

Sistemas agrarios sustentables y transiciones en el metabolismo agrario: desigualdad social, cambios institucionales y transformaciones del paisaje en Catalunya (1850-2010)

Sustainable Agrarian Systems and Transitions in the Agrarian Metabolism: Social Inequality, Institutional Changes and Landscape's Transformation in Catalonia (1850-2010)

Enric Tello

Elena Galán del Castillo

Departamento de Historia e Instituciones Económicas de la Universidad de Barcelona

Gran Vía de les Corts Catalanes, 585

08007 Barcelona

egalan@ub.edu

tello@ub.edu

Recibido: 11 de febrero de 2013

Aprobado: 17 de marzo de 2013

Resumen

¿Cómo mantuvieron los agricultores la fertilidad del suelo a medida que iban cultivando la misma tierra durante décadas y siglos? ¿Cómo transferían energía y nutrientes (carbono, nitrógeno, potasio, fósforo) a través del paisaje agrario para fertilizar las cosechas? ¿Cómo estructuraban los campesinos aquellos paisajes (tierras de labor, pastos, bosques, agua) para sustentar sus comunidades, mantener la productividad a largo plazo y obtener beneficios? Con este artículo resumimos los resultados del proyecto de investigación en curso sobre la última etapa de las agriculturas orgánicas en Cataluña, y acabamos apuntando líneas futuras por las que seguirá nuestra investigación.

Palabras clave

transición socio-ecológica; metabolismo social agrario; funcionamiento ecológico de los paisajes; desigualdad social

Abstract

How did farmers maintain soil fertility as they cultivated the same land over decades and centuries? How did they transfer energy and nutrients (nitrogen, potassium, phosphorous) across the landscape to fertilize crops? How did farmers structure landscapes (field, pasture, woodland) to sustain communities, ensure long-term productivity, and produce profits? We summarize in this article the results of the ongoing research on the last stage of organic agriculture in Catalonia carried out by our project. We also outline the forthcoming steps to continue our research.

Keywords

socio-ecological transition; agricultural social metabolism, landscape ecological functioning; social inequality

El proyecto que presentamos, con sede en la Universidad de Barcelona, reúne a historiadores agrarios, economistas, agrónomos, biólogos y ambientólogos de ésta y otras universidades catalanas (Autónoma de Barcelona, Girona y Lleida), y está coordinado con el Laboratorio de Historia de los Agroecosistemas con sede en la Universidad Pablo de Olavide en Sevilla (HAR2012-38920-C02-02). Compartimos cinco objetivos interrelacionados: 1) caracterizar los cambios socio-ecológicos de los sistemas agrarios y los paisajes culturales del Mediterráneo; 2) especificar sus principales fuerzas motoras, relacionando los usos de la energía, los nutrientes, el agua y otros materiales con las formas predominantes de uso del suelo; 3) identificar los principales agentes rectores de tales cambios agro-ecológicos y su relación con la propiedad y tenencia de la tierra, la conexión con los mercados, las relaciones laborales, la distribución del ingreso, los conflictos sociales o las políticas públicas; 4) evaluar el impacto ambiental de esos cambios de uso del suelo, especialmente desde el punto de vista de la agro-diversidad, la biodiversidad y la resiliencia de los paisajes; y 5) desarrollar nuevos enfoques y metodologías para sacar a la luz los nexos entre la eficiencia socio-metabólica en los flujos biofísicos, los patrones de uso del suelo y el funcionamiento ecológico de los paisajes. La desigualdad aparece destacada en el título del proyecto, porque compartimos la hipótesis de que jugó un papel decisivo en los desequilibrios agro-ecológicos que perturbaron los sistemas orgánicos tradicionales, interrumpieron su mejora, y los llevaron hacia otros sistemas agrarios basados en los combustibles fósiles.

Para apoyar esta interpretación histórica de la transición socio-ecológica se requiere un profundo análisis histórico e interdisciplinar, que a su vez necesita reunir una gran cantidad de datos relacionados entre sí: 1) sobre los flujos biofísicos en los sistemas agrarios, y también en los sistemas urbanos; 2) la reconstrucción digital mediante SIG de los mapas de uso del suelo en las mismas áreas de estudio; 3) la aplicación a aquellos mapas de un conjunto de índices de ecología del paisaje para evaluar su estado ambiental, generando nuevos mapas digitales del funcionamiento ecológico; y 4) bases de datos sobre dotaciones agro-climáticas, demografía, propiedad y tenencia de la tierra, desigualdad en el acceso de los recursos naturales, actividad económica, asociacionismo y acciones colectivas o políticas públicas, con el fin de construir modelos interpretativos basados en la acción humana para explicar históricamente los cambios socio-ecológicos globales acaecidos. Ambos proyectos, coordinados en la Universidad Pablo de Olavide y la Universidad de Barcelona, estamos también vinculados al proyecto internacional *Sustainable farm systems: long-term socio-ecological metabolism in western agriculture* financiado por el Social Sciences and Humanities Research Council de Canadá (SSHRC 895-2011-1020), junto a las universidades de Saskatchewan, Michigan, Alpen-Adria en Viena, Nacional de Colombia, y La Habana y Matanzas en Cuba.

El objetivo de ese proyecto de investigación internacional es abordar la siguiente lista de cuestiones interrelacionadas:

¿Cómo mantuvieron los agricultores la fertilidad del suelo a medida que iban cultivando la misma tierra durante décadas y siglos? ¿Cómo transferían energía y nutrientes (carbono, nitrógeno, potasio, fósforo) a través del paisaje agrario para fertilizar las cosechas? ¿Cómo estructuraban los campesinos aquellos paisajes (tierras de labor, pastos, bosques, agua) para sustentar sus comunidades, mantener la productividad a largo plazo y obtener beneficios? ¿Cómo encajaba el sistema agrario con otras partes de la economía y la sociedad, con las ciudades, la manufactura el transporte o el comercio? Para responder a esas preguntas se requiere un conocimiento experto en historia ambiental, historia económica y agraria, demografía, agronomía, ecología del paisaje y edafología.¹

Un aspecto fundamental de este proyecto internacional de historia ambiental es buscar las respuestas a esas preguntas compartiendo un mismo enfoque socio-metabólico común, y empleando los mismos procedimientos e indicadores para contabilizar los balances de energía y nutrientes de los sistemas agrarios, analizar los cambios en los patrones de uso del suelo, identificar el papel de los actores sociales y su entorno institucional, o evaluar los impactos ecológicos en el paisaje. Así pues,

ese proyecto quiere reconstruir la evolución histórica de la agricultura en el hemisferio Occidental para mejorar nuestra comprensión de las distintas técnicas de manejo, los límites biofísicos, las oportunidades, las fuerzas motrices y las restricciones que dieron forma a los sistemas de cultivo. Nuestra mejor guía para las opciones presentes y futuras de una agricultura más sostenible reside en la rica muestra de recorridos históricos experimentados a largo plazo por las comunidades rurales a ambos lados del océano Atlántico. El tránsito experimentado en el siglo XX desde las formas tradicionales de manejo a una agricultura industrializada ha supuesto la mayor 'transición socio-ecológica' reciente, y constituye una preocupación central de este proyecto. Investigamos las fuerzas motoras económicas, sociales y ambientales de aquella transición, y exploramos por qué se inició en diferentes momentos en distintos lugares, o por qué el sector manufacturero se industrializó muchas décadas antes que la agricultura.²

Ese proyecto internacional ha permitido estrechar la colaboración científica entre equipos de investigación que ya estábamos empleando desde hace años un enfoque socioecológico de las relaciones entre los sistemas agrarios y la naturaleza a través del análisis de flujos del metabolismo social, para armonizar mejor nuestros métodos, estandarizar las unidades de análisis y la terminología, y compartir las bases de datos existentes o en construcción para que los resultados sean finalmente comparables a escala global. De ese modo esperamos que el metabolismo social agrario se convierta en una contribución de gran alcance teórico y metodológico para la historia ambiental y otras disciplinas como

¹ Tomado de la memoria presentada al SSHRC canadiense.

² Ibidem.

la historia agraria, la geografía histórica, la ecología del paisaje, la agroecología, o la ciencia para la sustentabilidad. Por último, pero no menos importante, ese proyecto también busca ofrecer a la sociedad conocimientos útiles y aplicables. Queremos contribuir a un discurso público mejor informado sobre la sustentabilidad, y acerca del papel de la agricultura en nuestra sociedad. Nuestro trabajo quiere aportar una comprensión más amplia de los condicionantes materiales y energéticos de los sistemas agrarios. También intenta poner de relieve las posibilidades de las innovaciones agrícolas y la mejora de la productividad, y los límites ambientales existentes a su crecimiento potencial en cada tiempo o lugar. Aspira a contribuir al debate científico y político sobre la sustentabilidad con una mejor comprensión por parte de la comunidad científica, y el público en general, sobre cuáles opciones son hoy posibles o imposibles para un futuro más sostenible para la agricultura. En consecuencia, nuestra estrategia de investigación adopta un enfoque aplicado de la historia y comienza a poner en práctica un cierto tipo de historia experimental orientada a descubrir posibles retro-innovaciones basadas en un mejor conocimiento de los manejos aplicados en el pasado.³ Creemos, en definitiva, que el conocimiento histórico puede y debe cooperar con otras disciplinas en la búsqueda de soluciones a la crisis socio-ecológica presente, y ofrecer resultados útiles para el desarrollo sostenible en general o la agricultura ecológica y la ordenación del territorio en particular.⁴

El fin de las agriculturas orgánicas tradicionales: una cuestión olvidada en la historia ambiental y agraria

El proyecto incluye entre sus investigadores a historiadores modernistas, medievalistas o de la antigüedad para perfilar en ciertos casos de estudio una visión muy a largo plazo de las transiciones o rupturas agro-ecológicas acaecidas. Sin embargo, buena parte de la investigación está focalizada en entender cuándo, cómo y por qué se produjo el fin de las agriculturas orgánicas tradicionales y se inició la transición socio-ecológica a la agricultura industrializada que se encuentra actualmente en fase de agotamiento y crisis sistémica. Pensamos que ésta es una cuestión olvidada en la historia ambiental y agraria, y una necesidad perentoria de nuestra sociedad actual sometida a una profunda crisis ecológica global que se encamina más allá del final de la era del petróleo barato.⁵

Es ampliamente aceptado entre historiadores que la capacidad de responder a una pregunta de investigación depende de la metodología al uso. Sin embargo, también la capacidad de formular nuevas preguntas depende de las herramientas metodológicas empleadas. Sin la mirada fresca que proporcionan los nuevos enfoques y métodos de investigación, muchos fenómenos históricos relevantes pueden permanecer ocultos en el reino de las cosas que se dan por supuestas. Ese parece ser el caso si nos

³ Ploeg, J. D. van der. *Nuevos campesinos: campesinos e imperios alimentarios* (Barcelona: Icaria, 2010).

⁴ González de Molina, M. y Toledo, V. *Metabolismos, naturaleza e historia: hacia una historia de las transformaciones socioecológicas* (Barcelona: Icaria, 2011).

⁵ Sempere, J. y Tello, E. (eds.). *El Final de la era del petróleo barato* (Barcelona: Icaria, 2008).

fijamos en la divergencia entre las trayectorias seguidas por la agricultura y la industria desde mediados del siglo dieciocho hasta mediados del siglo veinte en Europa y las zonas de colonización europea del mundo. Mientras la industria moderna estuvo rápida y masivamente propulsada por el carbón, los sistemas agrarios permanecieron anclados en lo que Anthony Wrigley o Peter Sieferle han llamado una economía 'orgánica' o 'basada en la radiación solar'.⁶ Hasta la Segunda Guerra Mundial, los sistemas agrarios del mundo, incluidos los países ya industrializados en proceso de industrialización, continuaron empleando caballos, mulas o bueyes como fuerza de tiro, aplicando estiércol y otros fertilizantes orgánicos, y practicando rotaciones de cultivos para evitar agotar los suelos, tener a raya las plagas, y mantener integrada la producción agrícola con la cría de ganado.⁷

Sin duda, hubo algunos cambios importantes del metabolismo social agrario durante la Primera Globalización (1870-1929): el guano y los fertilizantes químicos comenzaron a ser crecientemente empleados en combinación con el estiércol, los combustibles fósiles comenzaron a usarse en el bombeo de agua de riego, e incluso algunos tractores empezaron a reemplazar a los caballos principalmente en los Estados Unidos. Sin embargo, el rasgo predominante durante el periodo comprendido entre la Primera y la Segunda Guerra Mundial fue la coexistencia entre el cultivo orgánico tradicional con algunos nuevos inputs o innovaciones desarrolladas por lo que Jan Luiten Van Zanden ha llamado la 'Primera Revolución Verde'.⁸ Muchas de ellas fueron innovaciones biológicas, como nuevas razas o variedades seleccionadas, mientras que bastantes de los nuevos aperos mecánicos desarrollados entonces siguieron empleando la tracción animal (Tabla 1).

⁶ Wrigley, E. A. *Energy and the English Industrial Revolution* (Cambridge: Cambridge University Press, 2010); Sieferle, R. P. *The Subterranean Forest. Energy Systems and the Industrial Revolution* (Cambridge: The White Horse Press, 2001).

⁷ McNeill, J. R. and Winiwarter, V. (eds.). *Soils and Societies: Perspectives from Environmental History* (Isle of Harris: White Horse Press, 2006).

⁸ Van Zanden, J. L. "The First Green Revolution: the Growth of Production and Productivity in European Agriculture, 1870-1914," *Economic History Review*, XLIV, 2 (1991): 215-239.

Tabla 1. Trayectorias divergentes entre la agricultura y el resto de la economía durante las transiciones desde un sistema energético basado en la radiación solar hacia la era de los combustibles fósiles (1760-2010)

décadas	industria	suministro energético	sistema de transporte	comercio y finanzas	agricultura
1760	Primera Revolución Industrial basada en la máquina de vapor	Primera Transición Energética desde un sistema basado en al radiación solar a otro basado en el carbón (en la industria, las ciudades y el transporte)	Primera Revolución de los Transportes: ferrocarriles y navegación a vapor	Bloqueo durante las guerras Napoleónicas e industrialización de los <i>First Comers</i>	Diversos tipos de agriculturas orgánicas mejoradas regionalmente diferenciadas
1770					
1780					
1790					
1800					
1810					
1820					
1830					
1840					
1850					
1860					
1870					
1890	Adopción masiva de la Segunda Revolución Industrial: motor eléctrico y motor de combustión, turbinas, etc.	Adopción masiva de la Segunda Transición Energética desde un sistema basado en el carbón a otro basado en el petróleo	Adopción masiva de la Segunda Revolución de los Transportes: automóvil, camiones, aviación...	Primera Globalización Liberal	Coexistencia entre el manejo orgánico y la Primera Revolución Verde
1900					
1910					
1920					
1930					
1940					
1950					
1960					
1970					
1980					
1990					
2000	¿Agotamiento?	¿Agotamiento?	¿Agotamiento?	Segunda Globalización neoliberal	¿Agotamiento?
2010				Gran Recesión	

Fuente: Tello y otros (de próxima publicación b).⁹

Lo que resulta más llamativo de ese largo proceso histórico es que la transformación radical a un metabolismo social basado totalmente en los combustibles fósiles, que a la postre comportó la industrialización completa de la agricultura, no se produjo hasta la difusión masiva de la llamada Revolución Verde tras la Segunda Guerra Mundial.¹⁰ Los datos básicos sintetizados cronológicamente en la Tabla 1 son de sobras conocidos por cualquier historiador económico o ambiental. Sin embargo, sea porque se ha tomado como algo dado y natural, o se ha considerado simplemente como un rasgo de

⁹ Tello, E. y González de Molina, M. (eds.). "Socio-ecological Transitions in Spanish Agriculture (1850-2010): Resource use, Landscape Change and Biodiversity." (de próxima publicación b).

¹⁰ Fischer-Kowalski, M. and Haberl, H. (eds.). *Socioecological Transitions and Global Change. Trajectories of Social Metabolism and Land Use* (Cheltenham: Edward Elgar, 2007).

atraso económico desde el paradigma de la modernización, hasta hace poco aquella divergencia a largo plazo entre las transiciones socio-ecológicas seguidas por los sectores agrario e industrial no ha sido contemplada como un asunto relevante que merezca ser estudiado desde un enfoque de historia ambiental. ¿Por qué la Primera Revolución Industrial estuvo precedida y acompañada por el desarrollo de varios tipos de agriculturas orgánicas mejoradas y bio-regionalmente diferenciadas? El consabido ‘atraso’ no puede considerarse una respuesta convincente, toda vez que aquel carácter ‘orgánico’ o ‘solar’ fue un rasgo común a las agriculturas de todos los países desarrollados antes de la Segunda Guerra Mundial.¹¹ Ninguno de aquellos sistemas agrarios permaneció estancado e inmóvil mientras la población, la urbanización, la industrialización y los mercados crecían. Todos ellos respondieron de un modo u otro a aquellos desafíos y estímulos, siguiendo las cambiantes señales de precios en los mercados de productos y factores mediante la adopción de procesos de intensificación en unos casos, o manteniendo y expandiendo usos extensivos del suelo en otros. Así pues, ¿cuándo y por qué aquellos diferentes tipos de agricultura orgánica avanzada llegaron a su fin en Europa y los territorios de colonización Europea?

