

EL MÍNIMO DE MAUNDER EN LA REVOLUCIÓN AGRARIA INGLESA (1645-1715)

*Trabajo de investigación original del Máster en Historia
Económica (UB-UAB-UZ)*

José L. Martínez González

Universitat de Barcelona
Universitat Autònoma de Barcelona
Universidad de Zaragoza

ABSTRACT

This document states that during the period from 1645 to 1715, which coincides with the Maunder minimum, the Agrarian Revolution in England sped up. In order to confirm this fact, different transmission channels are presented: first, the LPNI (Land Natural Productivity Index), a new concept included in the Total Factor Productivity (TFP). Second, the changes in the labor-energy offer, which measures much better the impacts on the labor force, and third the energy market.

The performance of these factors would at first force the use of ingenuity in the agrarian sector and then pave the way for productivity development, innovating and introducing improvements. (This second stage would occur between 1700-15 and 1750). These innovations and improvements can be measured through what I call the Land Production Social Index (LPSI), second component in the PTF and one of the bases of the future industrial transformation. This preliminary research paper also shows the need to consider an alternative approach (the energetic approach) which could be integrated in economic history, thus going from a merchandise-approach to an energy-approach.

Key words: Cambio climático, Revolución Agraria, productividad natural de la tierra, oferta de trabajo-energía, climate change, Agrarian Revolution, Land Natural Productivity, labor-energy offer.

JEL classification: E32, J43, N13, N33, N53, N73, O13, O44, Q41, Q54.

“Just how harvests affect the general business situation, is less simple than we might think”

J. A. Schumpeter

Contenido

Introducción.....	4
Cambio climático: historiografía y hechos	7
Hipótesis primera: los rendimientos de la tierra	16
Hipótesis segunda: productividad del trabajo.....	20
Hipótesis tercera: impacto energético.....	31
Modelo empírico.....	36
Metodología y datos.....	36
Especificación, estimación y contrastes.....	36
Conclusiones.....	45
Bibliografía.....	48

Introducción

La finalidad principal de este trabajo es investigar los posibles efectos que tuvo el *Mínimo de Maunder* (una prolongada depresión en la actividad del sol y culminación de una larga depresión climática) en la Revolución Agraria inglesa del largo siglo XVII, es decir, *en un país, sector y período claves* para el desarrollo económico europeo. Sabemos que el período pre-industrial estuvo ligado a una economía orgánico-solar (Sieferle, 1990 y 2001; Wrigley, 2004). Ahora bien, ¿esta economía orgánica era también inestable, además de otras causas más conocidas, por los caprichosos flujos energéticos del sol u otros factores físicos? Es ya un hecho incuestionable que la Tierra se vio sometida a una pequeña glaciación, durante la Edad Media y Moderna, cuya manifestación más extrema fue el *Mínimo de Maunder* (1645-1715¹), un mínimo prolongado de la actividad solar que generó un nada desdeñable impacto climático ¿Qué efectos tuvo sobre la materia (la tierra) o la energía, la población y el trabajo, y en el ámbito de *este estudio de caso*, sobre los rendimientos de la tierra y la productividad del trabajo campesino? ¿Hay alguna conexión entre la Revolución Agrícola inglesa y este fenómeno descubierto recientemente del cual apenas hoy sabemos nada? ¿Por qué hubo una Revolución Agraria e Industrial *en Inglaterra* y no en otro lugar?

Ante nosotros *se abre pues una tercera vía*²: la simultánea y duradera depresión en la oferta de trabajo-energía y en los rendimientos del suelo, hechos ocasionados *en parte* por un factor totalmente exógeno al sistema socioeconómico (un cambio climático natural), consolidaron los fundamentos de la Revolución Agraria inglesa, que permitieron -hasta mediados del siglo XVIII- una notable recuperación basada en el factor trabajo y la cristalización de las innovaciones agrícolas surgidas antes y durante la crisis. A partir de ese momento, el encarecimiento relativo de la energía motora del factor trabajo (alimentación y calefacción) respecto la energía del capital (el carbón), abrieron paso a la Revolución Industrial.

El *Mínimo de Maunder* coincidió con un período climático en Inglaterra caracterizado por *las temperaturas más bajas* sufridas en los últimos mil años y *una marcada inestabilidad meteorológica*, con veranos muy secos y otros muy húmedos o lluviosos.

¹ Las fechas son aproximadas y no hay una total concordancia. Algunos autores fijan como finalización el año 1705, por ejemplo.

² Distinta a las de Malthus, Ricardo o Boserup.

En este documento me cuestiono por tanto sobre la posibilidad de que en Inglaterra *actuara como un detonante, en el largo plazo*, de la Revolución Agraria (y en el resto del sistema económico, aunque esto no se tratará en este trabajo), lo cual reforzaría la idea de que esta revolución fue en realidad un proceso extendido en el tiempo. En el caso de poder aportar evidencias suficientes de su carácter *acelerador*, deberá interpretarse como *un factor adicional*, sin caer en “la trampa” del determinismo climático³ (E. Le Roy Ladurie, 1983).

Partiendo de estas premisas y la prudencia, voy a proponer tres hipótesis a partir de las cuales la depresión solar pudo influir sobre la Revolución Agraria y el cambio económico: (resumido en la *tabla 1*): hipótesis primera, contribuyendo al *aumento de los rendimientos de la tierra* entre 1715 y 1740 (justo al finalizar el *Mínimo de Maunder*), gracias al crecimiento de la productividad natural de la tierra, medida a través de lo que denomino el *Índice Natural de la Productividad de la Tierra* (INPT, un primer componente de la productividad total de los factores PTF), pero también a la mayor fijación del nitrógeno generada gracias a las innovaciones y mejoras –a veces con procedimientos socialmente antagónicos- de los *Yeoman* y de los terratenientes, que pudieron llevarse a cabo entre otras razones gracias a una coyuntura climática favorable, que permitió incrementar también lo que denomino el *Índice Social de la Productividad de la Tierra* ISPT (un segundo componente de la PTF)⁴; hipótesis segunda, contribuyendo previamente, desde 1655-60, al *incremento de la superficie agrícola por Kcal de trabajo agrícola* gracias a la reducción relativa de la fuerza de trabajo agrícola en números absolutos (caída del número de personas trabajadoras) y a través de una variación en la intensidad del trabajo (descenso de la oferta de energía aportada por trabajador), fenómenos causados *en parte* por el empeoramiento climático; e hipótesis tercera, por su *impacto energético*, que impulsó aún más el proceso de sustitución de la madera por el carbón, alterando por un lado la oferta de fuerza de trabajo rural a favor de una *incipiente fase industrial* intensiva en mano de obra e incrementando por otro la oferta del suelo por la reducción de los bosques comunales. Todo este proceso *contribuiría* en definitiva a innovaciones y cambios institucionales más rápidos,

³ La metodología de Le Roy Ladurie es mencionada por Pascal Acot en “Historia del Clima” (pp.141-143): primero, debe evitarse a toda costa la tentación en caer en el reduccionismo climático, dada la complejidad de los fenómenos históricos; segundo, debe eliminarse el encorsetamiento de los fenómenos en el marco de un simple ciclo; y tercero, hay que atenerse a datos estrictamente climáticos para establecer las series básicas, algo que haré en su debido momento.

⁴ Ambos conceptos, INPT e ISPT, son desarrollos propios.

transformándose el sistema comunitario hacia otro más individualista, base futura del capitalismo industrial.

Estos efectos no ocurrirían en el mismo momento: primero, entre 1660 y 1699, la oferta de trabajo energía sufrió un estancamiento relativo, junto a las crecientes dificultades en las cosechas (en definitiva, aumentó el número de acres por unidad de trabajo energía y se estancó la producción por unidad de superficie). Ambas cosas incentivaron tanto a los agricultores como a los propietarios ricos a innovar mediante los drenajes, a introducir plantas fijadoras de nitrógeno como leguminosas y tréboles, a eliminar progresivamente el barbecho, y a desarrollar mejoras en semillas y abonos o promover los cercamientos, todo para compensar las dificultades en disponer de mano de obra adecuada y contrarrestar, en definitiva, las dificultades productivas. Cuando el clima mejoró de forma radical desde principios del siglo XVIII, convergió el impacto del “*nitrógeno natural*” (lluvias abundantes, temperaturas favorables, medidas con el INPT) con la mayor aportación del “*nitrógeno social*” (ISPT, Índice Social de la Producción de la Tierra) fruto de estas innovaciones y mejoras. La necesidad agudizó el ingenio y ésta fue el primer peldaño inmediato de la Revolución Agraria⁵.

Este estudio presenta pues un *caso específico* que plantea el estudio de los efectos de la principal fuente de energía pre-industrial (la solar) en el output agrario, por un lado, y del rol que hipotéticamente pudo tener este *Gran Mínimo* en la denominada Revolución Agraria, por otro. En consecuencia, forma parte también de una reconsideración del papel de los *factores exógenos puros* en los principales hechos económicos, que el mismo Schumpeter (1939, p.49) reconoció de importancia, y de los llamados *ciclos económicos* largos, y sobre todo es el primer peldaño en el desarrollo futuro de un proyecto que persigue dos objetivos. Primero, extender el análisis del impacto climático desde el subsistema agrario a toda la estructura económica inglesa, valorando su efecto en el crecimiento del país; y segundo, ampliando el estudio a otros territorios y períodos de la historia, obteniendo modelos válidos aplicables a aquellos en situación de riesgo presente o futuro, que además sean útiles en el actual debate sobre el cambio climático y

⁵ De la ecuación $\Delta \frac{Y}{L} = \Delta \left(\frac{Y}{T} \right) + \Delta \left(\frac{T}{L} \right)$ podemos obtener que la variación de $\frac{Y}{T}$ se puede descomponer en la suma $\Delta \left(\frac{INPT}{T} \right) + \Delta \left(\frac{ISPT}{T} \right)$, donde INPT está compuesto por la aportación atmosférica de nutrientes y la procedente del suelo, e ISPT sería la contribución humano-social al rendimiento del suelo, especialmente mediante las innovaciones y cambios institucionales. Hasta ahora INPT apenas ha sido considerada por la literatura.

en la aplicación de políticas económicas y medioambientales⁶. Todos los posibles errores e inexactitudes que puedan surgir en este documento son de mi total responsabilidad.

