sup>2</sup> durant el segle XIX. La disponibilitat mitjana de fems oscil·lava de 0,3 a 2,6 tones per hectàrea en cultiu, poc comparat amb el promig de 5 t/ha aplicades al Regne Unit des de mitjan segle XIX, o amb les 10 t/ha recomanades pels agrònoms del període. Resulta evident que només amb els fems animals no es podien reposar al sòl els nutrients extrets per les collites.

Tanmateix sabem que, si més no a Catalunya, es van practicar tot un seguit de mètodes de fertilització alternatius típics de petits pagesos pobres (Altieri, 2002; Schneider i McMichael, 2010), que en força casos semblen haver estat més relacionats amb la gestió dels components estructurals i biòtics de la fertilitat que directament amb la mera reposició de N-P-K als sòls (Snapp i Pound, 2008). Hem estudiat, i seguim estudiant des d'aquest punt de vista, l'elaboració i crema de "formiguers" o l'enterrament de biomassa fresca entre fileres de ceps (Olarieta *et al.*, 2011). També hem tingut en compte l'aprofitament de residus humans o domèstics (Garrabou i González de Molina, 2010). Comptant-ho tot plegat, arribem a la conclusió que potser encara el 1860 els pagesos de Sentmenat *podrien* haver equilibrat globalment el balanç de nutrients a costa, això sí, d'una elevadíssima intensitat de treball esmerçada en aquelles tasques (Tello *et al.*, 2012).

Però pensem que la desigualtat d'accés al bestiar o a la biomassa dels boscos i matolls podria haver forçat molts petits rabassaires a practicar la mineria de nutrients a les seves pobres vinyes. Els nostres col·legues andalusos també estan trobant que l'especialització olivarera podia haver estat, juntament amb la vitícola o en altres cultius llenyosos, la iniciadora d'una fractura sociometabòlica a l'etapa final de les agricultures orgàniques tradicionals de la península Ibèrica (González de Molina i Guzmán-Casado, 2002; Guzmán-Casado i González de Molina, 2006; Infante-Amate, 2012).

La reconstrucció experimental de les taxes d'erosió a partir del volum de sòl perdut a nivells inferiors de la peanya de la soca sortida de la plantació original d'antics oliverars andalusos està donant resultats en el mateix sentit (Vanwalleghem *et al.*, 2011). També sembla encaixar prou bé en aquesta hipòtesi el fet que les cooperatives o sindicats agraris sorgits com a resposta a la crisi agrària finisecular provocada per la Primera Globalització (1870-1930) assumissin com a tasca prioritària la comercialització de superfosfats, i que aquests fossin més intensament consumits per petits viticultors que a les grans explotacions més bladeres (Planes, 2004). Però, tal com passa amb els primers

balanços d'energia, ens manquen més exemples en diverses dates i a diferents escales per arribar a resultats concloents.

## **5. Una ullada als resultats cartogràfics obtingut fins ara aplicant els índexs d'ecologia de paisatge, per concloure**

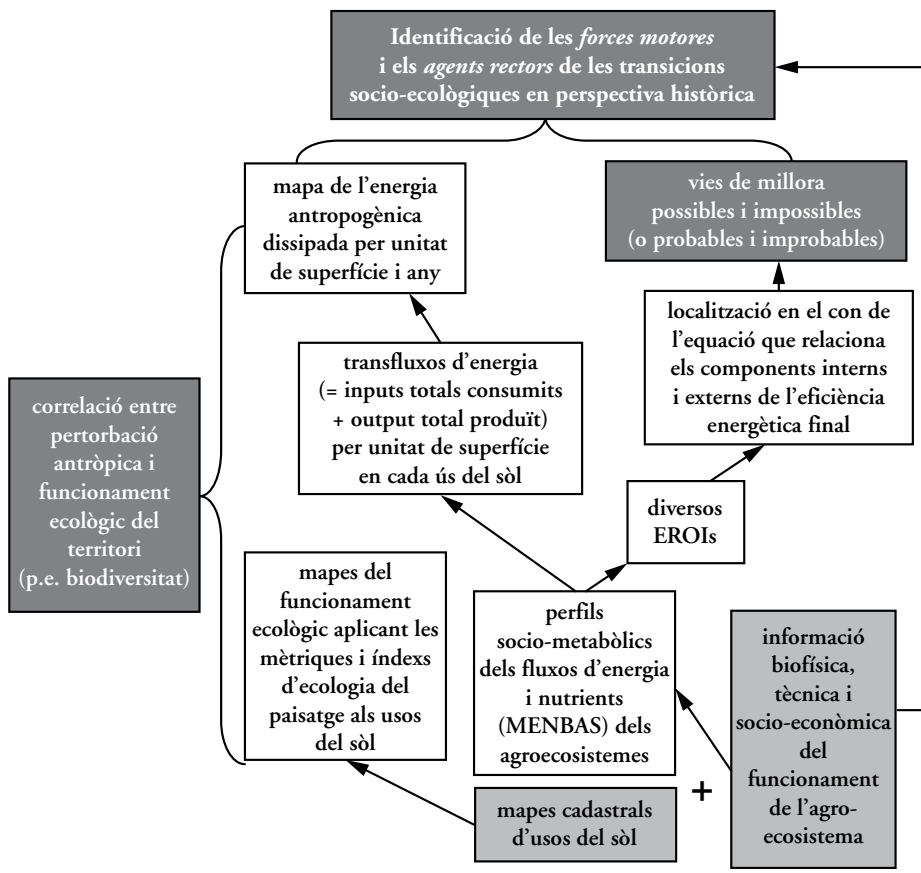
L'altra vessant de la nostra estratègia de recerca és la reconstrucció digital amb SIG dels mapes històrics de cobertes del sòl, per poder avaluar després el seu estat ambiental aplicant-hi els índexs o mètriques de l'ecologia del paisatge tal i com es resumeix a la figura 5. D'aquesta forma, com ja hem explicat, podrem arribar a posar a prova la hipòtesi de Margalef sobre la relació no lineal entre els nivells o formes que adquireix la dissipació antròpica d'energia i el funcionament ecològic del territori on es produeix.

