

Una perspectiva biofísica del cambio agrícola en Austria: dos sistemas agrarios en las décadas de 1830 y 1990¹

Fridolin Krausmann

1. INTRODUCCIÓN

Las visiones tradicionales de la modernización agrícola se centran a menudo en los aspectos institucionales, económicos o tecnológicos (Zimmermann, 1998; Achilles, 1993), y tienden a ver las precondiciones naturales de la agricultura como factores estáticos más o menos independientes de la intervención humana. Esta estrecha perspectiva sociocultural olvida que la agricultura es un sistema de elementos culturales y naturales acoplados. La agricultura se puede ver como un intento de «colonizar» los sistemas naturales por parte de los seres humanos, es decir, de invertir trabajo y energía con el fin de alterar los ecosistemas de un modo que los haga más productivos para las finalidades humanas (Weisz *et al.*, 2001). En este sentido, la agricultura representa la interacción humana con los sistemas naturales históricamente más importante, que ha alterado de manera fundamental una extensa porción de los ecosistemas terrestres a escala global (Turner *et al.*, 1990).

Tanto el desarrollo histórico de la agricultura como su concreción regional son resultado de una interacción entre factores socioeconómicos como el trabajo, la tecnología y la tenencia de la tierra, y factores naturales como el clima, la vegetación y las características de los suelos. Para algunos autores se puede hablar de sistemas agrarios en términos de desarrollo mutuo, o incluso coevolución, de sistemas socioeconómicos y

Fecha de recepción del original: Abril de 2005. Versión definitiva: Febrero de 2006

■ *Fridolin Krausmann es profesor del Institute of Social Ecology de Viena (Austria). Dirección para correspondencia : Institute of Social Ecology, Klagenfurt University, Schottenfeldgasse 29; A-1070 Wien (Austria). fridolin.krausmann@uni-klu.ac.at*

¹ Traducido del inglés por Elena Grau Biosca.

naturales (Sieferle, 1997; Vasey, 1992; Winiwarter, 2001). Por lo tanto una perspectiva biofísica, que contraste y complemente los enfoques tradicionales de la historia agraria, ofrece una contribución importante a la comprensión del desarrollo histórico de la agricultura (y de su futuro), hasta la fecha ignorada.

Este punto de vista está siendo cada vez más reconocido también por los historiadores agrarios. Una de las contribuciones que marcaron un hito al respecto fue el debate sobre la ecología de los sistemas de cultivo preindustriales en *Agricultural History* en 1978 (Loomis, 1978; Cooter, 1978). Desde entonces una serie de historiadores agrarios (Chorley, 1981; Campbell y Overton, 1991; Ditt *et al.*, 2001) han incluido explícitamente la perspectiva biofísica en su investigación. Más recientemente, el campo emergente de la historia ambiental responde a aquella desiderata abordando temas como la gestión de la fertilidad del suelo, la sostenibilidad de la agricultura preindustrial o el desarrollo mutuo de factores sociales y naturales en la historia de la agricultura. Por ejemplo, Kjaergaard (1994), Cunfer (2004), González de Molina (2002), Martínez Alier (1997), Winiwarter (2001) han realizado contribuciones importantes desde la historia ambiental. También disciplinas no históricas cercanas han aportado visiones fundamentales sobre aspectos biofísicos del desarrollo agrario, sobre todo la antropología. Boserup (1965) y McNetting (1981) han publicado estudios pioneros sobre cómo pautas demográficas, disponibilidad de tierra y precondiciones naturales están relacionadas y determinan la intensidad y sostenibilidad de los sistemas históricos de producción agraria². Otra rama de la antropología, representada de manera destacada por Rappaport (1971), tomó conceptos de la ecología de sistemas y los aplicó explícitamente al análisis de los sistemas agrarios³.

Este texto recoge esos enfoques biofísicos y aplica el concepto de metabolismo social, es decir, el análisis de procesos de intercambio materiales y energéticos entre la sociedad y la naturaleza (Ayres y Simonis, 1994; Fisher-Kowalski y Haberl, 1998), al estudio del desarrollo histórico de la agricultura. Presenta una modelización para el análisis cuantitativo de los flujos de materia y energía en los sistemas históricos agrarios, y muestra la relación entre población, uso de la tierra, ganado, y flujos de biomasa y nutrientes vegetales, en dos sistemas de producción agraria local a principios del siglo XIX y finales del siglo XX en Austria. La primera parte del texto da una nueva visión del funcionamiento de la agricultura preindustrial, en especial del papel multifuncional del ganado en la optimización local de la agricultura centroeuropea a principios del siglo XIX. La segunda parte trata de la transformación sufrida por la agricultura centroeuropea desde el despegue de la modernización industrial, hace doscientos años, y los cambios consiguientes en la relación entre sociedad y naturaleza. Demuestra que la introducción de las tecnologías accionadas con energía fósil tuvo como consecuencia la desintegración del uso del territorio a escala regional, y que los sistemas locales de producción agraria se convirtieron en sistemas de transflujo con elevados inputs y outputs.

² VASEY (1992) trata la población, el medio ambiente y la energía como los principales condicionantes de los sistemas agrícolas, y señala la importancia de una perspectiva del desarrollo histórico de la agricultura informada desde el punto de vista ecológico.

³ BAYLISS-SMITH (1982) muestra una serie de ejemplos en los que se ha aplicado este enfoque para diferentes sistemas agrícolas contemporáneos e históricos.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Este texto está basado en un detallado estudio de las relaciones biofísicas en varios sistemas locales agrarios de Austria. Dentro de un proyecto de investigación interdisciplinario se han estudiado cuatro sistemas locales de uso del suelo en tres zonas agroecológicas de la Austria actual. Este proyecto proporcionó datos cuantitativos acerca del uso de la tierra, el ganado, los flujos de materia, energía y nutrientes para los diferentes sistemas agrarios de principios del siglo XIX (década de 1830) y finales del siglo XX (década de 1990), que permiten un análisis comparativo del funcionamiento, estructura y desarrollo de los sistemas de producción agraria. Las fuentes y la metodología usadas se han descrito en otra publicación (Krausmann, 2004 y 2005). Me limito a señalar algunos datos relevantes y aspectos metodológicos significativos, desde un punto de vista programático, para una historia ambiental o agraria con enfoque ecológico. En esta sección presentaré el Catastro del emperador Francisco José como fuente para estudios comparativos de agricultura preindustrial en Europa central, y un modelo conceptual para los flujos de materia y energía en los sistemas agrarios.

2.1. El Catastro del emperador Francisco José

La principal fuente de datos sobre uso del suelo, rendimientos, población y ganado para el período 1830/50 fue el Catastro del emperador Francisco José (CF) (*Franziszeischer* o *Stabiler Kataster*). En la primera mitad del siglo XIX, entre 1817 y 1856, se realizó un levantamiento topográfico de todo el territorio del Imperio austrohúngaro con la finalidad de calcular impuestos. Se incluyó un estudio geodésico del territorio, estimaciones de los rendimientos físicos para todas las clases de uso del suelo, y el cálculo de los rendimientos monetarios (Lego, 1968; k.k. Finanz-Ministerium, 1858). El Catastro del emperador Francisco José ofrece diversos tipos de fuentes para la historia ambiental y agraria (Moritsch, 1972; Sandgruber, 1979):

a) el mapa catastral de cada *Katastral Gemeinde* (municipio catastral–KG) a escala 1:2.880, que proporciona información del uso de la tierra y de las parcelas individuales. En los mapas se distinguen hasta 39 clases de uso del suelo y cuatro tipos de calidad para cada clase⁴.

b) el *Parzellen Protokoll* (protocolo de medición) informa sobre la propiedad, el tamaño y el tipo de uso del suelo para cada parcela de tierra o edificio.

c) el *Catastral Schätzungs Elaborat* (Catastral Elaborat–CE), la fuente de datos fundamental para este estudio, se preparó para cada KG y ofrece amplia información agregada sobre uso del territorio, cubierta vegetal, rendimientos, población, ganado, uso del suelo y prácticas de cultivo, productos cultivados, prácticas de alimentación, pautas

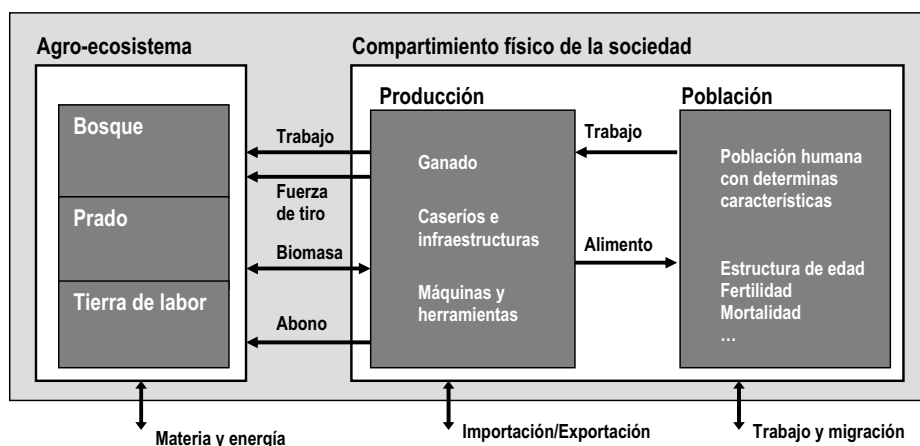
⁴ Los mapas catastrales de Eslovenia y la provincia de la Alta Austria son accesibles online: <http://www.sigov.si/ars/1n.htm> y <http://doris.ooe.gv.at/geoinformatio/urmappe/>

de abonado, número de granjas, riqueza de la comunidad, uso de los animales, mercados, etc.

d) el *Darstellung des Kulturaufwandes und des Reinertrages* proporciona información agregada de los costes de los factores, la estimación monetaria bruta y el rendimiento neto (en precios locales de 1824) para cada categoría de uso del suelo en una unidad catastral. La base para el cálculo de los impuestos era la combinación de ésta con los protocolos de medición de parcelas.

En general, los datos del CF se consideran de alta calidad y fiabilidad; no obstante, se debe tener en cuenta la ausencia de concordancias regionales, dado que los estudios se realizaron a lo largo de varias décadas y diferían en muchos aspectos según las provincias (Sandgruber, 1978 y 1979). Además de los datos del CF, se ha utilizado una gran variedad de fuentes y publicaciones sobre aspectos locales, regionales y generales del sistema agrario preindustrial (Krausmann, 2005), así como datos y análisis, publicados e inéditos de investigaciones anteriores⁵. Las principales fuentes para la década de 1990 han sido los datos estadísticos sobre uso del suelo, ganado, estructura de la explotación, rendimientos y cosechas que publicó el Departamento de Estadística austriaco. Incluyen estadísticas agrícolas, censos de población, estadísticas sobre energía e informes catastrales⁶. Además se han utilizado informes locales y literatura científica.