Tabla 1. Componentes de la productividad agrícola ($\Delta \frac{Y}{L}$), respecto el cambio climático, y comportamiento de los componentes de la productividad total de los factores INPTe ISPT

Componente	Período	Diagnóstico tomando Q y T de Broadberry <i>et al.</i>	Mi diagnóstico
$\Delta(\frac{Y}{T})$	1645-1715	Estancamiento global del producto por unidad de superficie, aunque crece hasta 1705 (con muchos altibajos) y luego cae entre 1705 y 1715 a niveles de 1650.	Estancamiento o caída del producto por superficie según INTP-1. Ligero aumento hasta 1687 y caída posterior según INTP-2. Papel del ISPT en debate.
$\Delta(\frac{T}{L})$	1660-1699	Incremento del número de acres por L (descenso de oferta de trabajo y superficie casi estable).	Incremento / estancamiento del número de acres por L.
Resultado en $\Delta \frac{Y}{L}$	1645-1694 1695-1715	La productividad crece La productividad cae al máximo nivel.	Estancamiento de la productividad.
$\Delta(\frac{Y}{T})$	1715-1739	Aumento del la producción rural por unidad de superficie (incremento de Y > incremento de T).	Ídem. Aumento del INTP-1, INTP-2 e ISPT.
$\Delta(\frac{T}{L})$	1700-1719	Descenso relativo del número de acres por trabajador (aumento de L superior al aumento de T).	Ídem, pero el crecimiento de Y/T es mayor aún.
$\Delta(\frac{T}{L})$	1720-1739	Aumento del número de acres por trabajador (freno de L, aumento de la superficie cultivada).	Ídem
Resultado en $\Delta \frac{Y}{L}$	1715-1739	Crecimiento notable de la productividad	Ídem

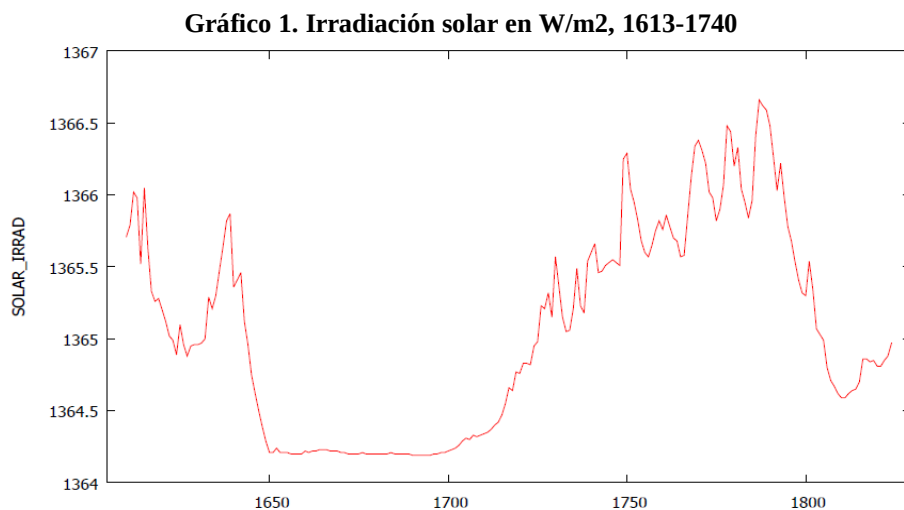
Fuente: Elaboración propia

Cambio climático: historiografía y hechos

En la segunda mitad del siglo XVII se produjo un importante descenso de la actividad magnética solar (*gráfico 1*), puesto en evidencia mediante ciertos indicadores históricos y geológicos (especialmente a partir de los isótopos C^{14} y Be^{10}), bautizado como el *Mínimo de Maunder* (Abeledo, 1998; pp. 236-238). Este tipo de mínimo solar se diferencia de los conocidos ciclos solares de 11,2 años en que presenta una *probabilidad*

⁶ Para ver mejor la envergadura de esta cuestión véase el IPCC de la ONU (*Intergovernmental Panel of Climate Change* (<http://www.ipcc.ch>)).

de suceso mucho menor, en concreto del 2,7 por 100 (R. Choudhuri y B. Kayak, 2012), y en que suelen ser *prolongados en el tiempo* (de 50 a 100 años, o incluso más, contra los mínimos de los ciclos cortos, que duran solo de uno a tres años), implicando por tanto un impacto mucho mayor sobre la Tierra, *dada su permanencia temporal*. Un mínimo prolongado viene además acompañado por 1) una larga reducción del brillo o irradiación solar, 2) una significativa reducción de las manchas solares, 3) un descenso de las temperaturas terrestres e importantes variaciones pluviométricas, cuyas implicaciones todavía no son bien conocidas (aunque H. Svensmark y E. F. Christensen en 2007 y experimentos posteriores en el CERN⁷ han demostrado que los mínimos solares están correlacionados con incrementos relevantes de la nubosidad), con efectos distribuidos de forma *no uniforme* en todo el globo terráqueo, generando consecuencias muy distintas de unas regiones a otras, y posiblemente con efectos retardados en el tiempo, y 4) está producido fundamentalmente por la generación del campo coloidal y la circulación meridional estelar, desconociéndose si las causas son de carácter aleatorio o determinista.



Fuente: Elaboración propia con los datos de Lean et al, 1995.

El astrónomo Jack Eddy publicó en la revista *Science* (1976; pp. 1189-1202), un famoso artículo donde aportó por vez primera pruebas científicas y empíricas de la existencia del *Mínimo de Maunder*, llamado así en honor al astrónomo inglés que lo descubrió⁸. En su trabajo, Eddy señaló la existencia de una coincidencia entre la falta de manchas, el avance de los glaciares y un período de intensos fríos en Londres y París entre 1645 y

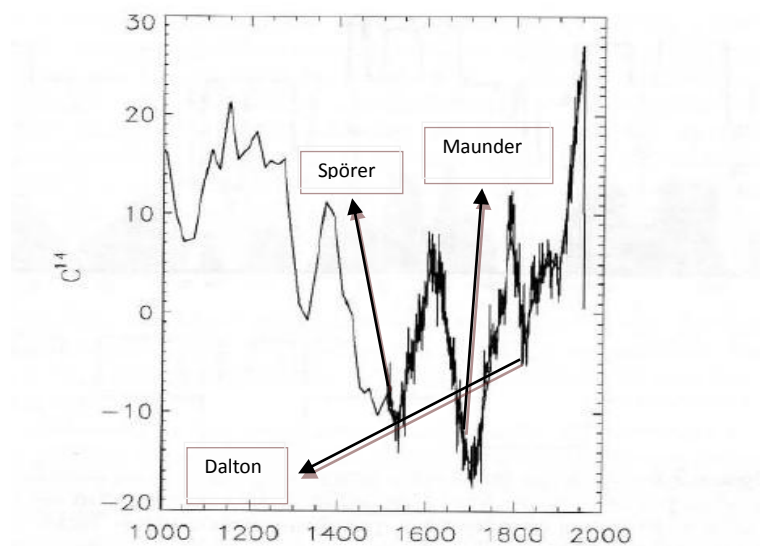
⁷ Experimento CLOUD, <http://cloud.web.cern.ch/cloud/>. Otra referencia en la revista Nature de 25/08/2011.

⁸ E. W. Maunder (1851-1928) fue un astrónomo inglés que estudió el ciclo magnético solar, lo que le llevó a identificar un período sin manchas entre 1645 a 1715 bautizado posteriormente con su nombre.

1715 (a pesar de que en el momento que se publicó su artículo todavía no se conocía la relación de variabilidad entre la irradiación solar con el ciclo solar).

Esta investigación tuvo una gran repercusión en la comunidad científica. Todas las evidencias apuntan a que el *Mínimo de Maunder* constituyó la parte central y más fría de una pequeña glaciación que transcurrió desde 1350 hasta 1850⁹, a la cual también perteneció el *Mínimo de Spörer* (en el que Groenlandia fue abandonada por los vikingos por el empeoramiento de las condiciones climáticas extremas, Croley, 1996) y el *Mínimo de Dalton* del siglo XIX (gráfico 2).

Gráfico 2. Mínimos solares, entre los años 1000 y 2000.



Fuente: M. Abeledo (1998).

La literatura histórico-económica especializada relacionada con el impacto solar o climático es bastante escasa (para un completo detalle ver el Apéndice), tanto en el análisis de los siglos anteriores como los posteriores al siglo XVII. Estas aportaciones pueden clasificarse en función del tratamiento *triple* (en tres etapas) o *doble* (en dos etapas) que se haya efectuado. Un tratamiento triple (minoritario a nivel historiográfico, más arriesgado y complejo) significa que el autor menciona el origen solar (primer paso), sus efectos biofísicos como peldaño intermedio (por ejemplo, a través del clima, pero no necesariamente solo así), y sus consecuencias sobre el sistema social y económico (paso final). Un tratamiento doble (el predominante) significa que el autor aborda solo el paso segundo (clima) y el tercero (economía), pero no el origen del paso segundo.

