

Una Aproximación Biofísica a la Industrialización de la Agricultura Española desde la Historia Aplicada

Manuel González de Molina¹, Gloria Guzmán Casado², David Soto Fernández³, Juan Infante Amate⁴, Guiomar Carranza Gallego⁵

RESUMEN

Este artículo da a conocer los resultados de dos investigaciones realizadas durante varios años sobre la evolución de la agricultura española y el cambio experimentado hacia un modelo de agricultura industrializada. La primera investigación trató de analizar los cambios habidos desde inicios del siglo XX desde un punto de vista biofísico, empleando la metodología del metabolismo social aplicada a las especificidades de la agricultura y un enfoque propiamente agroecológico. La segunda investigación, que trataba de conocer aspectos de esa evolución que las fuentes históricas no proporcionan, ha consistido en un experimento de campo de varios años de duración en el que se ha comparado el comportamiento de variedades tradicionales de trigo con otras modernas. Los hallazgos de ambas investigaciones cuestionan que el proceso de industrialización y la consiguiente aplicación de las tecnologías de la Revolución Verde dieran lugar a un importante incremento de los rendimientos por unidad de superficie de los principales cultivos. El aumento del volumen de la producción se asocia a cambios en la morfología de las plantas cultivadas y a la concentración de las tierras más fértiles, y no tanto al incremento de la productividad primaria neta de dichas plantas. Los resultados del experimento de campo confirman esos resultados y muestran que los cultivares tradicionales no eran menos productivos que los modernos si se considera toda la planta y que, por tanto, no es posible comparar los rendimientos del cultivo, en este caso del trigo, atendiendo sólo al grano producido. Estos resultados deberían cuestionar el relato positivo que sigue predominando en la historiografía sobre la industrialización de la agricultura.

Palabras clave: Agricultura Industrial; Agricultura Tradicional; Cultivares Tradicionales; Metabolismo Agrario; Historia Experimental; Agroecosistemas Españoles.

¹ Doctor en Historia (Universidad Pablo de Olavide). Profesor de Historia Contemporánea, ORCID: 0000-0002-0253-6971. E-mail: gonnava@upo.es

² Doctor en Agronomía (Universidad Pablo de Olavide). Profesor de Historia Contemporánea. ORCID: 0000-0003-1165-7182. E-mail: giguзcas@upo.es

³ Doctor en Historia (Universidad de Santiago de Compostela). Profesor de Historia Económica. ORCID: 0000-0002-5450-597.4 E-mail: david.soto.fernandez@usc.es

⁴ Doctor en Historia (Universidad de Granada). Profesor de Historia Económica. ORCID: 0000-0003-1446-7181. E-mail: jinfama@ugr.es

⁵ Doctor en Agroecología (Universidad Pablo de Olavide). Ayudante de investigación. ORCID: 0000-0002-8534-5811. E-mail: xgcargal@upo.es

Los relatos más difundidos sobre la industrialización de la agricultura suelen estar basados en el análisis monetario y ofrecen una consideración generalmente positiva del fenómeno. No suelen tener en cuenta los efectos adversos, tanto sobre la sociedad rural como en los propios agroecosistemas. En opinión de muchos organismos internacionales⁶ e incluso de la propia FAO⁷, la agricultura industrializada está en la raíz de los graves problemas sociales y ambientales que amenazan la capacidad productiva de los agroecosistemas y la alimentación de casi diez mil millones de individuos en el horizonte de 2050. La dura y compleja realidad de la agricultura mundial no encuentra en esos relatos, generalmente laudatorios y contruados con una gran dosis de optimismo, explicaciones convincentes sobre cómo se ha llegado a esta situación o por dónde ha de comenzar el necesario cambio de rumbo⁸. Tampoco son capaces de ofrecer la necesaria genealogía del propio proceso de industrialización, proporcionando datos sobre la naturaleza de las fuerzas motrices que lo impulsaron, información clave para orientar la búsqueda de un futuro más sostenible.

Estos relatos deben ser congruentes con la realidad que pretenden explicar y, al mismo tiempo, ser capaces de cooperar a la solución de los problemas, respondiendo a las nuevas demandas sociales que exigen de la Historia un conocimiento más práctico y comprometido. Desde hace ya varios años venimos insistiendo en la necesidad de que el discurso histórico, en tanto que conocimiento socialmente útil, se ponga al servicio del objetivo que parece hoy prioritario desde el punto de vista de la especie humana: la reversión de la crisis ambiental y de las demás manifestaciones de la crisis civilizatoria. Hemos reivindicado también que la Historia Ambiental constituye un instrumento idóneo para ello, ya que aporta la necesaria

⁶ IAASTD, *Agriculture at a crossroads*, Global Report (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development, 2009); IPES-Food (International Panel of Experts on Sustainable Food Systems), *From Uniformity to Diversity: A paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems* (Retrieved November 30, 2016 from: <http://www.ipes-food.org/Agroecology>).

⁷ FAO, *El futuro de la alimentación y la agricultura*, 2018 (<http://www.fao.org/publications/fofa/es>)

⁸ Olivier De Schütter, *Agroecology and the Right to Food* (ONU, 2011, Report presented at the 16th Session of the United Nations Human Rights Council); J. M Naredo, *La economía y evolución: Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico* (Madrid, Siglo XXI (4ª edición), 2015); C. Nicholls, M.A Altieri; L. Vazquez, "Agroecology: Principles for the Conversion and Redesign of Farming Systems". *J. Ecosyst. Ecogr.* 2016, S5:1. DOI: 10.4172/2157-7625.S5-010; IPBES, *The IPBES assessment report on land degradation and restoration* (Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.), Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 2018) 744 pages;

genealogía del presente y es capaz, al mismo tiempo, de proporcionar conocimientos útiles, basados en la propia experiencia humana, con los que proyectar un futuro con menos entropía física y social⁹.

Esta función de utilidad social que debe tener el conocimiento histórico renueva el necesario vínculo con el presente, yendo más allá de los usos tradicionales de la Historia. Esa búsqueda de utilidad es la que nos permite hablar de "aplicar la historia" a la resolución de problemas, en nuestro caso a la agricultura. Pero para ello, las teorías y las metodologías que han dominado hasta ahora en el abordaje de la industrialización deben ser renovadas, ya que son sólo explican una parte de lo ocurrido, olvidando los impactos ambientales y las causas socioeconómicas que los producen. Es imprescindible, pues, que la Historia Ambiental adopte un enfoque integrado, que combine variables económicas, sociales, ambientales y culturales de manera coherente para producir un conocimiento realmente útil.

Esta dimensión aplicada de la Historia Ambiental tiene, además, una doble vertiente en el caso de la industrialización de la agricultura. Por un lado, permite conocer las causas y los efectos, tanto positivos como negativos, del proceso de industrialización mientras construye un relato quizá menos complaciente de lo ocurrido. Por otro lado, la hibridación con la Agroecología puede ayudar a mejorar sustancialmente nuestro conocimiento sobre los sistemas agrarios tradicionales. En ese sentido, la investigación agroecológica puede proporcionar no sólo las construcciones teóricas y metodológicas que ayuden a construir un nuevo relato basado en la sustentabilidad, sino que puede ayudar con sus investigaciones sobre el presente a arrojar luz sobre el pasado, especialmente sobre aquellos aspectos que no pueden reconstruirse con las fuentes convencionales. A esta manera de hacer historia agraria hemos llamado en otro lugar¹⁰ *historia experimental*. Mediante la realización, por ejemplo, de ensayos "de campo" podemos reproducir las condiciones de manejo de la agricultura tradicional; o podemos usar información proveniente de

⁹ Manuel González de Molina & Víctor Toledo, *Metabolismos, naturaleza e historia. Una teoría de las transformaciones socio-ecológicas* (Barcelona, Icaria, 2011); Manuel González de Molina & Víctor Toledo, *The Social Metabolism: A Socio-Ecological Theory of Historical Change* (Springer International Publishing, 2014).