FIGURA 1. MODELO CONCEPTUAL DE FLUJOS DE MATERIA Y ENERGÍA EN LOS SISTEMAS LOCALES DE PRODUCCIÓN AGRARIA



2.2. Un modelo de flujos de materia y energía en los sistemas de producción

⁵ Incluyendo versiones digitalizadas de los mapas catastrales originales de los pueblos, evaluaciones específicas de los protocolos de medición de parcelas (por ejemplo, la cuantificación de la

agraria

El enfoque que se presenta en este texto es un sencillo modelo conceptual de la agricultura como un sistema a la vez socioeconómico y natural. Se basa en modelos de sistemas agrarios históricos que han desarrollado Winiwarter y Sonnlechner (2001) y Winiwarter (2001), a partir de la relación entre población, uso de la tierra y producción agrícola de Boserup (1965 y 1981), poniéndola en relación con el concepto de metabolismo socioeconómico (Ayres y Simonis, 1994; Fischer-Kowalski, 1998) e incluyendo de manera explícita los flujos de materia y energía. Esto permite ser más concretos respecto a las interacciones de los sistemas socioeconómicos y los ecosistemas, y captar mejor temas tecnológicos y energéticos importantes relacionados con la industrialización de la agricultura. En su forma más general (Figura 1) el modelo define las principales relaciones biofísicas en términos de flujos de energía y materiales entre (y dentro de) un sistema natural (el agro-ecosistema, caracterizado por las precondiciones naturales y los tipos de usos de la tierra) y un sistema socioeconómico⁷ compuesto por dos subsistemas, el de población (caracterizado por los atributos demográficos) y el de producción (que incluye la infraestructura, la tecnología agrícola y el ganado). El modelo describe un sistema de producción agraria (una granja o un pueblo) como un agro-ecosistema gestionado por una población local que invierte trabajo y energía, y aplica una determinada tecnología combinada, para mantener un determinado rendimiento agrícola. Este sistema de producción agraria local no se puede concebir como un sistema cerrado, ya que mantiene procesos de intercambio con otros sistemas demográficos, socioeconómicos y ecológicos. En una versión más detallada (Figura 2), el modelo especifica la relación entre uso del suelo, cubierta vegetal y extracción de biomasa, distintos tipos de procesos de conversión y consumo en el seno del sistema de producción local, las prácticas de uso del territorio y los flujos de entrada y salida del sistema local. Esta perspectiva sistémica permite un análisis de todos los flujos de biomasa y energía, y de sus relaciones en el sistema de producción agraria, lo que permite vincularlos al uso del suelo, los procesos del ecosistema y el sistema demográfico. El modelo es coherente con la metodología de contabilidad de flujos de materia y energía que atraviesan las fronteras del sistema entre los ámbitos natural y socioeconómico, los procedimientos de cálculo y la agregación de datos (Schandl *et al.*, 2002; Haberl, 2001).

La información sobre la cubierta vegetal y el uso del suelo, los rendimientos físicos, la gestión de los fertilizantes, el ganado, etc. de los registros catastrales y las estadísticas agrícolas se ha utilizado para construir un modelo de flujos de biomasa que entran, salen y recorren los diversos subsistemas. El carácter sistémico del modelo per-

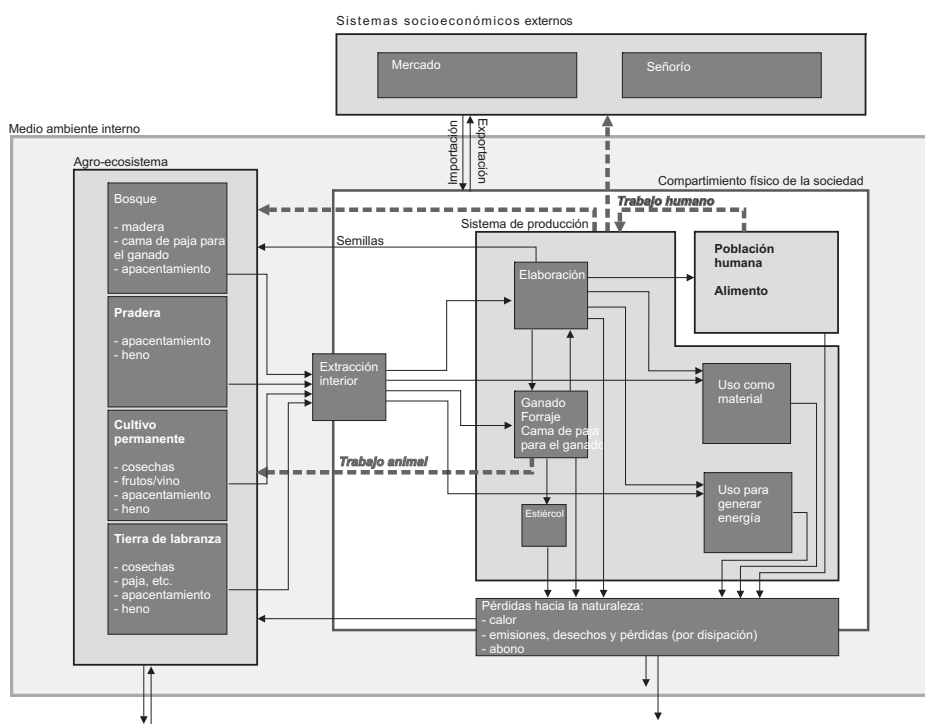
extensión de tierras externas en uso, datos de uso del suelo y de coste de los factores a escala de la explotación agrícola) y datos sobre uso de la tierra en 1997 (PROJEKTGRUPPE UMWELTGESCHICHTE, 1997; PROJEKTGRUPPE UMWELTGESCHICHTE *et al.*, 1999; PROJEKTGRUPPE UMWELTGESCHICHTE, 1999; WINIWARTER Y SONNLECHNER, 2001).

⁶ La Estadística austriaca publica estos datos a escala de los municipios políticos en sus bases de datos online ISIS (<http://www.statistik.at>).

⁷ Esta versión del modelo se centra en las relaciones biofísicas entre sociedad y naturaleza, reduciendo el sistema socioeconómico a sus compartimentos físicos, es decir, la población y el subsistema de producción (FISCHER-KOWALSKI Y WEISZ, 1999).

mite completar de forma coherente las lagunas cuando existen datos. Por ejemplo, aunque de un registro catastral sólo podamos obtener datos fragmentarios de forraje y ganado, el conocimiento de las pautas reproductivas del ganado y las especies y de las demandas nutricionales específicas de alimento según edad y producción, permitirán estimar la oferta de forraje en relación a la demanda y la producción (Schüle, 1989). Esto tiene importancia especial cuando tratamos con datos fragmentarios o escasamente fiables.

FIGURA 2. FLUJOS DE MATERIA Y ENERGÍA EN LOS SISTEMAS LOCALES DE PRODUCCIÓN AGRARIA (PARA EL PERÍODO PREINDUSTRIAL)



Véase la explicación en el texto. Fuente: Krausmann (2005); ligeramente modificado.

2.3. Escala

Para 1830 se analizaron los datos a escala de los pueblos (es decir, KG) y sus sistemas de uso de la tierra. Esa escala se puede considerar el nivel de análisis apropiado para los sistemas preindustriales de uso de la tierra. En una agricultura sometida al régimen señorial estaban involucradas tres instituciones principales: la explotación familiar, la comunidad aldeana y el señor, estrechamente vinculadas y relacionadas entre sí.

Las decisiones sobre el uso del suelo a escala de la explotación familiar dependían tanto del señor como de la comunidad aldeana. Por consiguiente, muchos aspectos del manejo de la tierra⁸ no se pueden analizar a escala de la explotación agrícola familiar, sino en el contexto del sistema de uso del territorio de la comunidad aldeana. En los sistemas agrarios actuales el uso del suelo es un asunto que sólo decide el granjero; la aldea ha desaparecido como institución integradora. Por razones de disponibilidad y comparación de datos estadísticos se analiza la evolución a escala de la aldea (1830) y de los municipios (década de 1990). Pero a esa escala los cambios resultantes de la modificación del significado de la comunidad para la explotación individual no quedan reflejados en los datos.

2.4. Presentación de los datos

Los flujos de biomasa se expresan y agregan en unidades diferentes para cada cuestión investigada: el peso en fresco hace referencia al peso en el momento de la cosecha (kg_{PF}); el valor calorífico bruto (el valor calórico más alto) se define como la cantidad máxima de calor que se puede obtener con la combustión de cada material y se mide en Joules (J_{VCB}); el valor nutritivo (J_{VN}) hace referencia al valor nutritivo para la alimentación humana según los niveles de las tablas de nutrición; el nitrógeno (kg_N) se refiere al contenido en nitrógeno del material específico. En general, los flujos se expresan en términos relativos, es decir, en relación a la población, al ganado o a unidades de superficie. Las cifras de población se dan en términos de población agraria por habitante (cap_{agr}) o individuos en relación a la población total (cap_{tot}), el ganado en unidades ganaderas de 500 kg de peso en vivo (UG_{500}), y la superficie en hectáreas en relación a la superficie total (ha_{tot}) o hectáreas en relación a la superficie agraria (ha_{agr}). Las tablas con los datos detallados se han publicado en Krausmann 2004 y 2005.

3. AGRICULTURA Y USO DE LA TIERRA A PRINCIPIOS DEL SIGLO XIX

3.1. Algunas observaciones sobre la agricultura preindustrial en Austria

En la monarquía austrohúngara el sistema feudal de tenencia de la tierra y la servidumbre quedaron formalmente abolidos con la reforma agraria (*Grundentlastung*) de 1848, aunque el poder estatal venía erosionando la organización feudal de la agricultura desde principios del siglo XIX. Antes de 1848, un señor (*Grundherrschaft*) poseía los caseríos y las tierras adscritas, y las cedía a familias campesinas dependientes (*Untertanen*) para su cultivo. A cambio, los campesinos tenían que pagar al señor el diezmo (*Zehent*), impuestos en forma de productos agrícolas o moneda, y estaban obligados a realizar días de trabajo, con personas y animales, en las posesiones del señor (*Robot*). Además, el señor tenía amplios derechos sobre diversos aspectos de la vida campesina y el uso de la tierra. En general, a principios del siglo XIX en Austria la agri-

⁸ El uso de terrenos comunales para apacentar ganado o el ritmo común del trabajo agrícola en un sistema de rotación trienal (BECK, 1993).

TABLA 1. AGRICULTURA Y USO DE LA TIERRA EN THEYERN Y VOITSAU EN LAS DÉCADAS DE 1830 Y 1990

	[unidad]	Década de 1830		Década de 1990	
		Theyern (KG)	Voitsau (KG)	Theyern (PG)	Voitsau (PG)
Población	[número]	102	129	1.446	1.672
Explotaciones agrícolas	[número]	17	24	108	238
Territorio	[km ²]	2,25	4,21	19	51
Tierra de labor	[% del total]	54	48	23	40
Cultivo permanente, huerto	[% del total]	6	1	14	0
Pradera	[% del total]	3	35	4	21
Bosque	[% del total]	35	14	51	33
Otras superficies	[% del total]	2	2	8	6
Densidad de población	[hb/km ²]	45	31	76	33
Ganado*	[UG ₅₀₀]	54	99	148	3.131
Ganado vacuno	[% del total]	72	92	48	87
Caballos	[% del total]	8	0	2	1
Cerdos	[% del total]	9	4	48	8
Ovejas/Cabras	[% del total]	10	3	0	3
Densidad de ganado	[UG ₅₀₀ /km ²]	24	24	8	61
Suministro de forraje**					
Cereales, pienso proteínico, etc.	[% del total]	9	7	62	42
Residuos y subproductos	[% del total]	61	41	0	0
Apacentamiento y heno	[% del total]	29	51	38	57
Otros tipos de forraje	[% del total]	1	1	0	1
Producción de alimentos***					
Productos vegetales	[% del total]	73	71	93	60
Leche	[% del total]	20	21	2	28
Carne	[% del total]	7	8	5	12
Productividad					
Rendimiento neto del cereal (excl. Semillas)	[t/ha]	0,64	0,56	4,84	3,85
Producción de alimentos por unidad de superficie agrícola	[GJ _{vn} /ha _{agr.}]	4,4	2,1	31,2	15,2
Producción de alimentos por trabajador agrícola	[GJ _{vn} /cap]	9,4	8,7	105	103,4
Potencia instalada****	[kW/ ha _{agr.}]	0,17	0,14	9,6	6,4
Flujos de biomasa					
Extracción de biomasa per capita	[GJ _{vcb} / cap]	78	91	63	96
Extracción de biomasa por unidad de superficie agrícola	[GJ _{vcb} / ha _{tot.}]	36	29	76	278
Importaciones (comparadas con la extracción)	[% de extracción]	0	0	7	3
Exportaciones (comparadas con la extracción)	[% de extracción]	3	2	47	26

*El ganado se ha agregado en unidades de 500 kg de peso en vivo (UG₅₀₀).