Para abordar desde una perspectiva socio-metabólica la pregunta de cuándo y por qué los sistemas agrarios orgánicos llegaron a su fin, hay otras cuestiones relacionadas que también deben considerarse: ¿Cuán sustentables eran aquellos sistemas agrarios orgánicos antes de la Revolución Verde? Los nutrientes extraídos del suelo, ¿se reponían? ¿Jugó algún papel el agotamiento de la fertilidad de los suelos cultivados? ¿O ya se abrió entonces una primera gran ‘fractura socio-metabólica’?¹² ¿Había todavía algún margen de mejora en aquellos sistemas tradicionales de majeo orgánico? ¿O habían alcanzado ciertos límites agroecológicos entonces insuperables? La trayectoria que acabó siendo arrolladoramente dominante, ¿fue realmente «necesaria», en el sentido que no hubo otras opciones factibles? ¿O fue una opción entre varias alternativas posibles impuesta por ciertos agentes rectores, como por ejemplo las industrias de fertilizantes y otros inputs agroquímicos, el pensamiento dominante en las escuelas de ingeniería agrónoma, o las políticas adoptadas por los gobiernos de la época? Ahora que somos cada vez más conscientes de encontrarnos al final del camino que entonces se emprendió, todo eso nos lleva a enfrentarnos con otras preguntas de hondo calado político. Por ejemplo, ésta: ¿podrían las agriculturas campesinas hoy existentes saltar directamente hacia nuevas formas de agricultura ecológica mejorada, evitando el paréntesis histórico de la revolución verde?

Impactos ambientales de la agricultura orgánica tradicional, industrial o ecológica: poniendo a prueba la hipótesis de Margalef

¹¹ Pujol, J.; González de Molina, M.; Fernández Prieto, L.; Gallego, D. y Garrabou, R. *El Pozo de todos los males: sobre el atraso en la agricultura española* (Crítica: Barcelona, 2001).

¹² Moore, J.W. “Environmental Crisis and the Metabolic Rift in World-historical Perspective,” *Organization and the Environment*, 13, 1 (2000): 123-158.

Este proyecto se sitúa, por tanto, en el marco de la nueva ciencia para la sostenibilidad (*sustainability science*), que parte de la premisa que la sustentabilidad es un problema de la interacción cambiante entre sociedad y naturaleza. Para entender y evaluar los cambios que provocan las actividades socio-económicas en los sistemas naturales, qué fuerzas los generan, cómo podemos influir en ellas, o cómo afectan a la sociedad aquellos cambios en los ecosistemas que ella misma desencadena, debemos analizar la interacción coevolutiva entre sociedades y sistemas naturales a lo largo del tiempo. Por tanto, esa nueva ciencia de la sostenibilidad es a la vez histórica e intrínsecamente transdisciplinar.¹³

Nuestro proyecto focaliza el estudio de esa interacción socio-metabólica en la cambiante relación que subyace a la trayectoria que ha experimentado el funcionamiento biofísico de los sistemas agrarios, forestales y pecuarios, y la transformación de los paisajes culturales resultantes. Es decir, abordamos el estudio del paisaje como una expresión territorial de un metabolismo social, para buscar el vínculo oculto entre el grado y la forma de perturbación antrópica del medio natural, y el funcionamiento ecológico de la matriz territorial donde se asienta.¹⁴ Nuestro punto de partida es una hipótesis sugerida por el ecólogo Ramon Margalef, según la cual los mosaicos agro-forestales creados por el manejo agroecológico tradicional eran una buena explotación del medio, dado que conseguían preservar o incluso incrementar la biodiversidad:

La explotación tradicional de la tierra se basaba en granjas que organizaban el espacio a su alrededor como un mosaico de campos de cultivo, setos, pastos y fragmentos de bosques, siguiendo una organización del campo más o menos relacionada con las cuencas de recepción. Se ha comprobado que este mosaico resulta ser un instrumento de conservación muy eficaz, y asimismo ha mantenido e incluso aumentado la diversidad de las comunidades vegetales.¹⁵

En su *Teoría de los sistemas ecológicos* Margalef nos invitaba a estudiar esos grados y formas de disipación de energía antrópica por unidad de superficie como un verdadero experimento social:

Nuestra civilización realiza continuamente experimentos a gran escala, que podrían ser más utilizados de lo que son para el desarrollo de los fundamentos de una ecología de la perturbación. [...] El hombre es muy poderoso en el uso de la energía externa para mover materiales, especialmente sobre el plano horizontal. El transporte horizontal destruye el mosaico de áreas que podían tener un desarrollo independiente. [...] El hombre crea sistemas de control y amplificación de las vías de energía externa cada vez más poderosos. [...] A través de la consideración de la energía subsidiaria estamos en mejores condiciones para entender la acción de la energía externa en los ecosistemas.¹⁶

¹³ Haberl, H.; Fischer-Kowalski, M.; Krausmann, F.; Weisz, H. and Winiwarter, V. "Progress Towards Sustainability? What the Conceptual Framework of Material and Energy Flow Accounting (MEFA) Can Offer," *Land Use Policy*, 21 (2004): 199-213.

¹⁴ Tello, E. "La formación histórica de los paisajes agrarios mediterráneos: una aproximación coevolutiva," *Historia Agraria*, 19 (1999): 195-212; _____. "Un vínculo perdido: energía y uso del territorio en la transformación histórica de los paisajes agrarios mediterráneos," en Robledo, R. (ed.). *Sombras del progreso: las huellas de la historia agraria* (Barcelona: Crítica, 2010), 353-386.

¹⁵ Margalef, R. "La teoría ecológica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera," *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura*, 38 (2006): 59. Existe traducción castellana e inglesa al final del mismo volumen.

¹⁶ Margalef, R. *Teoría de los sistemas ecológicos* (Barcelona: Publicacions Universitat de Barcelona: 1993), 250.

Algunos investigadores del Instituto de Ecología Social (IFF) de la Universidad Alpen-Adria en Viena han llevado a cabo una primera estimación de esa correlación entre perturbación antrópica y riqueza de especies en ecosistemas actuales de Austria, empleando como indicador de impacto la Apropiación Humana de la Producción Primaria Neta (o HANPP por las siglas en inglés).¹⁷ Sus resultados han confirmado que

Los niveles intermedios de perturbación [...] dan lugar a un paisaje cultural muy complejo y diverso que puede albergar muchas especies vegetales y animales. Hemos podido demostrar que los niveles intermedios de apropiación humana de la producción primaria neta (HANPP) están directamente relacionadas con una mayor diversidad del paisaje, e indirectamente también están probablemente conectados con una alta biodiversidad [...]. Eso abona claramente las propuestas de conservación global de la naturaleza mediante enfoques integradores que combinen la agricultura ecológica con un mantenimiento asequible de la vida silvestre en hábitats semi-naturales.¹⁸

Sin embargo, los propios autores abogan por desarrollar métodos de análisis de esa relación entre pautas de intervención humana y procesos ecológicos que resulten más precisas a escala del paisaje:

Las claras relaciones obtenidas demuestran que incluso índices muy simples [...] pueden a veces ser útiles como medidas del impacto humano, aunque métodos más sofisticados serían sin duda una garantía para una evaluación ambiental más robusta de los paisajes.¹⁹

Nuestro proyecto se encamina en esa búsqueda de unos procedimientos más precisos para encontrar la relación subyacente entre la acción humana que crea, mantiene, transforma o destruye paisajes, y la riqueza de especies que éstos pueden albergar. Por eso combinamos dos metodologías básicas: la reconstrucción de los flujos y balances de energía, nutrientes o agua movidos por el metabolismo social de los sistemas agrarios; y la reconstrucción mediante SIG de los mapas de uso del suelo de esos mismos sistemas, para aplicarles después las métricas o índices de ecología del paisaje que permiten evaluar su funcionamiento ambiental. De los balances de energía de distintos lugares y periodos históricos podemos obtener el transflujo total de inputs y outputs que recorren anualmente cada uso o cubierta del suelo, que a su vez puede etiquetarse como valor en cada unidad de paisaje mediante SIG. Una vez reunida una base de datos lo suficientemente amplia, fiable y comparable, será posible trazar una retícula y calcular para cada celda las distintas correlaciones de los valores medios obtenidos por aquel transflujo de energía externa –que era justamente el indicador propuesto por Ramon Margalef—

¹⁷ Wrba, T.; Erb, K.-H.; Schulz, N. B.; Peterseil, J.; Hahn, Ch. and Haberl, H. "Linking Pattern and Process in Cultural Landscapes. An Empirical Study Based on Spatially Explicit Indicators," *Land Use Policy*, 21 (2004): 289-306.

¹⁸ *Ibid*, 202-203.

¹⁹ *Ibidem*.

con las métricas del funcionamiento ecológico del paisaje.²⁰ La hipótesis de partida que queremos comprobar, refutar o ajustar es la que se describe sintéticamente en la Figura 1:

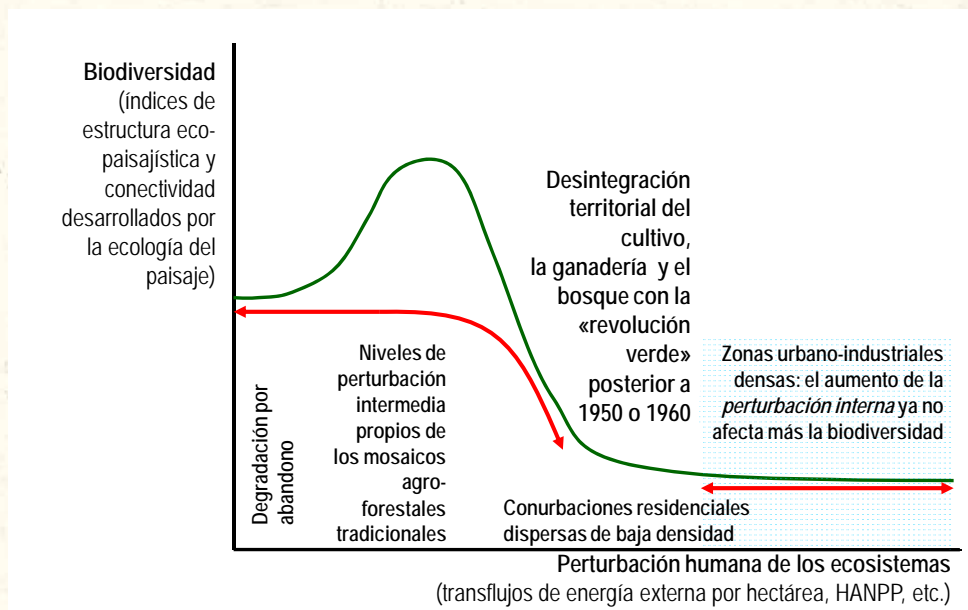


Figura 1. Metabolismo social y biodiversidad: la hipótesis de la «perturbación intermedia»
Fuente: elaboración propia, basado en Margalef (1993 y 2006).

La importancia de los flujos energéticos de reutilización interna de biomasa en agro-ecosistemas con un uso integrado y eficiente del territorio

Como se resume en la Figura 2, los agro-ecosistemas se crean y reproducen cuando una comunidad campesina, o cualquier otro tipo de explotación agraria que opere dentro de una sociedad humana más amplia, invierte una cierta cantidad de trabajo humano, fuerza motriz animal o trabajo mecánico, semillas, fertilizantes y otros portadores de energía para establecer un nuevo paisaje cultural a partir de los ecosistemas existentes. Por tanto, los agro-ecosistemas son ecosistemas transformados por la acción humana. Pese a proseguir con su propio funcionamiento ecológico, no pueden mantenerse ni reproducirse por sí mismos a lo largo del tiempo. También necesitan una cierta cantidad adicional de tierra donde subsistan ecosistemas menos alterados, capaces de llevar a cabo un conjunto de servicios ambientales de regulación global y local de vital importancia.²¹ Así pues, la creación y mantenimiento de agro-ecosistemas requiere reinvertir una y otra vez cierta cantidad de energía e información desde el

²⁰ Margalef, *Teoría de los sistemas ecológicos*, 1993; Margalef, *La teoría ecológica*, 2006.

²¹ Odum, H. T. "Energy Analysis of the Environmental Role in Agriculture," en Stanhill, E. (ed.), *Energy and Agriculture* (Berlin: Springer-Verlag, 1984), 24-51; Giampietro, M.; Cerretelli, G. and Pimentel, D. "Assessment of different agricultural production practices," *Ambio* 21, 7 (1992a): 451-459; _____. "Energy Analysis of Agricultural Ecosystem Management: Human Return and Sustainability," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 38, 3 (1992b): 219-244; Guzmán Casado, G. I. y González de Molina, M. "Preindustrial Agriculture Versus Organic Agriculture: The Land Cost of Sustainability," *Land Use Policy*, 26, 2 (2009): 502-510; Guzmán Casado, G. I.; González de Molina, M. and Alonso, A. M. "The Land Cost of Agrarian Sustainability. An Assessment," *Land Use Policy*, 28, 4 (2011): 825-835.

exterior, que se añade a la proporcionada por la radiación solar y modifica la forma que adquiere su conversión en biomasa.²²

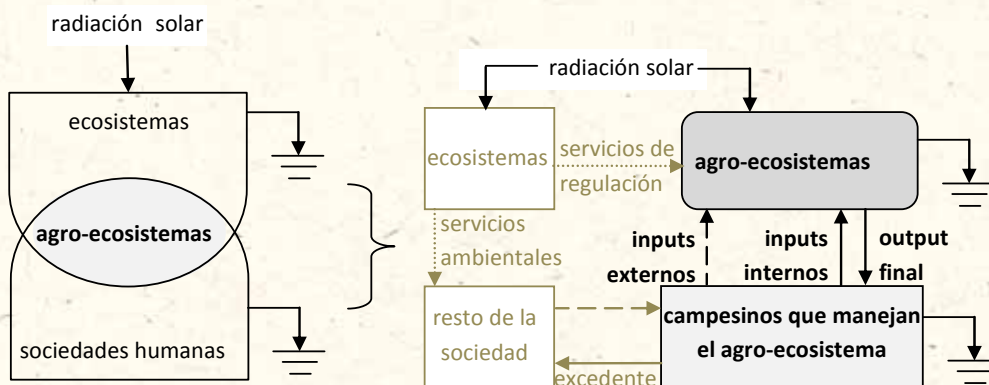


Figura 2. Enfoque básico de un agro-ecosistema, tal como surge de la co-evolución socio-metabólica entre sociedad y naturaleza. Fuente: elaboración propia a partir de Giampietro y Pimentel, González de Molina y Toledo.²³

Desde esta perspectiva socio-metabólica podemos definir un agro-ecosistema como un bucle energético a través del cual las sociedades humanas invierten una determinada cantidad de flujos energéticos, ya sea como inputs internos o externos, con el fin de apropiarse, redirigir y transformar una dotación determinada de energía solar convertida en producción primaria neta de biomasa a través de la fotosíntesis que tiene lugar en su interior (Figura 3). Esa área física no determina, como tal, los límites sociales del agro-ecosistema, que es un marco conceptual previo que debe establecerse claramente teniendo en cuenta que cualquier flujo biofísico será siempre tenido en cuenta dentro de nuestro análisis tal como aparece –y puede ser observado– en aquellos límites específicos del sistema que hemos adoptado previamente. El propósito principal de ese bucle energético es conseguir un producto final en forma de biomasa que debe adoptar la composición específica y la cantidad necesaria para satisfacer las necesidades humanas a las que responde. El análisis de la asignación de los bienes-fondo y los flujos de energía dentro del agro-ecosistema, para evaluar su perfil y rendimiento energético, se convierte en una útil herramienta para identificar posibles formas de mejorarlo.²⁴

²² Altieri, M. (ed.). *Agroecology: the Science of Sustainable Agriculture* (Boulder: Westview Press, 1989); Gliessman, S.R. (ed.) *Agroecology. Ecological Processes in Sustainable Agriculture* (Boca Raton-FL: Lewis Publishers/CRC press, 1998); Altieri, M. y Nicholls, C. *Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture* (Berkeley & Los Angeles: University of California Press, 2005); Snapp, S. and Pound, B. (eds.). *Agricultural Systems: Agroecology and Rural Innovation for Development*. (Amsterdam: Elsevier, 2008).

²³ Giampietro, M. and Pimentel, D. (1991): "Energy Efficiency: Assessing the Interaction between Humans and Their Environment," *Ecological Economics*, 4, 2 (1991): 117-144; González de Molina y Toledo, *Metabolismos, naturaleza e historia*, 2011.