¹⁰ Manuel González de Molina Navarro; Gloria Guzman-Casado; Roberto García-Ruiz; David Soto-Fernández; Antonio Herrera-González de Molina; Juan Infante-Amate, "Claves del crecimiento agrario: la reposición de la fertilidad en la agricultura andaluza de los siglos XVIII y XIX", en R. Garrabou & González de Molina (eds), *La reposición de la fertilidad en los sistemas agrarios tradicionales* (Barcelona: Icaria editorial, S A, 2010) 127-170.

investigaciones en agricultura orgánica, habida cuenta su semejanza con los sistemas agrarios tradicionales. Muchos de los estudios que hemos realizado por ejemplo sobre la reposición de nutrientes en los sistemas agrarios preindustriales se han beneficiado de varios ensayos de este tipo que han proporcionado, con mayor precisión y exactitud valores a algunas de las variables empleadas en los balances¹¹.

En este texto se comentan los principales resultados de dos investigaciones que responden a esa doble cara, aplicada y experimental, de la Historia Ambiental. La primera ha abordado la evolución de la agricultura española desde comienzos del siglo XX, con el objeto de apreciar en toda su extensión el proceso de cambio de la agricultura tradicional de base orgánica a la agricultura industrial hoy predominante. La segunda investigación ha tratado de comparar, mediante un experimento de campo, las características y el comportamiento de las variedades de trigo tradicionales y las modernas. El objetivo ha sido conocer las implicaciones de la sustitución de las variedades tradicionales por las modernas, sin dar por supuesta la superioridad de estas últimas sobre aquellas. Este texto se organiza de la siguiente forma: en primer lugar, se describe el marco teórico y metodológico empleado en ambas investigaciones. El segundo epígrafe trata de resumir las principales conclusiones del análisis metabólico de la agricultura española desde 1900 hasta 2008. El tercero da cuenta de algunos de los resultados del experimento de campo, en tanto que el cuarto trata de integrar los resultados de ambas investigaciones para ofrecer un relato alternativo sobre el proceso de industrialización. El artículo termina con un breve apartado de conclusiones en las que, a la vista de los resultados analizados, se cuestiona el relato tradicional de la industrialización agraria.

¹¹ Roberto García-Ruiz; Manuel González de Molina; Gloria Guzmán; David Soto; Juan Infante-Amate, "Guidelines for Constructing Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Balances in Historical Agricultural Systems", *Journal of Sustainable Agriculture*, 36, 2012: 650–682; Manuel González de Molina; Roberto García-Ruiz; David Soto Fernández; Gloria Guzmán Casado; Antonio Cid; Juan Infante Amate-Amate, "Nutrient Balances and Management of Soil Fertility Prior to the Arrival of Chemical Fertilizers in Andalusia, Southern Spain", *Human Ecology Review*, Volume 21 (2), 2015, 23-48.

EL MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

El impacto de la industrialización agraria en España desde un punto de vista económico es relativamente conocido y ha sido objeto tradicional de estudio por los historiadores económicos. Sin embargo, carecemos de un estudio que dé cuenta del impacto del proceso de industrialización en los agroecosistemas desde un punto de vista biofísico, que además aborde la cuestión de manera integrada con los aspectos económicos y sociales del proceso. La herramienta más idónea para este tipo de análisis es el enfoque del Metabolismo Social¹². Lo hemos aplicado a la agricultura, combinando la metodologías EW-MEFA y MuSIASEM con criterios agroecológicos¹³. Así hemos llegado a definir el Metabolismo Agrario (AM) como el intercambio de energía, materiales e información que los agroecosistemas realizan con su medio ambiente social y ecológico para satisfacer sus demandas de biomasa y otros servicios ambientales. Con ese planteamiento hemos analizado los flujos de materiales y energía que entran y salen de los agroecosistemas españoles, tal y como plantea la metodología EW-MEFA. Pero también prestamos especial atención a si esos flujos han mantenido o no en buenas condiciones los bienes fondo¹⁴ con que están dotados los agroecosistemas. Así es posible obtener una idea aproximada del grado de sustentabilidad del manejo que se les ha dispensado históricamente. Hemos considerado cuatro bienes o elementos fondo: territorio, ganado, población agraria y medios técnicos de producción. Sus interacciones o mutuas determinaciones explican la dinámica de los agroecosistemas.

Cada uno de los elementos fondo se mantienen con flujos específicos que no pueden sumarse¹⁵. En principio, los fondos sociales pueden ser alimentados con flujos de distinta naturaleza. La población agraria está compuesta por los grupos domésticos o familias que invierten trabajo propio, familiar o ajeno en los agroecosistemas. La

¹² González de Molina & Toledo, *The Social Metabolism: A Socio-Ecological Theory of Historical Change*.

¹³ Gloria I Guzmán Casado & Manuel González de Molina, *Energy in Agroecosystems: A Tool for Assessing Sustainability* (Boca Raton (FL): CRC Press, 2017); Manuel González de Molina; David Soto Fernández; Gloria Guzmán Casado; Juan Infante-Amate; Eduardo Aguilera Fernández; Jaume Vila Traver; Roberto García-Ruiz, *Historia de la agricultura española desde una perspectiva biofísica, 1900-2010* (Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2019).

¹⁴ Nicolas Georgescu-Roegen, *The entropy law and the economic process* (Cambridge. Harvard University Press, 1971); Mario Giampietro; Richard Aspinallis; Jesús Ramos-Martin; Sandra Bukken (eds), *Resource Accounting for Sustainability Assessment: the nexus between energy, food, water and land use* (London. Routledge, 2014)

¹⁵ Giampietro et al., *Resource Accounting for Sustainability Assessment: the nexus between energy, food, water and land use*, 29.

manera más sintética de valorar si la población agraria es capaz de mantener en el tiempo estos flujos de trabajo es comprobando si la remuneración que reciben por la venta de productos cubre o no los costes medios de una familia, en este caso española. En cuanto a los medios técnicos de producción, casi todos ellos son fabricados y/o funcionan con combustibles fósiles o minerales y su reposición se produce gracias a procesos metabólicos que tiene lugar habitualmente fuera del propio sector agrario.

Pero son los fondos biofísicos (territorio y ganado) los que más nos interesan a los efectos de este texto. Estos tienen una dinámica reproductiva peculiar: una parte de la biomasa producida debe recircular para atender funciones tanto productivas como reproductivas básicas del propio agroecosistema¹⁶. Por ejemplo, sólo con biomasa pueden alimentarse las cadenas tróficas que sostienen tanto la vida edáfica como la biodiversidad en general del agroecosistema. El ganado por su parte sólo puede alimentarse con biomasa. Estos flujos se cuantifican en toneladas de materia seca y en megajulios. Estas categorías no son las propias de la metodología EW-MEFA ni del MuSIASEM, las hemos añadido nosotros al adoptar una perspectiva agroecológica. Consideramos, por tanto, no sólo aquella fracción de la biomasa que va a para a la sociedad o a alimentar al ganado, sino toda la productividad primaria neta (PPN), ya que toda ella cumple funciones y presta servicios básicos para el mantenimiento de los bienes fondo biofísicos de los agroecosistemas. Por ello descomponemos la PPN en distintas categorías en función de su destino final: la biomasa que va a para a la sociedad o biomasa socializada; la biomasa reutilizada que alimenta al ganado o es incorporada al suelo en forma de semillas o abonos verdes; la biomasa no cosechada que alimenta a los demás seres vivos; y la biomasa que se acumula en las plantas leñosas y que prestan también servicios ambientales. Estas categorías son, pues, importantes para cuantificar los flujos que recirculan por el interior de los agroecosistemas y si son suficientes para mantener los fondos biofísicos¹⁷.

