

Los paisajes agrícolas, forestales y ganaderos: una herencia histórica (1850-2000)

Resumen

Los paisajes agrarios tradicionales en mosaico, que tanto apreciaba el ecólogo catalán Ramón Margalef por su capacidad de acoger biodiversidad, eran resultado de la energía y la información movidas por el trabajo campesino. Con la industrialización de la agricultura y el abandono de una gestión integrada del territorio, esos mosaicos agroforestales y ganaderos se están desvaneciendo. La pérdida de esta importante herencia biocultural pone en riesgo los servicios ecosistémicos claves que se necesitan en un mundo sometido a un cambio ambiental global incierto.

Abstract

The traditional landscape mosaics which the Catalan ecologist Ramon Margalef praised for its ability to host biodiversity were the result of the energy and information driven by the labour performed by peasants. After the industrialization of agriculture and the abandonment of an integrated land management, these mosaics of agro-forest and pastureland patches are fading out. The loss of this important bio-cultural heritage threatens key ecosystem services needed in a world subject to the uncertainties of a global environmental change.

El paisaje agrario: una herencia biocultural

Existen diversas maneras de entender un paisaje, todas ellas legítimas y útiles en su propio contexto. Por ejemplo, El Convenio Europeo del Paisaje aprobado por el Consejo de Europa en el año 2000 lo define como *«cualquier parte del territorio tal como la percibe la población, cuyo carácter sea el resultado de la acción y la interacción de factores naturales y/o humanos»*

Sin embargo, los paisajes que ahora vemos son resultado de una larga historia de interacción de las comunidades humanas con la naturaleza. Algunas huellas de esta historia quedan impresas en su seno, convirtiéndose en partes visibles de su identidad como lugar. Y esto no sólo en cuanto a la parte arquitectónica del patrimonio edificado, también en la disposición de la población y el parcelario agroforestal y ganadero que da lugar a una determinada estructura de cubiertas vegetales del suelo. En gran parte del territorio, la principal impronta humana proviene de la actividad agraria. A menudo cuesta reconocer este hecho, dado que normalmente nuestra mirada se desplaza a lo largo de infraestructuras de comunicación lineales que unen los núcleos residenciales y los polígonos industriales, haciéndonos sobrestimar el espacio que realmente ocupan. Incluso en un continente tan densamente poblado y repleto de actividad económica como Europa, estas áreas urbano-industriales ocupan menos del 5% del territorio, mientras que los mosaicos agroforestales abarcan el 84% (European Environmental Agency, 2006). Es evidente que donde nos jugamos el buen o mal estado ecológico del territorio es, principalmente, en aquellos mosaicos agroforestales con una larga historia detrás.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) ha puesto en marcha la identificación y catalogación de los llamados *«Sistemas Ingeniosos del Patrimonio Agrícola Mundial»* (GIAHS por *Globally-important Ingenious Agricultural Heritage Systems*), entendiéndolos como *«Sistemas destacables de uso de la tierra y paisajes ricos en diversidad biológica, de importancia mundial, que evolucionan a partir de la coadaptación de una comunidad con su ambiente y sus necesidades y aspiraciones, para un desarrollo sostenible»*. Esos paisajes «ingeniosos» devienen un recurso vital en un mundo sometido a un cambio ambiental global cada vez más

incierto.¹ Pero no siempre los convenios e iniciativas públicas para defender el paisaje como un bien común tienen en cuenta la importancia de la herencia biocultural que contienen (Agnoletti, 2006, 2014). Una interesante excepción es Italia, donde se ha creado un *Osservatorio Nazionale del Paesaggio Rurale, delle Pratiche Agricole e Conoscenze Tradizionali*. Tras publicar un primer volumen de paisajes rurales históricos de interés (Agnoletti, 2013), está evaluando las iniciativas locales para incluirlas en un registro del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Bosques.²

Admitir el carácter histórico de los paisajes culturales implica entenderlos y valorarlos, para lo cual se requiere una nueva aproximación analítica biocultural, capaz de combinar las herramientas de las ciencias naturales y sociales. Lejos de adoptar una visión folklorista rígida, esa perspectiva agroecológica de la conservación de los paisajes pone en el centro una interpretación dinámica, holística y transformadora de la acción humana sobre el territorio. Podríamos decir que entiende el paisaje como un resultado siempre cambiante del trabajo de la gente con la naturaleza, que genera una determinada configuración espacial de cubiertas del suelo donde todas las otras especies pueden encontrar su hábitat, proporcionándonos los servicios ecosistémicos derivados de la biodiversidad (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). En palabras de la FAO, se trata de sacar a la luz la herencia biocultural del paisaje que *«Permite a los agricultores nutrir y adaptar los sistemas y la biodiversidad que han creado, al tiempo que se ganan la vida. Da apoyo a las políticas públicas de protección, y a los incentivos para la conservación de la biodiversidad in situ y de los conocimientos tradicionales. [...] Requiere enfoques que integren la conservación in situ de los recursos genéticos con el conocimiento tradicional y las tecnologías locales asociadas, para garantizar la coadaptación continua a entornos variables y a presiones humanas, manteniendo las dinámicas evolutivas de las especies agrícolas en los lugares humanos y agroecológicos donde han evolucionado»*.³

¹ Véase su sitio <http://www.fao.org/giahs/giahs/en/> (accedido el 4/07/2016).

² Véase su sitio <http://landscapeunifi.it/it/registro-nazionale-paesaggi-rurali-storici> (accedido el 04/07/2016).

³ Véase su sitio <http://www.fao.org/giahs/giahs/en/> (accedido el 04/07/2016).

Pero, ¿qué quiere decir *conservar un paisaje*?

Identificar y caracterizar estos paisajes dotados de una importante herencia biocultural es una tarea compleja, que requiere un gran esfuerzo de investigación interdisciplinaria en el marco de la nueva ciencia de la sostenibilidad. Dentro de esta perspectiva dinámica y holística hay todavía bastantes debates abiertos, que requieren más y mejor investigación. Uno de ellos, muy relevante para nuestro tema, es el dilema surgido en la biología de la conservación entre seguir con un enfoque de lo que se llama «*land sparing*» –es decir, que la concentración de mucha perturbación humana en una determinada parte del territorio puede valer la pena si permite dejar otra parte del mismo libre para la conservación—; o bien adoptar el nuevo planteamiento del «*land sharing*» –es decir, reconocer que la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos dependen del estado ecológico del territorio como un todo (Marull et al., 2015 [y](#) 2016)—, desarrollando una agricultura, una ganadería y una silvicultura ambientalmente amigables con el resto de especies naturales («*wildlife-friendly farming*»)⁴.