D'aquesta forma els balanços energètics permeten assignar a cada ús del sòl de cada agroecosistema un transflux total d'energia per unitat de superfície, que podrem després etiquetar com informació georeferenciada a les unitats de paisatge dels mapes digitals d'ús del sòl per generar una altra cartografia de l'energia antropogènica dissipada per unitat de superfície i any. A través d'una retícula, també podrem calcular a continuació els valors mitjans adquirits a cada cel·la per la dissipació antròpica d'energia externa als ecosistemes, i els valors mitjans dels índexs o mètriques d'ecologia del paisatge, per correlacionar-los finalment en un gràfic com el presentat hipotèticament a la figura 1. Però ens queda encara molt camí per recórrer abans d'arribar fins aquí. L'únic que podem avançar de moment són els primers resultats que estem trobant amb l'aplicació de les mètriques i índexs d'ecologia del paisatge als mapes històrics i actuals d'usos i cobertes del sòl que anem digitalitzant al diversos casos d'estudi en marxa.

El primer que cal dir al respecte és que una gran part del que hem aconseguit avançar en aquest aspecte és gràcies a la magnífica feina feta pel Grup d'Estudis d'Història de la Cartografia (GEHC) coordinat a diverses universitats catalanes des de la Universitat de Barcelona. Des d'aquí vull fer arribar a tots els recercadors que en formen part el nostre reconeixement. No sé si vosaltres podreu mai rebre de nosaltres res comparable al que ens heu donat, excepte potser la satisfacció de saber que ens hem convertit en uns dels principals usuaris de la vostra producció intel·lectual.

La disponibilitat de fons cartogràfiques o de fotografia aèria condicionen els talls cronològics de la nostra observació als anys 1850-1870, 1950-1956 i de 1993 en endavant. Sempre tenint en compte aquestes cauteles, podem dir que l'estudi diacrònic de la transformació dels paisatges ens porta cada vegada més a emfasitzar el tombant dels anys 1950-1960. Des d'un punt de vista territorial, la veritable gran transformació ha estat la difusió massiva de la Revolució Verda a la segona meitat del segle XX.