** Porcentaje del suministro total de forraje (medido en materia seca).

*** Porcentaje de la producción total de alimentos (medidos en valores nutritivos).

**** Véase la Tabla 2 para la definición de potencia instalada.

Fuente: Krausmann (2004 y 2005).

cultura se caracterizaba por un atraso relativo en comparación con otras regiones europeas (Hoffmann, 1978). Todavía eran comunes los sistemas de cultivo basados en la rotación trienal, con un tercio de la tierra de cultivo en barbecho cada año⁹. Los nuevos cultivos como el maíz, las patatas y el trébol se conocían desde hacía tiempo pero no se habían extendido todavía durante la primera mitad del siglo XIX. La integración mercantil de los agricultores era comparativamente baja, la producción agraria ponía todavía el acento en el cultivo para la subsistencia. Los campesinos dependían en gran medida del señor y de la comunidad aldeana, y su capacidad de acción por lo que se refiere al manejo de la tierra era limitada. Por añadidura, los Alpes y sus condiciones climáticas y topográficas poco favorables contribuían a tipos de uso del suelo a pequeña escala un tanto primitivos en comparación con otras regiones de Europa Central. Las grandes explotaciones agrarias señoriales (*Gutswirtschaften*) sólo tenían una importancia marginal en el territorio de la Austria actual.

3.2. El sistema de uso de la tierra de los casos estudiados

Para 1830 el texto compara el uso de la tierra y el sistema de producción agrario de dos localidades situadas a 35 kilómetros de distancia una de otra, pero ubicados en dos regiones agroecológicas de Austria claramente diferenciadas. El pueblo de *Theyern* representa un sistema de planicie (*lowland*) con un área total de 2,3 km² y una población de 102 habitantes (Tabla 1). La aldea está situada en la zona rural baja y ondulada del nordeste de Austria (E 15° 40' N 48° 21') entre 250 y 370 metros sobre el nivel del mar, y se caracteriza por unas condiciones climáticas bastante favorables (9,6° C de temperatura media anual y 521 mm de precipitación), propicias para el cultivo agrícola y la producción de cereales. Se halla en el extremo de una región de cultivo de vid y aunque no hay viñedos en el mismo Theyern, algunos agricultores poseían viñedos en los pueblos vecinos. En 1830 más de la mitad de la superficie total de tierras de Theyern se utilizaba como tierra de labor, y los huertos sólo alcanzaban el 1%. A pesar de que había una cabaña ganadera bastante grande, sólo el 3% de la superficie de tierra era prado. Los bosques cubrían un 35% del territorio, y se trataba de tierra inadecuada para el cultivo. Con 45 personas por km², la densidad de población era ligeramente superior a la media austriaca (42 habitantes/ km²).

La aldea de *Voitsau* representa un sistema de tierras de montaña (*upland*) situado en un antiguo macizo granítico en las tierras altas prealpinas de la zona nordeste de Austria (E 15° 17' N 48° 25'), que se extiende desde los 600 a los 800 metros por encima del nivel del mar. El clima es más duro que el de Theyern (7,3° C de temperatura media anual y 662 mm de precipitación) y la estación de cultivo más corta, con unos 200-220 días. En 1830 el territorio de Voitsau abarcaba un área de 3,25 km², el 48% de la cual se usaba como tierra de labor (Tabla 1). El 35% se clasificaba como prado, en su mayor parte partes escarpadas del territorio montañoso. Sólo el 14% del terreno estaba

⁹ En el actual territorio de Austria, la extensión anual de tierra en barbecho representaba aproximadamente el 15% de toda la tierra de labor en 1830. Es decir, al menos la mitad de la tierra de labor aún se explotaba con el tradicional sistema de rotación trienal.

cubierto de bosques, en áreas inadecuadas para el arado. Los huertos ocupaban el 1% de la tierra. La densidad de población era inferior que en Theyern, 31 hab./ km².

El modo dominante de uso del suelo era en ambos sistemas el cultivo de cereales. La disponibilidad media de tierra de labor por explotación era ligeramente superior en Voitsau (8,4 ha) que en Theyern (7,2 ha). En 1830 en ambos pueblos la tierra de labor todavía se cultivaba según un sistema tradicional de rotación trienal (*Dreifelder-Wirtschaft*). Cada año una de los tres hojas se sembraba en otoño con cereal de invierno (centeno), otra se sembraba en primavera con cereal de verano (*Linsgetreide*, una mezcla de cebada y otros granos y legumbres), y el tercer campo se dejaba regenerar. Este campo en barbecho se araba varias veces y se usaba para pacer en verano y otoño. El sistema de uso del suelo era más avanzado en Theyern que en Voitsau, donde sólo una pequeña fracción (aproximadamente un 2%) del campo en barbecho se dedicaba a cultivar patatas. El trébol no se cultivaba. En Theyern más o menos un tercio del campo en barbecho se dedicaba ya a nuevas cosechas.

3.3. La importancia del ganado

A pesar del predominio de la tierra de labor, el ganado era importante en el sistema de uso del suelo en Theyern y en Voitsau. La densidad ganadera era relativamente elevada y alcanzaba 24 unidades de ganado (UG₅₀₀) por km² en ambos pueblos (Tabla 1). El promedio de ganado por explotación agrícola era inferior en Theyern (3,2 UG₅₀₀) que en Voitsau (4,1 UG₅₀₀). El ganado vacuno suponía el 72% de la cabaña ganadera total en Theyern y el 92% en Voitsau. Los cerdos y las ovejas eran más numerosos en Theyern, donde cada uno representaba casi el 10% del ganado (en Voitsau cada uno un 3%). En Theyern los caballos proporcionaban la fuerza de tiro (8% del ganado), mientras que en Voitsau sólo se utilizaban bueyes (60% del ganado) como fuerza de tiro.

A pesar de que la disponibilidad de pastos era relativamente baja, y el ganado tenía importancia en Theyern y Voitsau, no parece que rumiantes o no rumiantes compitieran con los humanos por el alimento. Los animales de la explotación se alimentaban de restos de la cosecha y de restos de alimentos, o haciendo uso de la tierra que no se cultivaba. En ambas poblaciones sólo el 5-10% de la materia seca que se daba de comer a los animales de la granja era grano u otra biomasa comestible (Tabla 1). Este alimento de alta calidad (principalmente avena) se daba de comer a los caballos y bueyes, más exigentes¹⁰. Entre un 40 y un 60% del pienso lo constituían los subproductos de la cosecha, principalmente la paja. La proporción de heno variaba según la disponibilidad de prados y representaba un 25% de la provisión total de alimento en Voitsau, y el 12% en Theyern. En ambos pueblos los pastos eran una fuente vital de alimento, y suponían una cuarta parte del suministro total de alimento. El pastoreo no se limitaba a los (comunes) pastos baldíos (*Hutweiden*), por el contrario en casi cada parcela de tierra se apacentaba al menos una vez durante el año agrícola, incluyendo el pastoreo en los prados en primavera y después de la segunda siega del heno en otoño, el pastoreo en los bosques,

¹⁰ El grano para pienso representaba el 25% del valor nutritivo total que se producía en la tierra cultivada.

en el campo en barbecho, y el pastoreo de los rastrojos después de la siega. El ganado daba valor a la biomasa no adecuada para consumo humano y a la tierra que no se podía labrar. Un cálculo de la oferta y demanda de pienso en ambas poblaciones muestra que la oferta sólo cubría el 90% de la demanda para un rendimiento estándar¹¹, debido a la gran proporción de pienso de baja calidad. El pastoreo intensivo era esencial para proporcionar a los animales alimento suficiente durante la primavera y el verano, mientras la paja y otros subproductos eran altamente valorados como pienso y materia prima. Además el pastoreo intensivo tenía un impacto notable en el agro-ecosistema, en especial sobre la densidad arbórea y el incremento de los bosques (Stuber y Bürgi, 2001). La capacidad del sistema para criar ganado se explotaba hasta sus límites.

3.4. Ganado y producción de alimentos

La producción de carne y leche era una importante función que cumplían los animales de la explotación. El ganado aportaba cerca del 30% de la oferta de alimentos en ambos pueblos¹². La leche constituía la contribución más importante a la oferta alimentaria total, la carne sólo suponía el 7-8% (Tabla 1). Caballos y los bueyes se criaban principalmente como fuerza de tiro. Consumían una porción considerable de la provisión total de alimentos (un 37% en Theyern y un 54% en Voitsau), pero sólo contribuían en un 9% y un 16% respectivamente a la producción alimentaria de origen animal. Caballos y bueyes eran animales indispensables pero muy costosos. Se debían alimentar durante todo el año con pienso de alta calidad, aunque sólo se utilizaban como fuerza de tiro en determinados períodos del año, y proporcionaban cantidades moderadas de carne después de 10-14 años, al final de su existencia¹³. Las vacas eran mucho más «eficientes». Aunque los agricultores tenían que invertir el equivalente a dos años de pienso hasta conseguir un primer rendimiento en forma de alimento (leche), las vacas convertían de modo eficiente pienso de baja calidad en leche, servían como animales de tiro en las explotaciones pequeñas, y daban carne al final de sus 10-12 años de vida. En ambos pueblos las vacas consumían aproximadamente una tercera parte de la provisión total de pienso, pero proporcionaban dos tercios del total de alimentos producidos por el ganado.

3.5. Flujos de biomasa

Por lo que se refiere a los flujos socio-económicos de biomasa, los pueblos parecían sistemas locales relativamente cerrados¹⁴. Tanto la importación como la exportación de biomasa eran muy pequeñas en comparación a la extracción interior (EI) de biomasa:

¹¹ Rendimiento estándar es la demanda de alimento (medida en valores nutricionales) para un peso en vivo, un trabajo desarrollado y un rendimiento en leche característicos para los animales de una explotación del siglo XIX (KRAUSMANN, 2005).

¹² Producción de alimentos medida en valores nutritivos.

¹³ Los animales de tiro era decisivos para superar los estrangulamientos energéticos en las explotaciones y proporcionar energía suficiente en los momentos de mayor demanda, por ejemplo, en el período de la cosecha de cereales.

¹⁴ El término «sistema cerrado» sólo se usa en referencia a los flujos socio-económicos de biomasa y nutrientes vegetales. Desde un punto de vista físico todos los sistemas de uso de la tierra eran abiertos con respecto, por ejemplo, a los flujos de energía.

la cantidad global de biomasa agrícola extraída ascendía aproximadamente a 36 GJ_{VCB}/ha (o 78 GJ_{VCB}/cap) y año en Theyern y 29 GJ_{VCB}/ha (o 91 GJ_{VCB}/cap) y año en Voitsau (Tabla 1). La biomasa agrícola ascendía al 77% de la extracción total en Theyern y al 84% en Voitsau, el resto era leña. No se importaba biomasa agrícola. La eficiencia global de la conversión de biomasa extraída en productos agrícolas (alimentos) era relativamente baja: 10 GJ de biomasa extraída daban aproximadamente 1 GJ de alimentos en Theyern y 0,7 GJ en Voitsau. Menos de una tercera parte de la producción total de alimentos (2-2,5 GJ_{VCB}/cap) se exportaba (se vendía en los mercados locales o se le daba al señor). Las exportaciones de biomasa, comparadas con la extracción, representaban sólo de un 3% a un 4%. El ganado era el apartado dominante en ambos pueblos, aunque el cereal fuese el producto central de la agricultura. El subsector ganadero consumía la mayor parte de todos los flujos de biomasa agrícola. En los dos pueblos, alrededor del 85-90% de toda la biomasa extraída se dedicaba al contingente ganadero, en forma de pienso o de cama de paja.

3.6. Nitrógeno y fertilidad del suelo¹⁵

El nitrógeno se extraía a una tasa promedio anual de 26 kg por unidad de superficie agrícola en Theyern (Fig. 4a) y 22 kg/ha en Voitsau. En cuanto a la reposición del nitrógeno extraído, los procesos naturales parecían tener al menos la misma importancia que los flujos socio-económicos controlados: en Theyern los inputs naturales (fijación natural, fijación de las leguminosas y deposición seco/húmedo) alcanzaba los 14 kg/ha de superficie agrícola, mientras que las entradas de nitrógeno procedentes de abono sólo eran de 10 kg/ha_{agr}. Las cifras respectivas para Voitsau eran de 7 kg/ha_{agr} para ambos flujos. Las exportaciones de biomasa pudieron causar una pérdida de nitrógeno del orden de 1-2 kg/ha_{agr} (4-8% de EI). Para mantener el equilibrio de los flujos de nitrógeno era imprescindible que las exportaciones de biomasa agrícola fueran bajas en comparación a la extracción interior (EI).