Tras esta controversia científica, que conlleva importantes dilemas para la formulación de políticas públicas, se encuentran también numerosos contrastes entre los rasgos biogeográficos de la cubierta terrestre, entre diversos patrones de poblamiento humano y diferentes trayectorias socioecológicas, junto con distintas tradiciones culturales y científicas. Esto tiene mucho que ver, por ejemplo, con tratar la naturaleza y la agricultura como enemigos, o como aliados en la tarea de mejorar los servicios ecosistémicos de los agroecosistemas; o con concebir a los seres humanos como separados de la naturaleza, en lugar de verlos como componentes propios de los ecosistemas. Incluso quienes tratan de combinar ambos enfoques de la conservación admiten que es necesario un gran paso adelante en la investigación sobre cómo se mantiene la biodiversidad en los diferentes patrones de paisaje, y cómo las pautas espaciales de las cubiertas del suelo afectan a los procesos ecológicos que se desarrollan en ellos.

⁴ La bibliografía que debería citarse aquí, tanto para este debate como respecto a la Hipótesis de la Perturbación Intermedia, supera ampliamente el espacio disponible. Se puede encontrar en Marull et al. (2015 [y](#) 2016).

Desde la visión del «*land sharing*» el objetivo es, por lo tanto, conservar y mejorar el estado ecológico de toda una matriz territorial heterogénea, capaz de mantener una gran diversidad de cubiertas del suelo, hábitats y especies. La idea básica es que la heterogeneidad de cubiertas ofrece hábitats diferenciados para las distintas especies que viven en su interior (*inner species*), y también más ecotonos de transición aprovechados por otras especies que viven en los márgenes (*edge species*). Las poblaciones de cada especie serán menores que las que se encuentran en paisajes más homogéneos, pero el resultado será una mayor interacción de un número mayor de especies que comparten un mismo espacio. Esto significa un alto grado de biodiversidad, siempre y cuando las poblaciones de cada especie no se reduzcan hasta el punto de resultar amenazada su reproducción; y también, siempre y cuando no se interpongan barreras que las aislen. Así pues, cuando la heterogeneidad del paisaje conlleva un aumento de su complejidad ecológica manteniéndose la conectividad, y evitando una fragmentación excesiva, permite aumentar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del territorio.

El punto clave es que la heterogeneidad y complejidad ecológica de los paisajes agrosilvopastorales en mosaico son resultado de determinadas formas de intervención humana en el medio. Emergen de una interacción biocultural, que comporta un cierto grado de perturbación antrópica sin la cual no habría paisajes agrarios. Para entender cómo pueden ser capaces –en ciertos casos– de aumentar en lugar de reducir la biodiversidad, conviene relacionar el estudio de los paisajes culturales con una cuestión también muy debatida en ecología de la conservación: la llamada Hipótesis de la Perturbación Intermedia (*IDH* por sus siglas en inglés), una de las explicaciones de no-equilibrio de la existencia misma de la biodiversidad en los ecosistemas. Mientras algunas voces sugieren aplicar la *IDH* a las perturbaciones originadas por la agricultura, la silvicultura y la ganadería, hay otras que proponen abandonarla, ya que los resultados empíricos encontrados hasta ahora no siempre son concluyentes. Bastantes autores sugieren mantener la *IDH* como marco general de referencia, y centrar la investigación en el desarrollo de modelos más claros y pruebas más precisas de los mecanismos

subyacentes que pueden dar lugar a una correlación con forma de joroba entre la intensidad de perturbaciones ecológicas y la riqueza de especies.

En el marco de ese debate en torno a la IDH existe un creciente consenso en destacar las discontinuidades ecológicas espaciales que generan oportunidades de dispersión para una amplia gama de colonizadores –ya vengan de los espacios menos alterados o de los más perturbados— como mecanismo clave que evita la exclusión competitiva, y mantiene un pico de biodiversidad dinámica en los niveles intermedios de perturbación ecológica. Es decir, las partes menos perturbadas pueden preservar la «memoria ecológica» necesaria para que la reserva de especies del paisaje pueda desarrollar una respuesta adaptativa a las perturbaciones. Esto pone el acento en el componente espacial de la diversidad biológica, y en la interacción entre perturbaciones y diversidad de cubiertas del suelo, sacando a la luz el papel de la gestión agroecológica del territorio en la prestación de servicios ecosistémicos. También ayuda a entender por qué la heterogeneidad espacial de la matriz territorial puede incrementar la complejidad de los ecosistemas y su resiliencia ante la acción humana.

Todo esto avala la gran intuición de Ramón Margalef, cuando señalaba que los mosaicos agrícolas y forestales tradicionales eran un excelente instrumento de conservación (Margalef, 1993, 2006; Tello, 2013). Muchos trabajos recientes reconocen que los sistemas agrícolas orgánicos mantienen mosaicos complejos de usos del suelo, mientras que la industrialización de la agricultura ha generado paisajes agrarios cada vez más simples y homogéneos. Las cubiertas del suelo se han polarizado entre monocultivos intensivos en los suelos más planos y profundos, y la reforestación por abandono de suelos con mayor pendiente (Marull et al., 2010).