²⁴ Odum, *Energy Analysis*, 1984.

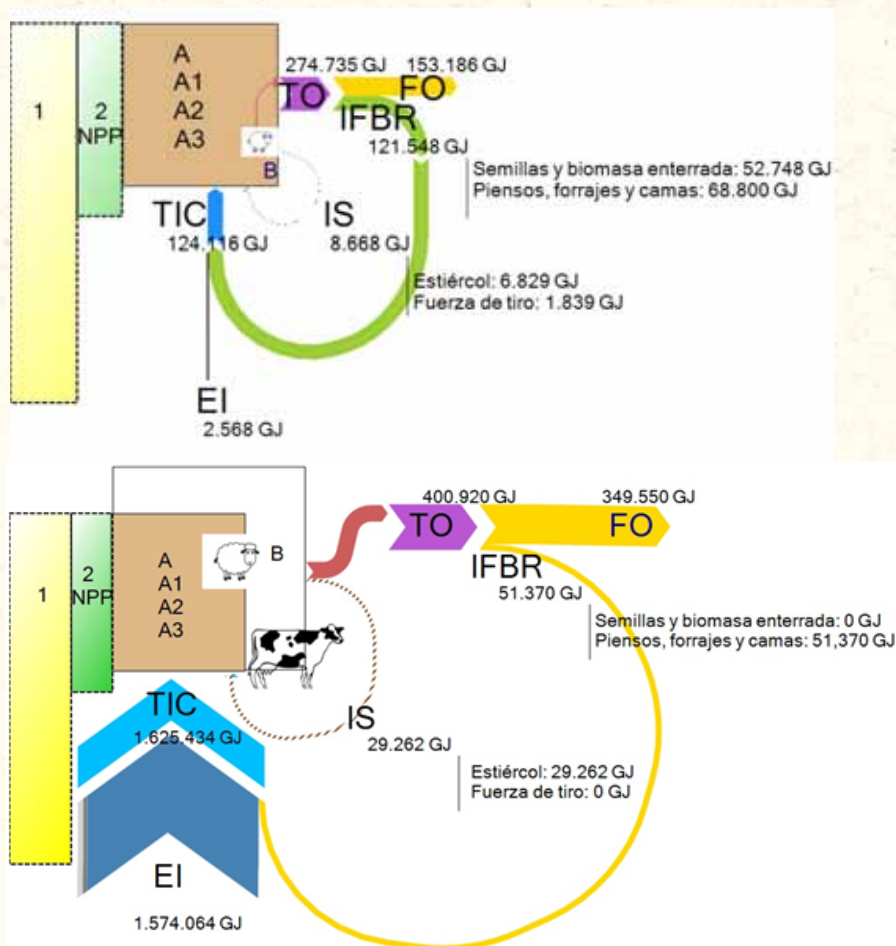


Figura 3. Dos ejemplos del bucle energético básico de un agro-ecosistema: la comarca catalana del Vallès hacia 1860 y en 1999. 1: Radiación solar como Fuente de Energía Primaria (*PES*) del agro-ecosistema. Todos los demás flujos del diagrama son o bien portadores de energía (*EC*) o convertidores. *NPP*: Producción Primaria Neta de biomasa a través de la fotosíntesis llevada a cabo en el área de estudio. *A*: Producción Primaria Neta cosechada (*NPPh*) en la superficie agraria útil (*A1*: tierra de cultivo, *A2*: bosque y *A3*: pasto). *TO*: Output Total. *FO*: Output Final. *IFBR*: Flujos Internos de Biomasa Reutilizada. *IS*: Servicios Internos como el estiércol u otros fertilizantes orgánicos o la fuerza motriz obtenidos como subproductos de convertidores internos tales como ganado, carboneras, hormigueros, etc. *EI*: Inputs Externos. *TIC*: Inputs Totales Consumidos. Fuente: elaboración propia. Tello, E.; González de Molina, M.; Krausmann, F.; Cunfer, G. y Billen, G. (de próxima publicación a): "On the End of Past Organic Agricultural Systems: The First Globalization in European Socio-Ecological Transition (1870-1939)".

La eficiencia o ineficiencia energética de ese bucle agroecológico tiene que ver con la sostenibilidad a largo plazo de los ecosistemas agrícolas en tanto que estructuras biofísicas humanas:

*está claro que la cantidad de energía útil que una sociedad puede asignar a estabilizar su estructura en el largo plazo dependerá de la eficiencia de la energía que suministra al sistema. Cuanto mayor sea la eficiencia, menor es la fracción de energía útil requerida por su propio funcionamiento y mantenimiento.*²⁵

Siempre teniendo muy en cuenta, sin embargo, que aquellos flujos de energía y materiales no sólo deben proporcionar bienes finales de consumo sino también servicios ambientales vitales, y que el logro conjunto de ambos comporta importantes restricciones ecológicas. Debido a los servicios de

²⁵ Giampietro, M.; Bukkens, S.G.F. y Pimentel, D. "Labor Productivity: A Biophysical Definition and Assessment," *Human Ecology*, 21, 3 (1993): 236.

regulación ambiental requeridos (Figura 1), la sostenibilidad de los sistemas agrarios implica que la explotación humana de los procesos naturales debe dejar libre en los ecosistemas un flujo de energía y materia suficiente para mantener las estructuras biofísicas de sus bienes-fondo que garantizan aquellas funciones ambientales básicas. Ello implica preservar una cierta cantidad de tierra sometida a una explotación humana mucho más liviana, de modo que resulte suficiente para mantener la diversidad biológica y la estabilidad de los ciclos bioquímicos que regulan la reproducción del conjunto de ecosistemas donde los sistemas agrarios se insieren. Ambas cosas requieren refrenar la explotación, y distribuirla en el espacio o el tiempo en diferentes gradientes de intensidad, con el fin de «no empujar la explotación más allá de un punto de rendimiento adecuado».²⁶ Dicho de otro modo, cualquier sistema de agricultura sostenible debe ser capaz de mantener o aumentar la complejidad biológica tanto como su rendimiento energético y económico. Si incrementa éstos segundos a expensas de la complejidad organizada de los agro-ecosistemas, nunca será sustentable a largo plazo (Figura 1).

De ahí se sigue que el límite puramente socioeconómico de la superficie labrada o explotada no coincide con el área biológica verdaderamente necesaria para obtener sosteniblemente una determinada producción final agraria.²⁷ Sin embargo, la contabilidad económica convencional no toma en consideración esos costes indirectos relacionados con el mantenimiento de servicios ambientales vitales.²⁸ El análisis también se complica al tratarse a menudo de sistemas agro-silvo-pastorales integrados, donde las distintas cubiertas del suelo solían encontrarse entremezcladas en mosaicos diversos cuya clave reside en su propia conjunción. De hecho, la forma más común de hacer frente en los sistemas tradicionales de agricultura orgánica a aquella restricción ecológica antes mencionada no consistía en adjuntar simplemente a la tierra explotada algunas áreas naturales preservadas como santuarios, sino en el desarrollo de diversos agro-ecosistemas complejos que mantenían integrados distintos usos del suelo donde se aplicaban diversos niveles de transflujo de energía por unidad de superficie (Figura 1).²⁹ Ese manejo integrado de la tierra, el ganado y los demás recursos naturales mantenía unidos entre sí una gran diversidad de cultivos, zonas de pasto y superficies forestales dando lugar a una gran variedad de paisajes agrícolas y forestales en mosaico, adaptados a las dotaciones ambientales de diferentes bioregiones y a las necesidades sociales cambiantes tanto geográfica como

²⁶ En palabras de Ramón Margalef citadas por Giampietro *et al.*, *Energy analysis*, 1992b, 235.

²⁷ Giampietro *et al.*, *Assessment of Different*, 1992a, 455.

²⁸ Giampietro, M.; Bukkens, S. G. F. and Pimentel, D. "Models of Energy Analysis to Assess the Performance of Food Systems," *Agricultural Systems*, 45, 1 (1994): 19-41; Giampietro, M. "Socioeconomic Constraints to Farming with Biodiversity," *Agriculture, Ecosystems & Environment* 62, 2-3, (1997): 145-167; Guzmán Casado and González de Molina, *Preindustrial Agriculture*, 2009; Guzmán Casado *et al.*, *The Land Cost*, 2011.

²⁹ González de Molina y Toledo, *Metabolismos, naturaleza e historia*, 2011.

históricamente. Su principal característica era una sabia combinación de diversidad e integración capaz de mantener un cierto equilibrio entre explotación y conservación del medio.³⁰

Ese aspecto territorial o paisajístico de la sostenibilidad de los sistemas agrarios saca a la luz la importancia de ciertos procesos agroecológicos internos que desempeñan un papel clave en el mantenimiento de los bienes-fondo que proveen servicios ambientales vitales, aunque a menudo resulte eclipsada por una valoración económica que sólo tiene en cuenta las entradas externas y los productos finales que pasan por los mercados. El funcionamiento ecológico interno de aquellos bienes-fondo corre en paralelo a los flujos externos socioeconómicos de los que deviene interdependiente. De acuerdo con Edwards y otros,

*es la consciencia de la estructura formada por aquellas corrientes paralelas, y de la interdependencia entre ambos flujos, lo que define un sistema de manejo o producción agraria integrada. Para que un sistema de cultivo sea sostenible, ambos flujos deben estar bien acoplados.*³¹

Cuando se mantienen acoplados en un agro-ecosistema integrado, esos flujos internos juegan un papel clave en el mantenimiento de dos servicios básicos ambientales básicos estrechamente interrelacionados: la fertilidad del suelo y la biodiversidad.³² El sostén de la biodiversidad

*puede ser espacial, por ejemplo, en la biota del suelo y los patrones de cultivo, o temporal, por ejemplo mediante rotaciones, control de plagas, malezas y enfermedades a través de mecanismos tales como la competencia, depredación, proyección de sombra, alelopatía, antagonismo o antibióticos. La diversidad biológica de los organismos del suelo apoya el ciclo de nutrientes, dado que la descomposición de la materia orgánica es un proceso biótico. Plantas y animales son las fuentes de materia orgánica, junto a ciertos animales invertebrados tales como lombrices de tierra que físicamente la descomponen y mezclan, o los microbios que mineralizan nutrientes. [...] Es importante tener en cuenta que existe un fuerte vínculo entre disponibilidad de materia orgánica y biodiversidad en el ciclo de nutrientes.*³³

Así pues, los flujos internos de biomasa reutilizada (IFBR) tienen mucho que ver con el mantenimiento de los servicios ambientales básicos que los agro-ecosistemas son capaces de proporcionar según el tipo de manejo al que están sometidos. Los problemas en el mantenimiento de ese manejo integrado del suelo han surgido históricamente cuando los flujos socioeconómicos externos de energía y materiales comenzaron a convertirse en sustitutos de la reinversión de flujos internos de

³⁰ Agnoletti, M. (ed.). *The Conservation of Cultural Landscapes* (Oxfordshire: CABI Pub, 2006); Marull, J.; Pino, J. y Tello, E. "The Loss of Landscape Efficiency: An Ecological Analysis of Land-Use Changes in Western Mediterranean Agriculture - Vallès County, Catalonia, 1853-2004," *Global Environment. Journal of History and Natural and Social Sciences*, 2 (2008): 112-150; Marull, J.; Pino J.; Tello, E. y Cordobilla, M.J. "Social metabolism, landscape change and land-use planning in the Barcelona Metropolitan Region," *Land Use Policy*, 27, 2 (2010): 497-510.

³¹ Edwards, C. A.; Grove, R. R.; Harwood, C. J. y Colfer, P. "The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 46, 1-4 (1993): 103.

³² Giampietro, *Socioeconomic constraints*, 1997.

³³ Edwards et. al., *The role of agroecology*, 105-109

biomasa, descuidando todo lo que aquel bucle interno comportaba (*IFBR* en la Figura 3).³⁴ Aunque dicha sustitución estuviera dirigida a incrementar a corto plazo los rendimientos por unidad de tierra de labor o trabajo humano, y a menudo lo lograra, también estaba olvidando la necesaria reproducción de los bienes-fondo agroecológicos que permiten mantener la fertilidad del suelo y la biodiversidad.

Eso ayuda a entender nuestra propuesta de evaluar el rendimiento energético de un agro-ecosistema utilizando diferentes índices de retorno (*EROI*), en vez de uno solo.³⁵ La Figura 3 permite observar que, mientras en el numerador podemos emplear el output total (*TO*) o el output final (*FO*), en el denominador podemos considerar los inputs externos (*E*), los inputs internos (*IFBR*) o ambos (*TIC*). Comparando los dos diagramas de la Figura 3 nos damos cuenta que aquellos sistemas agrícolas que tengan por objetivo ser auto-sostenibles, ya sea por necesidad en tiempos pasados o como una opción en la actualidad, suelen tener siempre mayores flujos internos de biomasa reutilizada (*IFBR*) en comparación con la agricultura industrializada convencional que ha tendido a depender de insumos externos crecientes procedentes, directa o indirectamente, de combustibles fósiles. Esa característica, junto a la tendencia paralela de estos últimos hacia una creciente proporción de la producción neta final sobre la producción total cosechada ($\frac{FO}{TO}$), implica que las explotaciones agrarias industrializadas *puedan* obtener a veces un retorno energético *final* mayor que los orgánicos ($EROI\ Final = \frac{FO}{TIC} = \frac{FO}{EI+IFBR}$), especialmente cuando los balances energéticos sólo se analizan a escala de parcela o explotación y no a nivel de paisaje donde pueden percibirse las propiedades agroecológicas emergentes más importantes vinculadas a un uso integrado del suelo, el ganado y otros recursos. Pero, tomado aisladamente, ese resultado estaría ocultando las externalidades positivas de la agricultura orgánica o ecológica, y enmascarando las externalidades negativas de la agricultura convencional industrializada.

Este problema no puede resolverse únicamente a través de la contabilidad energética, pues requiere una evaluación integral de la sostenibilidad más compleja, multicriterial y a distintos niveles de análisis.³⁶ Sin embargo, nuestra propuesta para contribuir a esclarecer ese importante asunto es

³⁴ Flujos internos de biomasa reutilizada (*IFBR* por las siglas en inglés). Como tal, la energía no puede reutilizarse. En cambio, parte de la biomasa puede ser reinvertida en el propio agro-ecosistema donde se ha producido, aunque para ello se requiera un gasto adicional de energía en forma de trabajo humano, animal o mecánico. Puesto que esa biomasa reinvertida es también portadora de energía, el monto que representa puede computarse junto al trabajo necesario para su reinversión como un bucle energético interno del agro-ecosistema –aunque no sin problemas teóricos y analíticos de conversión entre formas y cualidades distintas de energía, tal como se explica extensamente en Tello, E.; Galán, E.; Sacristán, V.; Moreno, D. y Cunfer, G. "How to compute and deal with different EROIs of past and present agroecosystems by using MENBAS," 2013.

³⁵ *Energy Return on Energy Input* (o *EROI* por las siglas en inglés). Este proyecto ha desarrollado un programa informático diseñado para facilitar el cálculo de balances de energía y nutrientes de sistemas agrarios del pasado y el presente y su comparación (*MENBAS, Manager of Energy and Nutrient Balances of Agricultural Systems*).

³⁶ Giampietro, M. and Mayumi, K. "A Dynamic Model of Socioeconomic Systems Based on Hierarchy Theory and its Application to Sustainability," *Structural Change and Economic Dynamics*, 8, 4, (1997): 453-469; Giampietro, M.; Mayumi, K. and Munda, G. "Integrated Assessment and Energy Analysis: Quality Assurance in Multi-criteria Analysis of Sustainability," *Energy*, 31, 1 (1996): 59-86; Odum, H. T. *Environment, Power, and Society for the Twenty-first Century. The Hierarchy of*

desarrollar el cálculo de balances energéticos en un nivel más próximo a la escala con la que trabaja la ecología del paisaje, y hacer uso de un conjunto de índices de retorno energético (*EROIs*) diferentes, aunque relacionados entre sí, que capten y expresen la existencia en los sistemas agrarios más integrados y sostenibles de un 'coste de sostenibilidad' que a su vez ha dado lugar a aquella elevada 'eficiencia paisajística' a la que se refería Ramon Margalef. Gloria Guzmán, Manuel González de Molina y Antonio Alonso han puesto en circulación ese importante concepto en la literatura internacional, que ellos han denominado 'coste territorial de la sostenibilidad': es decir, la carga adicional que los agricultores ecológicos tienen que soportar en comparación con los convencionales al tener que hacerse cargo y cuidar una superficie adicional por unidad de producto final con el fin de mantener los servicios ambientales requeridos por una gestión agrícola integrada de los agro-ecosistemas.³⁷ Es obvio que ese 'coste de sostenibilidad' no es sólo territorial, pues también debe acarrear en términos de trabajo humano o mayor gasto energético en flujos internos de biomasa reutilizada (*IFBR*).