¹⁶ Mae W. Ho & Robert Ulanowicz, "Sustainable systems as organisms?", en *Bio Systems*, nº 82, 2005, pp. 39-51; Mae W. Ho, "Circular Thermodynamics of Organisms and Sustainable Systems", en *Systems*, nº 1, 2013, pp. 30-49.

¹⁷ Una descripción más detallada de estas categorías y su justificación puede encontrarse en Gloria Guzmán Casado; Aguilera, E.; Soto, D.; Cid, A.; Infante-Amate, J.; García-Ruiz, R.; Herrera, A.; Villa, I.; González De Molina, M. (2014), "Methodology and conversion factors to estimate the

Con esa metodología hemos cuantificado los flujos metabólicos de la agricultura española desde 1900 hasta 2010. Para ello, hemos construido una serie decenal compuesta de una media de cinco años con flujos de entrada y salida y los principales indicadores metabólicos asociados (productividad primaria neta real, extracción doméstica, balanza comercial física y consumo doméstico de materiales, etc...). Las principales fuentes utilizadas para la reconstrucción de los flujos han sido las estadísticas proporcionadas anualmente por el gobierno español (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, s.f.). Esa fuente proporciona información sobre los usos del suelo y superficie de cultivos, producción de granos y frutos y paja recogida de cereales y leguminosas. Asimismo las estadísticas proporcionan información sobre el volumen y composición de la cabaña ganadera y de las producciones ganaderas. Para calcular la biomasa reutilizada, utilizamos la cantidad de paja de los cereales y legumbres con uso económico, que es proporcionada por los anuarios. Para calcular la cantidad total de paja producida utilizamos índices de cultivos específicos¹⁸. Para todos los demás residuos, así como para la flora adventicia y la biomasa subterránea, utilizamos convertidores fijos de la literatura¹⁹. Hemos relacionado todos estos datos de productividad por hectárea con la evolución de los usos del suelo desglosados a escala provincial para todo el período. Los datos del comercio exterior han sido obtenidos de las estadísticas que proporciona el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo español, cuyos últimos años están recogidos en una base de datos llamada DataComex.

Pero las fuentes históricas proporcionan muy poca información sobre las características de la producción tradicional y la industrial, y resulta difícil evaluar realmente los cambios producidos. Con el objeto de poder comparar ambas formas de producción, decidimos en su momento desarrollar un experimento de campo en que reproducir las condiciones de la producción agraria antes y después de la industrialización, pero en las mismas condiciones de suelo y clima para que la comparación fuese rigurosa. La semejanza entre la producción orgánica y la producción preindustrial (u orgánica tradicional) ofrece la posibilidad de reproducir

net primary productivity of 112 historical and contemporary agro-ecosystems (I)" (Documento de Trabajo de la Sociedad Española de Historia Agraria, nº 14-06. Disponible en: www.seha.info).

¹⁸ Ibidem

¹⁹ Ibidem

las condiciones de esta última recurriendo a la primera, cuya difusión en España es bastante importante, ya con casi tres décadas de desarrollo²⁰. Para ello elegimos el trigo por ser este el cultivo más importante para la alimentación humana en el Mediterráneo y el más extendido durante el periodo de tiempo que abarca nuestro estudio. El objetivo de este fue, pues, comparar las variedades tradicionales y las variedades modernas de trigo en un ambiente agrícola orgánico simulando las condiciones tradicionales de cultivo para lograr establecer puntos clave en la comprensión de los cambios determinantes que se dieron en la transición hacia el actual modelo basado en los combustibles fósiles y arrojar luz sobre los pasos a dar hacia sistemas agrícolas más sustentables.

Desarrollamos, pues, un experimento de campo durante tres años (2013–2016) para evaluar y comparar 12 variedades de trigo bajo tres manejos agronómicos diferentes en tres ensayos correspondientes a tres localizaciones diferentes en Andalucía (España, Gráfico 1). Cada una de las cuales responde a las condiciones de suelos y precipitación más frecuentes de la llamada España seca o semiárida, la más extensa de la Península Ibérica. Las variables estudiadas fueron productividad primaria neta aérea de la parcela (PPNa), biomasa total aérea del cultivo al final del ciclo, biomasa radicular, y biomasa aérea de la flora arvense del cultivo.

Figura 1. Localización de los ensayos al sur de la Península Ibérica.



Fuente: Google Maps

²⁰ MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), Producción ecológica. Estadísticas provisionales 2019 (Madrid, MAPA., 2020).

Los ensayos se realizaron en dos fincas de producción orgánica y en una de producción convencional. De las variedades ensayadas, 6 fueron de trigo duro (*Triticum durum* Desf.), 3 de las cuales eran variedades tradicionales (“Rubio”, “Blanco Verdial”, “Recio”) y 3 modernas (“Avispa”, “Simeto”, “Vitrón”); y otras 6 de trigo blando (*Triticum aestivum* (L.) Thell.), 3 tradicionales (“Barbilla Roja”, “Rojo Pelón”, “Sierra Nevada”) y 3 modernas (“García”, “Marius”, “Artur Nick”). Las semillas de las variedades tradicionales procedieron del Centro de Recursos Fitogenéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias de España (CRF-INIA). De este banco de germoplasma se seleccionó un grupo de variedades tradicionales de origen andaluz, cuyas entradas datan del primer tercio del siglo XX. El CRF-INIA se encargó de reproducir la semilla necesaria para los ensayos, en el año previo a la puesta en marcha de éstos. Por su parte, la selección de las variedades modernas se basó en su buena reputación y alta implantación en las zonas de realización de los ensayos (Granada, Málaga y sur de Sevilla).

Tantos las variedades tradicionales como modernas se sometieron a los siguientes tres tipos de manejos: en el ensayo 1 (Ronda) se recreó el manejo tradicional de rotación “al tercio” (trigo/barbecho/barbecho); con este manejo se pretendió emular las condiciones del suelo (contenido de materia orgánica, actividad biológica, fertilidad natural, etc.) típicas de agricultura tradicional de secano. En el ensayo 2 (Sierra de Yeguas) se reprodujo el manejo típico de la rotación intensiva combinando cereal con leguminosa, esto es trigo/haba (*Vicia faba*), que caracterizaba las zonas española con mejores suelos y, por tanto, con una productividad relativamente alta. Tanto la parcela de Ronda como la de Sierra de Yeguas estaban y están bajo manejo ecológico certificado desde hace más de 20 años para garantizar la semejanza con las condiciones de suelo de la agricultura tradicional. En el ensayo 3 (La Zubia) se recreó el manejo típico industrial, esto es el monocultivo convencional del cereal, basado en el uso de insumos industriales²¹.