El cambio socioecológico en cuatro municipios del Vallés (1860-2000)

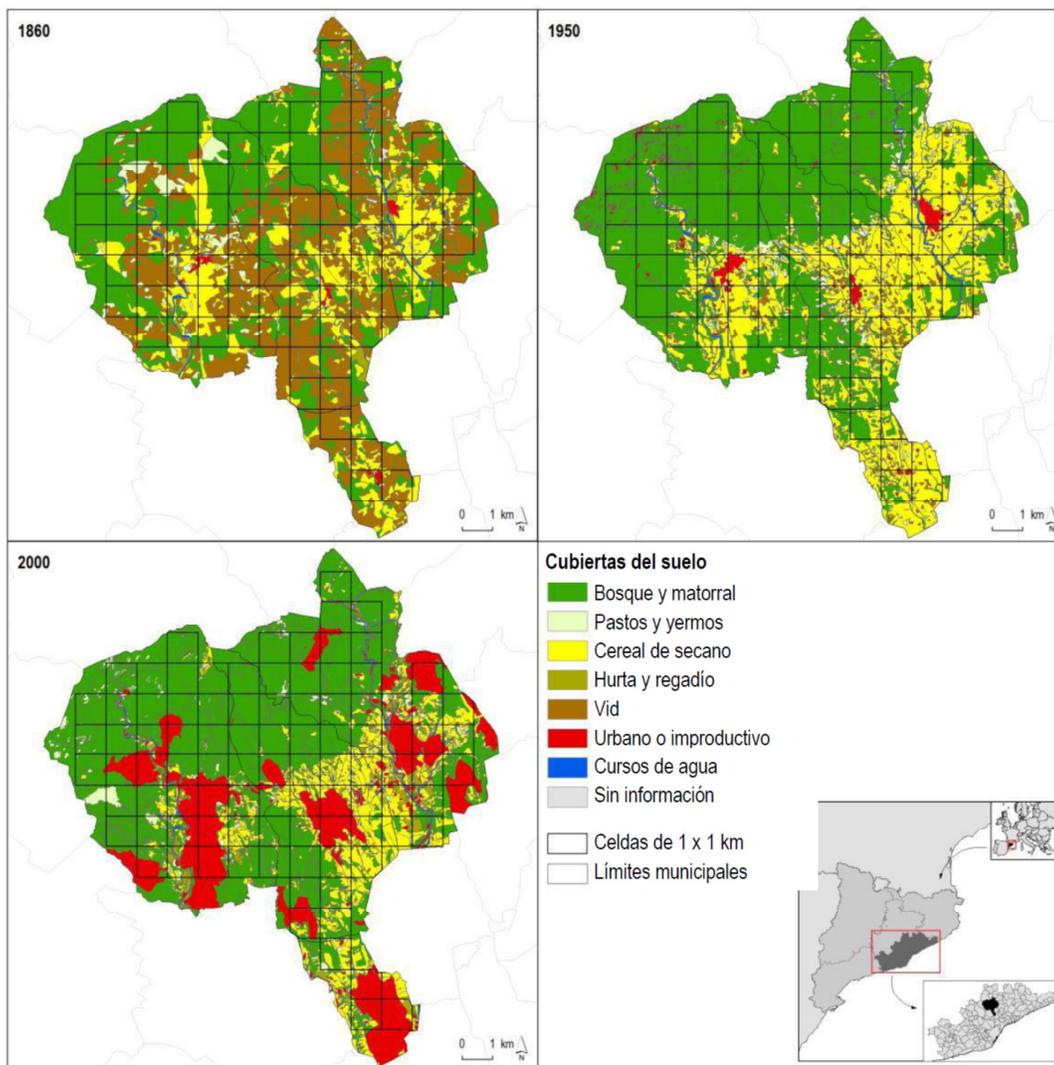


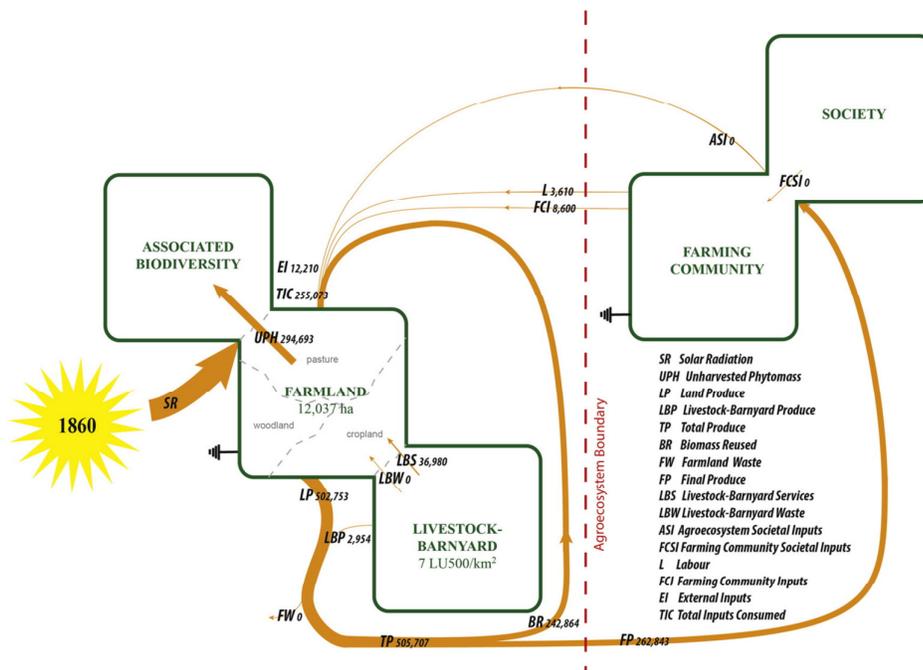
Figura 1. Localización y mapas de usos del suelo en Castellar del Vallés, Sentmenat, Polinyá y Caldes de Montbui alrededor de los años 1860, 1956 y 2000. Fuente: Marull et al. (2016)