¿De qué forma, o en qué medida están asociados aquellos flujos internos de reutilización con servicios ambientales tales como la fertilidad del suelo y la biodiversidad? La respuesta reside en la otra cara de esa moneda: la forma como una gestión agroecológica integrada puede compensar mayores costes territoriales con una mayor eficiencia territorial y energética. Consideremos, en primer lugar, el papel desempeñado por los flujos de biomasa reutilizada (*IFBR*) y los servicios internos derivados (*IS*) en la sustitución de otras entradas externas (*E*) más o menos equivalentes. El ejemplo más relevante es la cría de ganado, que además de proporcionar algunos componentes del output final (*FO*) tales como carne, leche, huevos o lana también puede proporcionar fuerza motriz y estiércol. Hay otros ejemplos, como el carbón vegetal que en algunos casos se podía emplear también como abono vegetal o acondicionador del suelo a modo de «*biochar*».³⁸ Esos bucles internos no sólo eran aportes directos para mantener la fertilidad del suelo, también comportaban otras contribuciones indirectas relacionadas con el mantenimiento de un manejo integrado del territorio a través de paisajes agro-silvo-pastorales en mosaico estrechamente vinculados con la biodiversidad, el control de plagas, el buen estado ecológico de las masas de agua dulce circulantes y otros servicios ambientales vitales.³⁹

Para el caso de estudio de la comarca catalana del Vallès los resultados son elocuentes (Tabla 2):

Energy (New York: Columbia University Press, 2007), 333-334; Sorman, A. H. and Giampietro, M. "Generating Better Energy Indicators: Addressing the Existence of Multiple Scales and Multiple Dimensions," *Ecological Modelling*, 223, (2011): 41-53.

³⁷ Guzmán Casado and González de Molina, *Preindustrial Agriculture*, 2009; Guzmán Casado *et al.*, *The Land Cost*, 2011.

³⁸ Olarieta, J. R.; Padrò, R.; Masip, G.; Rodríguez-Ochoa, R. and Tello, E. "'Formiguers', a Historical System of Soil Fertilization (and Biochar Production?)," *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 1-2, (2011): 27-33.

³⁹ Drinkwater, L. E.; Chipanski, M.; Snapp, S. and Jackson, L. E. "Ecologically Based Nutrient Management," en Snapp and Pound. *Agricultural Systems; Agroecology and Rural Innovation for Development* (Amsterdam: Elsevier, 2008), 161-210.

Tabla 2. Distintas tasas de retorno energético de la energía empleada en el funcionamiento del sistema agrario (EROIs) en el caso de estudio de la comarca del Vallès (hacia 1860 y en 1999)

	Definición	hacia 1860	en 1999
EROI básico	$\frac{\text{Output Total}}{\text{Inputs Totales Consumidos}} = \frac{TO}{TIC} = \frac{FO+IFBR}{EI+IFBR}$	2,21	0,25
EROI total externo	$\frac{\text{Output Total}}{\text{Inputs Externos}} = \frac{TO}{EI} = \frac{FO+IFBR}{EI}$	107,04	0,25
EROI final	$\frac{\text{Output Final}}{\text{Inputs Totales}} = \frac{FO}{TIC} = \frac{FO}{EI+IFBR}$	1,23	0,21
EROI final externo	$\frac{\text{Output Final}}{\text{Inputs Externos}} = \frac{FO}{EI}$	59,68	0,22
EROI final interno	$\frac{\text{Output Final}}{\text{Flujos Internos de Biomasa Reutilizada}} = \frac{FO}{IFBR}$	1,26	6,80

Fuente: elaboración propia, a partir de Tello y otros (2013).

Todos los índices de retorno de la energía invertida eran superiores en el sistema agrario orgánico de 1860 a los obtenidos por la agricultura industrializada de 1999, salvo en un caso: el *EROI* final interno ($\frac{FO}{IFBR}$), que al dividir el output final por el contenido energético de los flujos internos de biomasa reutilizada nos está expresando el ‘coste de sustentabilidad’ asumido por el primero, y del que se ha desprendido el segundo. Es notable comprobar que, pese a ese coste adicional agroecológico, el sistema agrario de 1860 conseguía un retorno final conjunto que aún no siendo muy alto (1,23) era casi seis veces mayor a la considerable pérdida energética registrada en 1999 por una agricultura industrial basada en combustibles fósiles (donde por cada unidad de energía obtenida se gastan cinco). A ello hay que añadir la desventaja de una menor proporción del producto finalmente consumible respecto al total cosechado (56% y 87% respectivamente de $\frac{FO}{TO}$), lo que explica que el *EROI* básico llegara a ser casi nueve veces mayor en el sistema orgánico de 1860 que en el industrial de 1999.

¿Cómo conseguían aquellos agro-ecosistemas orgánicos del pasado ser energéticamente más eficientes que los posteriores a la Revolución Verde? No, desde luego, gracias a la eficiencia de los convertidores energéticos que tenían a su disposición. Tomados de forma aislada del sistema del que forman parte, no hay duda que un tractor convierte en fuerza motriz la energía contenida en el diesel que consume de un modo más eficiente que un buey, un mulo o un caballo transforman en fuerza de tiro los piensos, forrajes o pastos de los que se alimentan. Es más, mientras el petróleo se extrae del subsuelo fuera de los límites del sistema agrario, la alimentación del ganado requiere disponer en su interior de una superficie adicional de tierra que deviene un ‘coste territorial’ de su sustentabilidad.⁴⁰ En tales circunstancias, la mayor eficiencia energética de la agricultura orgánica tradicional de 1860 sólo se podía

⁴⁰ Guzmán Casado and González de Molina, *Preindustrial Agriculture*, 2009; Guzmán Casado *et al.*, *The Land Cost*, 2011.

lograr a través del ensamblaje integrado de sus diversas piezas –es decir, *sistémicamente*—. Los valores del *EROI* total externo ($\frac{TO}{EI}$) y el *EROI* final externo ($\frac{FO}{EI}$) de la Tabla 2 nos dan una pista muy clara para entender cómo lo lograban: el retorno final obtenido por cada unidad de input externo invertido era 271 veces mayor antes de la Revolución Verde que después, y el rendimiento total hasta 428 veces mayor. Dicho de otro modo, las agriculturas orgánicas tradicionales compensaban su inevitable bajo retorno energético en el procesamiento de flujos internos de biomasa (*IFBR*) con una elevadísima eficiencia energética de los inputs externos empleados. Su elevado *EROI* externo, que contrarrestaba con creces el menor retorno energético interno, se lograba minimizando el coste de aquellos inputs externos a base de sustituirlos por los mismos flujos de biomasa reutilizada que disminuían el *EROI* interno.

Llegamos entonces a un punto crucial. Empleando varios tipos de *EROI* en vez de uno sólo, y descomponiendo el retorno final conjunto en sus componentes interno y externo, descubrimos que los perfiles energéticos de los sistemas anteriores y posteriores a la Revolución Verde son totalmente opuestos (*sistémicamente* opuestos, de hecho). Los agro-ecosistemas tradicionales contrarrestaban el ‘coste adicional de sustentabilidad’ que debían internalizar, a base de practicar un ahorro sistemático de inputs externos de modo que una gran eficiencia externa consiguiera compensar el inevitable bajo retorno energético interno derivada de aquel coste. Las agriculturas industrializadas posteriores a la Revolución Verde funcionan, por el contrario, inyectando enormes flujos energéticos externos derivados de combustibles fósiles baratos que deterioran su eficiencia energética externa hasta niveles extremos, y el único modo que tienen para compensarlo –sólo en parte— es quitarse de encima el coste de unas reutilizaciones internas de biomasa que han dejado de serles útiles a corto plazo.

A eso hay que añadir otros tres puntos cruciales. En primer lugar, que la internacionalización de la sustentabilidad practicada por los sistemas agrarios orgánicos implicaba unas externalidades ambientales positivas que el abandono de la reutilización y el manejo integrado por los sistemas agrarios industrializados han convertido en externalidades ambientales negativas. En segundo lugar, que la inyección de energía fósil externa ha llegado a ser tan descomunal que incluso quitándose de encima el coste de su propia sustentabilidad el retorno energético final del manejo industrial es a menudo inferior al logrado por sistemas orgánicos tradicionales –especialmente cuando se computa a escala de paisaje agrario—. El tercer y último aspecto a subrayar es la dimensión territorial de ese contraste sistémico en los perfiles energéticos de ambos tipos de sistemas agrarios.

Los agro-ecosistemas orgánicos tradicionales conseguían ser energéticamente eficientes a través de un manejo integrado y eficiente del territorio, que les permitía reutilizar cualquier subproducto empleándolo como sustituto de inputs externos que se pudieran ahorrar. Dicho de otro modo, y a pesar de sus muchas desventajas, *lograban ser energéticamente eficientes porque eran eficientes en su*

manejo territorial. Aquella ‘eficiencia paisajística o territorial’ se desarrolló como respuesta a aquel ‘coste territorial, biofísico y laboral de sostenibilidad’ al que los gestores de los agro-ecosistemas orgánicos tradicionales debían hacer frente por necesidad. A través de los paisajes culturales en mosaico que construyeron con un manejo diverso e integrado del territorio, mantuvieron –hasta donde fueron capaces— la provisión de los servicios ambientales básicos que aseguraban su propia resiliencia ante las perturbaciones. Así pues, los impactos positivos de aquella eficiencia, que era a la vez energética y territorial, debe considerarse una propiedad ambiental emergente a escala del paisaje de los sistemas agrarios bien gestionados desde un punto de vista agroecológico.⁴¹

Una vez calculados los distintos *EROIs* expuestos en la tabla 2, nuestra propuesta consiste en relacionar el retorno energético final (*EROI* final) con sus componentes interno (*EROI* final interno, o *IFEROI*) y externo (*EROI* final externo, o *EFEROI*) para observar cómo influye la variación de cada uno en la evolución de la eficiencia conjunta. Por sustitución, es fácil llegar a la siguiente ecuación (1) que los relaciona:

EROI Final (*FEROI*) =

$$\frac{EFEROI \cdot IFEROI}{EFEROI + IFEROI} \quad (1)$$

La expresión (1) es la ecuación de la superficie cuadrática que aparece en la Figura 4, que resulta ser un cono centrado en el origen o, para ser más precisos, la porción de un cono dado que los valores de *EFEROI* y *IFEROI* sólo puede ser positivos:

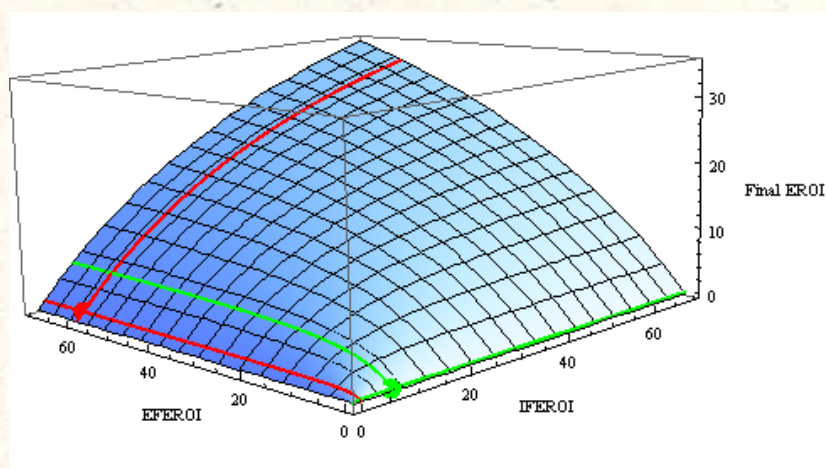


Figura 4. Localización en la superficie cónica de la ecuación (1) de los retornos energéticos finales internos y externos correspondientes al *EROI* final alcanzado por un agro-ecosistema (situando en ella la comarca catalana del Vallès hacia 1860 con las coordenadas de color rojo, y en 1999 con las de color verde). Fuente: Tello y otros (2013).

⁴¹ Altieri, *Agroecology: the Science*, 1989; Gliessman, *Agroecology*, 1998; Altieri and Nicholls, *Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture*, 2005; Snapp and Pound, *Agricultural Systems*, 2008.

Las coordenadas que localizan en ese cono las componentes interna (*IFEROI*) y externa (*EFEROI*) de la eficiencia energética final (*Final EROI*) de nuestros dos casos de estudio en 1860 y 1999 permiten constatar en la Figura 4 los perfiles sociometabólicos opuestos de un agro-ecosistema orgánico tradicional, y otro industrializado. Nuestro objetivo es disponer de una base de datos suficientemente amplia para llevar a cabo un estudio comparativo y localizar en la misma superficie cónica las coordenadas de cada sistema para comprobar mediante un análisis de clúster si, en efecto, los distintos sistemas se agrupan o no en regiones específicas del mismo. También podremos situar las trayectorias seguidas por las coordenadas *EFEROI* e *IFEROI* del retorno energético final (*Final EROI*) obtenido por un mismo sistema a lo largo del tiempo.

Es importante señalar que la ecuación (1), que relaciona el retorno energético final con sus componentes interno y externo, incurre en rendimientos decrecientes en cualquiera de sus puntos: para conseguir un aumento del *EROI* final conjunto siempre se requieren aumentos proporcionalmente mayores de *IFEROI*, *EFEROI* o ambos.⁴² En tales circunstancias sólo existe la posibilidad de compensar la disminución de un *EROI* final, debido por ejemplo a la necesidad de emplear una cantidad creciente de flujos internos de biomasa reutilizada (*IFBR*), sustituyendo con ellos una cierta cantidad de entradas externas (*E*). Esa reducción de inputs externos (*E*) hará aumentar el *EROI* final externo, que a su vez compensará en cierta medida la disminución del *EROI* final interno para obtener un determinado *EROI* final conjunto. Lo contrario también es cierto. Los rendimientos decrecientes del *EROI* final debidos a la necesidad de emplear cantidades crecientes de insumos externos (*IE*) se pueden contrarrestar sustituyendo con ellos una cierta cantidad de flujos internos de biomasa reutilizada (*IFBR*). Esa reducción en los flujos internos reinvertidos aumentará el *EROI* final interno, compensando a su vez en cierta medida la disminución del *EROI* final externo para obtener un determinado *EROI* final conjunto.

La Figura 4 muestra las dos estrategias opuestas para aumentar el *EROI* final de un sistema. Una es aumentando el *IFEROI* (sustituyendo *EI* por *IFBR*) que en la literatura se denomina 'tecnología de bajos insumos externos' (*LEIT* por las siglas en inglés), y encaja muy bien con una estrategia agroecológica sostenible (Tripp 2008) dado que

*en la agricultura de bajos insumos, donde el flujo de biomasa cosechada se mantiene dentro de la gama de valores de la rotación natural, la actividad productiva interfiere sólo en un grado limitado en el sistema de regulación y control de los flujos de materia y energía en los ecosistemas.*⁴³

⁴² De hecho, en cualquier punto (x, y) de esa superficie la derivada direccional en la dirección del gradiente es $\frac{x^2 + y^2}{(x^2 + y^2)^2}$, que es estrictamente menor que 1 para todos los puntos con coordenadas no nulas y es igual a 1 cuando cualquier coordenada es 0.

⁴³ Giampietro, *Socioeconomic constraints*, 158.



La otra estrategia describe la trayectoria insostenible adoptada por los sistemas agrícolas industrializados basados en inyecciones cada vez mayores de insumos externos provenientes en su gran mayoría de los combustibles fósiles.