²¹ Los detalles del diseño experimental y una descripción con mayor profundidad de los manejos pueden encontrarse en Guiomar; Gloria Guzmán; Eduardo Aguilera; Manuel González de Molina; Roberto García-Ruiz, Contribución de las variedades tradicionales de trigo a la mitigación del cambio climático en agroecosistemas mediterráneos de secano. *Agroecología* 11 (2), 2016, pp. 7-22; Guiomar Carranza-Gallego; Gloria Guzmán; Roberto García-Ruiz; Manuel González de Molina; Eduardo Aguilera, “Addressing the Role of Landraces in the Sustainability of Mediterranean Agroecosystems”, *Sustainability*, 11, 2019, 6029; Guiomar Carranza-Gallego; Gloria Guzmán; Roberto García-Ruiz; Manuel González de Molina; Eduardo Aguilera, “Contribution of old wheat varieties to climate change mitigation under contrasting managements and rainfed Mediterranean

RESULTADOS DEL ANÁLISIS METABÓLICO

Se suele considerar el crecimiento de la producción agraria como el principal indicador de desarrollo económico en la agricultura y se mide en toneladas de materia fresca y/o en dinero. De acuerdo con esta manera de medir, la agricultura española experimentó un significativo proceso de crecimiento que multiplicó la producción por 3,3 entre 1900 y 2008, alcanzado su máximo en los primeros años de este siglo con más de 104,2 millones de toneladas, casi cuatro veces más que en 1900. Todos los cultivos elevaron sus rendimientos en tanto la superficie cultivada disminuía. Especialmente intenso fue el crecimiento experimentado por los cereales, las frutas y hortalizas, las plantas forrajeras y el olivar, reflejando la progresiva especialización de la agricultura española. Aún más impresionante fue el crecimiento si se mide en términos monetarios. El valor de la producción final agraria se multiplicó por 5,1 a precios constantes entre 1953, cuando comenzaron a elaborarse las cuentas del sector agrario, y 2003. Según la estimación de Leandro Prados, el PIB de la agricultura española (2003) se multiplicó por 3,6 entre 1900 y 1990²².

Sin embargo, el crecimiento no fue tan impresionante si se considera en conjunto la capacidad de producir biomasa de los agroecosistemas y se mide en materia seca: la productividad primaria neta (PPN) creció sólo un 28,5 % entre 1900 y 2008. Muy lejos desde luego de las magnitudes de crecimiento que se derivan del análisis convencional. ¿A qué se debe diferencia tan grande? A la traslocación de la capacidad fotosintética de unas partes a otras de las plantas cultivadas y a la concentración territorial de su cultivo en las tierras con más aptitudes y acceso al riego. Estos cambios reflejan el esfuerzo continuado de los agricultores por elevar el volumen de la producción de biomasa con orientación comercial para hacer frente a la demanda creciente de alimentos humanos, animales y de materias primas y a la caída de la renta agraria.

conditions. *Journal of Cleaner Production*, 195, 2018, pp. 111-121; Guiomar Carranza-Gallego; Gloria Guzmán; David Soto; Eduardo Aguilera; Inmaculada Villa; Juan Infante-Amate; Antonio Herrera; Manuel González de Molina, "Modern Wheat Varieties as a Driver of the Degradation of Spanish Rainfed Mediterranean Agroecosystems throughout the 20th Century", *Sustainability*, 10, 2018 3724.

²² Leandro Prados de la Escosura, *El progreso económico de España (1850-2000)* (Bilbao, Fundación BBVA, 2003)

Aumentó la cantidad de biomasa apropiada por la sociedad directa o indirectamente a través del ganado. Esta es la fracción de la PPN que la llamamos Extracción Doméstica (ED), que pasó de representar el 20,2 % de la PPN en 1900 al 21,8% en 2008. Creció a lo largo del periodo un 38 %, más de lo que lo hizo la PPN (28%). Creció la extracción en un 57% en las tierras de cultivo, un 42% en los terrenos forestales y un 8% en los pastos. Ello significa que la presión humana para incrementar la producción se concentró sobre todo en las superficies cultivadas, donde la utilidad mercantil de la biomasa es mayor y, en especial en las tierras con acceso al riego. De hecho, la productividad por hectárea creció en un 50% respecto a 1900, valor este alcanzado en 2008.

Si descomponemos la biomasa extraída, podemos comprobar que el crecimiento de la Extracción Doméstica se concentró en la parte comercial de las plantas cultivadas, aumentando un 236% respecto a 1900, en tanto que los “residuos” (pajas, desechos de poda, etc.) crecían sólo un 8%. La biomasa apropiada en los pastos y en los bosques disminuyó un 46% y un 17% respectivamente. Este distinto comportamiento de los diferentes tipos de biomasa se pone de manifiesto en la evolución de la productividad por hectárea. Esta se multiplicó por tres en la parte principal de los cultivos, mientras que sólo se elevó en un 40% en los residuos. El abandono e infrautilización de los pastos explican que la extracción en estas tierras disminuyera hasta un 81%, por debajo de una tonelada por hectárea, cuando habían llegado a extraerse más de seis en los años cuarenta y cincuenta, cuando el ganado se alimentaba en estas tierras. Las políticas de conservación forestal y la transición energética en los hogares, que favorecieron la sustitución de la leña por electricidad o gas, explican a su vez el descenso de la extracción por hectárea en los bosques (17%). En cualquier caso, la evolución de la Extracción Doméstica muestra el significativo cambio que privilegió los cultivos primarios sobre las demás clases de biomasa. En este sentido, puede decirse que la industrialización de la agricultura ha supuesto un aumento moderado de la biomasa extraída, pero ese aumento se ha concentrado en las tierras cultivadas y en las partes más comerciales de los cultivos. De hecho, la extracción en esas tierras pasó de suponer el 22,5% de la Extracción Doméstica total al 54,8% en 2008.

Tabla 1. Principales indicadores de la evolución de la agricultura española

Indicadores	1900	1960	2008
Producción Final Agraria [M de € de 2000]	--	11.295	36.211
Producción Agrícola [Mt de materia fresca]	28,50	57,48	95,14
Producción ganadera [Mt de materia fresca]	1,95	4,46	16,03
Productividad primaria neta [Mt de materia seca]	244,58	267,96	314,20
Biomasa no Cosechada [Mt de materias seca]	183,37	187,46	222,05
Biomasa Acumulada [Mt de materia seca]	11,68	16,99	23,66
Extracción Doméstica [Mt de materia seca]	49,52	63,49	68,48
Biomasa vegetal socializada [Mt de materia seca)	21,15	21,59	26,59
Biomasa animal socializada [Mt de materia seca]	0,35	0,77	4,02
Extracción Doméstica [t/ha materia seca]	1,06	1,37	1,47
ED Cultivos [t/ha materia seca]	1,47	1,73	2,99
ED Cultivos principales [t/ha materia seca]	0,67	0,97	2,17
ED residuos de cultivo [t/ha materia seca]	0,79	0,75	0,82
ED pastada de pastos [t/ha materia seca]	0,83	1,49	0,67
ED Madera y leña de bosque [t/ha materia seca]	0,85	0,69	0,51

Fuente: Fuente: González de Molina et al., Historia de la agricultura española desde una perspectiva biofísica, 1900-2010

Ya hemos visto que, dentro de la extracción doméstica en las tierras cultivadas, el esfuerzo productivo se concentró en estos en detrimento de los “residuos”. La biomasa procedente de los cultivos primarios se triplicó sobradamente, siendo este el componente de la biomasa extraída que más creció. A su vez, el grueso de esta se concentró en los cultivos de mayor valor comercial, consecuencia del proceso de especialización productiva y vinculación con los mercados que experimentó la agricultura española. Desde la década de los sesenta de siglo pasado y con mayor intensidad desde los noventa, a ese proceso se ha añadido una creciente orientación de la producción agrícola hacia la producción de alimentos para el ganado, sosteniendo con ellos la especialización ganadera que viene experimentando el sector agrario español en las últimas décadas.