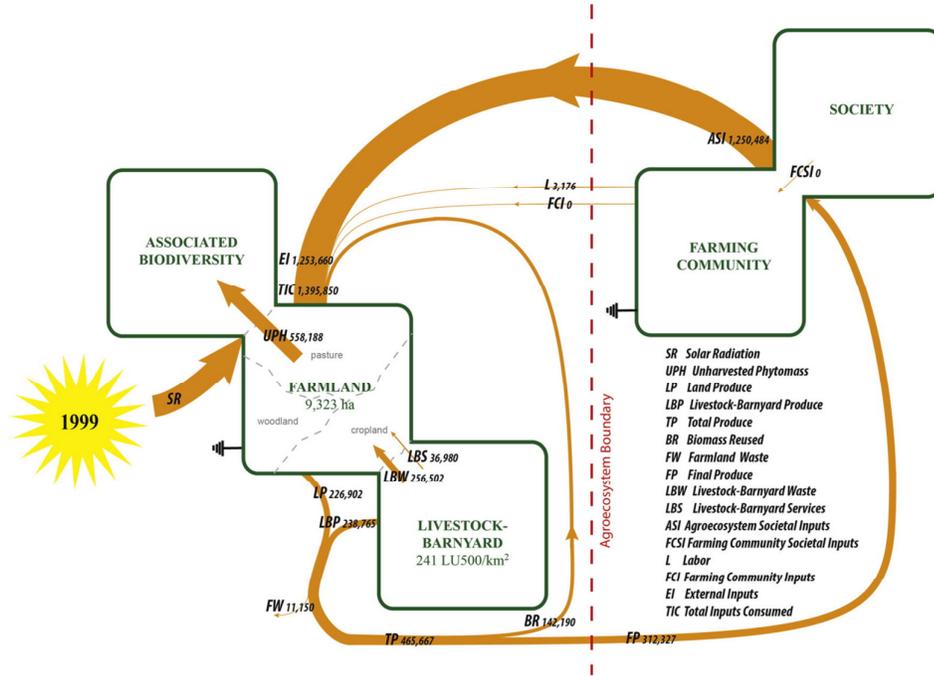
Para poner a prueba esta hipótesis analizaremos los flujos de energía movidos por los sistemas agrarios de cuatro municipios del Vallés central (Castellar del Vallés, Sentmenat, Polinyá y Caldes de Montbui) alrededor de los años 1860 y 1999-2000, y los relacionaremos con la diversidad de cubiertas del suelo en sus paisajes culturales.

Queda patente cómo de un paisaje agrario en mosaico –que tanto apreciaba Ramón Margalef— hemos pasado a una fuerte disyuntiva entre monocultivos trigueros que subsisten en la llanura vallesana alrededor de los nuevos bloques habitacionales y los polígonos industriales, por un lado, y zonas de ladera abandonadas y reforestadas, por otro lado (Figura 1).

Un modelo que une la energía con la información y la diversidad del paisaje

Podemos ver estos paisajes como el resultado de la energía y la información invertidas a través del trabajo agrario, cuando la gestión del territorio corría principalmente a manos de los campesinos de las masías entre 1860 y 1956, o cuando la población agrícola de esas masías ha perdido después aquella función, y la actividad agraria ha sido cada vez más industrializada y económicamente marginal (Marull et al., 2010). En la Figura 2 observamos las grandes diferencias entre el perfil energético del sistema agrario existente por los alrededores de 1860, en una agricultura todavía de base orgánica, y la agricultura industrial surgida de la llamada Revolución Verde desde la década de 1960 hasta ahora:



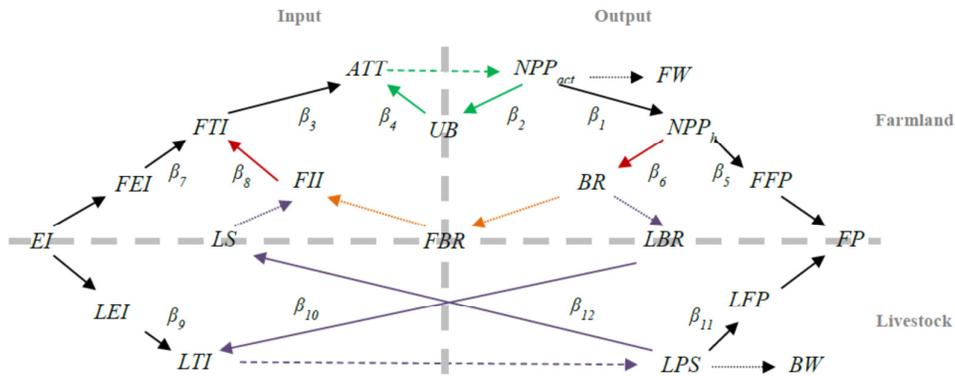


Concepto	Definición	1860	1999
Retorno final de la energía externa invertida (<i>EFEROI</i>)	$EFEROI = \frac{FP}{EI}$	21, 53	0, 25
Retorno final de la energía internamente reutilizada (<i>IFEROI</i>)	$IFEROI = \frac{FP}{BR}$	1,08	2, 20
Retorno final de la energía total invertida, interna o externa (<i>FEROI</i>)	$FEROI = \frac{FP}{EI + BR}$	1,03	0, 22
Retorno en producción fotosintética de la energía invertida (<i>NPP EROI</i>)	$NPP EROI = \frac{NPP}{EI + BR}$	3,13	0, 56

Figura 2. Principales flujos, bucles y rendimientos energéticos del agroecosistema en el área de estudio del Vallés alrededor de los años 1860 y 1999. Fuente: Tello et al. (2015)

La agricultura orgánica de 1860 buscaba reutilizar el máximo de flujos biofísicos internos con el objetivo de ahorrar inputs externos. Esa estrategia de baja dependencia exterior obtenía una Tasa de Retorno Energético Final (*FEROI*) próxima a la unidad, y un rendimiento por unidad de trabajo y otros factores externos superior a once (*EFEROI*). Por el contrario, la agricultura industrializada actual gasta una cantidad de energía externa en forma de piensos importados, fertilizantes, pesticidas, electricidad y combustibles fósiles que es hasta cuatro veces más grande que el contenido energético del producto final obtenido (*FEROI*). Esta dependencia de inputs externos conlleva un desinterés por mantener las reutilizaciones internas, por lo que el retorno energético respecto de los inputs internos (*IFEROI*) es ahora superior al de 1860. Este abandono de las reutilizaciones internas es importante ya que, como dicen Mario Giampietro, Kozo Mayumi y Alevgul Sorman (2013:142), «*Un rasgo fundamental de los agroecosistemas es que una cierta cantidad de los flujos de biomasa obtenidos del suelo es reutilizada dentro del sistema de usos del suelo como una inversión en el mantenimiento de sus bienes fondo y servicios básicos*». Dejar de hacerlo supone invertir menos materiales, energía e información en el mantenimiento del paisaje agrario.