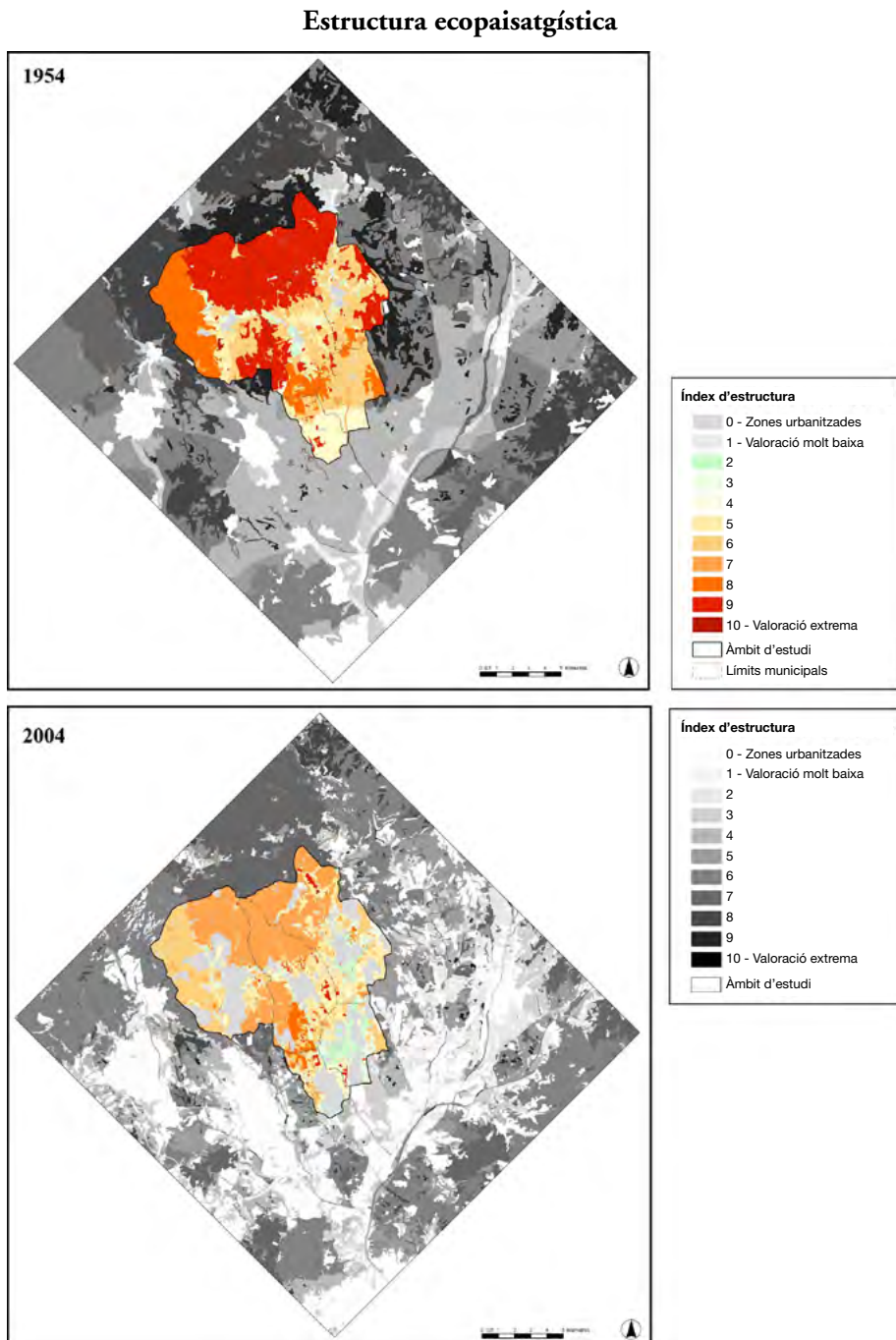
**Figura 5.** Esquema metodològic del projecte “Sistemes agraris sostenibles i transicions en el metabolisme agrari” a Catalunya i Mallorca (ordenat de baix a dalt)



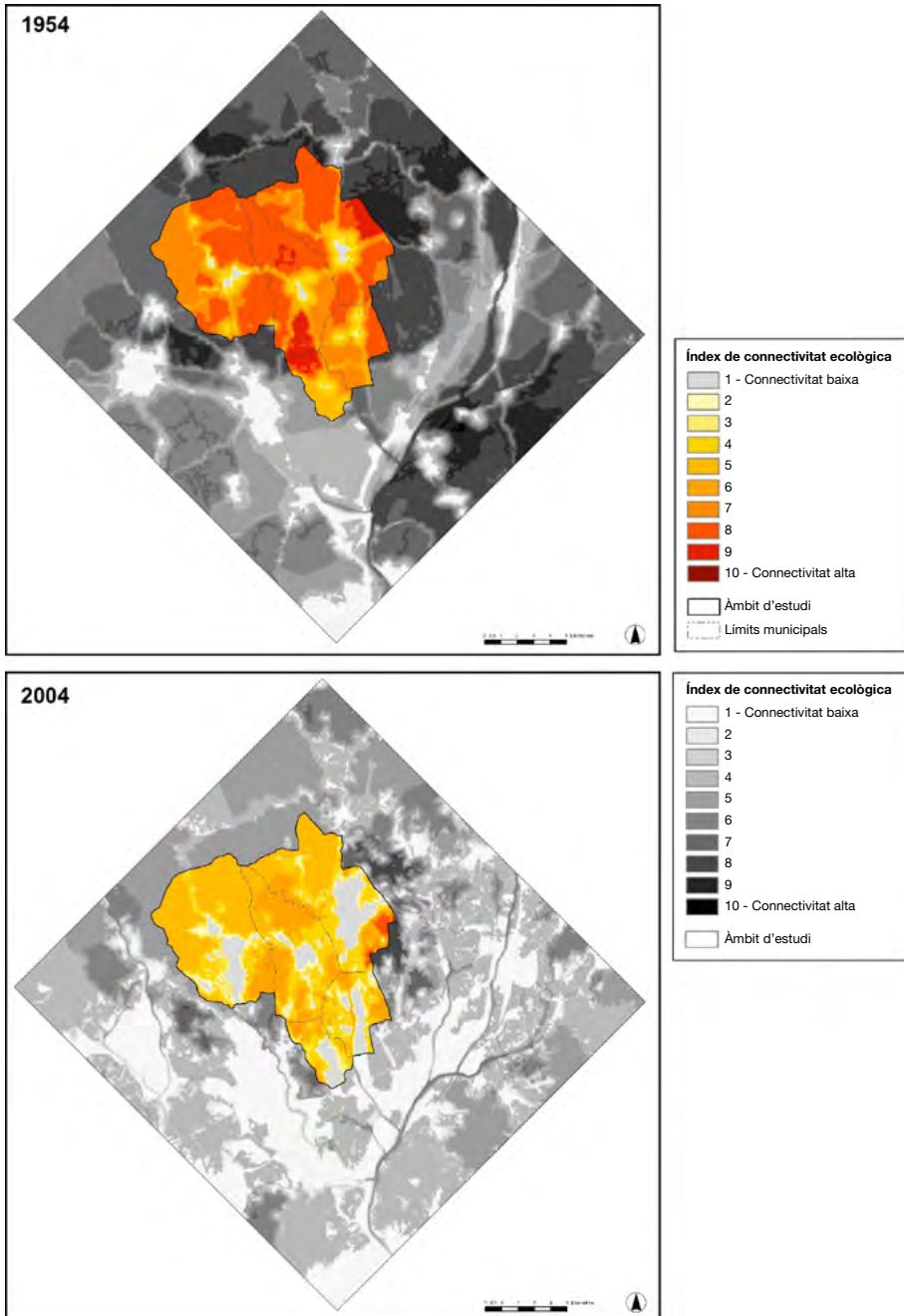
Font: Tello i Galán (2013).