Este análisis también nos permite identificar las opciones de mejora de la eficiencia energética que estaban disponibles en cada situación y momento histórico, o lo están aún. Para facilitar la visualización es útil 'cortar' horizontalmente la superficie cónica representada en la Figura 4, a modo de un mapa bidimensional que representa la tercera dimensión de la altura (*EROI* final) mediante curvas de nivel como las que aparecen en la Figura 5. Cuando nos movemos a lo largo de esas 'curvas de nivel' cambiamos las coordenadas del retorno energético interno (*IFEROI*) o externo (*EFEROI*), pero la eficiencia final conjunta no varía. Son, por tanto, líneas isocuantas de la eficiencia energética final. Esas curvas isocuantas tienen forma de hipérbolas, de modo que la relación entre las dos variaciones posibles de la eficiencia interna o externa es inversamente proporcional: cualquier aumento o disminución de *IFEROI* o *EFEROI* puede ser respectivamente compensado por una disminución o aumento del otro retorno, dependiendo de la excentricidad de cada curva isocuanta. Para aumentar el *EROI* final hay que remontar la pendiente del cono, saltando de una curva isocuanta a otra. Esa representación gráfica nos permite establecer para cada situación la dirección del vector gradiente óptimo para lograr ese ascenso en la eficiencia energética final con el menor coste posible. Tal como vemos en la Figura 5, el vector gradiente indica para cada par de valores del retorno final interno o externo (*EFEROI*, *IFEROI*) la dirección óptima para mejorar la eficiencia final conjunta (*EROI* final):

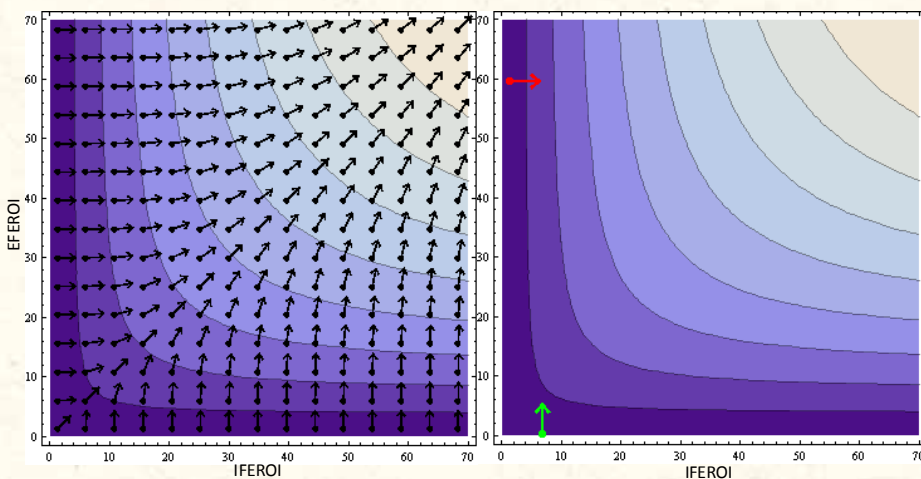


Figura 5. Vectores gradiente que señalan los caminos de mejora óptima de la eficiencia energética de un agro-ecosistema. Izquierda: campo de vectores gradiente. Derecha: vectores gradiente en el sistema agrario del Vallès hacia 1860 (en color rojo) y en 1999 (color verde). Fuente: Tello y otros (2013).

¿Cómo interpretamos nuestro caso del Vallès con este análisis que proponemos? Hacia 1860 cualquier aumento del *EROI* interno habría tenido en la comarca del Vallès un gran impacto en el *EROI* final conjunto, dado que las entradas externas eran comparativamente pequeñas. Sólo había dos formas

de mejorar aquella relación $\frac{FO}{IFBR}$. Una era tratar de lograr un mayor output final (FO) por unidad de reemplazo ($IFBR$) mediante ulteriores mejoras en el uso integrado del suelo que permitieran aumentar la densidad de ganado y la disponibilidad de estiércol, o la reducción de las pérdidas de nutrientes en su manejo. ¿Hasta qué punto era ésta una opción viable? La respuesta está muy relacionada con otra pregunta: ¿Cuándo y por qué el $EROI$ final había disminuido hasta un valor relativamente próximo a la unidad (1,26)? ¿Había aún margen para mejorar el rendimiento de aquellos sistemas agrícolas preindustriales con los procedimientos orgánicos entonces disponibles?

Sabemos que se trataba de un sistema agrario orgánico altamente intensivo en el uso del suelo, que para mantener su fertilidad debía alimentar un contingente de ganado –que seguía resultando muy escaso en relación a la tierra cultivada— combinando los forrajes y piensos cosechados con la reutilización de gran cantidad de subproductos agrícolas, y además sembrar abonos verdes, quemar en «hormigueros» considerables cantidades de biomasa forestal para enterrarla después en las tierras de labor, o hacer lo mismo con mantillos y ramajes verdes extraídos de zonas incultas.⁴⁴ Dicho de otro modo, el camino seguido por la intensificación agraria y la especialización vitivinícola parece haber comportado una presión cada vez mayor sobre los escasos recursos de aquel agro-ecosistema orgánico preindustrial, y es probable que eso lo empujara hacia retornos decrecientes y una eficiencia energética menor.

Vale la pena recordar que, al menos en teoría, habría aún una segunda vía para incrementar la relación $\frac{FO}{IFBR}$ siguiendo exactamente el camino opuesto: disminuir la elevada intensidad de trabajo necesaria para mantener aquella gestión agrícola integrada de un sistema tan intensivo, reduciendo así la cantidad de flujos internos por unidad de producto final obtenido. A su vez, ese resultado se podría haber obtenido de dos formas distintas. La primera habría consistido en mover hacia atrás la conocida secuencia en la intensidad de uso del suelo propuesta por Ester Boserup, dado que una menor densidad de población e intensidad de cultivo habría permitido obtener probablemente mayores retornos

⁴⁴ Garrabou, R. y Tello, E. "Constructors de paisatges. Amos de masies, masovers i rabassaires al territori del Vallès (1716-1860)," en AA.VV. *Josep Fontana. Història i projecte social. Reconeixement d'una trajectòria*, vol. 1 (Barcelona: Crítica, 2004), 83-104; Garrabou, R. et al. "Explaining Agrarian Specialization in an Advanced Organic Economy: The Province of Barcelona in Mid-nineteenth Century," en Pinilla, V. (ed.). *Markets and Agricultural Change in Europe from the Thirteenth to the Twentieth Century* (Brepols: Turnhout, 2009), 137-171; Garrabou, R. y González de Molina, M. (eds.). *La reposición de la fertilidad en los sistemas agrarios tradicionales* (Barcelona: Icaria, 2010a); Garrabou, R. et al. "Ecological and Socio-economic Functioning of the Mediterranean Agrarian Systems in the Middle of the Nineteenth Century. A Catalan Case Study, the Vallès county, 1850-70," en Landsteiner, E. y Langthaler, E. (eds.). *Agrosystems and Labour Relations in European Rural Societies, Middle Ages-20th Century* (Turnhout: Brepols Publishing, 2010b), 119-152; Garrabou, R. et al. "Intensificación del abonado y crecimiento agrario en al agricultura catalana desde finales del siglo XIX hasta la actualidad: el ejemplo de la provincia de Barcelona y la comarca del Vallès," en Garrabou, R. y González de Molina, M. (eds.). *La reposición de la fertilidad en los sistemas agrarios tradicionales* (Barcelona: Icaria, 2010c), 255-296; Tello, E. et al. "Fertilizing Methods and Nutrient Balance at the End of Traditional Organic Agriculture in the Mediterranean Bioregion: Catalonia (Spain) in the 1860s," *Human Ecology*, 40, 3 (2012): 369-383; Olarieta et al., *Formiguers*, 2011.

energéticos.⁴⁵ Pero tal cosa habría requerido una concentración de la propiedad de la tierra en pocas manos y la emigración masiva de la población rural excedente, lo que comportaría cambios sociales e institucionales muy poco deseables para la mayoría de la gente afectada. Sin llevar a cabo un cambio socio-ecológico de tal magnitud, la otra única vía para reducir los flujos internos por unidad de producto final habría supuesto iniciar una trayectoria cada vez más insostenible: por ejemplo, reducir el esfuerzo para reponer los nutrientes del suelo.

Ese dilema entre un acaparamiento de tierras por parte de grandes propietarios que obligaran a la población rural excedente a emigrar, o iniciar la práctica de una minería de nutrientes de un suelo intensamente cultivado, ilustra bien el tipo de decisiones difíciles a las que se enfrentaron muchos agro-ecosistemas orgánicos tradicionales europeos justo antes de que comenzara la industrialización de la agricultura. Si estamos en lo cierto, es probable que muchos de aquellos sistemas orgánicos tradicionales inmediatamente anteriores a la Revolución Verde se encontraran en el límite de su propia sustentabilidad o incluso más allá de él. Esta es una hipótesis que merece ser confirmada o rechazada a través de una investigación histórica comparada de los perfiles socio-metabólicos y el rendimiento energético de distintos agro-ecosistemas antes y después de la industrialización de la agricultura producida masivamente durante la segunda mitad del siglo XX (Tabla 1).

El papel de la desigualdad social en la abertura de una fractura socio-metabólica en la reposición de la fertilidad del suelo durante la Primera Globalización

Para hurgar en la respuesta a esa importante cuestión, hemos llevado a cabo un primer balance de nutrientes del mismo sistema agrario del Vallès hacia 1860. Al utilizar la misma información biofísica y socioeconómica que la empleada de partida para calcular el balance energético, hemos obtenido el perfil socio-metabólico de la circulación de macro-nutrientes (NPK) a escala de toda la comunidad rural de ese municipio, tal como aparece expresado en la Figura 6 para el nitrógeno (N):

⁴⁵ Boserup, E. *Las Condiciones del desarrollo en la agricultura: la economía del cambio agrario bajo la presión demográfica* (Madrid: Tecnos, 1967); _____. *Población y cambio tecnológico: estudio de las tendencias a largo plazo* (Barcelona: Crítica, 1984).

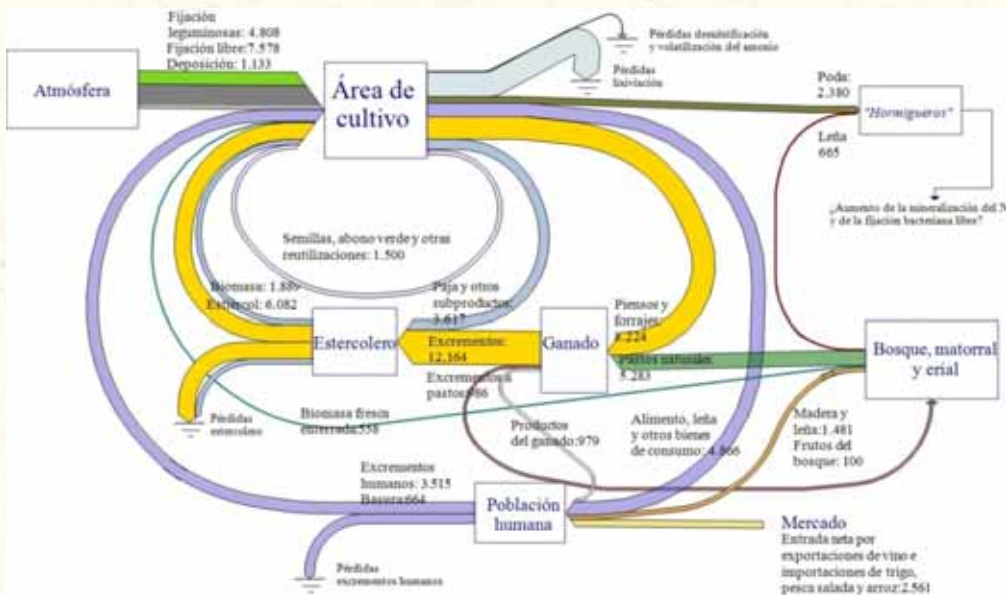


Figura 6. Flujos anuales de entradas y salidas de nitrógeno (N) en la superficie cultivada del municipio de Sentmenat (comarca del Vallès) hacia 1860.

Fuente: Tello y otros (2012).

Sentmenat tenía en 1860 una densidad de población de 59 habitantes por kilómetro cuadrado, equivalentes a 1,7 hectáreas por persona. Era ya un nivel de presión humana sobre el territorio similar a la de otras áreas rurales en países del norte y oeste de Europa en el mismo periodo (y mucho más elevada que en otras regiones españolas). La densidad ganadera era, por el contrario muy inferior a la existente en la Europa atlántica y septentrional: tan sólo 12 unidades ganaderas de un peso estándar de 500 kg (UG500) por cada kilómetro cuadrado de tierra de labor. Era éste un contingente ganadero comparable a los existentes entonces en las Grandes Praderas de los Estados Unidos donde se practicaba un cultivo extremadamente extensivo basado en la minería de nutrientes, frente a las 24 UG500 por kilómetro cuadrado de superficie agrícola registrado en áreas rurales de Austria.⁴⁶ La combinación en Cataluña de una alta intensidad de cultivo y una baja dotación de ganado comportaba una notoria escasez de estiércol: en nuestro caso de estudio del Vallès tan sólo estaban disponibles 1,5 toneladas por hectárea en cultivo, cuando los agrónomos recomendaban aplicar hasta diez, y en Inglaterra se aplicaban realmente entre 4 y 5 toneladas.⁴⁷ En la Figura 7 podemos comprobar que a través del estiércol animal sólo se podía reponer, de forma agregada y como promedio, un 21% del N, un 63% del P y un 52% del K extraídos por las cosechas.

⁴⁶ Burke, I.C. *et al.* "Nitrogen in the Central Grasslands Region of the United States," *BioScience*, 52, 9 (2002): 813- 823; Cunfer, G. "Manure Matters on the Great Plains Frontier," *Journal of Interdisciplinary History*, XXXIV, 4 (2004): 539-567; Cunfer, G. y Krausmann, F. "Sustaining Soil fertility: Agricultural Practice in the Old and New Worlds," *Global Environment. A Journal of History and Natural and Social Sciences*, 4 (2009): 8-47; Krausmann, F. "Una perspectiva biofísica del cambio agrícola en Austria: dos sistemas agrarios en las décadas de 1830 y 1990," *Historia Agraria*, 40 (2006): 293-311.

⁴⁷ Aguilera, J. *Teoría y Práctica de los Abonos* (Barcelona: Librería de Francisco Puig, 1906); Brassley, P. "Plant Nutrition," in Thirsk, J. (ed.). *The Agrarian History of England and Wales. Part I, 1850-1914*, vol. VII (Cambridge: Cambridge University Press, 2000), 533-548; Cascón, J. H. *El Estiércol y La Alimentación Animal* (Madrid: Imprenta Alrededor del Mundo, 1918; Slicher van Bath, 1963).

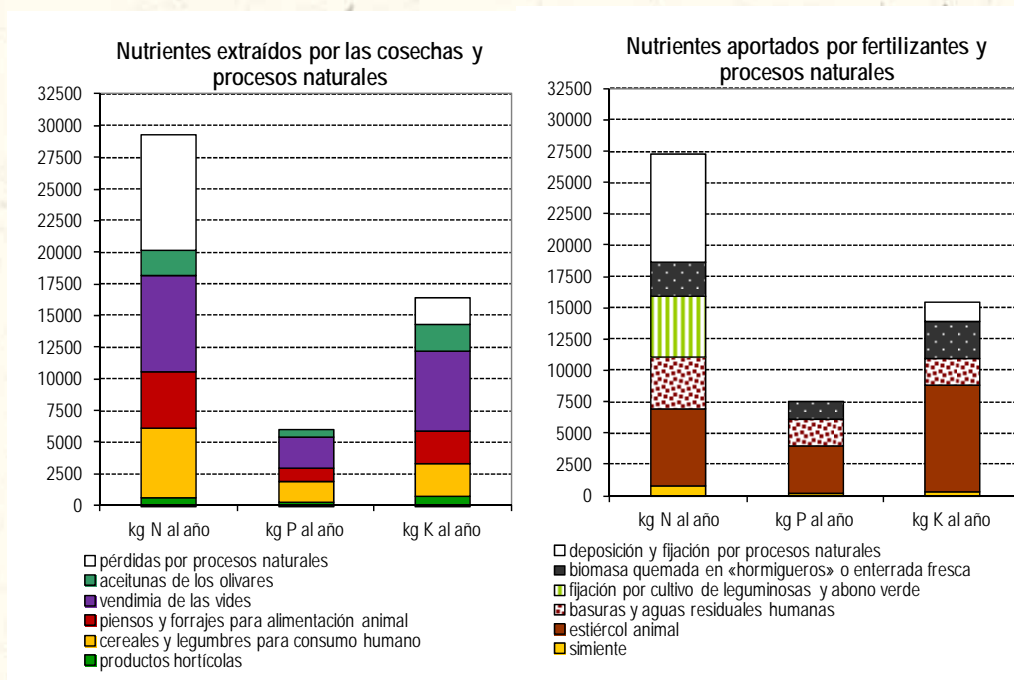


Figura 7. Resumen del balance de nutrientes en el municipio de Sentmenat (comarca del Vallès) hacia 1860. Fuente: Tello y otros (2012).

Para reponer el resto de nutrientes había que añadir al estiércol una gama mucho más amplia de métodos de fertilización: basuras y aguas residuales humanas, introducción de leguminosas y abonos verdes en las rotaciones de cultivos, quema en «hormigueros» de restos de poda y ramaje seco recolectados en áreas de bosque y matorral, o entierro de mantillo y otra biomasa fresca en zanjas cavadas entre hileras de cepas. Todas ellas tenían en común una elevada intensidad de trabajo, tal como lo ilustran las imágenes de la Figura 8:



Figura 8. Entierro de biomasa fresca en una zanja excavada entre vides (izquierda) y empleo de «hormigueros» como fertilizante (derecha). Fuente: Tello y otros (2012).