⁹ http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch1s1-4-3.html

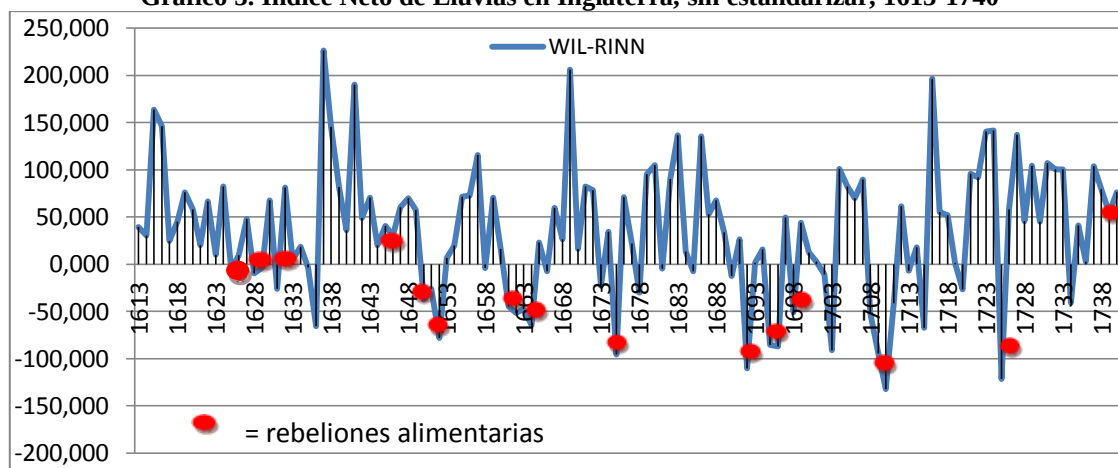
Sin ánimo de ser exhaustivo, hay *tres momentos* en la historia del pensamiento económico ligados con una secuenciación triple. El primero se relaciona con los albores de la economía como ciencia (W. S. Jevons, 1875, 1878, 1879). El segundo, casi simultáneo, coincidió con un fuerte interés de economistas y científicos en los ciclos económicos (H. S. Jevons, 1909, 1910, 1917; H.L. Moore, 1914, 1923; E. Huntington, 1920; W. M. Persons, 1931; A. Chizhevsky, 1924; C. García Mata y F. I. Shaffner, 1934; A. Chizhevsky, 1938). Para el tercer momento habrá que esperar medio siglo (Pfister, 1988; A. Michaelowa, 2001; D. Kuester y C. R. Britton, 2003; G. Parker, 2008 y 2013; P. Malanina, 2009), con algunos intervalos (E. Dewey, 1968, P. Mirowski, 1984 y algunos otros). La mayoría de estos autores se centró en la posible influencia de los ciclos solares cortos de 11,2 años, y solo unos pocos (Pfister, Michaelowa, Malanina) en el *Mínimo de Maunder*. Las conclusiones (positivas) de unos y otros se desarrollaron alrededor de los efectos sobre cosechas y precios agrícolas, producción industrial y precios al por mayor, efectos demográficos y psicológicos, en los mercados de valores, la energía, el consumo o incluso en crisis políticas y militares o alrededor de los ciclos económicos. De los trabajos de carácter doble hay mayor número de aportaciones, especialmente en lo que se refiere a la relación entre clima y economía, que se inician sobre todo en los años sesenta del siglo pasado (E.J. Jones, 1964; P. Bowden, 1967), cogen fuerza en la década de los ochenta (E.A.Wrigley y R.S.Schofield, 1981; R. Lee, 1981; E. Le Roy Ladurie, 1983; P. Galloway, 1985 y 1994; Pfister, 1988; M. Overton, 1989, J. Van de Vries, 1990), y vuelven a aparecer ya en este siglo, después de los años noventa, escasamente productivos (G. Sachs, Warner, Mellinger, Gallup, 1997, 1999, 2001; Nordhaus, 2006; O. Deschênes, M. Greenstone, 2007; Campbell, 2010; M. Dell, B.F. Jones y B.A. Olken, 2012; Auray, S., Eyquem y A., Jouneau-Sion, 2012; y F. C. Hanes y P.W. Rhode, 2013). En todos se encontraron evidencias causales entre los factores climáticos y agricultura, demografía, industria, productividad, crecimiento económico y los principales datos macroeconómicos.

A nivel estadístico, se ha constatado que el *Mínimo de Maunder* dio lugar a las temperaturas más bajas que han tenido las islas británicas desde que existen anotaciones, según indica el registro de Inglaterra Central (CET), el más antiguo del mundo, que recoge desde mediados del siglo XVII (con datos mensuales desde 1659¹⁰)

¹⁰ Monthly Mean Central England Temperature, 1659-1973, de Manley, en Q.J.R.Meteorol.Soc., 1974.

las temperaturas de varias localidades de las *Midlands* (cuya serie identificaré como *TEMP*). Aunque no contamos con registros directos de humedad, precipitaciones o inestabilidad climática (aparte de las referencias escritas de la época), algunos trabajos académicos recientes comienzan a arrojar luz en este ámbito a través de las reconstrucciones pluviométricas mayo-agosto del sur de Inglaterra (Rinne *et al*, 2013, *RINN*), lluvias entre marzo y julio (primavera-verano) del este de Inglaterra (Cooper *et al*, 2012, *RICH*) y lluvias entre marzo y julio (primavera-verano) del sur y centro de Inglaterra (Wilson *et al*, 2012, *WILS*)¹¹. Siguiendo la distinta dinámica de las lluvias inglesas en función de la estación y sus efectos sobre la producción, el trabajo y el consumo agrarios, positivos en primavera, negativos en verano (Bowden, 1967; pp. 623-626)¹², he elaborado un primer índice neto de lluvias, restando las series *WIL* y *RINN*, de manera que puedan recogerse mejor las aportaciones pluviométricas netas (gráfico 3). Gracias a esto empezamos a diferenciar mejor los ciclos de la producción en base a la *aportación del nitrógeno natural* de las lluvias (a falta de analizar las temperaturas), y encontramos claros períodos de frenado productivo (1636-37, 1649-55, 1660-69, 1673-78, 1683-85, y especialmente por su intensidad, 1691-1715). He marcado además en los gráficos (con puntos rojos) los momentos de mayor conflictividad social (levantamientos y alborotos populares alimentarios), detallados por B. Bohstedt (2010, pp. 33-54), que se concentraron en los años 1628-32, 1646-49, 1662-63, 1674, 1692-99 (la fase más larga y complicada, con la peor cosecha habida en Inglaterra, en 1693), 1709, 1727-28 y el invierno de 1739-40, donde podemos comprobar cómo este primer factor climático, la lluvia, tuvo una importancia capital.

Gráfico 3. Índice Neto de Lluvias en Inglaterra, sin estandarizar, 1613-1740

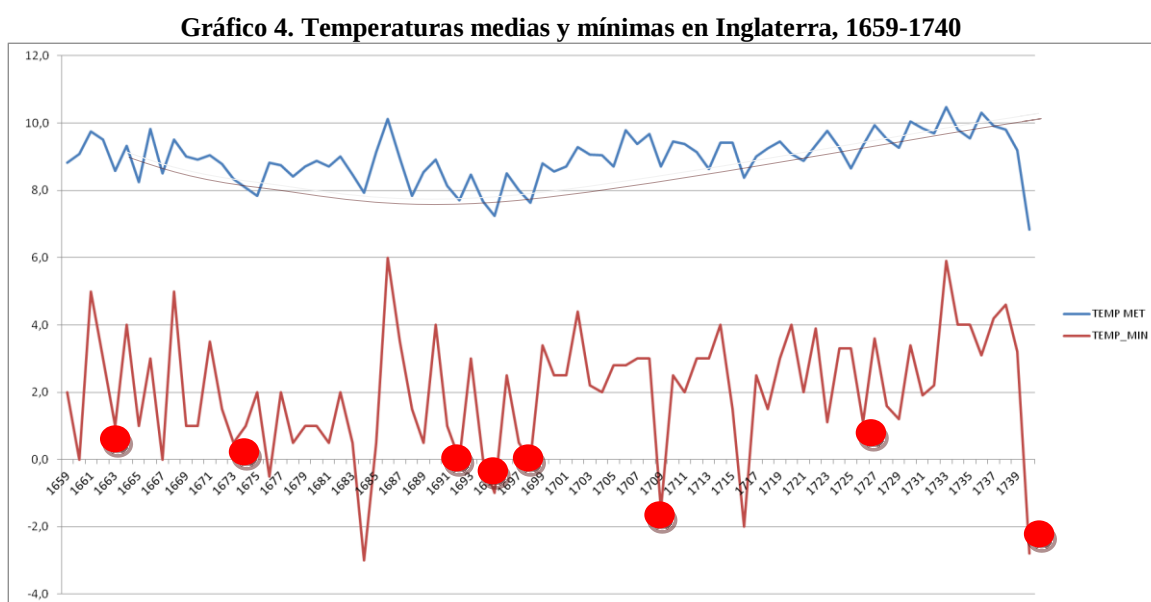


Fuente: Elaboración propia

¹¹ Agradezco a Teresa Rinne y Richard Cooper el poder disponer de sus series.

¹² Para repasar las aportaciones de Bowden respecto la dinámica climático-agrícola en la Inglaterra pre-industrial, véase el Apéndice.

El siguiente elemento que completa este primer análisis son las temperaturas, cuyas variaciones incidieron también en la producción de cereales (impacto sobre el factor tierra), la población humana y animal (efectos sobre el factor trabajo), la producción industrial o el transporte (efectos sobre el capital). Analizando el *gráfico 4*, vemos claramente como las temperaturas medias y mínimas no mejoraron hasta principios del siglo XVIII, con unos picos especialmente bajos en 1675-76, 1684-85, 1688-1699 (el período más largo y duro), 1709, 1716 y 1739-40, y una clara mejora sobre todo desde 1700 y especialmente desde 1717¹³.



Fuente: Elaboración propia a partir del MET.