Així, per exemple, en el mateix cas d'estudi de la comarca del Vallès hem pogut constatar com l'abandonament de les reutilitzacions internes de biomassa, i del maneig integrat de l'agroecosistema que requerien, ha provocat durant la segona meitat del segle XX un profund trastocament territorial dels fluxos biofísics del metabolisme social que, en globalitzar-se i passar a dependre dels combustibles fòssils barats, han esdevingut territorialment indiferents a l'entorn que travessen tot generant una dràstica reducció de la connectivitat ecològica i la capacitat d'acollir biodiversitat dels paisatge agraris de la plana vallesana –juntament, és clar, amb l'extensió del sòl urbà o industrial i el traçat d'infraestructures lineals– (fig. 6).

**Figura 6.** El canvi de les pautes estructurals i del funcionament ecològic dels paisatges agroforestals del Vallès (1954-2004)



### Connectivitat ecològica



Font: Tello *et al.* (2008), Marull *et al.* (2010). Les zones en color s'han obtingut a partir de cartografia cadastral, i les que són en blanc i negre per fotointerpretació de les imatges del vol americà de 1956 o les imatges via satèl·lit recents.

Convé subratllar que aquell deteriorament ecològic l'han generat tant la intensificació fins a límits insostenibles desenvolupada en algunes cobertes del sòl, com l'abandonament de la intervenció humana en moltes altres parts del territori. Ha estat aquesta conjunció d'intensificació i abandonament el que ha provocat la pèrdua dels antics paisatges en mosaic, tal com la hipòtesi de Ramon Margalef sintetitzada a la figura 1 feia preveure. Podríem dir que aquests mapes esdevenen un veritable epítom del que Ramon Margalef considerava al final de la seva vida un dels problemes ambientals més greus: "la "inversió topològica de les pautes del paisatge", és a dir que "la xarxa "domesticada" esdevé continua i més poderosa mentre la resta del paisatge gairebé passa a la categoria residual" (Margalef, 2005, p. 217-219).