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DE CAMPO

Los resultados obtenidos en el experimento de campo son congruentes con el análisis metabólico y permiten profundizar allá donde esa metodología no llega. En conjunto la PPN fue entre un 29% y un 33% superior para las variedades tradicionales en las dos fincas con manejo ecológico. En ambas fincas las variedades tradicionales produjeron similar cantidad de grano²³. Sin embargo, los cultivares tradicionales produjeron significativamente más paja y más biomasa radicular que las modernas. Ello permite, por ejemplo, suponer que los suelos tradicionales mantenían la materia orgánica del suelo incorporando parte de la paja y la raíz. Ello seguro que elevaba la capacidad de acumular agua en el suelo, característica esta que incrementaría hoy la resiliencia de los agroecosistemas frente al cambio climático. Esta característica también significa que los cultivares tradicionales podrían contribuir en el futuro en mayor medida que los modernos al secuestro del carbono, ayudando a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero²⁴.

En la parcela manejada de manera convencional, la productividad de grano fue ligeramente inferior para las variedades tradicionales, pero sólo hubo diferencia significativa el primer año a favor de las variedades modernas. Pese a ello, la productividad de paja de las variedades tradicionales fue un 27% superior a las de las modernas y la diferencia fue significativa para el segundo y el tercer año. En cambio, la cantidad de hierba acompañante se duplicó para las variedades modernas y la diferencia con las tradicionales fue muy significativa en los tres años. En conjunto la PPN aérea fue un 10% superior para las variedades tradicionales, siendo estadísticamente significativa la diferencia para el segundo año.

En definitiva, los resultados muestran que, en condiciones de secano semiárido mayoritario en la agricultura española, la cantidad de grano fue similar entre ambos grupos de variedades. Incluso en el caso del manejo convencional, con mayor disponibilidad de insumos, la escasez de agua limitó la respuesta de las

²³ Guiomar Carranza-Gallego et al., "Contribution of old wheat varieties to climate change mitigation under contrasting managements and rainfed Mediterranean conditions", 111-121

²⁴ Guiomar Carranza-Gallego et al., "Contribución de las variedades tradicionales de trigo a la mitigación del cambio climático en agroecosistemas mediterráneos de secano" 7-22.

variedades modernas y, por tanto, su uso no implica un incremento apreciable de los rendimientos. Estos resultados permiten pensar que el incremento de los rendimientos en las variedades de la Revolución Verde se explica mejor por el incremento del índice de cosecha que por un incremento de la biomasa aérea en sí, tal y como sostienen algunos autores²⁵. Nuestros resultados van más allá mostrando que, en condiciones de secano en regiones semiáridas, se produce una reducción neta de la productividad de fitomasa aérea del trigo con las variedades modernas, que es mayor cuanto mayores son las limitaciones agroclimáticas.

Otro resultado significativo es el relacionado con las hierbas acompañantes. La fitomasa de las hierbas fue mayor en los tres ensayos en las parcelas con variedades modernas. Hay dos causas que explican este hecho. La primera es que las variedades tradicionales al producir mayor biomasa de paja, compiten más por recursos como nutrientes, luz y agua con las hierbas. Por tanto, éstas se ven perjudicadas en su establecimiento y crecimiento. La otra causa es que las variedades tradicionales tienen cierta capacidad alelopática que afecta a la germinación y crecimiento de las hierbas. Este efecto ha sido comprobado en las variedades tradicionales empleadas en el ensayo²⁶. Esta capacidad es relativamente frecuente en variedades tradicionales de diversos cultivos, ya que confería ventajas innegables a los agricultores tradicionales, que se veían menos precisados de realizar labores de escarda. El uso de herbicidas implicó la generación de variedades poco capaces de competir con las hierbas por sus propios medios. Actualmente, esta capacidad es de nuevo deseada por la sociedad para evitar la contaminación por plaguicidas de alimentos y agua, y los daños directos a la biodiversidad vegetal e indirectos a la diversidad de fauna.

Por otro lado, el grano de los cultivares tradicionales ha tenido significativamente un mayor contenido en nitrógeno que los cultivares modernos, mientras que en la paja ocurre justo lo contrario. Ello indica: a) que los cultivares tradicionales tienen mayor capacidad de translocación de este nutriente de la parte

²⁵ P. De Vita, Nicosia, O.L.D., Nigro, F., Platani, C., Riefolo, C., Di Fonzo, N., Cattivelli, L., "Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century". *Eur. J. Agron.* 26, 2007, pp. 39-53; P. J. Lo Valvo, Miralles, D.J., Serrago, R.A., "Genetic progress in Argentine bread wheat varieties released between 1918 and 2011: Changes in physiological and numerical yield components". *Field Crops Research*, 2017.

²⁶ Carranza-Gallego et al., "Addressing the Role of Landraces in the Sustainability of Mediterranean Agroecosystems", 6029.

vegetativa al grano. Como consecuencia, el grano de los cultivares tradicionales ha contenido más proteína (más del 12,8 %) que el trigo moderno; b) que los cultivares tradicionales no necesitan tanto nitrógeno disponible en el suelo para obtener grano de alta calidad y, por tanto, requieren menos dosis de fertilización que los modernos. Sin embargo, los cultivares tradicionales tienen significativamente menos gluten que los modernos y ello les hace más adecuados para la alimentación de las personas sensibles esta sustancia. Actualmente, el trigo orgánico en el mercado proviene mayoritariamente de cultivares modernos, presentando con frecuencia déficit en proteína respecto a lo que exige la industria, lo que puede ser resuelto con el empleo de las variedades tradicionales. Éstas, bajo manejo orgánico, tienen pues un gran potencial para la industria panadera y de pasta orgánica, tanto por su elevado contenido proteico (mayor valor nutricional) como por su menor índice de gluten (opción de cada vez más consumidores).

DISCUSIÓN: HACIA UN NUEVO RELATO SOBRE LA INDUSTRIALIZACIÓN

De acuerdo con los resultados tanto del análisis metabólico como del experimento de campo, la evolución de la agricultura española durante la última centuria podría entenderse como un proceso de mercantilización creciente de la actividad productiva que dio lugar a un cambio significativo en los patrones de uso de la biomasa. El esfuerzo tanto productivo como tecnológico ha estado orientado hacia la maximización de la porción de biomasa con mayor valor comercial, reduciendo la multifuncionalidad de los propios cultivos. En otras palabras, el crecimiento de la producción agrícola ha sido mucho mayor que el crecimiento experimentado por la PPN de los agroecosistemas.