Esto permite sacar a la luz los mecanismos que interrelacionan la forma y el grado de perturbación humana con el estado ecológico del paisaje agrario resultante (Marull et al., 2010, 2015 y de próxima publicación). Sin embargo, el perfil energético que hemos sintetizado en la Figura 2 presenta algunos problemas a la hora de interrelacionar ambas cosas con mayor precisión. La aritmética de un balance energético implica perder la especificidad del lugar donde transcurre cada flujo al efectuar la agregación que permite calcular inputs, outputs y retornos (*EROIs*). Esa misma agregación aritmética también impide representar contablemente el cierre completo de los ciclos internos («*turnover*») sin incurrir en una doble contabilización. Por esta razón, a pesar de seguir basándonos en el balance energético de la Figura 2, hemos optado por otro tipo de representación: el análisis de grafos, que describe la circulación de energía en un agroecosistema como una red de nodos conectados por vectores (Figura 3):



Variables: Actual Net Primary Production (NPP_{act}); Unharvested Biomass (UB); Harvested Net Primary Production (NPP_h); Biomass Reused (BR); Farmland Biomass Reused (FBR); Livestock Biomass Reused (LBR); Farmland Final Produce (FFP); External Input (EI); Farmland External Input (FEI); Livestock External Input (LEI); Livestock Total Input (LTI); Livestock Produce and Services (LPS); Livestock Final Produce (LFP); Livestock Services (LS); Final Produce (FP); Agro-ecosystem Total Turnover (FTT); Farmland Total Input (FTI); Farmland Internal Input (FII). β_i 's are the incoming-outgoing coefficients.

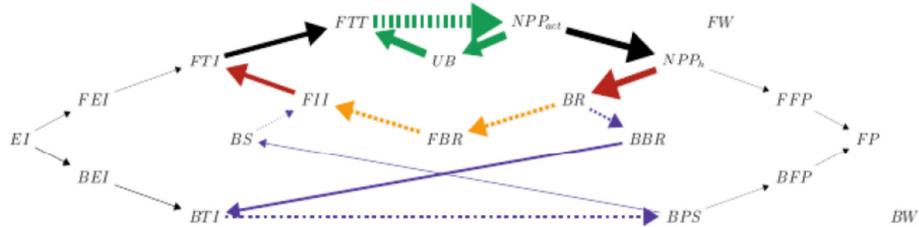
Relationships between variables: $NPP_{act} = UB + LP$; $NPP_h = BR + FFP$; $BR = FBR + LBR$; $EI = FEI + LEI$; $LTI = LEI + LBR$; $LPS = LP + LS$; $FP = FFP + LFP$; $ATT = FTI + UB$; $FTI = FII + FEI$; $FII = FBR + LS$.

Figura 3. Modelo de Grafo de los flujos biofísicos portadores de energía que fluyen en un agroecosistema que combina componentes agrícolas, forestales y ganaderos. Fuente: Marull et al. (2016)

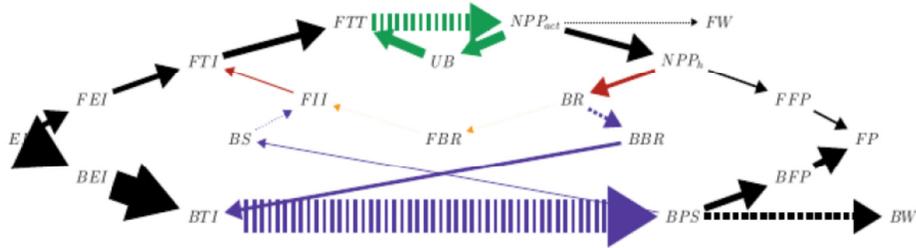
Partiendo de la Producción Primaria Neta llevada a cabo por la fotosíntesis en el área de estudio, cada nodo recibe un flujo de energía y lo transforma en dos vectores energéticos (dejando de lado el caso especial de los residuos que se pierden por el camino). Un vector sale fuera del sistema y otro permanece dentro. El grafo permite representar las interrelaciones entre los bienes fondos básicos del agroecosistema (el suelo fértil, distinguiendo los usos forestales y agrícolas, y la cabaña ganadera) de tal forma que pueden ser asociadas a cada tipo de cubierta del suelo. También permite calcular las proporciones (β_n) con que cada flujo de llegada a un nodo se subdivide entre los que salen del agroecosistema (las β_n con valores impares), y los que permanecen (las β_n con valores pares en la Figura 3). Considerando el agroecosistema como una estructura disipativa (Prigogine, 1997), estas proporciones permiten calcular la cantidad de energía no disipada que permanece en el sistema dentro del espacio temporal

considerado (un año). Ampliando cada vector proporcionalmente a la cantidad de energía que fluye por él, podemos representar los grafos correspondientes a los dos tipos de agroecosistema que comparamos: la explotación agraria orgánica tradicional de 1860 y la agricultura industrial de 1999 (Figura 4):

a) Área de estudio del Vallés 1860:



b) Área de estudio del Vallés 1999:



Variables: Actual Net Primary Production (NPP_{act}); Unharvested Biomass (UB); Harvested Net Primary Production (NPP_h); Biomass Reused (BR); Farmland Biomass Reused (FBR); Livestock Biomass Reused (LBR); Farmland Final Produce (FFP); External Input (E); Farmland External Input (FEI); Livestock External Input (LEI); Livestock Total Input (LTI); Livestock Produce and Services (LPS); Livestock Final Produce (LFP); Livestock Services (LS); Final Produce (FP); Agro-ecosystem Total Turnover (ATT); Farmland Total Input (FTI); Farmland Internal Input (FII).

Figura 4. Modelo de Grafo de los flujos biofísicos portadores de energía que fluyen en un agroecosistema que combina componentes agrícolas, forestales y ganaderos. Fuente: Marull et al. (2016).