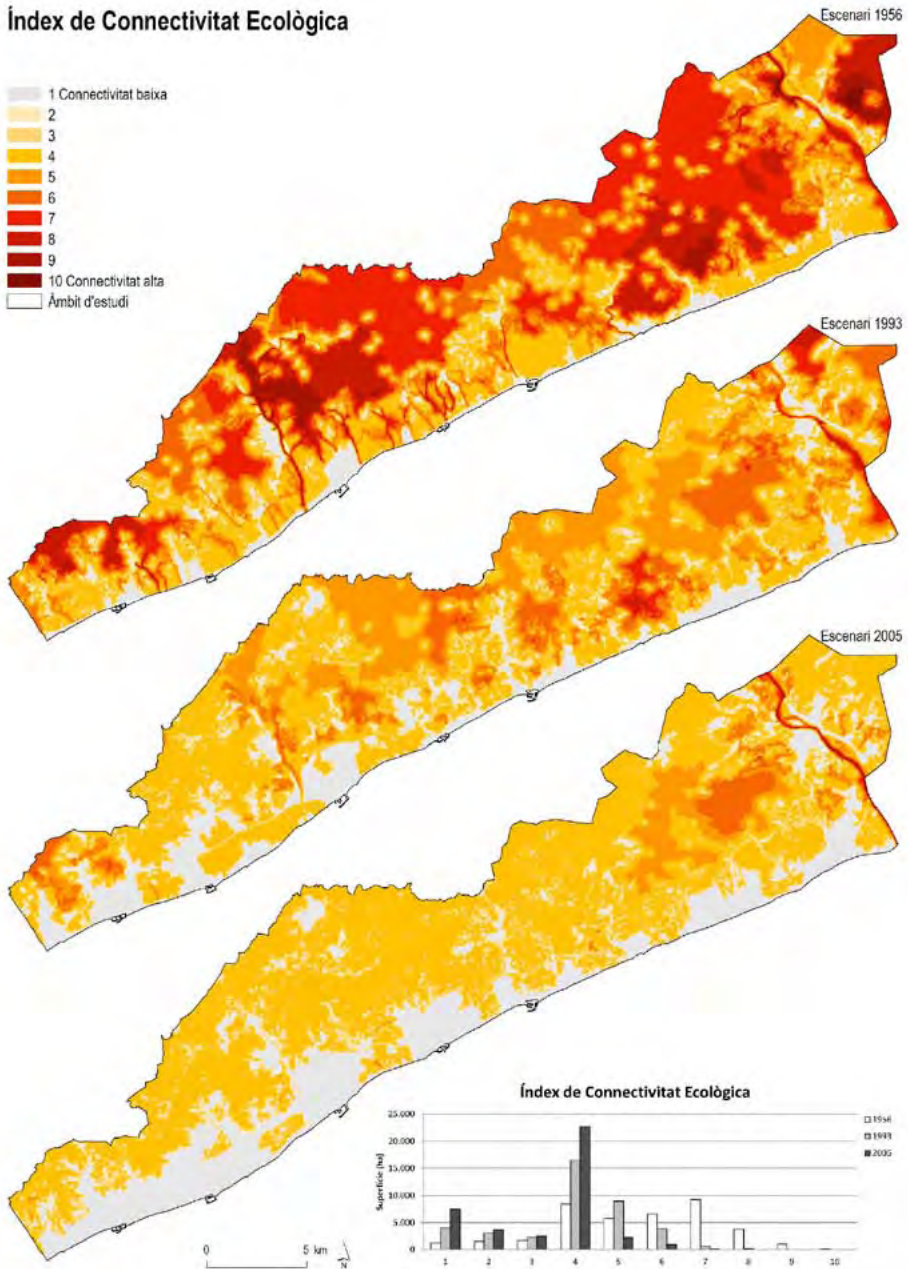
Potser també cal afegir, però, que allò que resta en els intersticis d'aquesta matriu territorial tan domesticada és encara prou valuós com per esmerçar esforços a mantenir-ho i millorar-ho, com fan tants grups ecologistes i plataformes ciutadanes que malden per salvar el Vallès. Estem trobant pautes molt similars en altres casos d'estudi, tal com es pot observar al conjunt de comarca litoral del Maresme entre 1956, 1993 i 2005 (fig. 7).

A la secció nord-oriental d'aquesta comarca, travessada per la vall de la Tordera, ens ha estat possible retrotraure l'anàlisi de la connectivitat ecològica fins a mitjan segle XIX, la qual cosa permet comprovar que les modificacions ja significatives enregistrades entre 1850 i 1956 van ser força menors en comparació a la gran transformació esdevinguda durant la segona meitat del segle XX (fig. 8).

Aquests i altres resultats en curs semblen avalar la interpretació que, a escala de paisatge, els grans capgiraments socioecològics s'han produït a la segona meitat del segle XX (Fischer-Kowalski i Haberl, 2007). Això no vol dir que la transició socioecològica no hagués començat abans. De fet, pensem que els primers desafiaments i canvis significatius es van començar a produir durant els anys de la Primera Globalització liberal (1870-1930), i van anar seguides d'un període molt interessant que cal estudiar a fons: els de la coexistència entre formes encara orgàniques i l'adopció –en bona mesura com a resposta a la crisi agrària finisecular– de peces significatives del paquet tecnològic que després s'anomenarà Revolució Verda (Van Zanden, 1991).

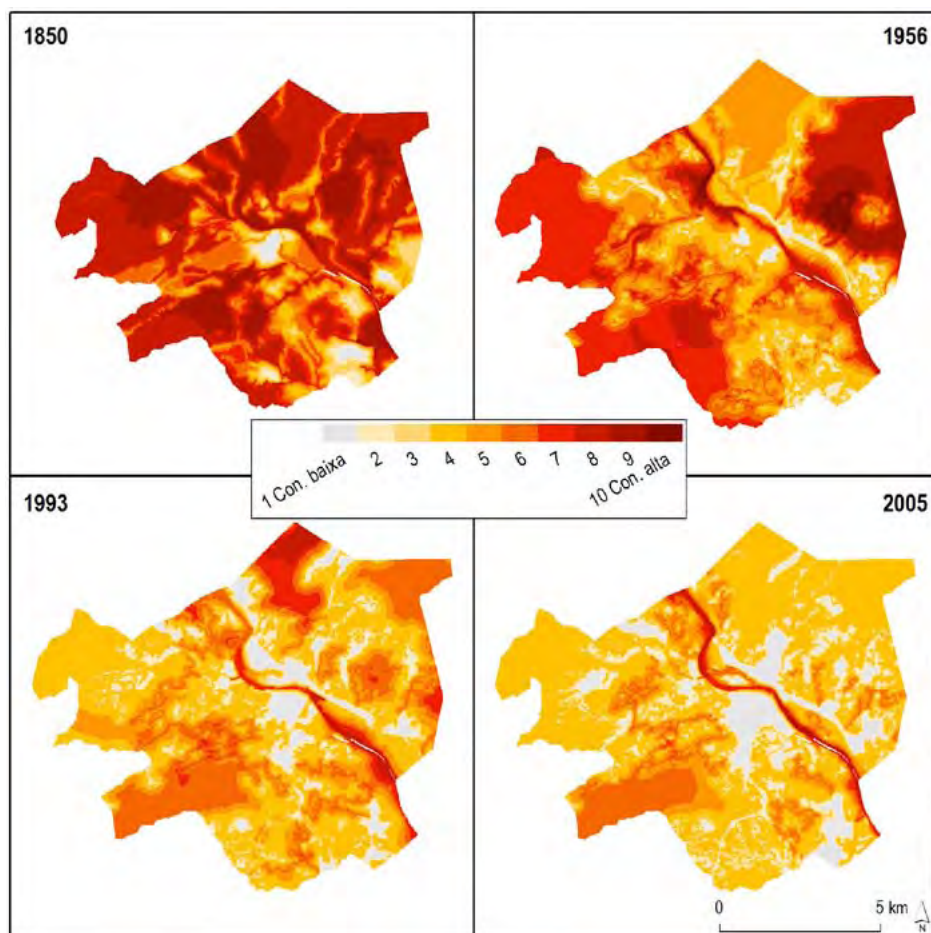
Per entendre per què l'expressió territorial de tot això a escala de paisatge es va fer esperar fins a la segona meitat del segle XX cal prendre en consideració que entre una modificació inicial i encara parcial de certs fluxos de nutrients o energia, i un canvi febaent en la seva conformació territorial en un paisatge, pot transcórrer tot el temps que es solen prendre les propietats emergents pròpies de la dinàmica de sistemes complexos.