La gestión de los flujos de nutrientes en la agricultura preindustrial era compleja y se debe tratar en el plano de los tipos de uso del suelo. En Voitsau, que puede servir como ejemplo del funcionamiento de la gestión preindustrial de los nutrientes, la cosecha de las tierras de cultivo extraía 4,4 TM de nitrógeno por año, mientras que la extracción de praderas y bosques (heno, pastos y cama de paja para el ganado) ascendía a 3,9 TM de nitrógeno al año. Los excrementos de los animales de granja junto con las camas de paja ascendían a entre 4,1 y 4,7 TM. Si tenemos en cuenta que las pérdidas de nitrógeno durante el almacenamiento y la aplicación de abono oscilaban entre el 30 y el 60%, y restamos el estiércol perdido durante el apacentamiento, se podían devolver

¹⁵ La cuantificación de los flujos de Nitrógeno se basa en los siguientes supuestos y factores (KRAUSMANN, 2005): N-extracción, semillas, exportación: N-contenido de los productos agrícolas según las tablas estándar (por ejemplo, GÖTZ 1998). N-inputs: cultivos leguminosos: 110 kg/ha; fijación de los organismos silvestres y las legumbres autóctonas: 2-3.5 kg/ha; deposiciones húmedas y secas: 3 kg/ha. Abono: se supone que el 70-80% del N contenido en el forraje se excreta, más el N que contienen las camas de paja para el ganado; las pérdidas durante el almacenamiento y la aplicación del abono: 30-60%.

todavía entre 1,5 y 2,7 TM de nitrógeno a los campos en forma de abono. En ambos pueblos el abono sólo se aplicaba a las mejores parcelas cultivadas. Los animales facilitaban la transferencia de nutrientes vegetales desde las praderas y los bosques a las tierras de cultivo. En Voitsau este proceso de concentración del nitrógeno que contenía el abono en la tierra de cultivo permitía una restitución del 40 al 60%, mientras que los procesos naturales como la fijación natural de N y la deposición húmedo/seca¹⁶ reponían alrededor de un 25% (1,1 TM) del nitrógeno extraído de la tierra de cultivo¹⁷. Las semillas contribuían con unas 0,4 TM adicionales de aportación de nitrógeno a la tierra de cultivo, lo que equivalía a un 10% del nitrógeno extraído. En resumen, con una tasa de restitución entre el 70 y el 95% se puede considerar que en Voitsau los flujos de nitrógeno en la tierra de cultivo eran equilibrados. No obstante, las praderas y los bosques no recibían ninguna restitución socioeconómica intencionada del nitrógeno extraído. Debían contar sólo con los procesos naturales para la restitución del nitrógeno, lo que debió dar lugar a terrenos de pasto y bosques bastante pobres y degradados, en especial en las regiones de cultivo intensivo de las tierras agrícolas.

3.7. Producción y productividad

Los rendimientos agrícolas eran bastante bajos en comparación con el cultivo actual de la tierra. Los rendimientos medios brutos de los cereales eran de 0,8 TM_{PF}/ha en Theyern y 0,7 TM_{PF}/ha en Voitsau. La inversión en semillas era elevada en relación a los rendimientos, y reducía el rendimiento neto del grano a 0,64 y 0,56 TM/ha respectivamente (Tabla 1). La producción total de alimentos por hectárea de tierra agrícola era notablemente más elevada en Theyern (4,4 GJ_{VN}/ha) que en Voitsau (2,1 GJ_{VN}/ha); sin embargo, la diferencia de producción de alimentos por trabajador agrícola era menos pronunciada, ascendiendo a 9,4 GJ_{VN}/ha en Theyern y 8,7 GJ_{VN}/ha en Voitsau. Si suponemos una media anual de demanda de alimentos de 4,5 GJ_{VN} por persona, una hectárea de tierra agrícola podía alimentar a 1,0 personas en Theyern y 0,5 personas en Voitsau. Una persona dedicada a la agricultura podía alimentar aproximadamente a 2,1 personas en Theyern y a 1,9 en Voitsau. En ambos pueblos, el excedente potencial de la producción agrícola ascendía al 20-30% en relación a la demanda total de la población local¹⁸. Esta comparación muestra que la productividad por unidad de superficie era notablemente más elevada en Theyern, favorecido por el clima, pero similar en productividad del trabajo y eficiencia energética.

¹⁶ Los procesos del suelo –la movilización del nitrógeno almacenado en el suelo– no se han tenido en cuenta.

¹⁷ En Theyern, donde aproximadamente el 20% del barbecho se sembraba ya de leguminosas para forraje, los inputs naturales reponían más del 50% del nitrógeno extraído de la tierra de cultivo, mientras que el abono sólo contribuía en un 25-40%.

¹⁸ El excedente se calcula como la diferencia entre el valor nutritivo de la producción total de alimentos y la demanda local, que se ha calculado suponiendo una demanda anual per capita de 4,5 GJ (en base a una necesidad fisiológica de energía de 3,5 GJ/cap y unas pérdidas de almacenamiento y residuos del 20%, etc.).

3.8. La eficiencia energética de la agricultura

En condiciones preindustriales la agricultura es la principal actividad suministradora de energía de la sociedad; los sistemas agrarios tenían que producir un rendimiento neto positivo en relación a la energía «invertida» (Martínez Alier, 1997; Sieferle, 1997). Eso significa que la producción agraria en forma de energía alimentaria, al menos en una escala más amplia, debía exceder notablemente la inversión de energía socioeconómica en la agricultura. Un cálculo grosero de los rendimientos energéticos de la agricultura revela que en ambos pueblos se podían obtener 6 unidades de energía contenida en los alimentos por cada unidad de energía invertida en forma de trabajo humano¹⁹.

3.9. Conclusiones sobre el funcionamiento de los sistemas preindustriales de uso del suelo

La agricultura preindustrial se caracterizaba por un elevado grado de variabilidad regional y local en el uso del suelo. Las condiciones climáticas y topográficas, la disponibilidad de recursos, la densidad de población, y pautas socioeconómicas como la demanda de alimento o la propiedad de la tierra, tenían gran influencia sobre los modelos de uso de la tierra y la especificidad de la agricultura. El historiador ambiental alemán Rolf Peter Sieferle (1997) describe este *patchwork* de modelos de manejo del suelo a pequeña escala como una característica fundamental de las sociedades agrarias de la Europa preindustrial, que se debe atribuir a las limitaciones de un sistema regional basado en la energía solar y la dependencia del territorio. Este texto se centra sin embargo en los atributos comunes de los sistemas preindustriales de uso de la tierra y también en las considerables diferencias locales. A partir de los datos, en este apartado se esbozan algunas conclusiones sobre los sistemas de manejo del suelo en la Europa Central de finales de la sociedad preindustrial.

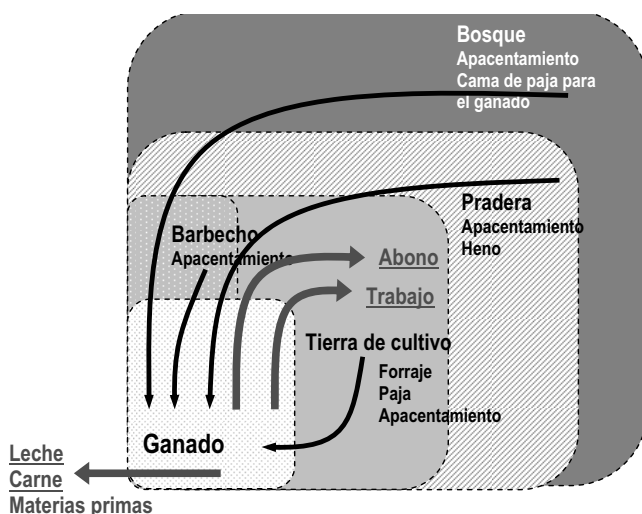
La agricultura centroeuropea de principios del siglo XIX se caracterizaba, tanto a escala de los pueblos como de cada explotación agraria, por sistemas de uso de suelo diversos y profundamente integrados. Como se ha demostrado para otros sistemas centroeuropeos (Pfister, 1995; Beck, 1993), la asociación del cultivo y la cría de ganado mediante un uso combinado –no uniforme en el espacio y el tiempo²⁰– de la tierra de

¹⁹ El cálculo del rendimiento energético de la agricultura preindustrial se basa en los supuestos siguientes: la producción de energía es igual a la producción total de alimentos del sistema de producción local. La inversión de energía es la energía equivalente de trabajo humano invertido en la agricultura (suponiendo 6,5 MJ por día de trabajo y 300 días de trabajo por trabajador agrícola). Los animales de trabajo, una fuente importante de energía en la agricultura preindustrial, se consideran una parte interna del sistema, de modo que la energía equivalente de la fuerza animal no se cuenta como inversión, y tampoco se cuentan las necesidades de alimento de los animales de tiro como producción de energía (LEACH, 1976 y PIMENTEL, 1979).

²⁰ Las medidas de uso de la tierra que asignan los recursos limitados de suelo a un cultivo determinado o a un tipo de cubierta vegetal son tipos no uniformes de empleo del territorio (LOOMIS y CONNOR, 1992). Los sistemas de uso del territorio pueden no ser uniformes en el espacio (transferencia de nutrientes vegetales de los bosques a las tierras de cultivo) o en el tiempo (un período de barbecho para mantener la fertilidad del suelo en las tierras de cultivo).

labor, hacía que la pradera y el bosque fueran esenciales para el funcionamiento de aquellos sistemas de uso del territorio. Las tierras de labor y los cultivos permanentes recibían las mayores inversiones de trabajo y abono (Winiwarter y Sonnlechner, 2001). Los prados (en especial los pastos) y los bosques sólo se mantenían en las tierras no adecuadas para el arado, y se utilizaban de forma extractiva al recibir pocas mejoras o restitución intencionada de nutrientes (Ganzert, 1996; Beck, 1993). Se dejaban a merced de los procesos naturales de regeneración. El ganado jugaba un papel crucial en la integración de diferentes tipos de uso del territorio, aunque la importancia de cada componente del sistema y las características particulares del sistema de producción variaban según las condiciones ecológicas y socioeconómicas.

FIGURA 3. EL GANADO Y LA INTEGRACIÓN LOCAL DE LA AGRICULTURA PREINDUSTRIAL²¹



El ganado no tenía, como en la actualidad, la función exclusiva de proporcionar proteína animal para la nutrición humana; la importancia de la cría animal para la agricultura tradicional se basaba en su uso multifuncional (Figura 3). En la agricultura de la Europa Central los animales eran indispensables al menos por cuatro razones (Beck,

²¹ La figura ilustra el papel multifuncional e integrador del ganado en los sistemas locales de producción agraria. La agricultura preindustrial en la Europa Central se caracteriza por la combinación local de tierra de cultivo, prado, bosque y ganado. Casi toda la tierra se usa también para apacentar y/o suministrar forraje y cama de paja para ganado. El ganado facilita la administración activa de nutrientes, junto a la concentración y transferencia de biomasa y nutrientes vegetales de la pradera y el bosque a la tierra de cultivada, y abastece el sistema de producción local de fuerza de tiro y alimentos.

1993; Campbell y Overton, 1991): a) como fuerza de tiro para el cultivo y el transporte, en especial en los sistemas basados en la tierra de labor; b) como una de las escasísimas posibilidades de gestionar flujos de nutrientes en el agro-ecosistema, puesto que su abono proporcionaba nutrientes vegetales que se podían repartir y eran fácilmente accesibles. El ganado permitía transferir nutrientes vegetales desde los prados y los bosques a las tierras de labor para asignar nutrientes vegetales indispensables y escasos a las mejores parcelas de tierra. Por añadidura, su sistema digestivo transforma la biomasa vegetal en formas de fácil descomposición o aprovechables para las plantas; c) como alimento humano y materias primas, de forma permanente o al final de su período de vida; y d) al cumplir todas estas funciones tenían la capacidad de convertir biomasa y desechos no aptos para la nutrición humana en alimentos, energía en forma de trabajo y abono y, por tanto, permitían el uso de tierras no adecuadas para el cultivo agrícola y la producción directa de alimentos. En general, por tanto, el ganado no puede considerarse competidor directo de los humanos con respecto al alimento.