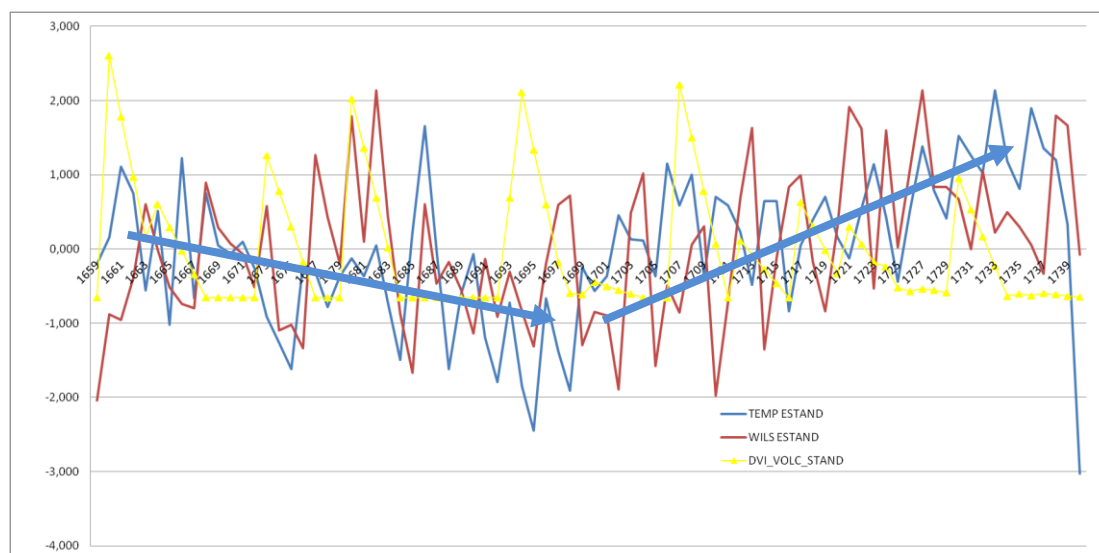
El tercer paso es ver de qué manera *interactuaban las variables climatológicas y físicas* (lluvias, temperaturas, la actividad volcánica¹⁴ u otros fenómenos como el Niño): sus diversas combinaciones podían dar lugar a distintos escenarios todavía más complejos, en los cuales estas variables se reforzaban o contrarrestaban mutuamente, en cuanto a sus posibles efectos sobre la economía inglesa. Para poder efectuar esta comparación en el mismo plano, he procedido a estandarizar las series (a partir de sus varianzas y medias respectivas) de lluvia, temperatura e índice volcánico, cuyos primeros resultados se obtienen en el *gráfico 5*. En éste observamos, primero, una larga tendencia depresiva desde 1659 hasta fin de siglo, y otra positiva en los primeros cuarenta años del siglo XVIII (lo que podríamos denominar cambio un estructural “natural”). Y segundo,

¹³ Para más en detalles, véase el Apéndice.

¹⁴ La expulsión de material volcánico a la atmósfera puede provocar alteraciones climáticas importantes. Los datos utilizados del índice de polvo volcánico corresponden a M. E. Mann *et al* (2000).

cuando se “alían” los efectos negativos del clima (temperaturas bajas, lluvias escasas, extensión en la atmósfera del polvo volcánico), surgen los momentos más duros (especialmente en la década de los noventa del XVII).

Gráfico 5. Lluvias, temperaturas, índice volcánico, datos estandarizados, Inglaterra, 1659-1740



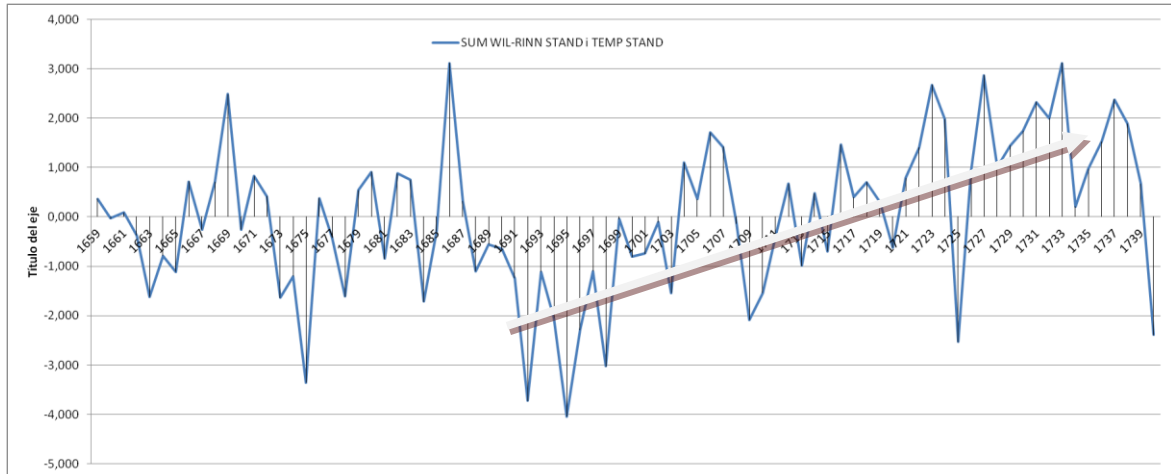
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para unificar el impacto climático en un solo indicador, he confeccionado un índice compuesto de lluvias y temperaturas a partir de los datos estandarizados anteriores (en el futuro debería incluir otras variables como el índice volcánico), cuyos primeros resultados se exponen en el *gráfico 6*. El Índice Neto de Lluvias y Temperaturas, que recoge el sumatorio estandarizado de las lluvias netas primavera-verano (*WILS-RINN*) con las temperaturas medias anuales (*TEMP*), también estandarizadas, se podría contemplar como una primera aproximación al *Índice Natural de la Productividad de la Tierra (INPT-1)*¹⁵. De esta forma podemos columbrar una vez más la existencia de ciclos, pero sobre todo se detectan tres períodos muy claros, el primero, entre 1659 y 1688, con altibajos, (obsérvense los áreas ralladas por encima y debajo de cero), el segundo entre 1689 y 1715 (claramente depresivo, el cenit del Gran Mínimo y de la *Little Ice Age*) y el tercero desde 1716 a 1739-40 (fase expansiva). Así pues, la productividad natural del suelo no despegaría claramente (aunque sí de una forma muy notable) hasta la entrada del siglo XVIII. ¿Cómo se puede articular este índice con los datos disponibles de la producción primaria inglesa? ¿Sería coherente

¹⁵ Para completar este índice, faltaría el N generado desde el suelo. La capacidad de éste en la generación de nitrógeno es también un factor fundamental. Una segunda aproximación de INPT (INPT-2) será el Índice de Paterson, tratado en la p. 18.

pensar que el componente climático fue un factor de primer orden en la era preindustrial y por tanto la productividad rural debía reflejar este hecho y estar bien correlacionada con el INPT? En este contexto, podemos efectuar un primer ejercicio gráfico comparativo entre el índice natural de la productividad y el correspondiente al PIB

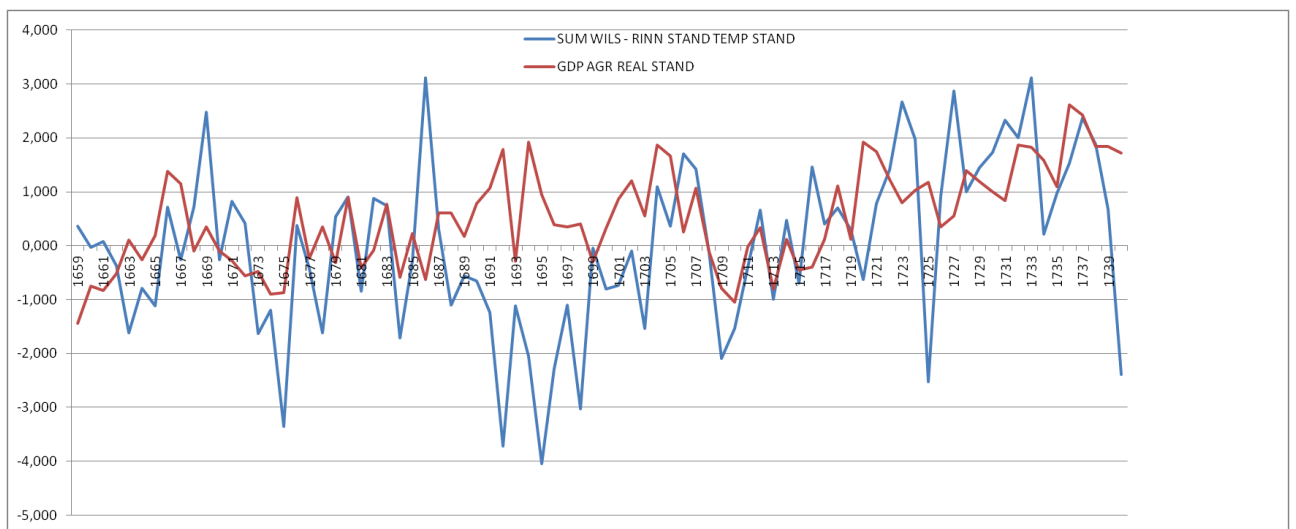
Gráfico 6. Índice Neto de Lluvias y temperaturas (INTP-1), Inglaterra, 1659-1740



Fuente: Elaboración propia

agrario bruto de Inglaterra de S. Broadberry *et al* (2011), que presento de forma estandarizada en el gráfico 7.

Gráfico 7. Índice natural de la productividad de la tierra (INPT-1) y output agrario, Inglaterra



Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de correlación r de las dos series en todo el período (1659-1740) es de 0.23, mostrando el signo esperado (mejor clima mayor valor de la producción y viceversa), pero muy probablemente este valor está sesgado a la baja por una extraña e

importante anomalía en la serie de Broadberry, que se presenta en el período 1685-1702. Si bien entre 1659 y 1684 la r es de 0,34, y entre 1703 a 1740 es de 0,39, ésta es de -0,58 entre 1685 y 1702. En otras palabras, hay una correlación fuerte pero negativa, entre el INPT-1 y el PIB real agrario, de forma que a peor clima, mayor valor de la producción. ¿Cómo es posible que en la década de los noventa, en el peor momento climatológico, el output se moviera por término medio en la dirección contraria? Según Broadberry *et al* (2011, pp. 30) el volumen de tierras utilizadas (en millones de acres) apenas varió entre 1650 y 1700, en un contexto depresivo de la oferta de trabajo. Esto significaría que, en el marco de un período de escaso crecimiento de la superficie agraria y de estancamiento de la oferta laboral, el valor relativo de la producción aumentó bajo un período de fuerte impacto climático negativo, lo cual parece difícilmente asumible, y más aún, cuando el único factor incremental del nitrógeno (el aportado por las lluvias) que podía haber explicado el incremento de la productividad del suelo, sufría sus peores momentos y tampoco el resto de sumideros de nitrógeno aportó ninguna mejora (Allen, 2004). Tal y como expongo en las pp. 25-26, un impacto climático negativo largo genera una caída del producto marginal de la tierra, unido a un descenso de la fuerza de trabajo y del rendimiento marginal del trabajo-energía. Ante esto y el aumento de los precios, el sector agrícola debe innovar como única vía posible, esto es, promoviendo un incremento del producto marginal de la tierra aumentando el ISPT, el Índice Social de la Producción de la Tierra¹⁶. En otras palabras, si los factores de producción principales (trabajo y tierra) son adversos o neutrales, solo la PTF (productividad total de los factores del sector agrícola), compuesta por la INPT y la ISPT, puede empujar el PIB agrario hacia arriba. Sin embargo, si la INTP (clima) evoluciona de forma adversa, sólo queda la vía de la ISPT, pero esta opción debe descartarse porque el crecimiento del ISPT era lento. Incluso Overton antes (1989b) reconoció durante este decenio la fuerte correlación entre mal tiempo y débiles producciones en *East Anglia*, es decir, no fue un período precisamente óptimo. Por tanto, la anomalía de 1685-1702 se podría explicar únicamente en base a la elasticidad-precio: la producción física habría sido tan débil que el valor de la producción habría aumentado por un fuerte aumento de los precios, a pesar del descenso físico del output. Este hecho nos indica también que, a efectos comparativos, *sería mucho mejor relacionar la INPT con el output físico que con el valor monetario de la producción*,

¹⁶ Referido al componente de la producción agraria aportado por la innovación y la destreza humana, por cambios institucionales y en general por la intervención antropogénica.

que atenúa o impide ver la productividad física real, algo que veremos en el contraste de especificación.

Ahora bien, es importante diferenciar el corto del largo plazo. Los coeficientes de correlación indican solo una relación causa-efecto en el mismo momento del tiempo, de forma que una mala cosecha podía compensarse con una buena cosecha el año siguiente. La inestabilidad del tiempo, y esto es algo reconocido, podía influir en el output anual, pero esto solo era señal de cambios de nivel. Sin embargo, en el siglo XVII el impacto climático del *Mínimo de Maunder* fue largo. Si en el corto plazo una mala cosecha provocaba una subida de los precios, dada la inelasticidad-precio existente (negativa y rígida), en el largo plazo la elasticidad era más flexible, de forma que los efectos climáticos del largo plazo se concentraban en la distribución de la renta, especialmente en los beneficios (la diferencia entre el coste marginal y el precio por el cambio de nivel de la producción generado por el impacto climático) y por tanto en la acumulación de capital derivada (Deschênes, O., Greenstone, M., 2007; p. 358). Los efectos en el largo plazo serían pues irreparables (en el ISPT) y en este sentido, la reacción innovadora de los campesinos y los grandes propietarios, los movimientos migratorios de los más humildes, el ingenio humano, crearían las bases de un mayor crecimiento en el largo plazo y de la llamada Revolución Agraria.

Hipótesis primera: los rendimientos de la tierra

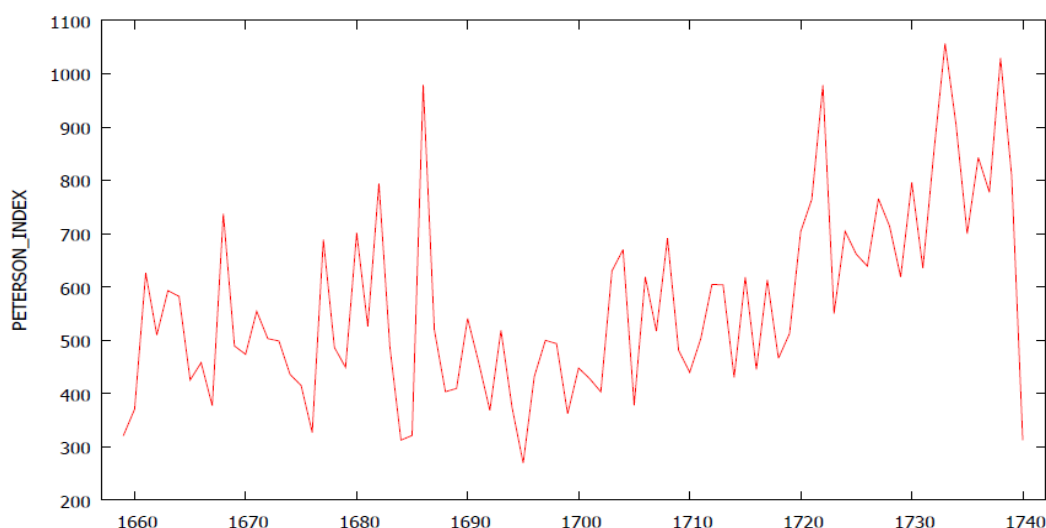
Dentro del interminable debate sobre las causas de la Revolución Agraria inglesa, Robert C. Allen (1999) focalizó el cambio agrario en los *Yeoman* (los pequeños y medianos agricultores “libres”), en el rol positivo de los campos abiertos y la negociación intracomunitaria, además de la introducción de nuevos cultivos y rotaciones, la pérdida de importancia del barbecho así como la integración ganadera como fuerza de tiro o de abono y finalmente, con la mejora en la selección de semillas, razas animales y otros procedimientos. Para el historiador inglés, *gran parte del incremento de la productividad se materializó antes de mediados del siglo XVIII*, precisamente gracias a los pequeños agricultores de las zonas de los campos abiertos, los verdaderos protagonistas de estos avances. Además, el incremento de la productividad de trabajo en Inglaterra entre 1600 y 1800 tuvo dos causas, la primera fue el aumento del rendimiento de los cereales ($\Delta \frac{Y}{T}$) y la segunda, el proceso de fusión de

las pequeñas explotaciones en grandes heredades capitalistas, de manera que el incremento de la productividad del trabajo se logró reduciendo el empleo por acre $\frac{T}{L}$ (Allen, 1988; p. 62). Sin embargo, *seguía sin saberse bien cuáles fueron las causas originales* de los aumentos de los rendimientos por acre en los cultivos, especialmente entre 1650 y 1750 ($\Delta \frac{Y}{T}$). La mejora de la ratio $\frac{T}{L}$ solo se explicaba por cambios en el tamaño de las fincas y los cercamientos, pero esto era más una descripción que una causa original: ¿Por qué se modificó el tamaño de las fincas? ¿Cuáles fueron las verdaderas causas de los rendimientos? La primera respuesta fue que la productividad de la tierra se incrementó entre 1650 y 1750 independientemente del sistema de rotación, el uso de leguminosas o tréboles, la aportación ganadera o de la estructura de la propiedad (cercamientos o campos abiertos, fincas grandes o más pequeñas). Allen (2004) buscó entonces las causas originarias a través del principal nutriente del suelo, el nitrógeno. Repasando conceptos fundamentales, aclaró que el crecimiento de las plantas requería agua y nutrientes, especialmente nitrógeno, potasio y fósforo. En la Edad Moderna, “más nitrógeno implicaba más crecimiento de la planta”, a diferencia de hoy, donde ya intervienen más factores. A partir de aquí intentó dar entonces respuesta a tres de las grandes preguntas de la Revolución Agraria. La primera es ¿por qué ocurrió? Para él, el nitrógeno, aunque puede explicar parte de las mejoras en las cosechas, *no podía hacerlo del todo, había un “missing link”*. La segunda pregunta es ¿cuándo ocurrió?, concluyendo que la Revolución Agrícola fue gradual y larga. La tercera pregunta es ¿cuál fue el rol de los *open fields*?: en este sentido su papel fue tan positivo como los cercamientos o más aún.

Con las hipótesis que planteo, podemos avanzar en las respuestas a estas preguntas. Primero, *la cuestión del “eslabón perdido” del nitrógeno* puede encontrarse en el cambio climático a través del INPT, componente de la productividad total de los factores; segundo, aunque fuera un proceso largo, explotó en los primeros cuarenta años del siglo XVIII, lo que encaja con la cronología climática que he descrito antes y con la de Allen; y tercero, un impacto exógeno ayudaría a entender porqué tanto los campos abiertos como los cercamientos tuvieron un papel importante: el aumento de los rendimientos de la tierra y de la productividad del trabajo rural fueron independientes del tipo de campo utilizado. El clima no entendía de cercamientos o campos abiertos.

Los trabajos de Allen fueron por consiguiente un importante salto hacia adelante en la búsqueda de una respuesta, centrada en el nitrógeno. Sin embargo, en primer lugar, se fijó solo en las causas endógenas (el ISPT o productividad “social”), esto es, en la intervención del hombre sobre el proceso del nitrógeno, cuando la agricultura mundial seguía sometida a una economía orgánica solar, y en segundo lugar, supuso constantes en el tiempo las tasas de mineralización del nitrógeno. En otras palabras, *no tuvo en cuenta los inputs exógenos* del proceso (a través del INPT), ni tampoco su *variabilidad* a escala temporal. En contraste, en el período inmediatamente posterior al *Mínimo de Maunder* pudo haberse generado un incremento del INPT mediante las siguientes vías: **1) Con el nitrógeno aportado por las lluvias y deposiciones atmosféricas**, tal y como hemos visto en las páginas 25-26 con el índice INPT-1, que podemos además ampliar con un segundo índice, el de Paterson (*gráfico 8*), una medida alternativa de la productividad del suelo (INPT-2)¹⁷; **2) Con el nitrógeno aportado por la acumulación**. Una serie de experimentos de larga duración realizados en la Estación Experimental

Gráfico 8. Índice de Paterson tierra (INPT-2), Inglaterra, 1659-1740.