**Figura 7.** La pèrdua de connectivitat ecològica als paisatges agroforestals del Maresme (1956, 1993 i 2005)



Font: Parcerisas *et al.* (2012).

**Figura 8.** Evolució de la connectivitat ecològica als paisatges agroforestals a la vall del riu Tordera (1850, 1956, 1993 i 2005)



Font: Parcerisas *et al.* (2012).

Amb aquestes hipòtesis interpretatives treballarem, i esperem poder oferir en el futur resultats més concloents sobre la llarga història de la fi de les agricultures orgàniques tradicionals, i la trajectòria seguida per la transformació sociometabòlica cap a les insostenibles agricultures actuals. Haurem d'anar pensant a canviar-les de soca-rel, si la sostenibilitat del desenvolupament humà ha d'arribar a ser alguna cosa més que una pietosa jaculatòria. Espero, entre tant, haver-vos convençut que per posar en marxa aquesta nova transició socioecològica una anàlisi conjunta del metabolisme social i l'ecologia del paisatge pot ser-nos de gran utilitat (Haberl *et al.*, 2004; Wr̀bka *et al.*, 2004; Marull *et al.* 2010).



## Bibliografia

- ALTIERI, Miguel (2002). "Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments". *Agriculture, Ecosystems & Environment* [Amsterdam], núm. 93(1-3), p. 1-24.
- ALTIERI, Miguel; Clara NICHOLLS (2005). *Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture*. Berkeley & Los Angeles: University of California Press.
- BENTON, Tim G.; Juliet A. VICKERY; Jeremy D. WILSON (2003). "Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?". *Trends in Ecology and Evolution* [Amsterdam], núm. 18(4), p. 182-188.
- EDWARDS, Clive A.; Timothy L. GROVE; Richard R. HARWOOD; C. J. Pierce COLFER (1993). "The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability". *Agriculture, Ecosystems & Environment* [Amsterdam], núm. 46(1-4), p. 99-121.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2006). *Land accounts for Europe 1990-2000. Towards integrated land and ecosystem accounting*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. [http://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2006\\_11](http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_11) (consultat 10/01/2013).
- FARINA, Almo (2000). "The Cultural Landscape as a Model for the Integration of Ecology and Economics". *BioScience* [Washington], núm. 50(4), p. 313-320.
- FERANEC, Jan; Gabriel JAFFRAIN; Tomas SOUKUP; Gerard HAZEU (2010). "Determining changes and flows in European landscapes 1990-2000 using CORINE land cover data". *Applied Geography* [Amsterdam], núm. 30(1), p. 19-35.
- FISCHER-KOWALSKI, Marina; Helmut HABERL [ed.] (2007). *Socioecological Transitions and Global Change. Trajectories of Social Metabolism and Land Use*. Cheltenham: Edward Elgar.
- FORMAN, Richard T. (1998). *Land Mosaics: The ecology of landscape and regions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- FOSTER, John Bellamy (1999). "Marx's Theory of Metabolic Rift: Classical Foundations for Environmental Sociology". *American Journal of Sociology* [Chicago], núm. 105(2), p. 366-405.
- (2004). *La ecología de Marx: materialismo y naturaleza*. Barcelona: El Viejo Topo.
- GARRABOU, Ramon; Manuel GONZÁLEZ DE MOLINA [ed.] (2010). *La reposición de la fertilidad en los sistemas agrarios tradicionales*. Barcelona: Icaria.
- GIAMPIETRO, Mario (1997). "Socioeconomic constraints to farming with biodiversity". *Agriculture, Ecosystems & Environment* [Amsterdam], núm. 62(2-3), p. 145-167.
- GLIESSMAN, Stephen R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrilba: CATIE.
- GONZÁLEZ DE MOLINA, Manuel (2002). "Environmental constraints on agricultural growth in 19<sup>th</sup> century Granada (Southern Spain)". *Ecological Economics* [Amsterdam], núm. 41(2), p. 257-270.
- GONZÁLEZ DE MOLINA, Manuel; Gloria I. GUZMÁN-CASADO (2002). *Tras los pasos de la insustentabilidad. Agricultura y medio ambiente en perspectiva histórica (s. XVIII-XX)*. Barcelona: Icaria.
- GONZÁLEZ DE MOLINA, Manuel; Víctor M. TOLEDO (2011). *Metabolismos, naturaleza e historia. Hacia una teoría de las transformaciones socioecológicas*. Barcelona: Icaria.
- GUIRADO, Maria; Joan PINO; Ferran RODÀ (2006). "Understorey plant species richness and composition in metropolitan forest archipelagos: effects of forest size, adjacent land use and distance to the edge". *Global Ecology and Biogeography* [Ottawa], núm. 15(1), p. 50-62.
- GUZMÁN-CASADO, Gloria I.; Manuel GONZÁLEZ DE MOLINA (2006). "Sobre las posibilidades del crecimiento agrario en los siglos XVIII, XIX y XX. Un estudio de caso desde la perspectiva energética". *Historia Agraria* [Murcia], núm. 40, p. 437-470.