La importancia de cada una de estas funciones del ganado era diversa entre las diferentes especies que se criaban en la explotación, y dentro de cada especie en diferentes sistemas de uso de la tierra²². No obstante, ninguna era económicamente viable por sí misma para el agricultor preindustrial. Era la combinación de energía muscular, abono y producción de leche (o carne) lo que obligaba a criar ganado incluso en las regiones densamente pobladas con condiciones favorables para el cultivo, como la Europa Central a principios del siglo XIX. El análisis del apartado del ganado en los diferentes sistemas de uso de la tierra muestra su importancia en la integración de diferentes tipos de uso de la tierra a escala local. Los animales proporcionaban una gran parte de la inversión de trabajo requerido y una administración activa de los nutrientes vegetales; se deben considerar como un elemento central de los diferentes tipos de sistemas no uniformes de uso de la tierra (Campbell y Overton, 1991; Netting, 1993).

Cada parcela se utilizaba de varios modos y con varios fines durante uno o más años, jugando un papel distinto en el sistema de tipos relacionados de manejo del territorio. Se trataba de una combinación de usos del suelo no uniformes (y múltiples), con niveles muy bajos de flujos socioeconómicos de entrada y salida (en relación a la biomasa y los nutrientes vegetales), vitales para mantener la fertilidad del suelo durante largos períodos de tiempo. Era esencial que los flujos que salían del sistema fuesen bajos en comparación con la circulación interna. Sólo se exportaban pequeños porcentajes de la biomasa extraída, y los sistemas eran relativamente cerrados por lo que se refiere a los flujos socioeconómicos de biomasa y nutrientes vegetales. Además, la durabilidad de los ecosistemas y los procesos y flujos naturales tenían importancia en el mantenimiento de la fertilidad del suelo (por ejemplo, respecto a los flujos de nitrógeno) (Loomis y Connor,

²² Los caballos se utilizaban de manera predominante como animales de tiro, pero contribuían también a la administración de los nutrientes y a la producción de carne, las ovejas permitían sobre todo la utilización de tierras marginales, pero contribuían poco a la producción de abono y nada a la fuerza de tiro. Las vacas eran probablemente el ganado más multifuncional: su producción de leche era una aportación considerable a la producción de alimentos, digerían biomasa no comestible (paja), contribuían de manera notable a la producción de abono, e incluso servían como animal de tiro en pequeños caseríos.

1992; Pfister, 1990). Sin embargo el uso del suelo debe considerarse intensivo, y el impacto (o la presión ambiental) en los ecosistemas debido al uso intensivo y múltiple de toda la tierra era considerable, en especial sobre las praderas y los bosques. No obstante los sistemas de agricultura tradicional intervenían de manera casi exclusiva en las propiedades de los ecosistemas locales, y su impacto ambiental estaba limitado a la escala regional (Tivy, 1993; Vasey, 1992).

Estos sistemas tradicionales de uso del suelo no eran muy eficientes por lo que se refiere al trabajo, la superficie y la conversión de biomasa si los comparamos con los actuales niveles de uso territorial. Pero optimizaban las precondiciones naturales, los recursos locales disponibles y la densidad de población local; y producían suficiente para alimentar a la población local, pagar los diezmos y los impuestos y participar en el mercado local. En los sistemas agrarios basados en el cultivo, el excedente del producto agrícola respecto a la demanda local era, en años corrientes, de un 20-30%²³. Aunque aquellos sistemas de uso de la tierra se pueden considerar sostenibles²⁴, el potencial de optimización superior y crecimiento (sostener una población creciente) era limitado, al contarse sólo con los recursos locales y los procesos naturales. El elevado grado de integración y la interdependencia de los usos de la tierra a escala local hacían que la flexibilidad fuera pequeña, lo que pudo dificultar la difusión rápida de las innovaciones tecnológicas.

En el siglo XIX se incluyeron de forma creciente en la rotación nuevos cultivos (leguminosas para forraje, patatas, maíz) que sustituyeron el barbecho. Esto hacía posible una disponibilidad creciente de nitrógeno en la tierra de cultivo que permitía un sistema de rotación de cultivos sin barbecho, dando lugar a un aumento significativo en la disponibilidad de alimentos. Lo que a su vez permitía una mejor gestión del abono (ganadería estabulada) y una producción de ganado más eficiente (Chorley, 1981). No disponemos de datos del desarrollo de las dos aldeas durante el siglo XIX y los primeros años del XX, por lo que no podemos tratar esta fase de la modernización agraria.

4. LA TRANSFORMACIÓN DE LA AGRICULTURA Y EL USO DE LA TIERRA EN EL SIGLO XX

Todavía hoy la agricultura de Austria se caracteriza por explotaciones agrícolas de escala bastante reducida e inversiones técnicas relativamente bajas en comparación con otros países de la Europa Central. El tamaño medio de las explotaciones es de 15,4 ha y la entrada media de nitrógeno procedente de fertilizantes artificiales de 36 kg por ha de

²³ El excedente era muy inferior en condiciones alpinas (KRAUSMANN, 2004).

²⁴ Sostenibilidad hace referencia al potencial de sostenimiento de la población local durante largos períodos de tiempo con comida y energía suficientes, sin agotar los recursos no renovables o degradar el suelo a escala de la aldea. Para Theyern se ha mostrado, sin embargo, que ciertos caseríos, en particular aquellos con una dotación pobre en recursos, tuvieron períodos de frecuentes cambios en la propiedad, lo que indica problemas de sostenibilidad (ABEL, 1978; PROJEKTGRUPPE UMWELTGESCHICHTE, 1997). La medición de la sostenibilidad de los agro-ecosistemas, en McNETTING (1993).

superficie agrícola. En Alemania, en cambio, la granja media administra unas 30,3 ha y aplica una media de 102 kg de nitrógeno por ha (Krausmann *et al.*, 2003). Además los casos escogidos para el estudio no representan los ejemplos más radicales de agricultura industrializada, como ocurre en Europa en la segunda mitad del siglo XX. Se seleccionaron por disponibilidad de datos y diversidad de usos de la tierra en condiciones preindustriales y no para investigar la modernización agrícola. Se hallan situados en áreas más bien marginales, no muy adecuadas para la industrialización agrícola por motivos topográficos, climáticos y socioeconómicos. No obstante, la transformación del sistema de producción agrario fue tan fundamental y amplia que incluso en esos ejemplos más bien atípicos para la industrialización de la agricultura los cambios fueron visibles en los flujos de materia y energía y otros parámetros biofísicos.

Para el período 1990/2000 no había datos a escala de los municipios catastrales (KG), sólo los había de los municipios políticos (PG), más amplios en extensión y población que los KG estudiados para 1830 (Tabla 1). El PG que contiene la aldea de Voitsau es un área de 51 km² con una población de 1.670 personas; y el PG que contiene Theyern tiene un tamaño de 19 km² y está ocupado por 1.450 personas. Sin embargo, el uso de la tierra y el sistema de producción agrario son muy parecidos desde el punto de vista estructural tanto a escala de KG como de PG, lo que hace posible una comparación de variables intensivas (per cápita o superficie) a lo largo del tiempo²⁵. En este apartado los datos que se presentan para Theyern (*lowland system*) y Voitsau (*upland system*) se refieren a sus PG respectivos.

De acuerdo con la tendencia general en Austria, en ambos sistemas de uso de la tierra la porción de superficie agrícola ha descendido en relación a la extensión total (-16% en Theyern y -27% en Voitsau) durante el período observado, mientras que los bosques y la superficie urbanizada han ido creciendo. Como consecuencia, la proporción entre superficie agrícola y bosque decreció de 6:1 a menos de 2:1 en Voitsau. En Theyern este descenso fue menor (de 1,4:1 a 0,9:1) y la importancia de los cultivos permanentes aumentó en relación al total de tierra cultivada, que se redujo en un 30%. La agricultura en Voitsau se ha centrado en la típica combinación prealpina de ganado y producción de alimentos (praderas y grano para pienso). El 72% de las granjas se clasificaban como explotaciones con esta combinación. La importancia de la pradera se redujo y la proporción entre tierras de labor y pradera aumentó de 1,4:1 a 2:1. Según el censo de 1999, en ambos municipios sólo el 30-40% de las granjas se clasificaban como grandes explotaciones. La mayor parte se hallaban muy por encima del tamaño medio y representaban el 70-90% del total de tierra en cada estudio de caso.

4.1. El sistema ganadero

El ganado desapareció casi por completo de las granjas de Theyern. La densidad de ganado (medida en unidades de ganado por km² de superficie agrícola) ha disminuido

²⁵ Se ha verificado comparando la superficie de la tierra y los datos demográficos disponibles tanto para el KG como el PG en 1990/2000.

de manera radical y en la actualidad asciende sólo a la cuarta parte del valor de 1830 (8 UG_{500}/km^2_{agr} en 1999) (Tabla 1). Se redujeron sobre todo el ganado vacuno y los caballos y en 1999 los cerdos representaban la mayor parte (50%) del ganado que quedaba. En Voitsau la agricultura se centraba en la producción mixta de forraje en prados y tierras de labor, combinada con el vacuno. La densidad de ganado se ha multiplicado por 2,6 y alcanza los 61 UG_{500}/km^2_{agr} (Tabla 1). Las vacas lecheras y las terneras representan el 71% del ganado total. El número de cabezas por explotación se multiplicó por 3, aunque el tamaño medio de la explotación apenas cambió en términos de superficie agrícola.

Los animales de tiro han desaparecido en ambos sistemas de uso de la tierra y se han reemplazado por maquinaria accionada con combustible fósil. Las máquinas agrícolas no sólo sustituyeron a los animales de tiro, sino que hicieron aumentar la «potencia instalada»²⁶ casi en dos órdenes de magnitud (Tabla 1): en 1830 la potencia instalada estaba a un nivel de 0,1-0,2 kW/ha de superficie agrícola en ambos pueblos. En 1999 las existencias de maquinaria representaban una energía potencial de 6,4 kW/ha en Voitsau y 9,6 kW/ha en Theyern, es decir aumentó multiplicándose respectivamente por factores de 45 y 56. Puesto que en 1830 el forraje requerido para los animales de tiro suponía entre el 40 y el 55% de la provisión total de pienso, la desaparición de los animales de tiro ha dejado libre una cantidad importante de tierra, que antes se usaba para el forraje de los animales de tiro²⁷.

4.2. Abastecimiento de forraje y producción de alimentos

La función del ganado como medio de convertir subproductos y biomasa no comestible en productos alimenticios con valor económico ha perdido sentido en ambos sistemas de uso de la tierra. La paja y otros subproductos, que constituían hasta el 60% de la provisión total de forraje en 1830, han desaparecido como forraje (Tabla 1). También se ha reducido la contribución de pasto a la provisión de alimentos (hasta el 12% en Theyern, en Voitsau insignificante). En su lugar, los cereales y las proteínas suponen en los actuales sistemas más del 60% de la provisión total de alimentos en el sistema de las tierras altas y más del 40% en las tierras bajas. Como consecuencia, la tasa de conversión de biomasa de vegetales comestibles (principalmente cereales) en biomasa animal comestible (leche y carne) ha aumentado de manera importante. Por ejemplo en Voitsau el ganado consume hoy alrededor de 5 MJ_{VN} de comida digerible para los humanos, por 1 MJ_{VN} de producto alimentario de origen animal. En 1830 era el 2,4:1.