Además de su elevada intensidad de trabajo, hay otros dos aspectos clave de los complejos y variados métodos de fertilización practicados en aquel agro-ecosistema que movía cuantiosos flujos internos de biomasa reutilizada (*IFBR*): 1) la especialización vitícola desarrollada en el espacio cultivado – dado que la vid extraía menos nitrógeno por unidad de superficie que las tierras de pan llevar, y proporcionaba sarmientos como subproducto de la poda—; y 2) su dependencia de las áreas de bosque y matorral que debían aportar buena parte de los flujos de biomasa que se enterraba fresca o se quemaba seca en «hormigueros». Si, tal como indican las fuentes coetáneas, casi todo el estiércol disponible se aplicaba únicamente a las tierras de secano y regadío sembradas con cereales, legumbres y hortalizas, la densidad ganadera ascendería hasta 46 UG500 por kilómetro cuadrado de tierra de pan llevar, y la disponibilidad agregada de estiércol sería de 5,6 toneladas por hectárea de superficie sembrada, igualando –junto al cultivo de leguminosas y abonos verdes— las aplicaciones coetáneas entonces habituales en Europa occidental y septentrional. Pero eso también implicaría que el cierre del balance de nutrientes en el resto de cultivos leñosos habría dependido de las demás formas complementarias de fertilización vegetal –«hormigueros» y entierro de biomasa fresca—, que requerían del trabajo humano directo en vez del ganado para importar nutrientes desde las áreas incultas hacia las tierras de labor. Hay que tener en cuenta que en 1860 las vides (65,9%), olivos (7,0%) y otros cultivos leñosos (0,3%) ocupaban casi tres cuartas partes de la superficie cultivada en aquel municipio, y también que los patrones de cultivo diversificados de los medianos y grandes propietarios eran sustancialmente distintas de la especialización vitícola de los pequeños aparceros «*rabasaires*».⁴⁸

En conjunto, tal como se observa en el Gráfico 7, todas aquellas formas de reposición podrían haber alcanzado aún un precario equilibrio con los nutrientes extraídos del suelo. Sin embargo, tenemos serias dudas que tal cosa ocurriera realmente a escala de explotación y parcela cuando tomamos en cuenta el desigual acceso existente a los dos recursos clave para la reposición de nutrientes en aquel agro-ecosistema: el ganado y el bosque. Aquí topamos con una diferencia básica entre los balances de energía y de nutrientes en los sistemas agrarios. Mientras que para los retornos energéticos las propiedades emergentes de la integración territorial sólo pueden captarse adecuadamente con un análisis agregado a escala de paisaje, un balance de nutrientes sólo resulta concluyente cuando se puede garantizar que éstos retornan efectivamente a todas y cada una de las parcelas donde han sido previamente extraídos por los cultivos. En la Figura 9 observamos que en 1860 el 70% de las áreas de bosque, matorral y pasto de Sentmenat estaban en manos de los propietarios de más de diez hectáreas, mientras que un 79% del viñedo los poseían propietarios con menos de diez hectáreas:

⁴⁸ Garrabou y Tello, *Constructors de paisatges*, 2004; Garrabou, R. et al., *Intensificación del abonado*, 2010c; Garrabou y otros, 2008.

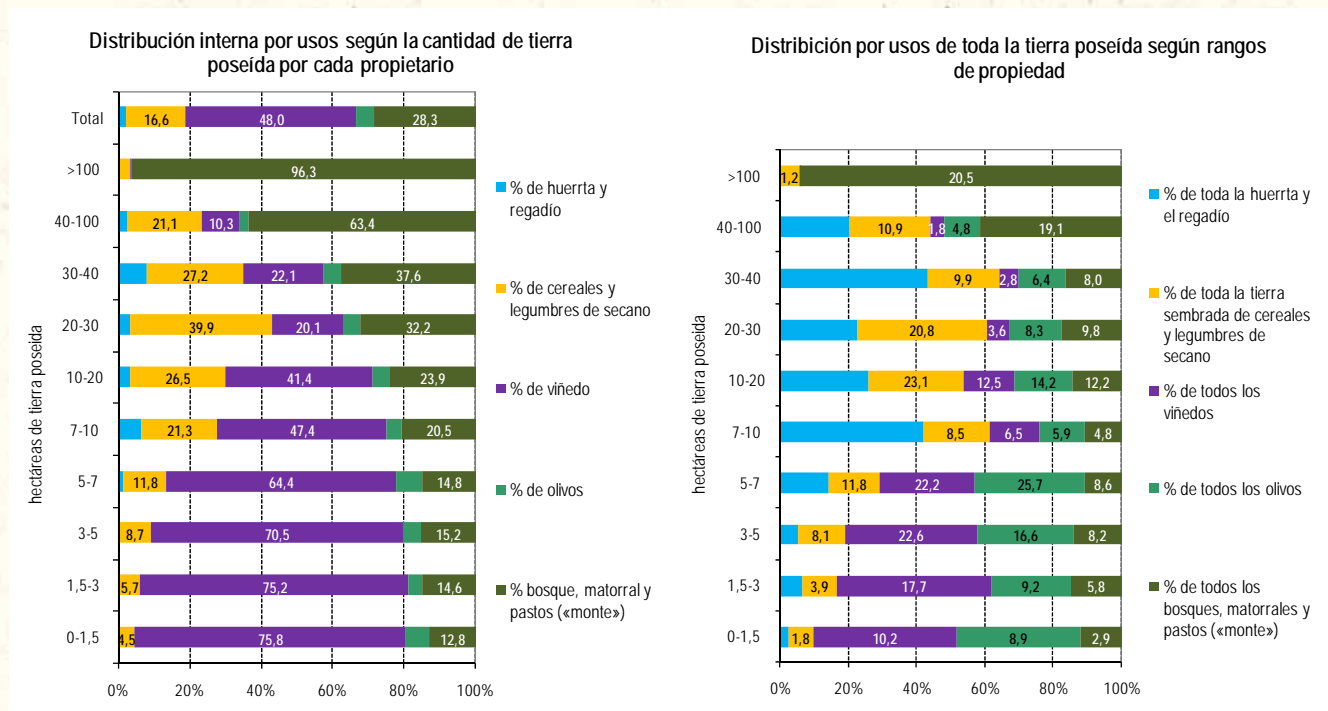


Figura 9. *El distinto perfil socioeconómico de los usos del suelo según rangos de propiedad de la tierra en Sentmenat en 1860.* Fuente: Garrabou y otros (2010b).

Si, tal como nos indican las fuentes coetáneas, suponemos que la práctica totalidad del estiércol se aplicaba en las tierras de huerta, regadío y secano sembradas de cereales y legumbres –que estaban en manos de los propietarios de más de diez hectáreas en un 64 y 66% respectivamente—, mientras que los pequeños viticultores dependían casi exclusivamente de los «hormigueros» y el entierro de biomasa fresca para fertilizar precariamente sus cultivos leñosos, entonces resulta muy relevante que los pequeños campesinos y aparceros con menos de diez hectáreas que cultivaban el 79% de los viñedos y el 66% de los olivos, sólo dispusieran en conjunto del 30% de las zonas incultas de «monte» del municipio.⁴⁹ A falta de biomasa forestal, sólo podían emplear para «hormigueros», o enterrar frescos en zanjas, los sarmientos y ramones de la poda. Además de competir con sus propias necesidades domésticas de combustible para cocinar y calentarse, el empleo de aquellas podas como fertilizante vegetal no suponía ninguna aportación neta de nutrientes (a diferencia de la biomasa forestal que los trasladaba de las áreas incultas a las cultivadas). Si enterraban la poda fresca en zanjas sólo estaban reduciendo las extracciones. Si la quemaban en «hormigueros», sólo estaban acelerando la mineralización de la materia orgánica ya existente en el suelo. En ambos casos cabe suponer que los nutrientes extraídos por los cultivos leñosos de los pequeños viticultores no se reponían en su totalidad. Estaríamos ante una situación donde era la desigualdad la que obligaba a practicar la minería de

⁴⁹ Garrabou, R. *et al.*, *Intensificación del abonado*, 2010c; Garrabou, R., y Planas, J. (eds). *Estudio Agrícola del Vallés, 1874* (Granollers: Museu de Granollers, 1998).

nutrientes del suelo y se convertía, por tanto, en una ‘patología socio-ecológica’, que es una situación ampliamente documentada para tiempos más recientes en muchos lugares de países del Sur.⁵⁰

Sabemos que aquel desigual acceso al bosque y los pastos no era un rasgo particular del municipio de Sentmenat o la comarca del Vallès. Tras vaciar el *Repartimiento Personal de la Riqueza Territorial* de la provincia de Barcelona publicado 1852, que incluye más de 86.000 contribuyentes en 295 municipios de los 311 existentes en la actualidad (lo que supone el 41% de todos los habitantes varones mayores de 21 años registrados en el censo de población de aquella provincia en 1857), hemos podido constatar que los niveles de desigualdad eran en efecto más altos en los municipios forestales que en los cerealícolas y vitícolas (Tabla 3).

Uso del suelo predominante	Índices de Gini de la valoración catastral de la riqueza rústica		Ratios de Extracción (ER) expresados como % de los índices de Theil de la distribución efectiva del ingreso agrario, en comparación con la Frontera de Máxima Desigualdad Posible (IPF) según la renta per cápita
	<i>promedio</i>	<i>mediana</i>	
Municipios con datos de uso del suelo en 1858	68,2	69,8	24,9
Municipios principalmente vitícolas	64,7	65,2	22,0
Municipios principalmente cerealícolas	69,1	69,9	25,2
Municipios principalmente forestales	70,1	72,0	25,0

Tabla 3. Niveles de desigualdad en la distribución de la riqueza o el ingreso agrícola según el uso predominante del suelo en los municipios de la provincia de Barcelona en 1852-1858. Fuente: Badia-Miró y Tello (en prensa).

Es muy probable que con los nutrientes del suelo ocurriera algo parecido a la propia alimentación humana: aunque de forma agregada hubiera capacidad de nutrición para todo el mundo, su desigual distribución comportaba que una parte de la población sufría desnutrición. Análogamente, también en una parte de los suelos cultivados se incurría en minería de nutrientes debido al desigual acceso a los recursos naturales. Aunque la confirmación de esa hipótesis para ámbitos territoriales mayores requiere aún mucho trabajo empírico y análisis histórico comparativo, hay indicios suficientes para pensar que el avance hacia la fertilización mineral o química, y la adopción de otros componentes del complejo tecnológico que hacia 1960 se le llamará Revolución Verde, se vio estimulada por una creciente

⁵⁰ González de Molina y Toledo, *Metabolismos, naturaleza e historia*, 2011; Boyce, J. "Is Inequality Bad for the Environment?" *Working Paper*, Political Economy Research Institute, University of Massachusetts Amherst, 135 (2007)

insostenibilidad de las agriculturas orgánicas tradicionales durante los años de la Primera Globalización del capitalismo liberal y la crisis agraria finisecular (1870-1930). Otros estudios en marcha del Laboratorio de Historia de los Agroecosistemas en la UPO de Sevilla han obtenido resultados similares, tanto para la reposición de nutrientes como en el estudio histórico de la erosión del suelo.⁵¹ Unos y otros estudios de caso coinciden en señalar la conexión entre la extensión y/o intensificación del cultivo, el creciente déficit de estiércol y otros fertilizantes orgánicos, y la deforestación que en España pudo haber alcanzado sus máximas cotas entre los años treinta y sesenta del siglo XX.⁵²

Nuestro pequeño ejemplo de la comarca del Vallès también nos indica, sin embargo, que conviene distinguir bien entre desafíos y respuestas. Una cosa es que aquellas agriculturas orgánicas preindustriales se aproximaran a ciertos límites de su propia sustentabilidad, o incluso los superaran, y otra que el avance hacia la Revolución Verde fuera la única e ineluctable salida a los dilemas que ello comportaba. Que la desigualdad nos aparezca como una de las principales fuerzas motoras de la dirección que finalmente adoptó la transición socio-ecológica, o que la continuidad de las formas tradicionales de fertilización vegetal alternativas al estiércol se pusiera en cuestión con el proceso de convergencia entre los salarios agrícolas e industriales de aquel período, son factores que invitan a buscar una interpretación histórica más multicriterial, matizada y compleja.⁵³

Es interesante constatar, en ese aspecto, que todos los agrónomos influyentes de aquel período crítico recomendaron insistentemente combinar la introducción de fertilizantes de origen mineral o químico con el estiércol, los abonos verdes y otras formas de fertilización vegetal dentro de un sistema de manejo que mantuviera la diversidad de rotaciones y tipos de cultivo dentro de un paisaje en mosaico integrado.⁵⁴ De hecho, el rasgo más distintivo del cambio agrario experimentado en la primera mitad del siglo XX fueron aquellos intentos de coexistencia entre el manejo agroecológico múltiple e integrado y la adopción selectiva de los primeros ingredientes del complejo tecnológico de la Revolución Verde.⁵⁵ Ello

⁵¹ Vanwallegghem, T. *et al.* "Quantifying the Effect of Historical Soil Management on Soil Erosion Rates in Mediterranean Olive Orchards," *Agriculture, Ecosystems & Environment* 142, 3-4 (2011): 341-351; Gonzalez de Molina, M. *et al.* "Claves del crecimiento agrario: la reposición de la fertilidad en la agricultura andaluza de los siglos XVIII y XIX," en Garrabou, R. y González de Molina, M. (eds.). *La reposición de la Fertilidad en los Sistemas Agrarios Tradicionales* (Barcelona: Icaria, 2010), 127-170.

⁵² Schwarzmüller, E. "Human Appropriation of Aboveground Net Primary Production in Spain, 1955-2003: An Empirical Analysis of the Industrialization of Land Use," *Ecological Economics*, 69, 2 (2009): 282-291; Tello, E. y Sudrià, C. (eds.). *El Valor Geográfico de España (1921), Emilio Huguet Del Villar* (Barcelona: Universitat de Barcelona/Centre d'Estudis Antoni de Capmany, 2010), 202; Cervera, T.; Garrabou, R. y Tello, E. "Grandes tendencias de la política forestal y la evolución de los bosques en Cataluña desde el siglo XVIII hasta la actualidad," *Investigaciones de Historia Económica*. (de próxima publicación)

⁵³ Garrabou y Tello, 2002.

⁵⁴ Aguilera, *Teoría y Práctica de los Abonos*, 1906; Cascón, *El Estiércol y La Alimentación Animal*, 1918; Soroa, J. M. *Catecismo del Agricultor y el Ganadero nº 10. Los abonos baratos* (Barcelona: Espasa Calpe, 1934); Sunyer, P. *La configuración de la ciencia del suelo en España, 1750-1950* (Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1996); Tello y Sudrià, *El Valor Geográfico de España*, 2010.

⁵⁵ (Garrabou y otros, 2010)

suscita una ulterior pregunta: ¿por qué se abandonaron aquellos intentos de coexistencia entre manejo orgánico e industrial de 1960 en adelante?

Aunque la respuesta requiere de nuevo mucha investigación empírica que está aún por hacer, las Figuras 3, 4 y 5 pueden ayudarnos a desvelar un mecanismo subyacente de cierto interés en ese aspecto. Los dos agro-ecosistemas allí representados pueden ser vistos como ejemplos de la posible existencia de un par de situaciones 'atractoras' opuestas a lo largo del recorrido histórico de la transición socio-ecológica de los sistemas agrícolas orgánicos tradicionales a los industriales de la segunda mitad del siglo XX. Por 'situación atractora' entendemos aquí un conjunto de relaciones históricamente establecidas entre los flujos socioeconómicos (por ejemplo, la estructura de precios relativos de los factores y bienes agrícolas, reforzados por los marcos institucionales vigentes y las políticas públicas) y el perfil socio-metabólico de sus flujos biofísicos. Aquella conjunción entre los funcionamientos socioeconómico y agroecológico de los agro-ecosistemas dio lugar a trayectorias históricas que resultaron más probables que otras situaciones también posibles. Eso no implica que las sociedades no pudieran superar tales situaciones 'atractoras', moviéndose hacia perfiles energéticos y funcionamientos agroecológicos más eco-eficientes y sostenibles. Pero para lograrlo debían cambiar aspectos clave de aquel nexo de relaciones subyacentes entre el funcionamiento agroecológico y sus fuerzas motoras socioeconómicas.

Si esa hipótesis es cierta, deberíamos poder constatarlo también a través de un análisis de clúster aplicado a la representación tridimensional de los perfiles energéticos del funcionamiento biofísico de un conjunto de sistemas agrícolas situados en distintos momentos históricos de aquella transición socioecológica, como vimos en la Figura 4. La existencia de tales 'situaciones atractoras' ya ha sido sugerida por otros investigadores y desde otras perspectivas. Mario Giampietro ha señalado que detrás de ellas podemos descubrir algunas propiedades básicas de la dinámica de los agro-ecosistemas.⁵⁶ Una vez que los sistemas agrícolas crecientemente industriales comenzaron a buscar una mayor productividad de la mano de obra y/o un mayor rendimiento de la tierra a través del recurso a insumos externos procedentes directa o indirectamente de los combustibles fósiles, ello les indujo también a extender los monocultivos y reducir la reutilización de biomasa. Como eso implicaba una reducción de la complejidad de los agro-ecosistemas, que degradaba los servicios internos de regulación y control proporcionados por la diversidad biológica, se requería, a su vez, sustituirlos por otros artefactos tales como pesticidas y mayor trabajo mecánico, que aumentaban las entradas de inputs externos de nuevo procedentes directa o indirectamente de combustibles fósiles.⁵⁷ Este tipo de bucle condujo hacia sistemas de manejo de la tierra crecientemente desintegrados que desplazaron el perfil energético de los

⁵⁶ Giampietro, *Socioeconomic constraints*, 149.