- GUZMÁN-CASADO, Gloria I.; Manuel GONZÁLEZ DE MOLINA (2009). "Preindustrial agriculture versus organic agriculture: The land cost of sustainability". *Land Use Policy* [Amsterdam], núm. 26(2), p. 502-510.
- GUZMÁN-CASADO, Gloria I.; Manuel GONZÁLEZ DE MOLINA; Antonio ALONSO (2011). "The land cost of agrarian sustainability. An assessment". *Land Use Policy* [Amsterdam], núm. 28(4), p. 825-835.
- HABERL, Helmut; Marina FISCHER-KOWALSKI; Fridolin KRAUSMANN; Heinz WEISZ; Verena WINIWARDER (2004). "Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer", *Land Use Policy* [Amsterdam], núm. 21(3), p. 199-213.
- INFANTE-AMATE, Juan (2012). "Cuántos siglos de aceituna". El carácter de la expansión olivarera en el sur de España (1750-1900)". *Historia Agraria* [Múrcia], núm. 58, p. 39-72.
- MALLARACH, Josep Maria; Joan MARULL; Joan PINO (2008). "Aportacions de l'índex de connectivitat ecològica a la planificació territorial i a l'avaluació ambiental estratègica, en el context de les recerques i les polítiques de connectivitat ecològica a Catalunya". *Documents d'Anàlisi Geogràfica* [Cerdanyola del Vallès], núm. 51, p. 113-128.
- MARGALEF, Ramon (1993). *Teoría de los sistemas ecológicos*. Barcelona: Publicacions de la Universitat de Barcelona.
- (2005). "Acelerada inversión de la topología de los sistemas epicontinentales humanizados", dins: José Manuel NAREDO; Luis GUTIÉRREZ [ed.]. *La incidencia de la especie humana sobre la faz de la tierra (1955-2005)*. Granada: Universidad de Granada/Fundación César Manrique.
- (2006). "La teoria ecològica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera". *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura*, núm. 38, p. 38-61.
- MARULL, Joan; Joan PINO; Josep Maria MALLARACH; María José CORDOBILLA (2007). "A Land Suitability Index for Strategic Environmental Assessment in metropolitan areas". *Landscape and Urban Planning* [Amsterdam], núm. 81(3), p. 200-212.
- MARULL, Joan; Joan PINO; Enric TELLO; Josep M. MALLARACH (2008a). "El tratamiento del territorio como sistema: criterios ecológicos y metodologías paramétricas de análisis". *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales* [Madrid], núm. XL (157), p. 437-453.
- MARULL, Joan; Joan PINO; Enric TELLO (2008b). "The Loss of Landscape Efficiency: An Ecological Analysis of Land-Use Changes in Western Mediterranean Agriculture". *Global Environment. Journal of History and Natural and Social Sciences* [Nàpols], núm. 2, p. 112-150.
- MARULL, Joan; Joan PINO; Enric TELLO; María José CORDOBILLA (2010). "Social metabolism, landscape change and land-use planning in the Barcelona Metropolitan Region". *Land Use Policy* [Amsterdam], núm. 27(2), p. 497-510.
- MARULL, Joan; Enric TELLO (2010). "Eficiència territorial: la sinergia entre energia y paisatge". *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura* [Barcelona], núm. 46, p. 75-80.
- MCDONNELL, Mark J.; Steward T. A. PICKETT [ed.] (1993). *Humans as Components of Ecosystems. The Ecology of Subtle Human Effects and Populated Areas*. New York: Springer.
- MOORE, Jason W. (2000). "Environmental Crisis and the Metabolic Rift in World-Historical Perspective". *Organization and the Environment* [Nova York], núm. 13(1), p. 123-158.
- MURCIA, Carolina (1995). "Edge Effects in fragmented forests: implications for conservation". *Trends in Ecology and Evolution* [Amsterdam], núm. 10(2), p. 58-62.
- ODUM, Howard T. (1984). "Energy Analysis of the Environmental Role in Agriculture", dins: Gerald STANHILL [ed.]. *Energy and Agriculture*. Berlin: Springer-Verlag, p. 24-51.
- (2007). *Environment, power, and society for the twenty-first century. The Hierarchy of Energy*. Nova York: Columbia University Press.
- OLARIETA, José Ramón; Ramon PADRÓ; Gerard MASIP; Rafael RODRÍGUEZ-OCHOA; Enric TELLO (2011). "Formiguers, a historical system of soil fertilization (and biochar production?)". *Agriculture, Ecosystems and Environment* [Amsterdam], núm. 140(1-2), p. 27-33.