La reducción de la múltiple funcionalidad del ganado en el sistema de producción agrario –o concentración en la producción de proteína animal– y la mejor calidad del pienso, junto con la introducción de razas de alto rendimiento y la separación espacial de

²⁶ Potencia instalada es la energía potencialmente disponible e incluye el trabajo humano, los animales de tiro y la maquinaria agrícola (Tabla 2).

²⁷ Es difícil hacer una estimación de las consecuencias reales de esta liberación de tierras. El forraje se obtenía en gran medida de los subproductos y pastos. Los caballos y los bueyes, no obstante, consumían habitualmente el mejor pienso del que se disponía (avena y otros granos para pienso, salvado, etc.).

la crianza y el engorde, han supuesto un aumento significativo de la eficiencia energética de la producción animal. La eficiencia de conversión de biomasa vegetal ha aumentado en ambos sistemas: mientras en Theyern 20 GJ_{VCB} y en Voitsau 27 GJ_{VCB} de pienso se convertían en 1 GJ_{VCB} de producto alimentario de origen animal en 1830, estas proporciones han decrecido desde entonces hasta 7 y 10 GJ_{VCB} de pienso por cada GJ_{VCB} de producto alimentario. El rendimiento neto de la producción animal (carne, leche y huevos, expresados en GJ_{VN}) por ha de superficie agraria ha ido aumentando incluso en Theyern, donde la densidad de ganado se ha reducido a un tercio del valor de 1830. La producción animal por ha se ha multiplicado en Theyern por 1,8 y en Voitsau por 10.

Lo que ha cambiado radicalmente es la composición del producto animal neto. En 1830 la producción de carne era un aspecto marginal de la producción animal y la producción de leche, mucho más eficiente²⁸, tenía una importancia principal. En 1830/50 la proporción de leche y huevos en relación a la carne era, aproximadamente de 10 a 1 (medido en valores nutritivos). Con la abundancia de piensos y alimentos de alta calidad en la agricultura industrializada, el acento se ha trasladado a la producción de carne. En la actualidad la proporción de leche en relación a la de carne es de 0,4 en Theyern y 2,2 a 1 en Voitsau.

4.3. Ganado y fertilizantes

Debido a la disponibilidad de fertilizantes artificiales, la función del ganado en el sistema de gestión de los flujos de nutrientes ha cambiado estructuralmente. El papel esencial del ganado en la transferencia de nutrientes vegetales entre los tipos de uso de la tierra y en el procesamiento y concentración de nitrógeno, en los sistemas preindustriales de uso de la tierra, ha perdido por completo su anterior importancia. En la agricultura moderna, tanto la tierra de cultivo como la pradera reciben una reposición abundante del nitrógeno extraído sin utilización de abono animal. El abono animal se aplica sólo a la pradera mientras que la tierra de labor cuenta de manera predominante con el fertilizante artificial. En muchos sistemas de producción agraria, en particular los que se basan en el engorde a base de cereales, el estiércol ha pasado de ser un recurso valioso a ser un producto de desecho problemático por el elevado coste de deshacerse de él.

En Theyern el nitrógeno disponible en el estiércol representaba el 10% de la provisión total de nitrógeno y equivalía al 16% del N total extraído debido a la cosecha de biomasa agrícola²⁹. En Voitsau, debido a la importancia de la cría de ganado en el sistema de uso de la tierra, el nitrógeno contenido en el abono animal todavía representaba el 40% de la extracción total y el 30% de la provisión total. En Theyern, la aplicación de nitrógeno contenido en los fertilizantes artificiales equivalía al 86% de la extracción total de N y en Voitsau al 41%. Los procesos naturales de fijación biológica y deposición todavía tienen una importancia considerable, pero se ven sobrepasados por los inputs

²⁸ Eficiencia en términos de input de forraje versus output de alimentos.

²⁹ En el supuesto de pérdida de nitrógeno del 40% durante el almacenamiento y aplicación del abono.

socioeconómicos y sólo representan un tercio del suministro total. En los sistemas de uso del suelo a debate se dispone de nitrógeno en exceso y la provisión del mismo excede de un 30 a un 60% la cantidad extraída.

No sólo han cambiado de manera radical las contribuciones relativas de las diversas fuentes de N al suministro total, también lo ha hecho el tamaño relativo de los flujos de nitrógeno (Figura 4). La extracción de nitrógeno agrícola (por ha de superficie agrícola) ha aumentado de 3 a 6 veces y alcanza 77 kg en Theyern y 126 kg en Voitsau. Por lo que se refiere a los flujos de nitrógeno, la transformación de los sistemas locales cerrados en sistemas de transflujo es significativa. Las exportaciones (por parte de los sistemas socioeconómicos) del nitrógeno contenido en los productos agrícolas (por ha de superficie agrícola) han aumentado por un factor de entre 20 (Theyern) y 34 (Voitsau) y ascienden al 51% del N extraído en Theyern y al 25% en Voitsau. Las importaciones de nitrógeno contenido en los fertilizantes y los piensos han aumentado de 0 kg/ha_{agr} en 1830 a valores recientes de 70 kg/ha_{agr} en Theyern y 57 kg/ha_{agr} en Voitsau. Las importaciones de nitrógeno comparadas con la extracción de nitrógeno representan un 91% en Theyern y un 51% en Voitsau.

4.4. El flujo de biomasa

La entrada de combustibles fósiles y recursos basados en combustibles fósiles tuvo como consecuencia la transformación de los tradicionales sistemas locales de producción relativamente cerrados, en sistemas de transflujo y además hizo aumentar el tamaño de todos los flujos, hasta dos órdenes de magnitud en algunos casos. La extracción de biomasa por unidad de tierra se ha multiplicado por un factor de 1,8 en Theyern y 3,4 en Voitsau. En 1999 se cosecharon aproximadamente 63 GJ_{VCB} de biomasa por ha en Theyern y 96 GJ_{VCB} en Voitsau (Tabla 1). En 1830 ninguna de las dos aldeas importaba una cantidad de biomasa importante (por encima de 1 GJ/ha), pero ambas exportaban una pequeña cantidad de productos agrícolas. En 1830, las exportaciones eran notablemente inferiores a 1 GJ/ha (3-4% de la extracción). En la actualidad las importaciones de biomasa ascienden a 2,8 GJ/ha en Voitsau y 4,3 en Theyern, y ambas están compuestas por alimentos para consumo humano y pienso para el ganado (pienso de cereal y proteína). Las exportaciones, en cambio, se han multiplicado por 34 en Voitsau y en la actualidad alcanzan el 26% en relación a la extracción (Tabla 1). En Theyern las exportaciones crecieron según un factor 25 (47% de la extracción).

4.5. Producción y productividad

Como consecuencia de la especialización y la separación regional del uso de la tierra y del cambio de sistemas locales cerrados de bajas entradas a sistemas de transflujo con entradas elevadas, la productividad de la agricultura se ha elevado de manera espectacular desde principios del siglo XIX. Tanto el rendimiento medio neto del grano como la productividad por unidad de superficie –medidos como producto neto de la agricultura en valores nutricionales por ha de tierra agrícola– crecieron según un factor alre-

dedor de 7 en ambas aldeas (Tabla 1). Ha aumentado la capacidad de los sistemas de uso de la tierra para abastecer a la población de alimentos: en Theyern, en el año 2000, 1 ha de tierra agrícola tiene la capacidad de nutrir en potencia a 6,9 personas y a 3,5 en Voitsau³⁰. En 1830, los valores eran 1,0 (Theyern) y 0,5 (Voitsau).

La productividad del trabajo ha aumentado todavía de forma más radical. La producción de alimento por hora de trabajo invertido en la agricultura creció por un factor 11 tanto en las *lowlands* como en las *uplands*; actualmente una persona ocupada en la agricultura produce alimento para unas 23 personas en ambos sistemas de uso de la tierra. No obstante, el coste de este tremendo aumento de la productividad fue una disminución importante de la eficiencia energética de la agricultura. Mientras que en los primeros años del siglo XIX la agricultura se caracterizaba por un rendimiento neto importante en relación a la energía invertida (tasa O/I de 6 aproximadamente), la agricultura industrializada de final del siglo XX consume más o menos la misma cantidad de energía que contiene el producto neto (tasa O/I cercana a 1) debido a las grandes cantidades de energía externa directa e indirecta, como el combustible para la maquinaria agrícola y los fertilizantes artificiales (Krausmann *et al.*, 2003).

4.6. La transformación de la agricultura durante la industrialización

Después de la Segunda Guerra Mundial las tecnologías agrícolas impulsadas por combustible fósil fueron accesibles a gran escala y en condiciones económicas factibles. Esto desencadenó un rápido proceso de transformación que en pocas décadas tuvo como consecuencia una reestructuración fundamental del sistema de producción agraria a todas las escalas (Grigg, 1992). Como se ha visto en la Tabla 2 para el caso austriaco, entre 1950 y 1980 los tractores no sólo reemplazaron el trabajo humano y animal, sino que multiplicaron la potencia instalada por un factor 17, y además los fertilizantes artificiales sustituyeron los elementos tradicionales de gestión de los nutrientes, como por ejemplo los cultivos de leguminosas.

Las consecuencias de este proceso fueron la desintegración de los sistemas de uso de la tierra optimizados a escala local, la especialización espacial y la separación del uso agrícola de la tierra y enormes incrementos de la productividad del trabajo y por unidad de superficie superiores en un orden de magnitud (Tabla 2). En este contexto se deben destacar: a) la supresión de la limitación de los nutrientes para el crecimiento de la productividad (por unidad de superficie), gracias a la producción de fertilizantes artificiales basada en los combustibles fósiles; b) la sustitución de los animales de tiro por maquinaria impulsada por combustible fósil y c) la posibilidad de transporte (a larga distancia) accionado por combustible fósil y en unas condiciones económicas posibles de gran cantidad de recursos.

³⁰ Este cálculo se basa en el supuesto de una demanda media de alimento por persona (incluyendo los desperdicios y las pérdidas de almacenamiento) de 4,5 GJ_{viv}/año.

TABLA 2. LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA AUSTRIACA EN EL SIGLO XX

		1930	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Mano de obra agrícola	[1.000]	1.260	1.092	776	432	290	214	150
Animales de tiro*	[1.000]	666	633	363	50	0	0	0
Tractores	[1.000]	0,7	14	118	268	335	339	336
Potencia instalada**	[1.000kW]	427	504	1.880	5.583	8.872	12.075	17.060
Fertilizante artificial***	[1.000 t]	25	54	209	438	402	310	230
Cultivos leguminosos	[1.000 ha]	240	280	220	120	73	54	70
Rendimiento de los cereales	[t/ha]	1,46	1,55	2,51	3,20	4,54	5,61	5,46
Productividad por unidad de superficie	[GJ _v /ha]	6,1	5,7	8,7	11,3	12,0	16,4	16,1
Productividad del trabajo	[GJ _v /cap]	21	22	45	100	151	266	354

*Caballos, bueyes y vacas empleados como fuerza de tiro. **Es la energía potencialmente disponible e incluye el trabajo humano (0,1 kW por persona), los animales de tiro (caballos 0,7 kW; bueyes y vacas 0,5 kW) y maquinaria agrícola (ca. 10-100 kW). ***Contenido en nutrientes del fertilizante artificial.

Fuentes: Butschek *et al.* (1998); Krausmann *et al.* (2003); ÖSTAT (1995); WIFO (1962); Präsidentenkonferenz (2000); cálculos propios.

La maquinaria agrícola impulsada por combustible fósil substituyó el uso de trabajo humano y animal en la agricultura. No fue ya necesario criar grandes cantidades de animales «caros» como fuerza de tiro y una gran cantidad de tierra que hasta entonces se reservaba para alimentar a estos animales quedó disponible para otras finalidades. La posibilidad de transporte a bajo coste de grandes cantidades de productos permitió una separación y especialización del uso de la tierra. Ya no fue necesario producir a escala local grano para alimento y forraje en condiciones climáticas o topográficas desfavorables y se pudieron tener grandes explotaciones ganaderas que excedían el potencial local de suministro de forraje.