A escala de paisaje o de agroecosistema, la industrialización de la agricultura española ha traído consigo una segregación creciente de los usos del territorio y la pérdida de las sinergias productivas y funcionales que generaba la integración agrosilvopastoril. Ha sido la consecuencia de la expansión de determinados usos del

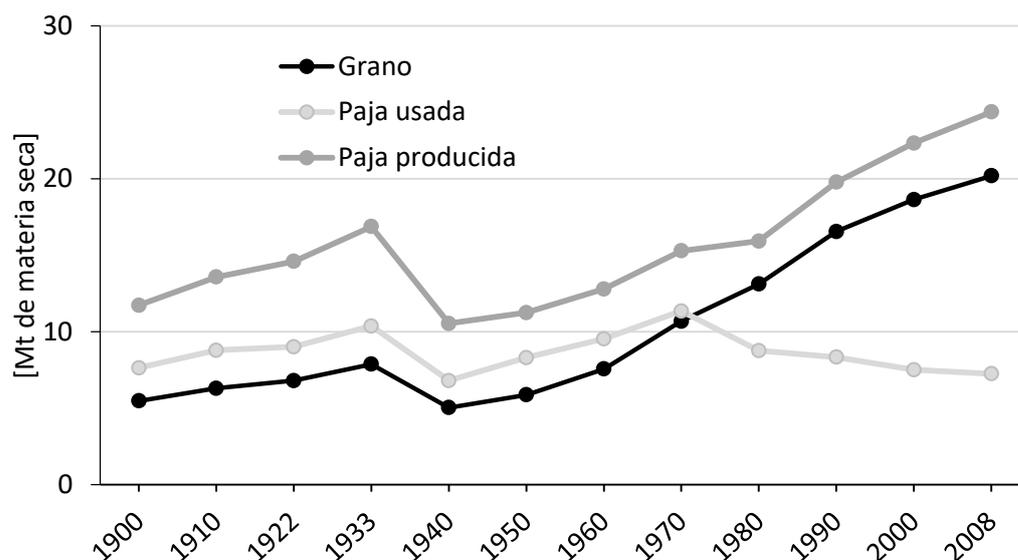
suelo sobre los demás y la ruptura de los equilibrios ecosistémicos previos, reflejo a su vez de una creciente hacia tendencia la especialización. Como hemos visto, el esfuerzo productivo se ha concentrado en las tierras cultivadas, dando continuidad al proceso de “agricolización” o promoción del uso agrícola que ya venía produciéndose desde el siglo XIX. El crecimiento de la ganadería se ha hecho mayoritariamente en base a explotaciones intensivas sin tierra, esto es sin vinculación alimentaria con el entorno. De esa manera, la estrecha conexión que existía dentro de los agroecosistemas entre la actividad agrícola y ganadera, no sólo en términos de alimentación sino también en términos de reposición de la fertilidad y tracción animal, se fue rompiendo hasta constituir dos actividades prácticamente separadas. La introducción de los fertilizantes químicos de síntesis y la mecanización hicieron viable este fenómeno de segregación y separación de usos. Lo mismo cabe decir de los terrenos forestales, dedicados a la silvicultura o a las políticas de conservación, que a menudo han excluido o restringido otros usos posibles. En definitiva, el modelo de crecimiento agrario de la agricultura española ha tendido a imponer sobre el territorio usos del suelo especializados y segregados en función de las demandas del mercado. El resultado ha sido la pérdida de geodiversidad y de heterogeneidad espacial. Con ello, los flujos de energía y materiales, que tendía a ser locales y cerrados han acabado siendo globales y provenientes de fuentes fósiles.

A escala de finca, la especialización productiva ha significado una tendencia acusada hacia la supresión de las asociaciones de cultivos y policultivos, hacia la simplificación de las rotaciones para su posterior supresión, la práctica eliminación de los barbechos o su reducción sustancial, y la promoción de alternancias de cultivos regidas por las demandas del mercado. De la heterogeneidad de cultivos y plantas y de arreglos en su disposición se ha pasado al monocultivo, reduciendo de manera significativa la diversidad genética, estructural y funcional²⁷. Si a escala de agroecosistemas este fenómeno provocó una disminución progresiva de la capacidad de reponer la fertilidad de los agroecosistemas de manera autónoma, a escala de finca

²⁷ Stephen R. Gliessman, *Agroecology. Ecological processes in Sustainable Agriculture* (Boca Ratón, Lewis Publishers (CRC Press, 1998). Con la introducción de variedades comerciales de trigo, que han ido sustituyendo a las tradicionales, se ha perdido también el conocimiento campesino asociado a su manejo, parte importante del patrimonio biocultural de la agricultura española. Una descripción de este proceso referido al maíz puede verse en Diana Alejandra Méndez Rojas, “Los libros del maíz. Revolución Verde y diversidad biológica en América Latina, 1951-1970”. *Letras Históricas*, Año 11, Núm. 23, septiembre de 2020 - marzo de 2021. (Disponible en: <http://www.letrahistoricas.cucsh.udg.mx/index.php/LH/article/view/7281> (Accedido: 13 de Junio 2021)

provocó una elevación considerable de la demanda relativa de abonos. La difusión de los abonos químicos hizo posible, pues, este cambio fundamental y a su vez fue estimulada por el deseo de suprimir el barbecho o la siembra de leguminosas. Su cultivo se ha reducido a menos de la mitad desde 1900. En esa fecha representaba el 1,76 % del total de la producción agrícola en materias fresca y formaba parte habitual de las rotaciones propias del cultivo de trigo y cebada. En 2008 significaba sólo el 0,25 % y había desaparecido de muchas de las producciones de cereal. Ello ha supuesto una reducción del flujo de nitrógeno procedente de la fijación simbiótica y de la capacidad de los agroecosistemas de reponer por sí mismos la fertilidad del suelo.

Gráfico 1. Evolución del grano y la paja extraída en los cereales, millones de toneladas de materia seca



Fuente: Estadísticas Agrarias

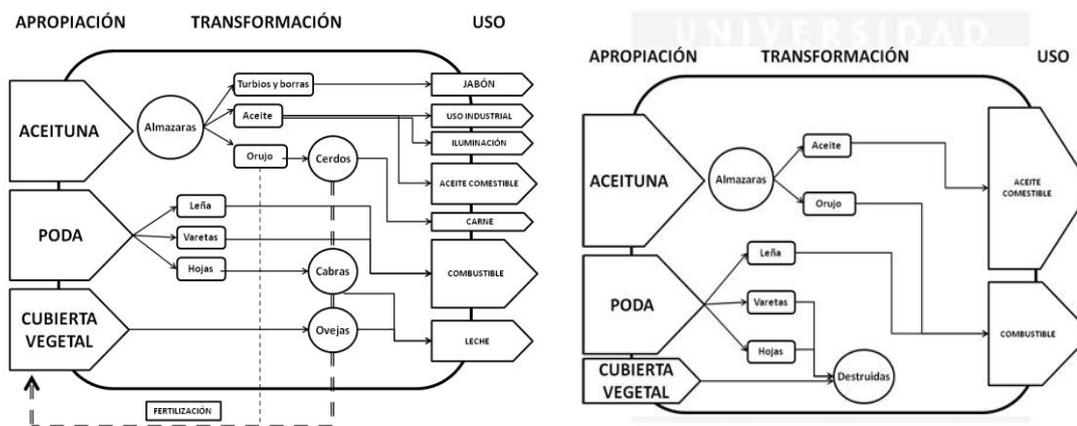
A escala de cultivo, se han producido transformaciones muy importantes que han afectado tanto a la morfología de la planta como a sus usos. Ello es aplicable también a las distintas especies ganaderas. A comienzo de siglo, cuando la agricultura y la ganadería eran aún de base orgánica, tanto las plantas cultivadas como las

especies ganaderas servían para propósitos diversos. El ganado vacuno servía para proporcionar carne y leche, pero también para realizar faenas agrícolas o transportar mercancías. Por ejemplo, el ganado vacuno era un ganado de “aptitud mixta” para uso agrícola y ganadero al mismo tiempo²⁸. Por otra parte, el alto porte de los tallos de los cereales tenía como misión producir gran cantidad paja, base de la alimentación del ganado equino. Precisamente por la progresión del cultivo agrícola, se había convertido en un tipo de ganado que podía alimentarse dentro de las tierras de cultivo sin competir con la alimentación humana