⁵⁷ *Ibid*, 159.

sistemas agrícolas posteriores a la Revolución Verde hacia una combinación característica de baja eficiencia externa (*EFEROs*), sólo parcialmente compensada por un mayor retorno interno (*IFEROs*) derivado del abandono de las reutilizaciones que requerían un uso integrado y eficiente del territorio, dando finalmente paso a la gran pérdida en el *EROI* final conjunto típica de los agro-ecosistemas industriales de la segunda mitad del siglo XX.

Si estamos en lo cierto, también podríamos conjeturar que las situaciones intermedias de coexistencia entre manejos orgánicos e industriales pueden volver a resultar poco estables y duraderas en futuras transiciones socioecológicas. Cuando las entradas externas necesarias para proseguir o incluso mantener la trayectoria energéticamente ineficiente de la agricultura industrializada dejen de estar disponibles a bajo precio, o cuando nuevos campesinos agroecológicos decidan no seguir ese camino para buscar formas de agricultura más sustentables, deberán ser capaces de soportar no sólo los costes crecientes de mano de obra requeridos para aumentar los flujos internos de biomasa reutilizados (*IFBR*), sino también el consiguiente coste 'territorial de sostenibilidad' necesario para sacarles todo su provecho en la mejora de la fertilidad natural del suelo y la biodiversidad de los agro-ecosistemas. Esa 'maldición de Adán', por así decirlo, comportará una tendencia a la baja del retorno energético de los flujos internos de los agro-ecosistemas (*IFERO*) que deberá ser compensado por el ahorro de insumos externos para aumentar la eficiencia externa (*EFERO*), y poder obtener por esa vía un mayor *EROI* final conjunto acorde tanto con el nuevo contexto de suministro energético más caro como con el logro de una mayor calidad y resiliencia ambiental. Esa dinámica les conducirá probablemente de nuevo a la característica combinación de alto rendimiento externo (*EFERO*) –propio de una estrategia de manejo *LEIT*— y menor retorno interno (*IFERO*) que hemos encontrado en los sistemas agrícolas orgánicos del pasado. Tal como Mario Gimapietro y Kozo Mayumi han sugerido, las dinámicas conducentes a una u otra 'situación atractora' proceden probablemente del nexo establecido entre el funcionamiento agroecológico adaptativo de los flujos biofísicos del propio sistema agrario, y la asignación de los flujos de dinero por las sociedades humanas dentro de una economía de mercado con una estructura cambiante de precios relativos de bienes y factores de producción.⁵⁸

Del estudio de los flujos biofísicos al funcionamiento ecológico de los paisajes: la gran ruptura socio-metabólica de la Revolución Verde

La interpretación agroecológica e histórica que hemos esbozado de la transición socioecológica desde las agriculturas orgánicas preindustriales hacia la agricultura plenamente industrializada predominante durante la segunda mitad del siglo XX conlleva una importante implicación desde el punto de vista de la dinámica de sistemas complejos. Dicha transición supuso un profundo cambio *sistémico*, que ha modificado enteramente el funcionamiento y la dinámica evolutiva de la interacción socio-

⁵⁸ Gimapietro and Mayumi, *A Dynamic Model of Socioeconomic Systems*, 1997.

metabólica de la sociedad humana con el resto de la naturaleza. Aunque dicha transición pudo comenzar a partir de la modificación de ciertos componentes y flujos biofísicos clave de los agro-ecosistemas, como por ejemplo la abertura de una brecha socio-metabólica en la reposición de nutrientes, la profunda transformación que ha comportado no se manifestaría en todas sus dimensiones hasta que la transición afectara aquellos nexos sistémicos que relacionan los flujos energéticos y materiales de su funcionamiento con las pautas territoriales de manejo del suelo, el ganado, el agua o el propio trabajo humano al verse progresivamente condicionados por la dinámica de los mercados.⁵⁹

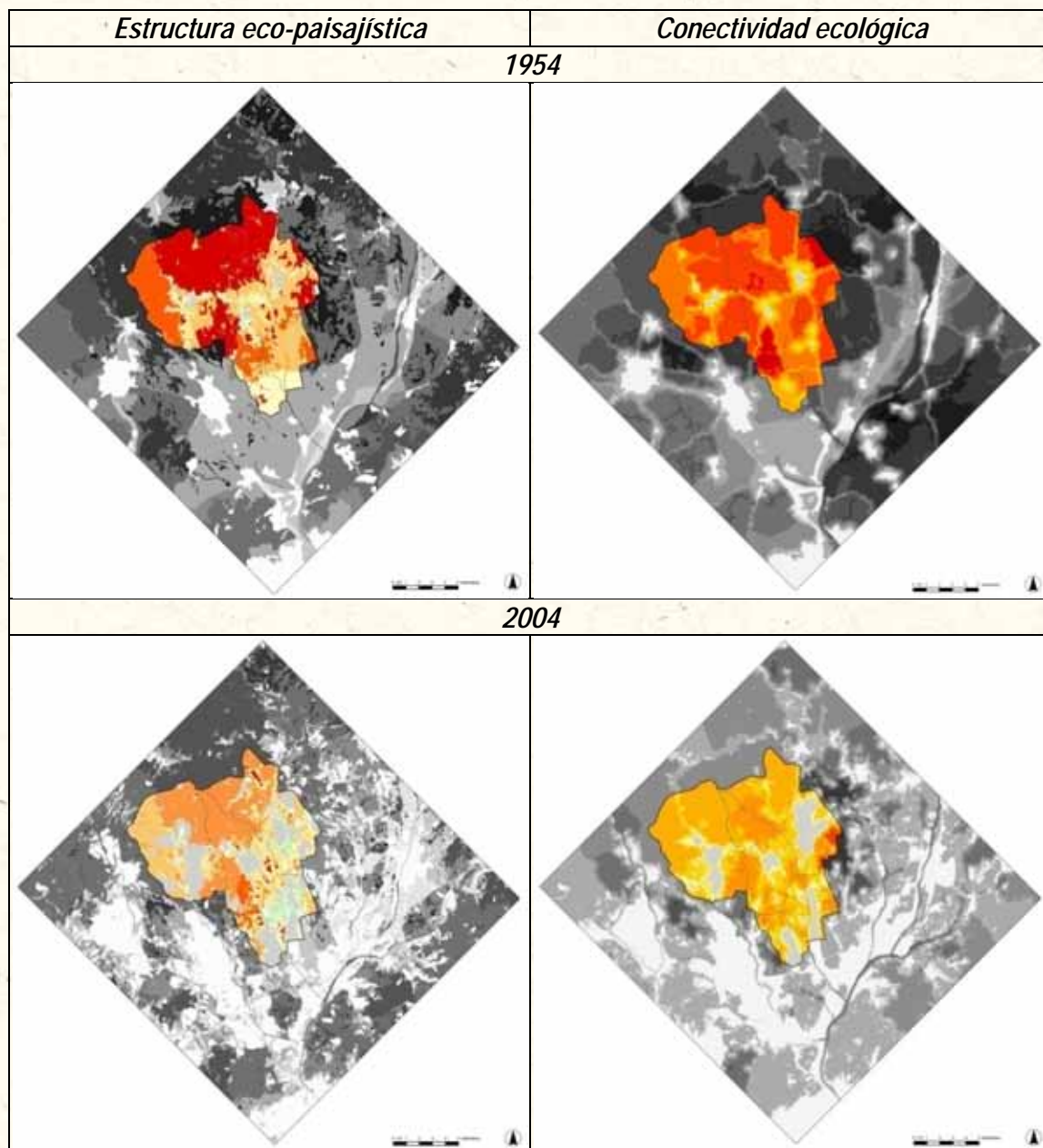
De lo anterior se deriva que la transición socioecológica debió transcurrir por diversas etapas, y sus efectos sólo comenzarían a manifestarse en momentos distintos y a escalas diversas cuando se fueron alterando sucesivamente aquellos nexos sistémicos básicos que tratamos de identificar. Del mismo modo que ciertas propiedades emergentes de ese funcionamiento sistémico únicamente pueden apreciarse a ciertas escalas como la del paisaje, es lógico pensar que la transformación de aquellos paisajes culturales en mosaico que habían generado históricamente las formas tradiciones de manejo orgánico sólo comenzaría a apreciarse en toda su magnitud en un momento bastante avanzado de la transformación socio-metabólica, cuando la modificación de los flujos energéticos internos y externos o el cambio del sistema de manejo de la fertilidad y las dotaciones hídricas comportaran una desintegración de gran calado entre sus componentes territoriales.⁶⁰ Eso explica que a escala de paisaje los efectos de la transformación socio-metabólica hacia formas industrializadas de manejo sólo se empezaran a percibir claramente en el funcionamiento ecológico desde mediados de los años 1950 en adelante.

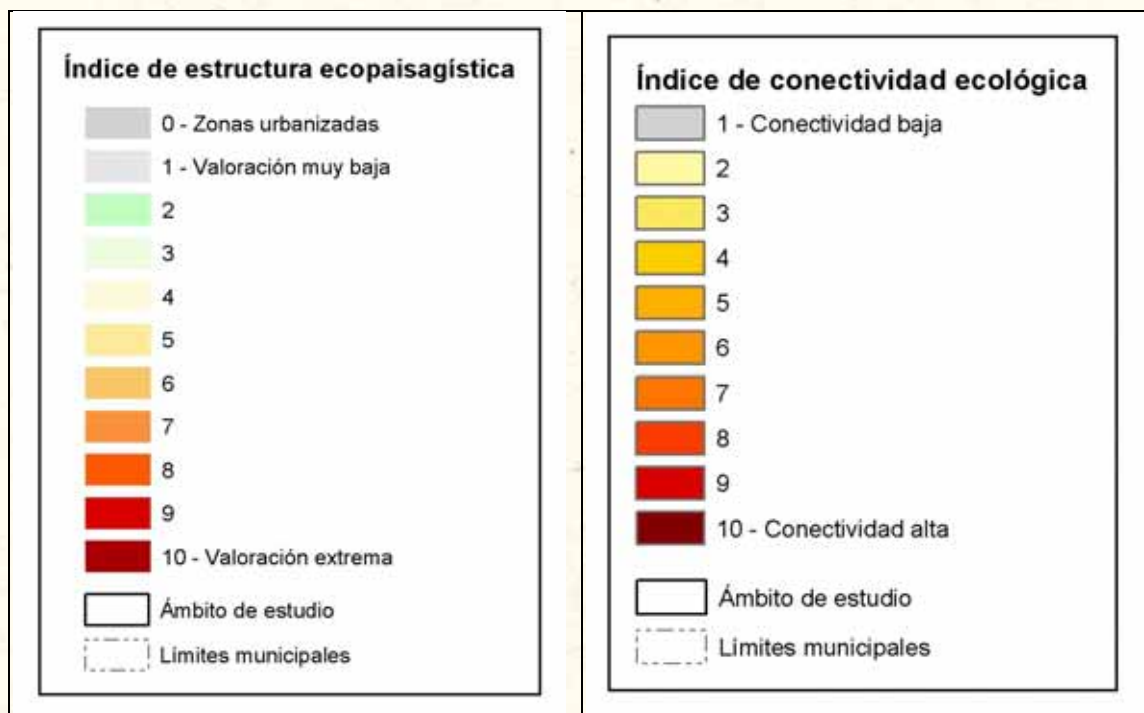
Ese supuesto, al que llegamos desde el análisis agroecológico de los flujos energéticos y materiales de los sistemas agrarios, coincide de momento con los resultados obtenidos con la reconstrucción mediante SIG de los mapas catastrales de uso del suelo disponibles, y la aplicación a los mismos de métricas e índices de ecología del paisaje. Así, por ejemplo, en el mismo caso de estudio de la comarca catalana del Vallès hemos podido constatar cómo el abandono de las reutilizaciones, y del manejo integrado del agro-ecosistema que requerían, ha provocado durante la segunda mitad del siglo XX –junto al avance de la urbanización y el trazado de infraestructuras lineales— un desquiciamiento territorial de los flujos biofísicos del metabolismo social que, al globalizarse y depender de los combustibles fósiles baratos, han devenido indiferentes al entorno que atraviesan generando una drástica reducción de conectividad ecológica y la capacidad de acoger biodiversidad de los paisaje agrarios del

⁵⁹ Foster, J. B. "Marx's Theory of Metabolic Rift: Classical Foundations for Environmental Sociology," *American Journal of Sociology*, 105, 2 (1999): 366-405; _____ *La ecología de Marx: materialismo y naturaleza* (Barcelona: El viejo Topo, 2004); Moore, *Environmental Crisis*, 2000.

⁶⁰ Parcerisas, L. *et al.* "Land Use Changes, Landscape Ecology and Their Socioeconomic Driving Forces in the Spanish Mediterranean Coast, El Mareşme County, 1850," *Environmental Science & Policy*, 23 (2012): 120-132.

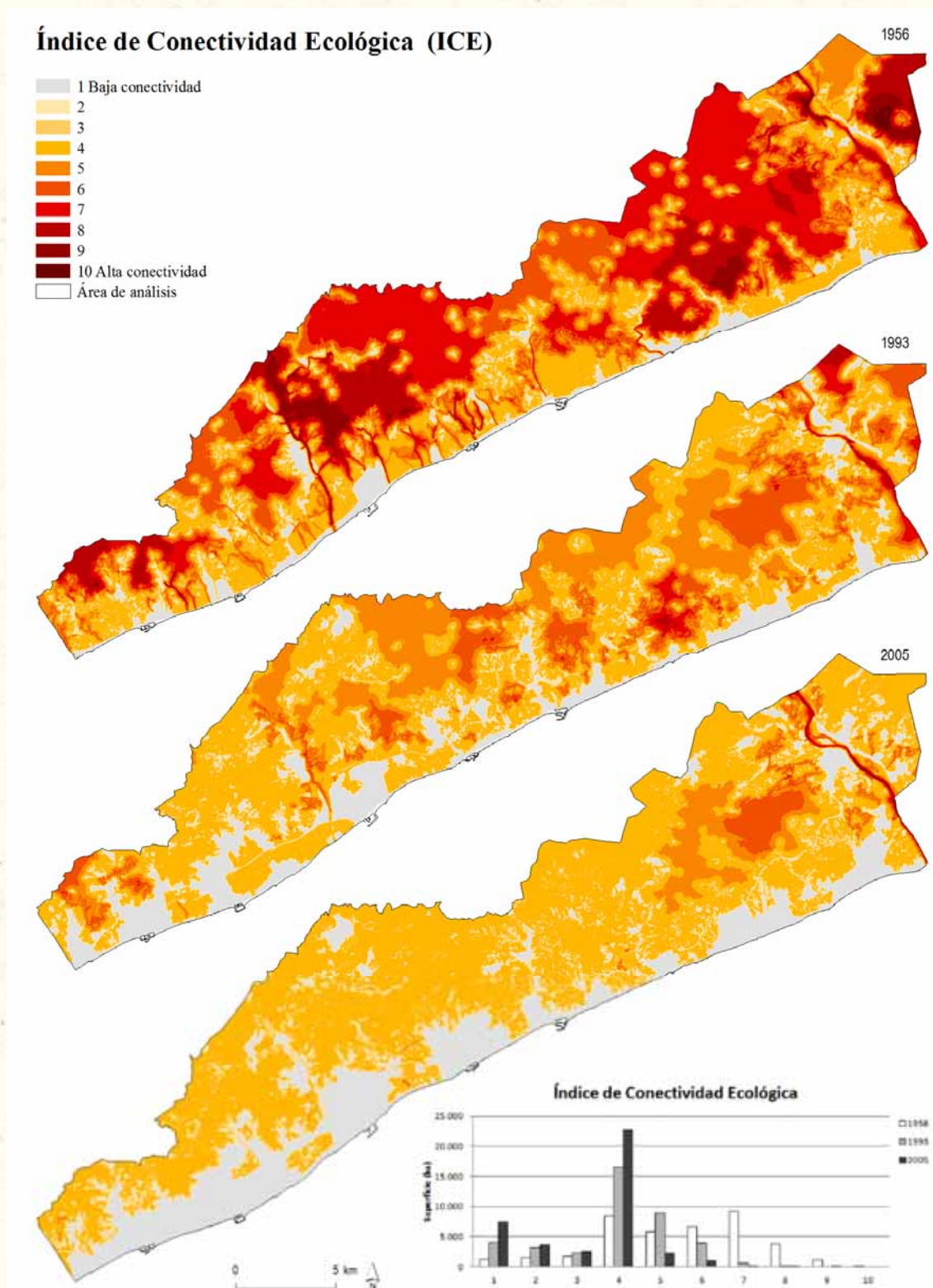
Vallès y (Mapa 1): Mapa 1. El cambio de las pautas estructurales y el funcionamiento ecológico de los paisajes agroforestales de la comarca catalana del Vallès (1954-2004).