Fuente: Elaboración propia

¹⁷ El Índice de Paterson se calcula mediante la fórmula $I = (G \cdot T_v \cdot P \cdot E) / (12 \cdot T_a)$. **G** es el período vegetativo, que se calcula como el número de meses en los que la temperatura media supera los 6 °C y además la precipitación (en mm) es superior al doble de esa temperatura media (mi cálculo ha desestimado el dato de las precipitaciones mensuales porque no se disponen). **T_v** es la temperatura media del mes más cálido (°C). **P** es la precipitación total anual (mm), para lo que he realizado una extrapolación desde los datos WILS. **E** es el coeficiente de reducción de la evapotranspiración, relación porcentual de la radiación extraterrestre en el polo en la latitud considerada, y se calcula como: $E = 2500 / (n + 1000)$; donde **n** son las horas de sol anuales (h/año). **T_a** es la oscilación anual de la temperatura y se calcula como la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la temperatura media del mes más frío (°C). El Índice de Paterson se utiliza habitualmente para ver la “productividad” forestal, pero también se puede tomar como un índice alternativo de la productividad natural de la tierra.

Rothamsted en Inglaterra evidenciaron que la acumulación del nitrógeno a largo plazo potenciaba el rendimiento de la tierra. Por tanto, un período de bonanza largo, como el que hubo después del Gran Mínimo desde 1715 podría haber facilitado dicha acumulación; 3) Con el *nitrógeno aportado a través del suelo*. Además de las deposiciones atmosféricas, el aporte principal de nitrógeno procede del suelo a través de la mineralización del nitrógeno orgánico. En este sentido el cambio climático (después del *Mínimo de Maunder*) podría haber influido también a nivel edafológico, aumentando aún más la cuantía de nitrógeno mineral en la tierra, mediante el juego de la temperatura y la humedad. Hemos de recordar que durante del *Mínimo de Maunder*, el clima de Inglaterra se volvió mucho más extremo, con unas temperaturas muy bajas pero también con veranos anormalmente muy secos. Esta alternancia de períodos secos y húmedos no pudo ser, probablemente, un factor incremental de nitrógeno hasta que las temperaturas se moderaron, a principios del XVIII. El proceso de expansión y contracción de los suelos a causa de la alternancia de períodos de secado y humedecimiento produciría rupturas en los micro-agregados del suelo, lo cual aumentaría la superficie específica expuesta a la acción de los microorganismos. Esto llevaría a una "desestabilización" la materia orgánica y, por lo tanto, aumentaría la velocidad de mineralización del nitrógeno; 4) *Del nitrógeno aportado por la polución*, todo ello a partir del positivo comportamiento de las lluvias, la humedad y las temperaturas. ¿Sería coherente plantearse que hubo también -en teoría- una posible *fente antropogénica* de óxidos de nitrógeno en la atmósfera, cuyos efectos en la lluvia recayeron en las regiones más próximas o en otros territorios, en función de las corrientes atmosféricas? En el siglo XVII, Inglaterra vivió su primer período de polución del aire (R. Fouquet, 2008; p. 57). La mayor parte de los centros urbanos se basaban ya en el carbón como fuente de calor, "*Sea-Coals...are now universally used in London*"¹⁸, se decía. En aquella época, Londres era famosa por su nube de humo derivada del carbón, que se asociaba a la actividad industrial como las cerveceras, calderas de jabón, de productores de cal, pero también a la calefacción doméstica, generando una importante contaminación, y algo semejante ocurría en otras ciudades inglesas como York, lo que provocó incluso campañas políticas para erradicar los problemas de salud.

¹⁸ Cita sobre cita de John Gaunt en 1665, contenida en R. Fouquet (2008), pp.58.

La primera hipótesis –por comprobar– versaría entonces sobre la posibilidad de que una alteración climática prolongada tuviera un impacto en los rendimientos de la tierra. Como he descrito en las secciones anteriores, existen suficientes evidencias de un fuerte decremento de las temperaturas, un aumento de la inestabilidad entre períodos extremos¹⁹, y un descenso medio de las lluvias en las *Middlans* (aunque no tanto en el este de Inglaterra). Todos estos factores, como veremos más adelante, habrían debilitado la aportación media de nitrógeno (por las vías anteriormente mencionadas) lo suficiente como para frenar la mejora de los rendimientos y hacer “invisibles” los resultados de las mejoras introducidas por los agricultores, de forma que cuando el *Mínimo de Maunder* finalizó (1705-1715) hubo una recuperación sustancial en el flujo de nitrógeno natural (INPT): no todo se explicaba con la rotación de cultivos, los abonos o los sistemas de propiedad (cercamientos, campos abiertos).

Las causas del aumento de los rendimientos derivados de las rotaciones o los abonos desde principios del siglo XVIII se sobrevaloraron, al no tenerse en cuenta la mayor aportación “natural” (del nitrógeno aportado por las deposiciones atmosféricas, y por las mejores condiciones de mineralización de éste en el suelo o la acumulación). De hecho, el incremento de la fijación “social” del nitrógeno (ISPT) habría sido en parte causado por la reacción de las fuerzas motoras rurales ante las dificultades previas del XVII: los factores ambientales algo tuvieron algo que ver en las innovaciones y mejoras.

Hipótesis segunda: productividad del trabajo

He centrado la primera hipótesis en el INPT y el ISPT, los dos componentes de la productividad total agraria de los factores. La segunda hipótesis que propongo se concentra en uno de los factores de producción principales, la fuerza de trabajo-energía, y radica en la posibilidad de que se redujera entre 1660 y 1699 en relación a la superficie disponible, generando un aumento de la superficie trabajada por hombre o unidad de energía. El incremento del número de acres por unidad de trabajo no se daría solo por cambios en el tamaño de las fincas (factores que en gran parte llegarían después), sino también por una caída o estancamiento de la población activa campesina

¹⁹ Todo esto teniendo en cuenta multitud de variables como la latitud y la geografía (Inglaterra es una isla bañada por las corrientes oceánicas cálidas), lo cual significa que los efectos de este Gran Mínimo serían diferentes según las regiones, y seguirían siempre una lógica y unos patrones de comportamiento todavía por descubrir.

causada por la depresión climática: las dificultades en obtener mano de obra (en *cantidad y calidad* suficiente) contribuyeron al proceso de búsqueda de alternativas de los *Yeoman* y los grandes productores, innovando en diferente grado y forma, afectando el ISPT, junto a la presión que generaba la inestabilidad de las cosechas. En este documento aportó un elemento nuevo: el efecto climático sobre la fuerza de trabajo-energía fue doble. Primero, se redujo la oferta total de Kcal de trabajo por motivos demográficos y de una menor demanda laboral, segundo, y esto es novedad, *también redujo la intensidad del trabajo mediante una reducción de la energía disponible por persona*: ambos efectos sumados reflejan mucho mejor los hechos –como veremos– que con una simple identificación “fuerza de trabajo-hombre”.

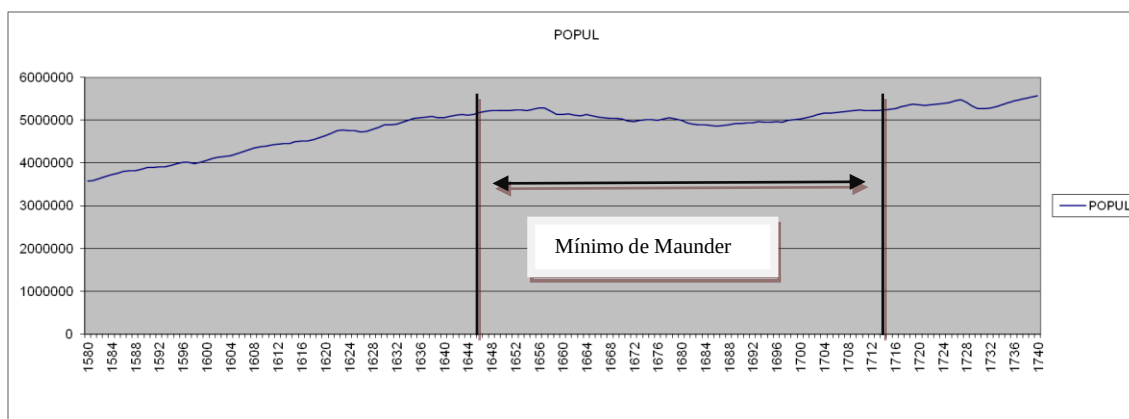
Según Broadberry, Campbell y Vas Leuwen (2012, pp. 23) la fuerza de trabajo agrícola aumentó en número índices de 67,6 a 100 entre 1522 y 1700, y de 100 a 114,2 entre 1700 a 1759, mientras que en la industria este aumento fue de 30,2 a 100 y de 100 a 120, y en los servicios de 32,1 a 100 y de 100 a 130, respectivamente. Es decir, la población activa del sector agrario perdió peso respecto las demás. Con la crisis demográfica de la segunda mitad del siglo XVII (estancamiento de la población) estos datos implicaban un proceso migratorio permanente o estacional campo-ciudad. Por contra, la productividad del trabajo agrícola pasó de 75,9 a 100 y de 100 a 139,5, mientras que la industrial y de servicios avanzó con más lentitud: de 91,6 a 100 y de 100 a 120,3, y en los servicios de 84,6 a 100 y de 100 a 116. En otras palabras, las ganancias de productividad se concentraron en la agricultura.

En la Inglaterra del siglo XVII, la oferta de trabajo dependía principalmente del *ritmo de crecimiento demográfico*²⁰, que determinaba el número de personas que se incorporaba a la población activa. Por tanto, para analizar la evolución del mercado de trabajo es preciso saber *qué pasó* con la población en la segunda mitad del siglo XVII. En este sentido, los trabajos de Lee (en Wrigley y Schofield, 1981, pp. 385-400) evidenciaron una clara relación, en el corto plazo, entre el clima y las principales variables poblacionales (mortalidad, fertilidad, nupcialidad). R.A. Houston dijo además que la esperanza de vida en el momento de nacer era de 36,4 años en el período 1600-

²⁰ Otros factores importantes eran *la situación y características del mercado de trabajo* (la existencia de mucho o poco desempleo, la estacionalidad, la estructura productiva), *los niveles salariales y no salariales* (cuando caía el salario real, aumentaba la “desutilidad” del trabajo) y *la existencia de ayudas o coberturas sociales (Poor Laws)*.