La pretensión de los agricultores ha sido maximizar la parte cosechable de la planta y más especialmente la parte de más valor comercial; la de los ganaderos, la selección de especies y razas con mayor rendimiento en carne o leche. En el caso de la fitomasa, ello se ha hecho mediante la selección y mejora de semillas con el objeto de concentrar la capacidad fotosintética en la parte comercializable de las plantas cultivadas. Por ejemplo, modificando la morfología de los cereales para concentrar más biomasa en los granos y menos en la paja, ya menos necesaria debido a la sustitución del ganado de labor por máquinas. Así ha sucedido con la mayoría de los cultivos herbáceos y este fenómeno se encuentra, en parte, detrás del crecimiento de los rendimientos de grano por hectárea. La “Revolución Verde” se ha basado en buena medida en el cambio genético que ha conducido a un tipo de cultivos con menos peso de los “residuos”. Este fenómeno se observa bien en la relación cambiante que ha habido entre el grano y la paja de los cereales, tal y como hemos visto. La industrialización de la agricultura se vio acompañada de la sustitución de variedades tradicionales de cereales y leguminosas, en las que la paja constituía una parte esencial de la alimentación animal, variedades de tallo alto y por tanto menor cantidad de grano, por variedades donde se ha buscado elevar la cantidad de este en detrimento de la paja.

²⁸ Lourenzo Fernández Prieto, *Labregos con ciencia. Estado e sociedade e innovación tecnolóxicana agricultura galega, 1850-1936* (Vigo, Ediciones Xerais, 1992).

Gráfico 2. Cambios en el uso múltiple del olivar



Fuente: Infante Amate²⁹

En el caso de los leñosos, la mejora y el cambio de manejo ha consistido en translocar la biomasa de las ramas y hojas al fruto cosechable. Su uso multifuncional ha ido dejando paso a un uso preferentemente comercial de sus frutos. El caso del olivar es paradigmático: de un árbol que producía leña, ramón y orujo para el ganado, aceituna de mesa, iluminación doméstica y aceite comestible, se ha pasado a producir aceite casi en exclusividad, produciendo cambios en su manejo y en su morfología³⁰.

Todos estos cambios explican el extraordinario crecimiento de los rendimientos de algunos cultivos (el 620% en el caso de maíz entre 1900 y 2008 o el 332% en el caso del trigo), muy superior al crecimiento de la PPN por hectárea en las superficies cultivadas (un 57%) o de la Extracción Doméstica por hectárea cultivada (un 102%). En otras palabras, la productividad biofísica de la tierra ha crecido mucho menos que los rendimientos de grano o fruto por hectárea y ello se ha debido a la concentración de la biomasa en el grano o en el fruto cosechable y, por tanto, a la reducción de los residuos de cosecha. También ha influido en ello la reducción de la hierba acompañante en los cultivos por medios mecánicos o químicos, pese a su mayor incidencia. Es más, la introducción de semillas mejoradas e híbridas, en busca

²⁹ Juan Infante-Amate, ¿Quién levantó los olivos? Historia de la especialización olivarera en el sur de España (s. XVIII-XX) (Madrid. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014).

³⁰ Ibidem; Juan Infante-Amate & Manuel González de Molina, "Sustainable de-growth' in agriculture and food: an agro-ecological perspective on Spain's agri-food system (year 2000)", en Journal of Cleaner Production, nº 38, 2013, pp. 27-35.

del máximo rendimiento en grano, o la selección de variedades de plantas leñosas con alto rendimiento en fruto han conducido a una reducción muy importante de la diversidad genética. Este proceso ha favorecido un uso más frecuente e intensivo de fertilizantes. Las consecuencias han sido el abandono de las variedades de semillas mejor adaptadas a las condiciones de suelo y clima locales y, según hemos comprobado en el caso del trigo, con menor demanda de nutrientes³¹.

En el caso de la ganadería, la transformación ha sido radical. A medida que crecía la cabaña y la producción, la ganadería extensiva ha ido perdiendo peso y ha recurrido con mayor frecuencia a alimentación de fuera de la explotación. El grueso de la cabaña ha acabado desvinculado del territorio, estabulado en granjas intensivas que utilizan piensos que a menudo vienen de fuera del país y formada por razas importadas de otras latitudes y especializadas en la producción de carne o de leche. El ganado de labor ha desaparecido casi completamente y, gracias al abaratamiento de los piensos, el ganado monogástrico ha adquirido un protagonismo inédito. Una parte cada vez más significativa de la paja ha acabado o bien quemándose o bien abandonándose en finca. Lo poco que queda de ganadería de pastoreo es hoy el refugio de las razas ganaderas tradicionales.

CONCLUSIONES

Los resultados de las dos investigaciones realizadas mediante el empleo de las metodologías metabólicas y el experimento de campo, tienen consecuencias muy relevantes para la historia de la agricultura. Permiten mirar de manera menos laudatoria el proceso de industrialización, cuestionan su supuesta superioridad en términos comparativos de rendimientos por unidad de superficie y dibujan un relato alternativo, al menos para el caso español, muy alejado de sus pretendidas bondades. A la vista de estos resultados y de los severos impactos causados por la agricultura industrial, la historia de la industrialización de la agricultura no puede considerarse

³¹ Guiomar Carranza-Gallego et al., Addressing the Role of Landraces in the Sustainability of Mediterranean Agroecosystems, 6029.

como una historia de éxito sobresaliente, tal y como ha sido considerado habitualmente por la historiografía³².

Pero, la investigación realizada no tiene sólo implicaciones académicas, en este caso para la historia agraria, tiene también consecuencias prácticas para la agricultura orgánica, tal y como destacábamos al comienzo. El conocimiento en profundidad del proceso de industrialización de la agricultura española permite diseñar la transición hacia un modelo de agricultura sustentable tanto a escala de cultivo, finca como de paisaje, donde se integre de nuevo la agricultura con la ganadería, donde se ordene el paisaje y sea posible el cierre de los ciclos biogeoquímicos. Servirá también para que los políticos, responsables de la toma de decisiones, implementen políticas públicas adecuadas para hacer realidad el modelo de agricultura sustentable que exige nuestro futuro. Entre tanto llegamos a ese punto, los resultados del experimento de campo están ayudando a incorporar los cultivares de trigo tradicional en el circuito productivo-transformador de Andalucía con vistas a fortalecer el sector agrícola y la agroindustria dedicada a la harina, la panadería y la elaboración de sémola para pasta ecológica.

REFERENCIAS

Carranza, G., Guzmán, G. I., Aguilera, E., González de Molina, M., García-Ruiz, R. (2016), Contribución de las variedades tradicionales de trigo a la mitigación del cambio climático en agroecosistemas mediterráneos de secano. *Agroecología* 11 (2), 7-22.

Carranza-Gallego, G., Guzmán G. I., Garcia-Ruiz, R., González de Molina, M., Aguilera, E. (2019), Addressing the Role of Landraces in the Sustainability of Mediterranean Agroecosystems. *Sustainability*, 11, 6029.