Desde un punto de vista biofísico, estos fueron los principales factores de la modernización agrícola que desencadenaron con posterioridad un conjunto de tecnologías distintas (la mayoría relacionadas con los combustibles fósiles)³¹ que en sólo dos o tres décadas impulsó la transformación de los modelos tradicionales preindustriales de uso del suelo en la forma actual de agricultura industrializada de Europa Central. La que una vez fuera inevitable combinación local de cultivo y ganadería se volvió obsoleta y la cría de ganado se pudo reducir a la producción de proteína animal. Esto ha llevado a una especialización en el ganado vacuno alimentado en los prados en las regiones alpinas y a la especialización agrícola en las tierras bajas más fértiles, junto a una separación

³¹ Las tecnologías de reproducción, la biotecnología, los pesticidas y herbicidas, los sistemas de irrigación, el procesamiento industrial de materias primas, los sistemas de refrigeración y conservación, etc.

espacial de la cría de ganado y la producción de forraje a gran escala (para el mercado). Para Austria, Krausmann *et al.* (2003) han mostrado esta evolución: aunque la proporción entre tierra de cultivo y pradera se ha mantenido estable en 1:1,4 a escala nacional, a partir de la década de 1950 se observan importantes procesos regionales de segregación³². En 35 regiones de producción agraria (de un total de 87) aumentó la tierra cultivada. En estas regiones la proporción entre tierra de cultivo y prados pasó de 2:1 en 1950 a 4:1 en 1995. En las restantes 52 regiones de producción la superficie en cultivo disminuyó y la proporción entre tierra cultivada y prados descendió de 1:3 en 1950 hasta 1:6 en 1995.

A escala regional esta evolución dio lugar a la transformación de los sistemas localmente cerrados, estabilizados en un bajo nivel de flujos de materia, en sistemas de transflujo y a un incremento del tamaño de los flujos en uno o dos órdenes de magnitud (Figura 4). Las importaciones y exportaciones de energía, pienso y nutrientes vegetales han aumentado enormemente, se ha incrementado la extracción de biomasa por unidad de terreno y el volumen interno de biomasa. Por consiguiente cambió la intensidad de uso de la tierra en cantidad y calidad. El impacto humano en el medio ambiente cambió, en términos de escala, de la local a la global y la interferencia socioeconómica con los ciclos biogeoquímicos globales, insignificante en la época preindustrial, alcanzó nuevas dimensiones (Turner *et al.*, 1990; Matson *et al.*, 1997; Vitousek *et al.*, 1997a; Vitousek *et al.*, 1997b).

El input directo e indirecto de combustibles fósiles en la agricultura también incidió en la función de la agricultura tradicional dentro del sistema socioeconómico de obtención de energía (Krausmann y Haberl, 2002). Debido a la repentina abundancia de energía, el requisito fundamental de la agricultura preindustrial de producir un beneficio neto de energía socioeconómica útil a la larga se volvió obsoleto. Los combustibles fósiles permitieron inmensos aumentos de producción. Como consecuencia, la eficiencia del trabajo y por unidad de superficie aumentó a costa de la eficiencia energética, y la agricultura pasó de suministradora central de energía primaria para la sociedad a proveedora de alimento y materia prima consumiendo energía (Pimentel y Pimentel, 1979; Martínez Alier, 1990; Siefert, 1997; Stanhill, 1984).

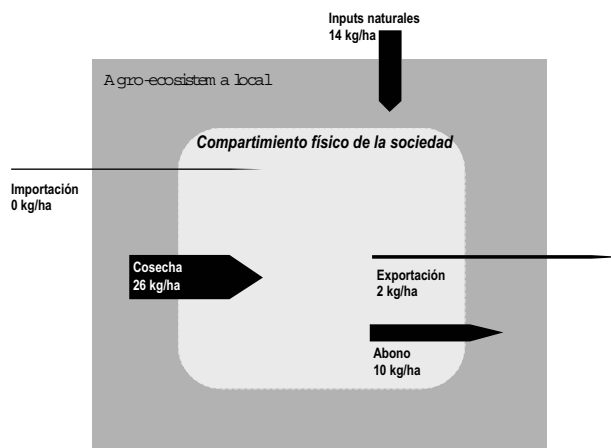
5. CONCLUSIONES

El artículo ha mostrado que el Catastro del emperador Francisco José constituye una valiosa fuente para la historia ambiental y agraria. Proporciona datos detallados acerca del uso del suelo y la cubierta vegetal del territorio, las prácticas de uso de la tierra, la población, el ganado y la producción agrícola para una gran parte de Europa Central a principios del siglo XIX. Abarca alrededor de 300.000 km², que se pueden utilizar para la investigación del uso de la tierra a diversas escalas, desde la de la explotación individual a la del país. Se ha demostrado que un enfoque basado en un modelo permite el análisis cuantitativo de los flujos de materia y energía en los sistemas (históri-

³² La superficie agrícola, no obstante, disminuyó un 22% entre 1950 y 1995.

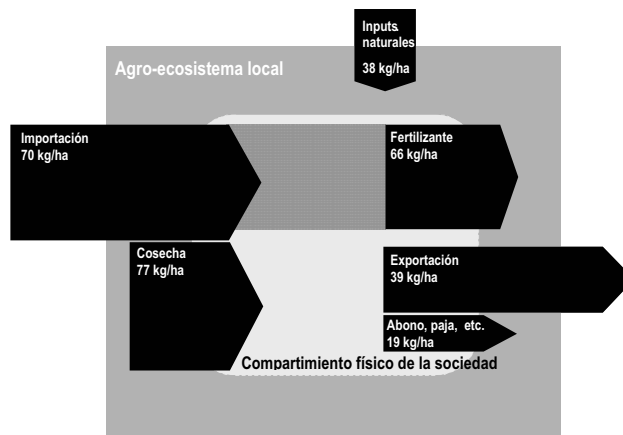
FIGURA 4. FLUJOS DE NITRÓGENO EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRARIA DE THEYERN 1830 (4A) Y 1999 (4B)³³

4A



[kgN/ha]	Agro-ecosistema	Compartimiento físico de la sociedad
Inputs	24	26
Outputs	26	12
Saldo	-2 (N-déficit)	14 (pérdidas)

4B



[kgN/ha]	Agro-ecosistema	Compartimiento físico de la sociedad
Inputs	123	144
Outputs	77	124
Saldo	46 (pérdidas)	20 (pérdidas)

³³ Esta figura muestra los flujos de nitrógeno (N) entre el agro-ecosistema local y el sistema socio-económico (el compartimiento físico de la sociedad que incluye el subsistema de producción y el

cos) de producción agraria y aporta información importante para una historia agraria ecológica. El material presentado en este artículo proporciona una perspectiva sistémica del funcionamiento y la estructura de la agricultura preindustrial y de la cantidad y calidad de los cambios ocurridos con la industrialización. El enfoque utilizado permite conectar los diversos procesos biofísicos y el uso de la tierra, lo que es necesario para comprender la agricultura como un sistema socioeconómico y natural asociado (Spedding, 1988; Winiwarter y Sonnlechner, 2001). No obstante, del modelo de sistemas de producción agraria aplicado (Fig. 1 y 2) se desprende que un tema importante que todavía falta es el significado del trabajo humano y su relación con el trabajo animal y el de la maquinaria accionada con combustible fósil. La inclusión del trabajo humano y su demanda a lo largo del año permitiría conectar por completo el uso de la tierra, el suministro de alimentos y el sistema demográfico y socioeconómico, y entender el funcionamiento de la agricultura preindustrial desde una perspectiva biofísica (Grigg, 1980; Clark y Haswell, 1970; Freudenberger, 1998; Giampietro y Pimentel, 1990; McNetting, 1993). Además, el enfoque de este artículo restringido a los aspectos biofísicos no debe subestimar la importancia de los factores socioeconómicos. El próximo paso de la investigación debe ser una integración explícita de los enfoques biofísicos –como los presentados en este artículo– y los aspectos institucionales o económicos. El modelo presentado permite esta integración y se puede ampliar con el fin de conectar los flujos de materia y energía con las relaciones socioeconómicas (Winiwarter y Sonnlechner, 2001).

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se ha escrito como parte del proyecto No. P16759 G04 (*The Transformation of Society's Natural Relations*), subvencionado por la *Austrian Science Fund*. El estudio en el que se basa forma parte del Lucc-endorse project #33: *Land-use change and socio-economic metabolism: a long term perspective*. Agradezco a Joe Amato, Geoff Cunfer, Helmut Haberl, Manuel González de Molina, Heinz Schandl, Enric Tello, Christoph Sonnlechner, Ortrun Veichtlbauer y Verena Winiwarter sus contribuciones y provechosas discusiones durante la investigación y sus comentarios sobre el artículo. Me gustaría igualmente mostrar aquí mi agradecimiento a Elena Grau Biosca por la magnífica traducción realizada.

subsistema demográfico, Fig. 1 y 2). Todos los datos (kg/ha) se refieren a kg de N por ha de superficie agrícola. Los «inputs Naturales» incluyen la deposición húmeda/seca de N y la fijación de N de las leguminosas y los microorganismos; no se toman en cuenta los procesos del suelo (acumulación y reducción de N). «Cosecha» incluye todo el N contenido en la biomasa extraída de las superficies agrícolas. «Importaciones» y «exportaciones» denominan todo el N contenido en los flujos de producto agrícola (alimento, forraje) o fertilizante que proceden de, o van hacia, otros sistemas socioeconómicos. El abono incluye el N contenido en los excrementos animales y las camas de paja para los animales que se aplican a la superficie agrícola, pero también el que se entierra con la paja al arar u otras restituciones deliberadas de biomasa a los campos. En el gráfico no se representan de manera explícita las pérdidas de N debidas a las emisiones gaseosas o la lixiviación de los campos y estercoleros, pero aparecen en el saldo respectivo como diferencia calculada entre inputs y outputs.

REFERENCIAS

- ABEL, W. (1978): *Agrarkrisen und Agrarkonjunktur. Eine Geschichte der Land- und Ernährungswirtschaft Mitteleuropas seit dem hohen Mittelalter*, Hamburgo, Berlin, Parey.
- ACHILLES, W. (1993): *Deutsche Agrargeschichte im Zeitalter der Reformen und der Industrialisierung*, Stuttgart, Ulmer.
- AYRES, R.U. Y SIMONIS, U.E. (1994): *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development*, Tokio, United Nations University Press.
- BAYLISS-SMITH, T.P. (1982): *The Ecology of Agricultural Systems, Cambridge Topics in Geography*, Cambridge, Cambridge University Press.
- BECK, R. (1993): *Unterfinning. Ländliche Welt vor Anbruch der Moderne*, Munich, C.H. Beck.
- BOSERUP, E. (1965): *The conditions of agricultural growth. The economics of agrarian change under population pressure*, Chicago, Aldine/Earthscan.
- BOSERUP, E. (1981): *Population and Technological Change - A Study of Long Term Trends*, Chicago, The University of Chicago Press.
- BUTSCHEK, F., PREDL, M., Y STEINER, C. (1998): *Statistische Reihen zur österreichischen Wirtschaftsgeschichte. Die österreichische Wirtschaft seit der industriellen Revolution*, Viena, Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO).
- CAMPBELL, B.M.S. Y OVERTON, M. (eds.) (1991): *Land, Labour and Livestock: Historical Studies in European Agricultural Productivity*, Manchester, Manchester University Press.
- CHORLEY, G.P.H. (1981): «The Agricultural Revolution in Northern Europe, 1750-1880: Nitrogen, Legumes and Crop Productivity», *The Economic History Review*, 34 (1), pp. 71-93.
- CLARK, C. Y HASWELL, M. (1970): *The Economics of Subsistence Agriculture*, Londres, MacMillan Press.
- COOTER, W.S. (1978): «Ecological Dimensions of Medieval Agrarian Systems», *Agricultural History*, 52, pp. 458-487.
- CUNFER, G.A. (2004): «Manure Matters on the Great Plains Frontier», *Journal of Interdisciplinary History*, 34 (4), pp. 539-567.
- DITT, K., GUDERMANN, R. Y RÜBE, N. (2001): *Agrarmodernisierung und ökologische Folgen: Westfalen vom 18. bis zum 20. Jahrhundert*, *Forschungen zur Regionalgeschichte Band 181*, Paderborn, Schöningh.
- FISCHER-KOWALSKI, M. (1998): «Society's Metabolism. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part I, 1860-1970», *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), pp. 61-78.
- FISCHER-KOWALSKI, M. Y HABERL, H. (1998): «Sustainable Development: Socio-Economic Metabolism and Colonization of Nature», *International Social Science Journal*, 158(4), pp. 573-587.
- FISCHER-KOWALSKI, M. Y WEISZ, H. (1999): «Society as Hybrid Between Material and Symbolic Realms. Toward a Theoretical Framework of Society-Nature Interrelation», *Advances in Human Ecology*, 8, pp. 215-251.
- FREUDENBERGER, H. (1998): «Human Energy and Work in a European Village», en *Anthropologischer Anzeiger*, 56(3), pp. 239-249.