Fuente: Tello y otros (2008), Marull y otros (2010). Las zonas en color se han obtenido a partir de cartografía catastral, y las que están en blanco y negro por fotointerpretación de las imágenes del vuelo americano de 1956 o las imágenes vía satélite actuales.

Es importante subrayar que ese deterioro ecológico lo han generado tanto la intensificación desarrollada en algunas cubiertas del suelo hasta límites insostenibles, como el abandono de la intervención humana en muchas otras zonas. Su conjunción ha provocado la pérdida de los anteriores paisajes en mosaico, tal como la hipótesis de Ramon Margalef sintetizada en la Figura 1 hacía prever. Estamos encontrando pautas muy similares en otros casos de estudio, tal como puede observarse en el conjunto de comarca litoral del Maresme entre 1956, 1993 y 2005 (Mapa 2):

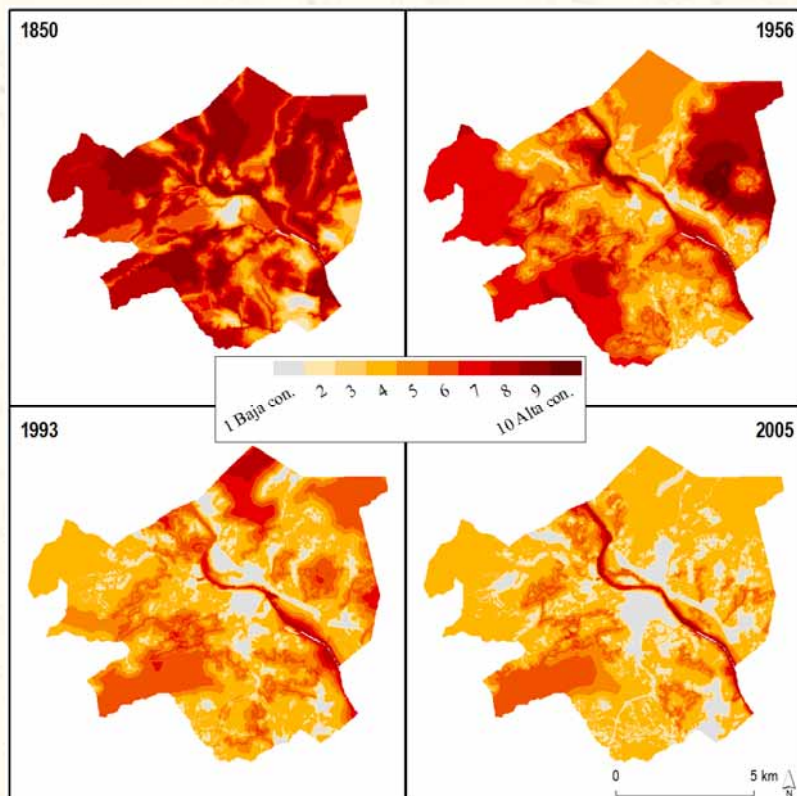


Mapa 2. La pérdida de conectividad ecológica en los paisajes agro-forestales de la comarca catalana del Maresme (1956, 1993 y 2005).

Fuente: Parcerisas y otros (2012).

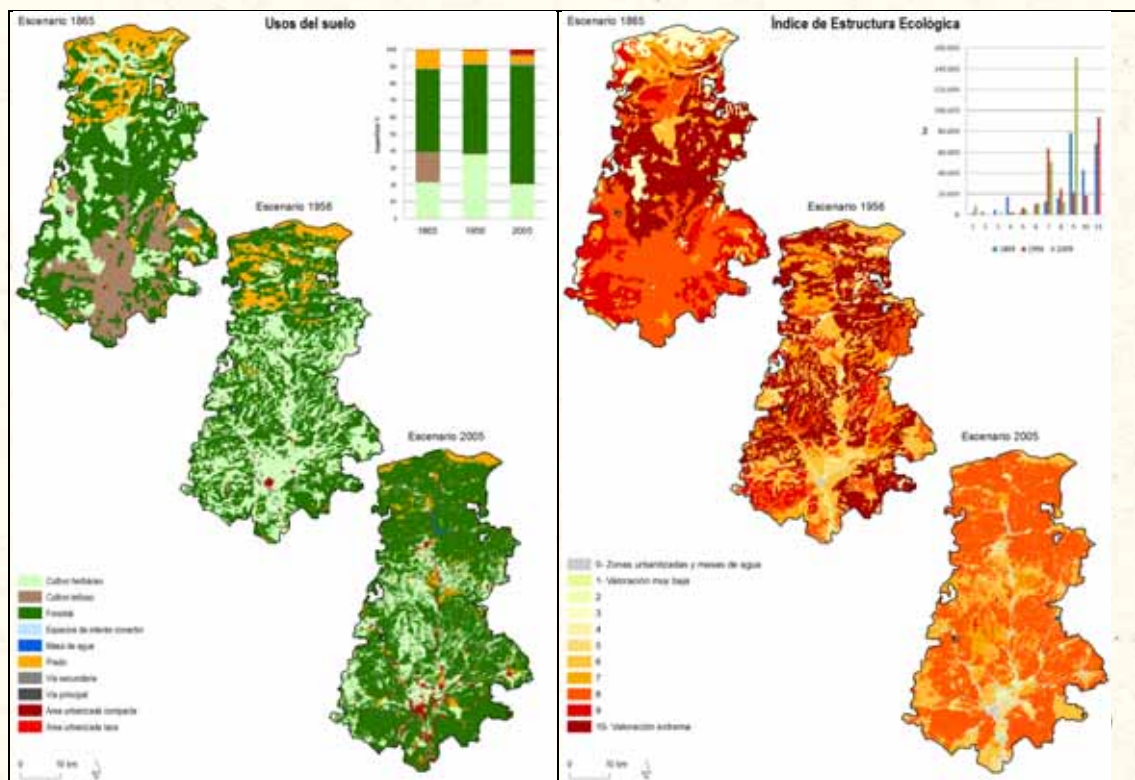
En la sección nororiental de esa comarca, atravesada por el valle del río Tordera, es posible retrotraer el análisis de la conectividad ecológica hasta mediados del siglo XIX, lo que permite comprobar

que las modificaciones registradas entre 1850 y 1956 fueron mucho menores en comparación a la gran transformación acaecida durante la segunda mitad del siglo XX (Mapa 3):



Mapa 3. Evolución de la conectividad ecológica en los paisajes agro-forestales en el valle del río Tordera en la comarca catalana del Vallès (1850, 1956, 1993 y 2005). Fuente: Parcerisas y otros (2012).

Resultados similares se obtienen en ámbitos mayores cuando disponemos de cartografía histórica para llevarlos a cabo, como en el conjunto de las comarcas del Bages y el Bergadà situadas al norte de la provincia de Barcelona siguiendo el eje del río Llobregat hasta su cabecera pirenaica –donde tradicionalmente se encontraban los pastos de verano de los ganados trashumantes— (Mapa 4):



Mapa 4. Evolución de los usos del suelo y el índice de estructura ecológica en los paisajes agro-forestales de las comarcas catalanas del Bages y el Bergadà (1865, 1956 y 2005).

Fuente: en curso de elaboración por Teresa Cervera, Joan Pino, Joan Marull y otros.

Conclusión: un programa de investigación con una metodología histórica transdisciplinar

Los primeros estudios de caso realizados, que hemos empleado aquí como ejemplos, nos han servido tanto para perfilar las hipótesis interpretativas esbozadas como para poner a prueba la metodología necesaria para contrastarlas en el futuro a través de un conjunto de bases de datos suficientemente amplias, diversas y multi-escalares. Se trata, en realidad, de una combinación de métodos provenientes de distintas disciplinas. Partiendo del tipo de información biofísica y socioeconómica con la que están acostumbrados a trabajar los historiadores agrarios y económicos, o de los mapas catastrales históricos, las fotografías aéreas y las imágenes actuales de cubiertas del suelo obtenidas vía satélite empleadas por la geografía histórica y los programas de investigación del cambio ambiental global (*Land Cover & Land-Use Change, LULCC*), nuestro proyecto combina tres tipos distintos de bases de datos. Por un lado, convertimos la información biofísica primaria sobre superficies, producciones, inputs o rendimientos en balances de energía y nutrientes de los sistemas agrarios estudiados empleando para ello nuestro propio programa informático MENBAS (*Manager of Energy and Nutrient Balances of Agricultural Systems*). Eso nos permite obtener su perfil socio-metabólico, evaluar si se reponían o no los nutrientes del suelo, y calcular sus distintas tasas de retorno energético (*EROIs*) identificando además las vías más factibles o improbables de mejora de la eficiencia energética del agro-ecosistema (Figura 9).

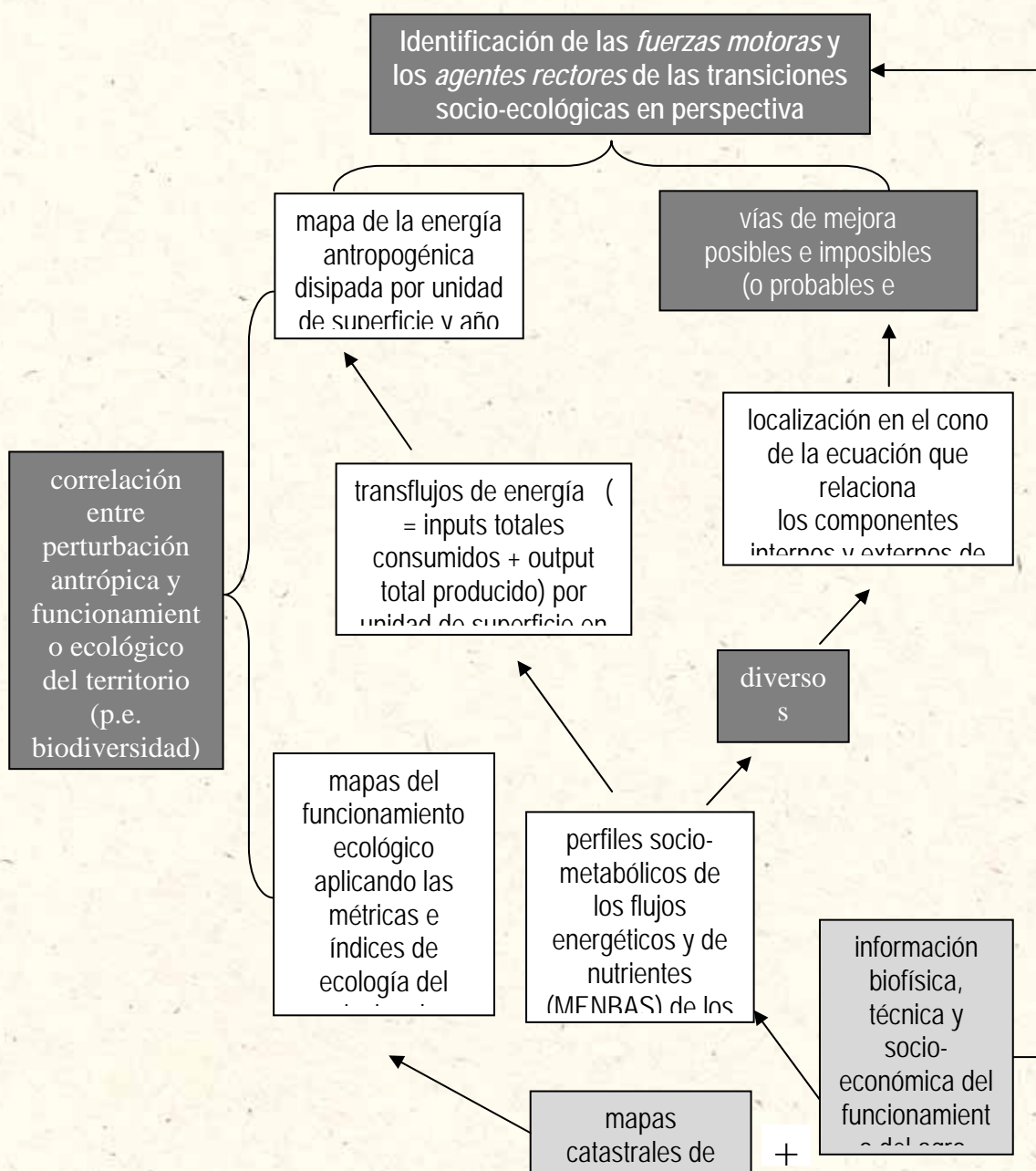


Figura 9. Esquema metodológico del proyecto «Sistemas agrarios sustentables y transiciones en el metabolismo agrario» en Cataluña y Mallorca (ordenado de abajo arriba). Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los mapas de uso del suelo o las fotografías aéreas se digitalizan y analizan mediante SIG para obtener, además de los mapas corrientes de usos y cubiertas del suelo en cada corte temporal, los mapas correspondientes del funcionamiento ecológico de aquellos mosaicos agroforestales aplicándoles distintas métricas o índices de ecología del paisaje. La combinación de ambas estrategias de investigación desarrolladas en paralelo –la obtención de los balances energéticos y los

mapas de funcionamiento ecológico de los mismos agro-ecosistemas— permite ponerlas en relación para analizar los paisajes culturales entendidos como una expresión territorial del funcionamiento cambiante de un determinado metabolismo social.⁶¹ Nuestro proyecto quiere ahondar aún más en ese nexo para llegar a poner a prueba empíricamente la hipótesis de Ramon Margalef, antes expuesta, sobre la relación no lineal entre los niveles o formas que adquiere la disipación antrópica de energía y el funcionamiento ecológico del territorio donde se produce. Los balances energéticos permiten asignar a cada uso del suelo de cada agro-ecosistema un transflujo total de energía por unidad de superficie, que es posible etiquetar después como información en las unidades de paisaje de los mapas digitales de uso de suelo para generar otra cartografía de la energía antropogénica disipada por unidad de superficie y año. A través de una retícula, será posible calcular a continuación en cada celda los valores medios de aquella disipación antrópica de energía en el mapa energético, y de los índices o métricas de ecología del paisaje en el mapa de funcionamiento ecológico, para finalmente correlacionarlos después en un gráfico como el presentado hipotéticamente en la Figura 1.

Cada uno de esos resultados (*EROIs*, balance de nutrientes, mapas de cubiertas del suelo y funcionamiento ecológico, correlación entre disipación de energía antrópica y biodiversidad), tomados por separado, ya tienen mucho interés en sí mismos para la investigación en agroecología, economía ecológica e historia ambiental. Sin embargo, nuestro propósito último es relacionarlos entre sí, y con los datos socioeconómicos sobre la estructura de la propiedad y el acceso a los recursos naturales, el marco institucional vigente, la evolución de los precios relativos de bienes y factores en los mercados, y las políticas públicas aplicadas en cada momento histórico, para acabar construyendo una interpretación histórica multidimensional de las fuerzas motoras y los agentes rectores de la transformación socio-ecológica. Por *fuerzas motoras* entendemos aquellas que nos explican básicamente *cómo* y *cuándo* se iniciaron dichas transiciones. Por *fuerzas rectoras* entendemos aquellas que nos explican principalmente *quiénes* las llevaron a cabo, y *para qué* o *para quien* les imprimieron la trayectoria específica que condujo finalmente hasta nuestro insostenible presente.

Es en esa interpretación final de la *conducción* de los procesos de cambio donde pensamos que la desigualdad social jugó un papel particularmente relevante, al exacerbar los desequilibrios agroecológicos emergentes y sesgar a través de los conflictos sociales y su resolución política las respuestas concretas que se acabaron adoptando. Cuando dispongamos de bases de datos y resultados suficientes para llevarla a cabo, esa integración entre los aspectos socioeconómicos y agroecológicos podrá darse de dos formas distintas. Una consiste en estudiar cada dimensión por sí misma, en sus propios términos y con sus indicadores específicos, para relacionarlos después entre sí con distintos métodos estadísticos –desde la estadística puramente descriptiva hasta distintos modelos de regresión

⁶¹ Marull *et al.*, *Social metabolism*, 2010.

múltiple, o empleando modelos ABM basados en la acción de los individuos o grupos sociales—, tal como hemos comenzado a hacer con el estudio de caso de la comarca del Maresme.⁶² Otra consiste en abandonar las cifras medias en el cómputo de los flujos y balances de materiales y energía de los sistemas agrarios, para empezar a construir perfiles socio-metabólicos de las distintas clases o grupos sociales de una comunidad rural. Es decir, comenzar a pensar y expresar la desigualdad social también desde el punto de vista de nuestra permanente relación de intercambio coevolutivo con la naturaleza.⁶³

⁶² Parcerisas *et al.*, *Land use changes*, 2012.

⁶³ González de Molina y Toledo, *Metabolismos, naturaleza e historia*, 2011.