Carranza-Gallego, G., Guzmán G. I., Garcia-Ruiz, R., González de Molina, M., Aguilera, E. (2018a), Contribution of old wheat varieties to climate change mitigation under contrasting managements and rainfed Mediterranean conditions. *Journal of Cleaner Production*, 195, 111-121

Carranza-Gallego, G., Guzmán G. I., Soto, D., Aguilera, E., Villa, I., Juan Infante-Amate, J., Herrera, A. and González de Molina, M. (2018b), Modern Wheat Varieties as a Driver

³² Giovanni Federico, *Feeding the world, An Economic History of Agriculture, 1800-2000* (Princeton, Princeton University Press, 2009)

of the Degradation of Spanish Rainfed Mediterranean Agroecosystems throughout the 20th Century. *Sustainability*, 10, 3724.

De Schütter, O. (2011), *Agroecology and the Right to Food*. ONU, 2011 (Report presented at the 16th Session of the United Nations Human Rights Council).

De Vita, P., Nicosia, O.L.D., Nigro, F., Platani, C., Riefolo, C., Di Fonzo, N., Cattivelli, L. (2007), Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. *Eur. J. Agron.* 26, 39-53.

FAO (2018), *El futuro de la alimentación y la agricultura*, 2018, <http://www.fao.org/publications/fofa/es>

Federico, G. (2009): *Feeding the world. An Economic History of Agriculture, 1800-2000*. Princeto, Princeton University Press.

Fernández Prieto, L. (1992), *Labregos con ciencia. Estado e sociedade e innovación tecnolóxica agricultura galega, 1850-1936*. Vigo. Xerais.

García-Ruiz, R.; González de Molina, M.; Guzmán, G.; Soto, D.; Infante-Amate, J. (2012), Guidelines for Constructing Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Balances in Historical Agricultural Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36: 650-682.

Georgescu-Roegen, N. (1971), *The entropy law and the economic process*. Cambridge. Harvard University Press.

Giampietro, M., Aspinallis, R. J., Ramos-Martin, J. and Bukken, S. G. F. (eds), (2014), *Resource Accounting for Sustainability Assessment: the nexus between energy, food, water and land use*. London. Routledge.

Gliessman, S.R. (1998), *Agroecology. Ecological processes in Sustainable Agriculture*. Boca Ratón. Lewis Publishers (CRC Press),

González de Molina Navarro, Manuel; Guzman-Casado, Gloria; García-Ruiz, Roberto; Soto-Fernández, David; Herrera-Gonzalez de Molina, Antonio; Infante-Amate, Juan (2010), Claves del crecimiento agrario: la reposición de la fertilidad en la agricultura andaluza de los siglos XVIII y XIX. En R. Garrabou & González de Molina (eds), *La reposición de la fertilidad en los sistemas agrarios tradicionales*. Barcelona: Icaria editorial, S. A.. 127-170.

González de Molina, M., and V. Toledo (2011), *Metabolismos, naturaleza e historia. Una teoría de las transformaciones socio-ecológicas*. Barcelona: Icaria.

González de Molina Navarro, M. & Toledo-Manzur, V. M. (2014), *The Social Metabolism: A Socio-Ecological Theory of Historical Change*. Springer International Publishing

González de Molina, M., García-Ruiz, R., Soto Fernández, D., Guzmán Casado, G., Cid, A., Infante Amate, J. (2015), Nutrient Balances and Management of Soil Fertility Prior to the Arrival of Chemical Fertilizers in Andalusia, Southern Spain. *Human Ecology Review*, Volume 21 (2), 23-48.

González de Molina, M.; Soto Fernández, D.; Guzmán Casado, G.; Infante-Amate, J.; Aguilera Fernández, E.; Vila Traver, J., García-Ruiz, R. (2019), Historia de la agricultura española desde una perspectiva biofísica, 1900-2010. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Guzmán, G. I.; Aguilera, E.; Soto, D.; Cid, A.; Infante-Amate, J.; García-Ruiz, R.; Herrera, A.; Villa, I.; González De Molina, M. (2014), "Methodology and conversion factors to estimate the net primary productivity of 112 historical and contemporary agro-ecosystems (I)" en Documento de Trabajo de la Sociedad Española de Historia Agraria, nº 14-06. Disponible en: www.seha.info

Guzmán G.I., and M. González de Molina (2017), *Energy in Agroecosystems: A Tool for Assessing Sustainability*. Boca Raton (FL): CRC Press.

Ho, M. W. (2013), "Circular Thermodynamics of Organisms and Sustainable Systems", en *Systems*, nº 1, pp. 30-49.

Ho, M. W. & Ulanowicz, R. (2005), "Sustainable systems as organisms?", en *Bio Systems*, nº 82, pp. 39-51.

IAASTD (2009), *Agriculture at a crossroads. Global Report. International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development*

Infante-Amate, J. & González De Molina, M. (2013), "‘Sustainable de-growth’ in agriculture and food: an agro-ecological perspective on Spain’s agri-food system (year 2000)", en *Journal of Cleaner Production*, nº 38, pp. 27-35

Infante-Amate, J. (2014), *¿Quién levantó los olivos? Historia de la especialización olivarera en el sur de España (s. XVIII-XX)*. Madrid. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

IPBES (2018), *The IPBES assessment report on land degradation and restoration*. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 pages.

IPES-Food (International Panel of Experts on Sustainable Food Systems) (2016), *From Uniformity to Diversity: A paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems*. Retrieved November 30, 2016 from: <http://www.ipes-food.org/Agroecology>

Lo Valvo, P.J., Miralles, D.J., Serrago, R.A. (2017), Genetic progress in Argentine bread wheat varieties released between 1918 and 2011: Changes in physiological and numerical yield components. *Field Crops Research*.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020), Producción ecológica. Estadísticas provisionales 2019. Madrid: MAPA.

Naredo, J.M. (2015); La economía y evolución: Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico. Madrid, Siglo XXI (4ª edición).

Nicholls, C.I.; Altieri, M.A.; Vazquez, L., Agroecology: Principles for the Conversion and Redesign of Farming Systems. *J. Ecosyst. Ecogr.* 2016, S5:1. DOI: 10.4172/2157-7625.S5-010

Prados de la Escosura, L. (2003), El progreso económico de España (1850-2000). Bilbao. Fundación BBVA.

A Biophysical Approach to the Industrialization of Spanish Agricultura from an Applied History Point of View

ABSTRACT

This paper presents the findings of two research studies carried out over several years on the evolution of Spanish agriculture and the change it has undergone towards an industrialized agricultural model. The first research project attempted to analyze the changes that have taken place since the beginning of the 20th century from a biophysical point of view, using the methodology of social metabolism applied to the specificity of agriculture and an agroecological approach. The second research, which sought to understand aspects of this evolution that historical sources do not provide, consisted of a field experiment lasting several years in which the performance of traditional wheat varieties was compared with modern ones. The findings of both investigations question whether the process of industrialization and the consequent application of Green Revolution technologies led to a significant increase in the yields per unit area of the main crops. The increase in the volume of food production is associated with changes in the morphology of cultivated plants and the concentration of the most fertile land, rather than with an increase in the net primary productivity of these plants. The results of the field experiment confirm these conclusions and show that traditional cultivars were no less productive than modern ones when the whole plant is considered and that it is therefore not possible to compare crop yields, in this case of wheat, on the basis of the grain produced alone. These results should call into question the positive narrative that still prevails in historiography about the industrialization of agriculture.

Keywords: Industrial Agriculture; Preindustrial Agriculture; Landraces; Agrarian Metabolism; Experimental History; Spanish Agroecosystems.

Recibido: 11/01/2021
Aprobado: 29/04/2021