- PARCERISAS, Luis; Joan MARULL; Joan PINO; Enric TELLO; Francesc COLL; Carolina BASNOU (2012). "Land use changes, landscape ecology and their socioeconomic driving forces in the Spanish Mediterranean coast (El Maresme County, 1850)". *Environmental Science & Policy* [Amsterdam], núm. 23, p. 120-132.
- PLANAS, Jordi (2004). "Dos models de cooperativisme vitivinícola agrari al Vallès". *Recerques. Història, Economia, Cultura* [Barcelona], núm. 49, p. 73-96.
- PUJOL, Josep; Manuel GONZÁLEZ DE MOLINA; Lourenzo FERNÁNDEZ-PRIETO; Domingo GALLEGU; Ramon GARRABOU (2001). *El pozo de todos los males. Sobre el atraso en la agricultura española contemporánea*. Barcelona: Crítica.
- SCHNEIDER, Mindi; Philip MCMICHAEL (2010). "Deepening, and repairing the metabolic rift". *The Journal of Peasant Studies* [La Haia], núm. 37(3), p. 461-484.
- SNAPP, Sieglinde; Barry POUND [ed.] (2008). *Agricultural Systems: Agroecology and Rural Innovation for Development*. Amsterdam: Elsevier.
- TELLO, Enric (1999). "La formación histórica de los paisajes agrarios mediterráneos: una aproximación coevolutiva". *Historia Agraria* [Murcia], núm. 19, p. 195-212.
- (2010). "Un vínculo perdido: energía y uso del territorio en la transformación histórica de los paisajes agrarios mediterráneos", dins: Ricardo ROBLEDO [ed.]. *Sombras del progreso: las huellas de la historia agraria. Homenaje a Ramon Garrabou*. Barcelona: Crítica, p. 353-386.
- TELLO, Enric; Ramon GARRABOU; Xavier CUSSÓ; José Ramon OLARIETA; Elena GALÁN (2012). "Fertilizing methods and nutrient balance at the end of traditional organic agriculture in the Mediterranean bioregion: Catalonia (Spain) in the 1860s". *Human Ecology* [Nova York], núm. 40(3), p. 369-383.
- TELLO, Enric; Elena GALÁN (2013). "Sistemas agrarios sustentables y transiciones en el metabolismo agrario: desigualdad social, cambios institucionales y transformaciones del paisaje en Catalunya (1850-2010)" (propera publicació com a capítol de llibre).
- TELLO, Enric; Elena GALÁN; Vera SACRISTÁN; Geoff CUNFER; Gloria GUZMÁN; Manuel GONZÁLEZ DE MOLINA; Fridolin KRAUSMANN; Simone GINGRICH; David MORENO (2013). "A Proposal for a Workable Analysis of Energy Return on Investment (EROI) in Agroecosystems". *IFF Social Ecology Working Papers* (de propera publicació).
- VAN ZANDEN, Jan Luiten (1991). "The first green revolution: the growth of production and productivity in European agriculture, 1870-1914". *Economic History Review* [Glasgow], núm. XLIV(2), p. 215-239.
- VANWALLEGHEM, Tom; Juan INFANTE-AMATE; Manuel GONZÁLEZ DE MOLINA; David SOTO-FERNÁNDEZ; José ALFONSO-GÓMEZ (2011). "Quantifying the effect of historical soil management on soil erosion rates in Mediterranean olive orchards". *Agriculture, Ecosystems & Environment* [Amsterdam], núm. 142(3-4), p. 341-351.
- WEBER, Jean-Louis (2007). "Implementation of land and ecosystem accounts at the European Environment Agency", *Ecological Economics* [Amsterdam], núm. 61(4), p. 695-707.
- WRBKA, Thomas; Karl-Heinz ERB; Niels B. SCHULZ; Johannes PETERSEIL; Christoph HAHN; Helmut HABERL (2004). "Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators". *Land Use Policy* [Austràlia], núm. 21(3), p. 289-306.