Los valores de cada vector de la Figura 4 se pueden especificar para cada cubierta del suelo que se encuentra interrelacionada con otras en un paisaje cultural. Esto permite calcular dos variables para cada una de las celdas de una malla de 1x1 km (Figura 1): la cantidad de energía no disipada (E) por unidad de superficie que

permanece temporalmente almacenada, y el Índice de Shannon que mide la diversidad de cubiertas que contiene (L). Aún podemos calcular una tercera variable: aplicando nuevamente el Índice de Shannon, pero esta vez a la equidiversidad de los flujos que permanecen en el interior o salen al exterior del grafo, podemos medir la cantidad de información (I) contenida en esos vectores energéticos. De acuerdo con un supuesto básico de la Teoría de la Información, si la energía se concentra únicamente en una parte reducida del grafo (Figura 4b) será fácil prever de antemano su comportamiento. Cada nuevo evento que acontecerá resultará muy previsible y nos transmitirá poca información. Por el contrario, si la energía fluye equidistribuída por todos los vectores y nodos del grafo (Figura 4a), será más difícil prever con antelación cómo se comportará la estructura disipativa del agroecosistema, y cada nueva ocurrencia de un evento nos transmitirá más información.

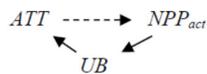
Estamos hablando de *cantidad* de información, no de su significado o calidad. Sin embargo merece la pena introducir esta tercera variable ya que desde la termodinámica y la teoría de sistemas sabemos que la mera disipación de energía nunca genera por sí sola una estructura capaz de reproducirse y evolucionar (Prigogine, 1997). Según el principio de Morowitz (2002), las estructuras vivas emergen cuando los flujos de energía se cierran sobre sí mismos en un espacio determinado, y permiten reducir la entropía interna a costa de aumentar la externa. Como explicó Margalef (1993:79-103), esto sólo es posible si una parte de la energía disipada genera la información necesaria para reproducir la estructura, aumentar la complejidad y –en sus propias palabras–, «*escribir la historia*» (Tello, 2013:200). Es la interacción entre energía e información lo que permite generar estructuras auto-reproducibles complejas.

Aplicando estos fundamentos teóricos a la conformación de paisajes bioculturales, llegamos a una consideración muy importante. Gracias a la información que contienen, los flujos energéticos que recorren el agroecosistema (Figuras 2 y 3) pueden *imprimir* un paisaje cultural y mantenerlo. De este modo, cuando medimos la cantidad de información contenida en un paisaje, estamos hablando de algo específico de un lugar. Se trata de una información cultural que permanece ligada al territorio, incorporada a su estructura de cubiertas del suelo. Cuanto mayor sea la información,

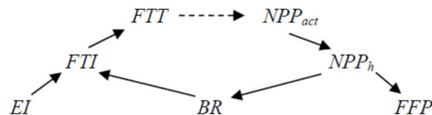
más complejo será el paisaje. El hecho de que la cantidad de información contenida en el paisaje de 1860 sea mayor que en el 2000 no quiere decir, claro está, que el funcionamiento de la agricultura industrial requiera menos conocimiento que un sistema agrario tradicional. A buen seguro incorpora mucha más a través de las tecnologías y patentes que hay tras la fabricación y venta de maquinaria, fertilizantes sintéticos, tratamientos agroquímicos, etc. Sin embargo, toda esta información no permanece ya *dentro* del territorio de nuestra área de estudio. Se ha convertido en externa al propio paisaje en el mismo sentido que el enorme flujo energético externo del que depende (Figura 2).

Si observamos la estructura de los grafos (Figuras 3 y 4), veremos que integran tres bucles sucesivos: 1) el forestal, por medio del cual una fracción de la Producción Primaria Neta de la fotosíntesis es directamente apropiada para usos humanos; 2) el agrícola, donde el trabajo humano ha de asumir la reposición de nutrientes del suelo y las semillas para mantener la fertilidad de los cultivos; y 3) el ganadero, que se nutre de los otros dos, devolviéndoles nutrientes y fuerza motriz (Figura 5):

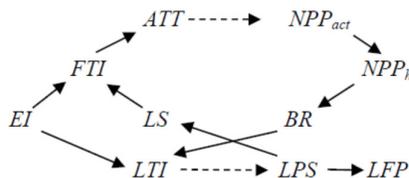
a) Subsistema forestal



b) Subsistema agrícola



c) Subsistema ganadero



Variables: Actual Net Primary Production (NPP_{act}); Unharvested Biomass (UB); Harvested Net Primary Production (NPP_h); Biomass Reused (BR); Farmland Biomass Reused (FBR); Livestock Biomass Reused (LBR); Farmland Final Produce (FFP); External Input (EI); Farmland External Input (FEI); Livestock External Input (LEI); Livestock Total Input (LTI); Livestock Produce and Services (LPS); Livestock Final Produce (LFP); Livestock Services (LS); Final Produce (FP); Agro-ecosystem Total Turnover (ATT); Farmland Total Input (FTI); Farmland Internal Input (FII).

Figura 5. Descomposición del modelo de Grafo de los flujos biofísicos portadores de energía que fluyen en un agroecosistema entre sus componentes forestal, agrícola y ganadero. Fuente: Marull et al. (2016)

Nadie que conozca el funcionamiento agrario, ya sea desde un punto de vista teórico, práctico o histórico, dudará que manejar un sistema mixto agrosilvopastoral como el representado en las Figuras 3 y 4 requiere más conocimientos que únicamente retirar leña y madera del bosque, cultivar cereales o criar ganado, cuando estas actividades se llevan a cabo separadamente (subsistemas a, b y c de la Figura 5). Esta es otra forma, más empírica, de entender por qué podemos adoptar la equidistribución de los flujos energéticos que interconectan los componentes de un agroecosistema como un indicador aproximado de la cantidad de información que contienen.

El cambio del modelo de energía-información-paisaje en el Vallés (1860-2000)

Los resultados obtenidos con este modelo que conecta la energía con la información y la diversidad de cubiertas del paisaje (*ELIA* por sus siglas en inglés) encajan bien con la Hipótesis de la Perturbación Intermedia (*IDH*). Si representamos la correlación entre los valores de las tres variables de cada celda de 1x1 km (Figura 1) en un gráfico tridimensional, observamos que en el plano que interrelaciona la densidad de energía antrópica no disipativa que permanece en el paisaje con la heterogeneidad de cubiertas que contiene, la correlación forma un arco en el que la máxima diversidad paisajística se corresponde con niveles intermedios de perturbación. Si tomamos como tercera dimensión la cantidad de información contenida en los flujos de energía que deviene impresa en el paisaje, todo el arco de la correlación energía-paisaje (*E-L*) se inclina de tal manera que el punto de máxima diversidad paisajística relacionada con

niveles intermedios de perturbación antrópica también se corresponde con la máxima información (I) incorporada (Figura 6).