- GANZERT, C. (1996): «Die Landwirtschaft zwischen Natur und Markt. Gefragt sind Lösungsansätze, die den alten Konflikt zwischen Ökonomie und Ökologie überbrücken», en KONOLD, W. (ed.), *Naturlandschaft Kulturlandschaft. Die Veränderung der Landschaften nach der Nutzbarmachung durch den Menschen*, Landsberg, Verlagsgesellschaft AG & Co. KG, pp. 77-98.
- GIAMPIETRO, M. Y PIMENTEL, D. (1990): «Assessment of the Energetics of Human Labor», *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 32, pp. 257-272.
- GÖTZ, B. (1998): *Stickstoffbilanz der österreichischen Landwirtschaft nach Vorgaben der OECD*, Viena, Umweltbundesamt-Bericht BE-087.
- GONZÁLEZ DE MOLINA, M. (2002): «Environmental constraints on agricultural growth in 19th century Granada (Southern Spain), *Ecological Economics*, 41(2), pp. 257-270.
- GRIGG, D.B. (1980): *Population Growth and Agrarian Change. An Historical Perspective*, *Cambridge Geographical Studies*, 13, Cambridge, Cambridge University Press.
- GRIGG, D.B. (1992): *The Transformation of Agriculture in the West*, Oxford, Blackwell.
- HABERL, H. (2001): «The Energetic Metabolism of Societies, Part I: Accounting Concepts», *Journal of Industrial Ecology*, 5(1), pp. 11-33.
- HOFFMANN, A. (ed.) (1978): *Österreich-Ungarn als Agrarstaat. Wirtschaftliches Wachstum und Agrarverhältnisse in Österreich im 19. Jahrhundert*, *Sozial- und wirtschaftshistorische Studien*, Viena, Verlag für Geschichte und Politik.
- K.K. FINANZ-MINISTERIUM (ed.) (1858): *Tafeln zur Statistik des Steuerwesens im österreichischen Kaiserstaate mit besonderer Berücksichtigung der directen Steuern und des Grundsteuerkatasters*, Viena.
- KJAERGAARD, T. (1994): *The Danish Revolution 1500-1800. An Ecohistorical Interpretation*, Cambridge.
- KRAUSMANN, F. (2004): «Milk, Manure and Muscular Power. Livestock and the Industrialization of Agriculture», *Human Ecology*, 32(6), pp. 735-773.
- KRAUSMANN, F. (2005): «Land Use and Socio-economic Metabolism in Pre-industrial Agricultural Systems: Four 19th Century Austrian Villages in Comparison», *Collegium Anthropologicum*, en prensa.
- KRAUSMANN, F. Y HABERL, H. (2002): «The process of industrialization from the perspective of energetic metabolism. Socioeconomic energy flows in Austria 1830-1995», *Ecological Economics*, 41(2), pp. 177-201.
- KRAUSMANN, F., HABERL, H., SCHULZ, N.B., ERB, K.-H., DARGE, E. Y GAUBE, V. (2003): «Land-use change and socio-economic metabolism in Austria - Part I: driving forces of land-use change: 1950-1995», *Land Use Policy*, 20(1), pp. 1-20.
- LEACH, G. (1976): *Energy and food production*, Guilford, IPC Science and Technology Press.
- LEGO, K. (1968): *Geschichte des österreichischen Grundkatasters*, Viena, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen.
- LOOMIS, R.S. (1978): «Ecological Dimensions of Medieval Agrarian Systems. An Ecologist Responds», *Agricultural History*, 52 (4), pp. 478-484.
- LOOMIS, R.S. Y CONNOR, D.J. (1992): *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*, Cambridge, Cambridge University Press.
- MARTÍNEZ ALIER, J. (ed.) (1990): *Ecological Economics. Energy, Environment and Society*, Oxford, Blackwell.
- MARTÍNEZ ALIER, J. (1997): «The measurement of agricultural productivity –an issue in

- environmental history», en BHADURI, A. Y SKARSTEIN, R. (eds.), *Economic development and Agricultural Productivity*, Cheltenham, Edward Elgar, pp. 219-241.
- MATSON, P.A., PARTON, W.J., POWER, A.G. Y SWIFT, M.J. (1997): «Agricultural Intensification and Ecosystem Properties», *Science*, 277(25 julio), pp. 504-509.
- MCCNETTING, R.M. (1981): *Balancing on an Alp. Ecological change and continuity in a Swiss mountain community*, Cambridge, Cambridge University Press.
- MCCNETTING, R.M. (1993): *Smallholders, Householders. Farm Families and the Ecology of Intensive Sustainable Agriculture*, Stanford, Stanford University Press.
- MORITSCH, A. (1972): «Der Franziszeische Grundsteuerkataster Quelle für die Wirtschaftsgeschichte und historische Volkskunde», *East European Quarterly*, 3(4), pp. 438-448.
- ÖSTAT (1995): *Republik Österreich 1945-1995*, Viena, Österreichisches Statistisches Zentralamt (ÖSTAT).
- PFISTER, C. (1990): «The Early Loss of Ecological Stability in an Agrarian Region», en BRIMBLECOMBE, P. Y PFISTER, C. (eds.), *The Silent Countdown. Essays in European Environmental History*, Berlín, Springer Verlag, pp. 37-55.
- PFISTER, C. (1995): «Im Strom der Modernisierung. Bevölkerung, Wirtschaft und Umwelt im Kanton Bern 1700-1914», en *Geschichte des Kantons Bern seit 1798, Band IV, Archiv des historischen Vereins des Kantons Bern*, Berna.
- PIMENTEL, D. Y PIMENTEL, M. (1979): *Food, Energy and Society*, Londres, Edward Arnold.
- PRÄSIDENTENKONFERENZ DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN ÖSTERREICHS (2000): *Zahlen aus Österreichs Land- und Forstwirtschaft '99*, Viena, AV - Druck Plus.
- PROJEKTGRUPPE UMWELTGESCHICHTE (1997): *Historische und ökologische Prozesse in einer Kulturlandschaft*, Viena, Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr.
- PROJEKTGRUPPE UMWELTGESCHICHTE (1999): *Kulturlandschaftsforschung: Historische Entwicklung von Wechselwirkungen zwischen Gesellschaft und Natur*, Viena, CD-Rom, Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr.
- PROJEKTGRUPPE UMWELTGESCHICHTE, ECKER, K., GRÜNWEIS, F.M., MÜLLNER, A., SONNLECHNER, C., WILFING, H., WINIARTER, V., WRBKA-FUCHSIG, I. Y WRBKA, T. (1999): «Landscape and History: A multidisciplinary Approach», *Collegium Anthropologicum*, 23(2), pp. 379-396.
- RAPPAPORT, R.A. (1971): «The Flow of Energy in an Agricultural Society», *Scientific American*, 224(3), pp. 117-132.
- SANDGRUBER, R. (1978): *Österreichische Agrarstatistik 1750-1918, Wirtschafts- und Sozialstatistik Österreich-Ungarns, Vol. 2*, Viena, Verlag für Geschichte und Politik.
- SANDGRUBER, R. (1979): «Der Franziszeische Kataster und die dazugehörigen Steuerschätzungsoperante als wirtschafts- und sozialhistorische Quellen», en *Mitteilungen aus dem niederösterreichischen Landesarchiv*, 3, pp. 16-28.
- SCHANDL, H., GRÜNBUHEL, C.M., HABERL, H. Y WEISZ, H. (2002): *Handbook of Physical Accounting. Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities. MFA – EFA – HANPP*, Viena, Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management.
- SCHÜLE, H. (1989): *Raum-zeitliche Modelle – ein neuer methodischer Ansatz in der Agrargeschichte. Das Beispiel der bernischen Viehwirtschaft als Träger und Indikator der Agrarmodernisierung 1790-1915*, Bern, Lizensiatsarbeit, historisches

Institut der Universität Bern.

- SIEFERLE, R.P. (1997): *Rückblick auf die Natur: Eine Geschichte des Menschen und seiner Umwelt*, München, Luchterhand.
- SMIL, V. (2001): *Enriching the Earth. Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*, Cambridge, MA, MIT Press.
- SPEDDING, C.R.W. (1988): *An Introduction to Agricultural Systems*, Londres, Elsevier.
- STANHILL, G. (1984): *Energy and Agriculture, Advanced Series in Agricultural Sciences*, 14, Berlín, Springer.
- STUBER, M. Y BÜRGI, M. (2001): «Agrarische Waldnutzung in der Schweiz 1800-1950, Waldweide, Waldheu, Nadel- und Laubfutter», *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 152(12), pp. 490-508.
- TIVY, J. (1993): *Landwirtschaft und Umwelt. Agrarökosysteme in der Biosphäre*, Berlín, Spektrum Verlag.
- TURNER, B.L.I., CLARK, W.C., KATES, R.W., RICHARDS J.F., MATHEWS, J.T. Y MEYER, W.B. (1990): *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, Cambridge, Cambridge University Press.
- VASEY, D.E. (1992): *An Ecological History of Agriculture, 10.000 B.C.- A.D. 10.000*, Ames, Iowa State University Press.
- VITOUSEK, P.M., ABER, J.D., HOWARTH, R.W., LIKENS, G.E., MATSON, P.A., SCHINDLER, D.W., SCHLESINGER, W.H. Y TILMAN, D.G. (1997a): «Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Causes and Consequences», *Issues in Ecology*, 1.
- VITOUSEK, P.M., MOONEY, H.A., LUBCHENCO, J. Y MELILLO, J.M. (1997b): «Human Domination of Earth's Ecosystems», *Science*, 277, pp. 494-499.
- WEISZ, H., FISCHER-KOWALSKI, M., GRÜNBUHEL, C.M., HABERL, H., KRAUSMANN, F. Y WINIWARTER, V. (2001): «Global Environmental Change and Historical Transitions», *Innovation – The European Journal of Social Sciences*, 14(2), pp. 117-142.
- WIFO (1962): «Traktoren und Zugvieh in der österreichischen Landwirtschaft», *Monatsberichte des österreichischen Institutes für Wirtschaftsforschung*, 1962(7), pp. 332-339.
- WINIWARTER, V. (2001): «Landwirtschaft, Natur und ländliche Gesellschaft im Umbruch. Eine umwelthistorische Perspektive zur Agrarmodernisierung», en DITT, K. Y OTROS (eds.), *Agrarmodernisierung und ökologische Folgen: Westfalen vom 18. bis zum 20. Jahrhundert*, Paderborn, Schöningh, pp. 733-767.
- WINIWARTER, V. Y SONNLECHNER, C. (2001): *Der soziale Metabolismus der vorindustriellen Landwirtschaft in Europa, Der Europäische Sonderweg*, Vol. 2, Stuttgart, Breuninger Stiftung.
- ZIMMERMANN, C. (1998): «Ländliche Gesellschaft und Agrarwirtschaft im 19. und 20. Jahrhundert. Transformationsprozesse als Thema der Agrargeschichte», en TROBBACH, W. Y ZIMMERMANN, C. (eds.), *Agrargeschichte. Positionen und Perspektiven*, Stuttgart, Lucius & Lucius, pp. 137-165.