49, de 33,9 años entre 1650 y 1699, de 34,5 años entre 1700-49 y 36,5 años entre 1750 y 99. En consecuencia, hasta 1750 no se recuperó la esperanza de vida anterior a 1650. Toda esta cronología encaja con la depresión climática. En el caso de la mortalidad, Houston concluyó (p. 168) que “*la mortalidad fue sólo en parte endógena al régimen económico y demográfico, no estuvo regular y sustancialmente afectada por los cambios en los niveles de vida*”²¹ ni actuó como un mecanismo equilibrador si no que muy al contrario, *iba a su aire o seguía una pauta desconocida*. En conclusión, la mortalidad estuvo sólo débilmente integrada en el sistema económico y en la mayoría de los casos *actuaba como una variable independiente*. Una explicación de esta “pauta desconocida” estaría pues en el impacto climático y energético del Gran Mínimo, que pudo incidir en las tasas de mortalidad, pero también en las de fertilidad y nupcialidad, a través del descenso de las temperaturas y un incremento de la inestabilidad, lo que facilitó una mayor presencia de enfermedades infecciosas en verano y respiratorias en invierno²². El mismo Houston acabó reconociendo que “los factores totalmente exógenos como el clima también jugaron un papel”. La ‘Ice Age’ de finales del siglo XVII crearía estas condiciones (p. 168) y su extremo, el *Mínimo de Maunder*, habría producido un empeoramiento de la calidad de vida, algo que N. Koepke y J. Baten (2005) constataron en Europa mediante estudios antropométricos. Como podemos observar en el *gráfico 9*, el mínimo solar coincidió con un período de estancamiento demográfico, hecho que parece constatarse también realizando un primer análisis de los

Gráfico 9. Evolución de la población en Inglaterra, 1580-1740, en números absolutos



Fuente: Elaboración propia (datos de Wrigley y Schofield, 1981)

²¹ Citando a Wrigley y Schofield.

²² Las infecciones endémicas respiratorias o el tifus aumentaron como resultado de temperaturas invernales anormalmente más bajas mientras que los veranos más cálidos facilitaban la difusión de las bacterias causantes de la disentería y la fiebre tifoidea.

coeficientes de correlación entre el Índice Neto de Lluvias y Temperaturas y las variables poblacionales principales (tabla 2).

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre el Índice Neto de Lluvias y Temperaturas y las principales variables demográficas, Inglaterra, 1659-1740, datos anuales.

Variable	1659-1740	1690-1740
POP_INDEX	0,40	0,58
BIRTHS_YEAR_JAN_DEC	0,40	0,54
BIRTHS_YEAR_JUL_JUN	0,39	0,52
DEATHS_YEAR_JAN_DEC	0,33	0,42
DEATHS_YEAR_JUL_JUN	0,32	0,42
MARRIAGES_YEAR_JAN_DEC	0,49	0,61
MARRIAGES_YEAR_JUL_JUN	0,50	0,61
POPULATION	0,40	0,58
BIRTH_RATE	0,32	0,41
DEATH_RATE	0,24	0,31
MARRIAGE_RATE	0,20	0,19
WAGE_FARM	0,25	0,57

Fuente: Elaboración propia. Datos de Wrigley y Schofield (1981), Broadberry (2011) y Clark (2007). Nótese como entre 1690 y 1740 la correlación es más intensa.

Es importante destacar que, en la Inglaterra de mediados del siglo XVII, el mercado de trabajo agrario continuaba claramente *marcado por la estacionalidad*²³. Incluso cien años más tarde, Adam Smith aún decía (M. Blaug, 1956; pp. 75-76) que *los salarios de verano eran mayores que los salarios de invierno* (porque la demanda de mano de obra bajaba en invierno); los salarios monetarios *variaban poco* y los precios mucho más en el largo plazo; salarios y precios se movían a veces en direcciones opuestas: *ante cosechas abundantes descendía la oferta de mano de obra* y aumentaban los salarios, ante malas cosechas crecía la oferta de trabajo por la necesidad de sustento. Respecto a las causas, el mismo Coleman (1956, p. 287) afirmaba que la *estacionalidad del trabajo* se originaba en parte en factores exógenos ajenos a un mercado laboral mucho más sensible que el actual a las interferencias de los *fenómenos naturales*, que en el siglo XVII se manifestaban de muchas formas, mediante enfermedades en hombres, animales o cultivos, cambios en las estaciones o fenómenos climáticos, que en definitiva

²³ Evidentemente, la estacionalidad no lo explica todo, ni mucho menos. Otros condicionantes, más importantes quizás fueron *el poder de los “empresarios”*, que seguía plasmándose a través de la fijación de topes salariales, así como también la *importante liberalización del comercio interno*, cuya mayor manifestación era la unificación de los precios en casi todos los condados, y finalmente, la fuerza de trabajo *tendía a la ociosidad*, porque en épocas de prosperidad no entraba en el mercado de trabajo, sino lo contrario.

limitaban el trabajo en la agricultura, pero también en la pesca o la industria²⁴. Es decir, la mayor estacionalidad no sólo se manifestaba en el campo sino también en la “protoindustria”. Cuando ésta empezó a desarrollarse, el trabajador industrial se volvió cada vez más dependiente, pero la creciente inestabilidad del trabajo industrial también era un hecho: los vaivenes climáticos, los retrasos e irregularidades en el suministro de materias primas (malas comunicaciones, transportes primitivos) estaban a la orden del día y ni siquiera la demanda estacional de mano de obra agraria en época de cosecha estaba bien integrada con la demanda industrial, que además era tremendamente irregular. La irregularidad del empleo, el subempleo, no se limitaba entonces solo al «*putting-out*» sino también a los métodos de producción industrial que dependían del viento o el agua o en incluso en la construcción (Coleman, 1956; p. 290). El funcionamiento de los molinos hidráulicos era interrumpido frecuentemente por las sequías de verano, el hielo invernal o las inundaciones de la primavera. Estas interrupciones eran más frecuentes en todos los ámbitos, especialmente en las industrias del papel y fundición de hierro²⁵.

Ahora bien, la estacionalidad no implica efectos en el largo plazo. Los coeficientes de correlación muestran un vínculo entre dos variables en el mismo momento: estamos hablando de corto plazo o estacionalidad. Cambios de nivel de una variable en un momento temporal pueden verse compensados con cambios de nivel compensatorios en el siguiente punto del tiempo: se hace preciso *un impacto climático permanente* que genere una “afectación irreparable” o de largo plazo, sea del signo que sea. En este sentido, el *Mínimo de Maunder* y la fase de bonanza inmediatamente posterior, pudieron aumentar la dependencia de la economía inglesa respecto las fuerzas naturales, en un entorno donde el trabajo, además de la tierra, era el más importante factor de producción²⁶. Bajo este tipo de impactos, y si son mínimamente correctas las afirmaciones de De Vries (2009, pp. 27-30) acerca de la posible debilidad de las redes familiares europeas, las alternativas disponibles para éstas fueron 1) “una huída” migratoria en el caso de las menos consistentes, 2) una extensión de la fuerza de trabajo con mujeres y niños o ampliando el número de horas de trabajo, o 3) desviando su

²⁴ Coleman (1956; p. 287) llega a afirmar que los factores exógenos han sido insuficientemente atendidos por los historiadores económicos, que con demasiada frecuencia se han centrado en cuestiones endógenas.

²⁵ Otros factores exógenos ciertamente relevantes fueron la creciente competencia en la industria textil así como el papel de las guerras y los conflictos políticos y militares locales.

²⁶ Coleman (1956; p. 287).

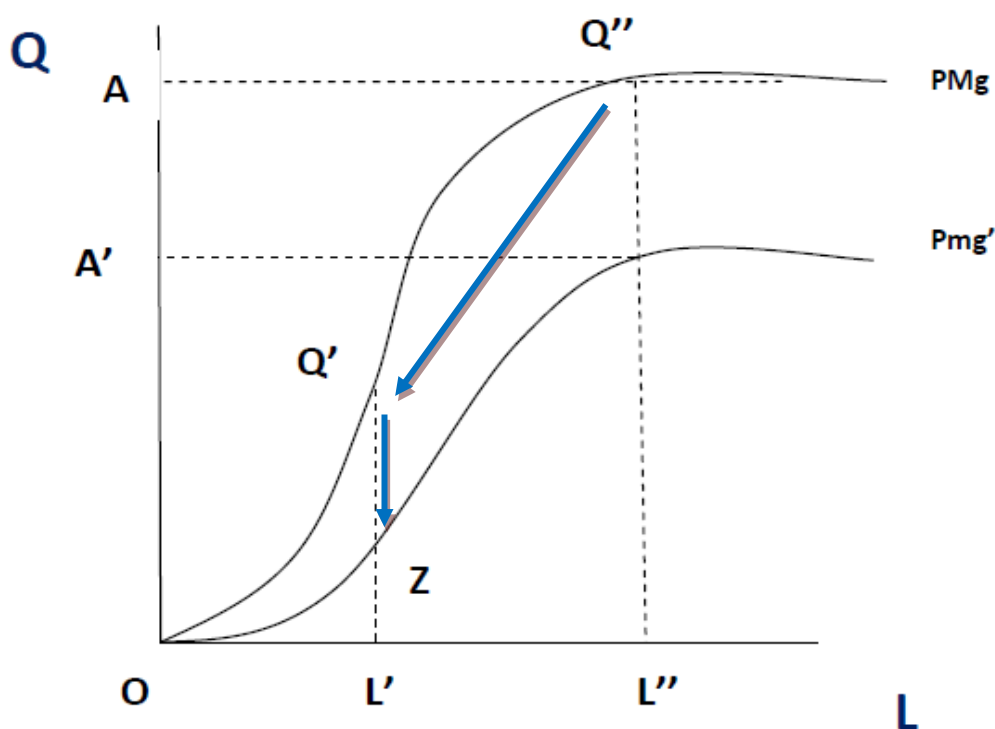
tiempo y energía en buscar sustento mediante otros sistemas alternativos. Podemos pues *segmentar las reacciones de las personas ante un impacto energético* de dos maneras, primera, en los casos de mayor “debilidad familiar” apenas había margen suficiente para compensar el desequilibrio energético individual: el saldo neto energético podía ser negativo (la diferencia entre el desgaste energético del trabajo y la insuficiente ingesta de energía a través de comida, ropa y calefacción). Como bien dice G. Becker (1985; pp. 449), la *mala salud* “reduce los ingresos por hora ya que un nivel más bajo de energía reduce la energía gastada en cada hora de trabajo laboral o de tarea doméstica”. Además, no era tanto un problema de falta de demanda de trabajo sino de opresión sobre los más débiles a través de no dejar que los salarios crecieran (techos salariales) o bien de que pudieran trasladarse e iniciar una vida nueva (aunque estas restricciones no serían lo suficientemente fuertes ya que los beneficios de transgredir las normas en épocas críticas podrían haber sido mayores que los costes de no hacerlo): solo en las grandes urbes como Londres, en los bosques, emprendiendo un futuro incierto en ultramar o entrando en el ejército, podían liberarse.