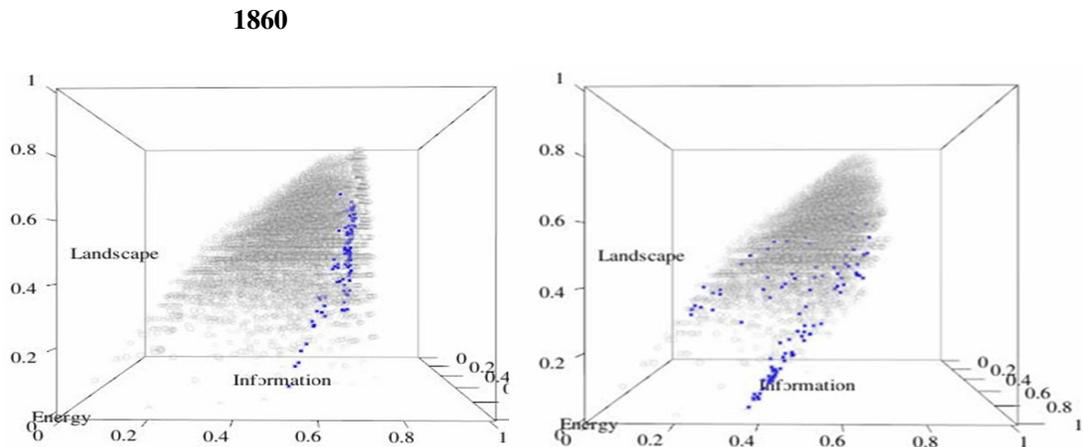


Figura 6. Representación tridimensional de los valores de energía antrópica incorporada, diversidad de cubiertas e información contenida en cada celda de 1x1 km del paisaje agrario. La nube de puntos grises representa todos los valores posibles y los puntos azules los efectivamente medidos para cada fecha. Fuente: Carme Font, comunicación personal con los datos de Marull et al. (2016).

1999-2000

Aunque la misma pauta se cumple para los dos momentos históricos, especialmente en lo referido a la frontera de todos los valores posibles (en color gris), resulta evidente que la forma adoptada por los valores efectivamente encontrados en cada celda del paisaje difiere mucho entre 1860 y 1999-2000 (puntos azules en la Figura 6). Esta característica se observa mejor si representamos la relación entre variables en un gráfico bidimensional que muestre la correlación entre energía incorporada (E) e información contenida (I), representando la diversidad de cubiertas del paisaje (L) con un gradiente de coloración para cada punto (Figura 7). El resultado deja claro que en 1860 la mayoría de los puntos se encontraban agrupados en aquella pequeña región de la frontera de valores posibles caracterizada por

valores intermedios de energía antrópica incorporada (E), altos niveles de información contenida (I), y valores altos de diversidad del paisaje (L). Por el contrario, en 1999-2000 bastantes valores de las celdas del paisaje se han desplazado bien hacia la izquierda, donde valores de muy baja perturbación (E) se correlacionan con poca información humana (I) impresa en el paisaje, o bien hacia la derecha donde una perturbación (E) bastante más alta que la intermedia conlleva también mermas en la información incorporada (I).

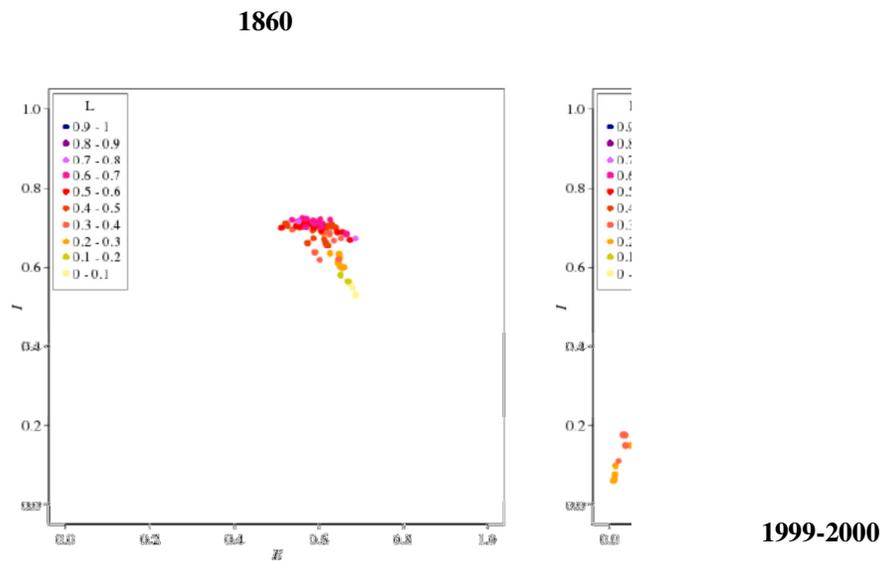


Figura 7. Representación bidimensional de la correlación entre valores medios de energía antrópica incorporada (E), y de información contenida en cada celda de 1x1 km del paisaje agrario (I), representando al mismo tiempo la diversidad de cubiertas del suelo (L) con la gradación de tonos de la leyenda. Fuente: Marull et al. (2016)

Si atendemos a la gradación de colores que indica la diversidad de cubiertas del paisaje (leyenda de la Figura 7), comprobamos que el desplazamiento hacia la derecha corresponde al número creciente de monocultivos industriales en suelos planos y fácilmente mecanizables. El desplazamiento hacia la izquierda refleja la llamada

«Transición Forestal» que se ha puesto en marcha como resultado del abandono y reforestación de los suelos con mayor pendiente y difícilmente mecanizables tras la Revolución Verde. Los dos desplazamientos expresan la polarización entre cubiertas del suelo con monocultivos industriales, y el crecimiento forestal por abandono, que ya hemos podido observar (Figura 1) en los mapas de cubiertas del suelo.

Los resultados del modelo *ELIA*: 1) evidencian un proceso en curso de pérdida de aquellos mosaicos agroforestales de la agricultura tradicional que Ramón Margalef señalaba como un gran instrumento de conservación de la biodiversidad, y de los correspondientes servicios ecosistémicos; 2) sacan a la luz que esa pérdida de mosaicos se debe tanto al exceso de perturbación antrópica como a la retirada de la acción humana en los espacios abandonados y reforestados, donde la perturbación se ha alejado de aquellos valores intermedios propios de los paisajes agrarios tradicionales en mosaico; y 3) ponen de manifiesto que eso comporta una pérdida de diversidad y complejidad del paisaje, y que el empobrecimiento biológico va de la mano de una disminución de la información cultural impresa en cada paisaje local. Mostramos, en definitiva, que alrededor de 1860 la prevalencia de los paisajes agrarios en mosaico era un rasgo biocultural, y el empobrecimiento experimentado en los últimos setenta años supone una pérdida preocupante de aquella importante herencia biocultural.

Conclusión: es necesario un nuevo modelo agroalimentario

El modelo *ELIA* permite captar analíticamente la estrecha interrelación existente en los paisajes culturales entre la heterogeneidad de cubiertas y la riqueza de hábitats y especies que puede acoger, por un lado, y por otro el trabajo de la tierra llevado a cabo por el campesinado de las masías y villas que movía flujos de energía de forma especialmente diferenciada en el territorio para transformar los ecosistemas en agroecosistemas. Mientras aquella transformación se mantuvo en unos límites intermedios de perturbación y estuvo dirigida por el ‘saber hacer’ de las comunidades rurales, los paisajes en mosaico resultantes tuvieron la capacidad de acoger una elevada biodiversidad que, en su momento, proporcionaba una serie de servicios ecosistémicos

Enric Tello, Roc Padró, Carme Font, Joan Marull. Los paisajes agrícolas, forestales y ganaderos: una herencia histórica (1850-2000). Estudios Rurales, Vol 6, N° 11, ISSN 2250-4001, CEAR-UNQ, Buenos Aires, segundo semestre de 2016, pp., 183-203

vitales: polinización, control de plagas y enfermedades, mantenimiento de la fertilidad, agua dulce limpia, etc. La industrialización de la agricultura y la pérdida de la capacidad de las antiguas masías de mantener un uso diverso pero integrado del territorio, están provocando la desaparición de aquellos mosaicos y una disminución de la información contenida en los paisajes debido al abandono sufrido por la gente que sabía cómo hacerlos y mantenerlos. Si queremos que [Cataluña-nuestros paisajes](#) mantengan en el futuro la capacidad de producir alimentos sanos, y también los servicios ecosistémicos que sólo una elevada biodiversidad puede proporcionar, hemos de plantearnos qué agricultura, ganadería y silvicultura tenemos, o hemos dejado de tener, y cuál es la que necesitamos para ser [un país territorios](#) más soberanos y sostenibles en el siglo XXI.

Bibliografía

AGNOLETTI, M. (ed.) (2013). *Italian Historical Rural Landscapes. Cultural Values for the Environment and Rural Development*. Berlin: Springer.

AGNOLETTI, M. (2014). “Rural landscapes, nature conservation and culture. Some notes on research trends and management approaches from a (southern) European perspective”. *Landscape & Urban Planning*, núm. 126:p.66-73.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2006). *Land accounts for Europe 1990-2000. Towards integrated land and ecosystem Accounting*. Copenhagen: EEA Report No 11/2006.

GIAMPIETRO, M.; MAYUMI, K.; SORMAN, A.H. (2013). *Energy Analysis for Sustainable Future: Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism*. Londres: Routledge.

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

MARGALEF, R. (2006). “La teoria ecològica i la predicció en l’estudi de la interacció entre l’home i la resta de la biosfera”. *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura*, núm. 38:p. 38-61.

Enric Tello, Roc Padró, Carme Font, Joan Marull. Los paisajes agrícolas, forestales y ganaderos: una herencia histórica (1850-2000). *Estudios Rurales*, Vol 6, N° 11, ISSN 2250-4001, CEAR-UNQ, Buenos Aires, segundo semestre de 2016, pp., 183-203

MARULL, J.; TELLO, E. (2010). “Eficiència territorial: la sinergia entre energia i paisatge”. *Medi Ambient. Tecnologia i Cultura*, núm. 46:p. 29-37.

MARULL, J.; PINO, J.; TELLO, et al. (2010). Social metabolism, landscape change and land-use planning in the Barcelona Metropolitan Region”, *Land Use Policy*, núm. 27(2):p. 497-510.

MARULL, J.; TELLO, E.; FONT, C., et al. (2016). Towards an energy–landscape integrated analysis? Exploring the links between socio-metabolic disturbance and landscape ecology performance (Mallorca, Spain, 1956–2011). *Landscape Ecology*, núm. 31(2):p. 317-336

MARULL, J.; FONT, C.; PADRÓ, R. et al. (2016). Energy-Landscape Integrated Analysis: A proposal for measuring complexity in internal agroecosystem processes (Barcelona Metropolitan Region, 1860-2000). *Ecological Indicators*, núm. 66:p. 30–46

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSEMENT (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington DC: Island Press/World Resources Institute. Disponible al lloc <http://www.millenniumassessment.org/en/index.html> (accedit el 05/09/2015).

MOROWITZ, H.J (2002). *The Emergence of Everything: How the World Became Complex*. Oxford: Oxford University Press.

PRIGOGINE, I. (1997). *El fin de las certidumbres*. Madrid: Taurus.

TELLO, E. (2013). “La transformació històrica del paisatge entre l’economia, l’ecologia i la història: podem posar a prova la hipòtesi de Margalef?”. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia* núm. 75:p. 195-221.

TELLO, E.; GALÁN, E.; SACRISTÁN, V. et al. (2016). Opening the black box of energy throughputs in agroecosystems: A decomposition analysis of final EROI into its internal and external returns (the Vallès County, Catalonia, c.1860 and 1999). *Ecological Economics*, núm. 121:p. 160–174.

RECIBIDO: 11/10/2016

APROBADO: 30/12/2016