En segundo lugar, aquellos núcleos familiares más resistentes reaccionarían de manera distinta. Según G. Becker, *los ingresos en algunos trabajos son sensibles* en sumo grado a los cambios en el *consumo de energía*, mientras que otros son más sensibles a los cambios en la *cantidad del tiempo*. Las personas que dedicaban mucho tiempo a actividades domésticas muy intensivas en esfuerzo (el cuidado de los hijos) tratarían de economizar el uso de su energía buscando empleos que no fuesen esfuerzo-intensivos y lo contrario le sucedería a las personas que dedican la mayor parte de su tiempo hogareño al ocio. (Becker, 1985; pp. 450), Estas unidades domésticas, más consistentes, fueron el origen del *putting-out* familiar. Por tanto, la presión climática –junto a otros factores- pudo haber contribuido en el largo plazo a una reorientación del trabajo, diversa en función de los puntos de partida de cada grupo.

En el corto plazo, el productor solo puede decidir, en teoría, sobre la utilización del factor trabajo humano y/o animal (*gráfico 10*). Una climatología adversa, *ceteris paribus*, reduce el número de trabajadores de L'' a L' , por lo cual el producto se reduce a Q' (efecto extensivo). No obstante *hay un segundo efecto que podría pasar inadvertido*. La climatología adversa también desplaza la curva del producto marginal hacia abajo, de Pmg a Pmg' , porque la energía aportada por unidad de trabajo ha

descendido, quedando el output final en Z. *Esto significa que un impacto climático tiene dos efectos* (primero de Q'' a Q' , después de Q' a Z), *quedando el segundo de ellos indetectable si utilizamos L en unidades de trabajo, en lugar de hacerlo en Kcal u otra unidad de trabajo-energía, con lo cual el efecto climático no queda íntegramente recogido ni suficientemente valorado.* De aquí que se haga todavía más fuerte el incentivo a largo plazo del productor a mejorar el ISPT: ante el aumento de los precios, la mayor demanda urbana o simplemente por necesidad, intentará expandir la superficie cultivada o hacerla más productiva a través de nuevos sistemas o cambios institucionales, aunque en la práctica los efectos tardarían en verse al coincidir con un

Gráfico 10. Impacto climático sobre el trabajo en el corto plazo.



Fuente: Elaboración propia

período depresivo en la aportación de nitrógeno natural.

Por lo tanto, medir la fuerza de trabajo en unidades o personas no es suficiente: se hace necesario medir la oferta de trabajo en unidades de energía. Para ello hay que tener datos de la ratio de la población activa campesina, que no disponemos, aunque se supone que debió ser bastante estable en el período²⁷, y de su consumo calórico. No obstante, sabemos que el gasto energético diario (DEE) depende de la tasa metabólica

²⁷ Según los datos de G. Clark, el peso de la mano de obra masculina sobre el total de la fuerza trabajadora se mantuvo casi constante hasta principios del siglo XVIII (2001, p. 43).

basal BMR (la energía necesaria en mantener el cuerpo sin actividad ni digestión) y del nivel de actividad desplegado PAL. Esto hace que,

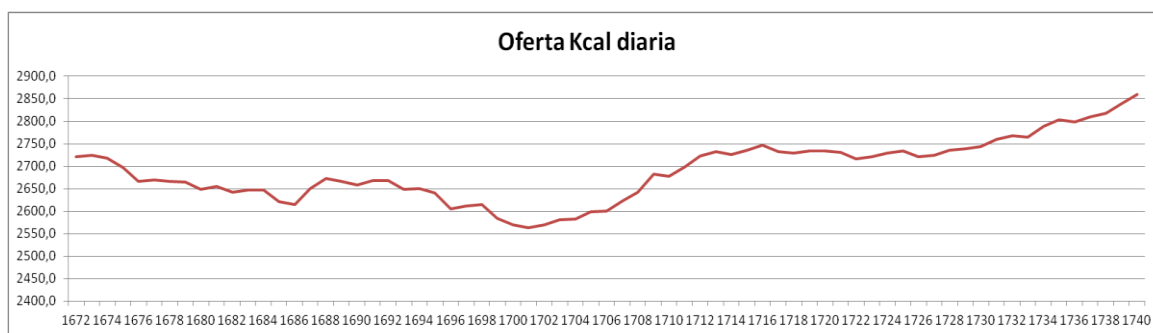
$$DEE = BMR \times PAL \quad (1)$$

y además en los hombres,

$$BMR = (14,7 \cdot M) - 5,6 \cdot TMEAN + 735 \quad (2)$$

Donde M es la masa corporal en Kg y $TMEAN$ es la temperatura media anual y según la OMS, los PAL están entre 1,55 y 1,77 (actividad ligera), 1,78 y 2,09 (actividad moderada) y 2,09-1,81 (actividad pesada)²⁸. Suponiendo una PAL de 1,71, y que M depende de la influencia ambiental de los 13 años anteriores (TEMP)²⁹, obtenemos una estimación de la oferta diaria individual masculina en Kcal (*gráfico 11*), que en 1700 fue de 2.569 Kcal. Los cálculos de Broadberry arrojaron en 1705 unas 2.162 Kcal, en Allen 3.255 Kcal en 1700, y 3.579 Kcal en Muldrew (citados en Kelly, M. y Ó Gráda, 2012).

Gráfico 11. Impacto climático sobre el trabajo diario masculino individual en el largo plazo, Inglaterra.



Fuente: Elaboración propia con datos de Froehle (2009), Fogel (2006) y TEMP.

Con todo lo anterior podemos establecer ya una primera valoración del impacto climático en la oferta de Kcal diarias, que desciende hasta 1699-1701 para recuperarse

²⁸ Para más detalles véase Froehle, 2009, pp. 96-99. He tomado además como punto de referencia para el peso, una relación de 61 kgs. con 2.700 Kcal, un dato obtenido de Fogel (2006, pp. 4-5).

²⁹ Sabemos que la BMR depende de la masa corporal y de las condiciones climáticas (temperatura), pero además la masa corporal y la altura dependen a su vez de las condiciones ambientales, nutricionales e institucionales en la fase de crecimiento del individuo, por lo que la oferta de energía de trabajo también dependía de los años anteriores. Así pues he incluido el factor ambiental en la estimación de M , aunque apunto para futuros trabajos la inclusión del factor nutricional, por ejemplo a través de los precios promedio en los años en crecimiento. No lo haré ahora para no extenderme, pero es un campo interesante de estudio.

después. Este promedio debería aplicarse sobre la población activa. Así y en primer lugar, tomando los datos de fuerza de trabajo agrícola de Clark (2001; p. 40) y aplicando sus porcentajes en la población obtenida por Wrigley *et al* (1983) obtenemos la oferta de trabajo agraria masculina en unidades (L), en el *gráfico 12*, donde vemos como ésta sufrió una larga depresión hasta finales del siglo XVII.

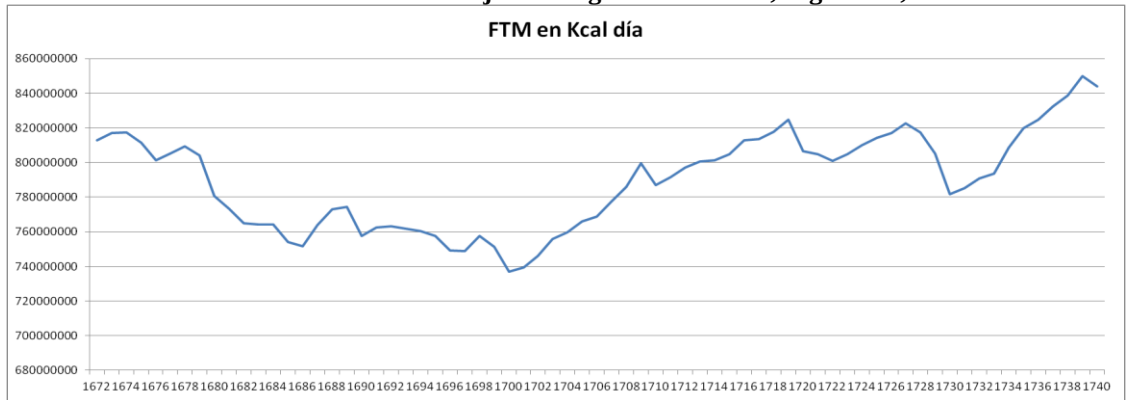
Gráfico 12. Oferta bruta de trabajadores agrícolas, Inglaterra, 1613-1740.



Fuente: Elaboración propia con datos de Clark (2001) y Wrigley *et al* (1983).

En segundo lugar, la recesión climática no solo generó un descenso del número de unidades de trabajo o Kcal, sino también en la calidad e intensidad del mismo (menos Kcal por menor excedente metabólico), tal y como se explica en el desplazamiento hacia abajo de la productividad marginal del trabajo (pp. 25-26), y en el *gráfico 13*, relativo a la oferta de trabajo masculina diaria transformada en Kcal, en la que se observa como en el tiempo aumenta la intensificación: si la oferta de L no vuelve a alcanzar la punta de 1678, la energía total dedicada al trabajo sí que la superará, y

Gráfico 13. Oferta bruta de trabajadores agrícolas en Kcal, Inglaterra, 1672-1740.

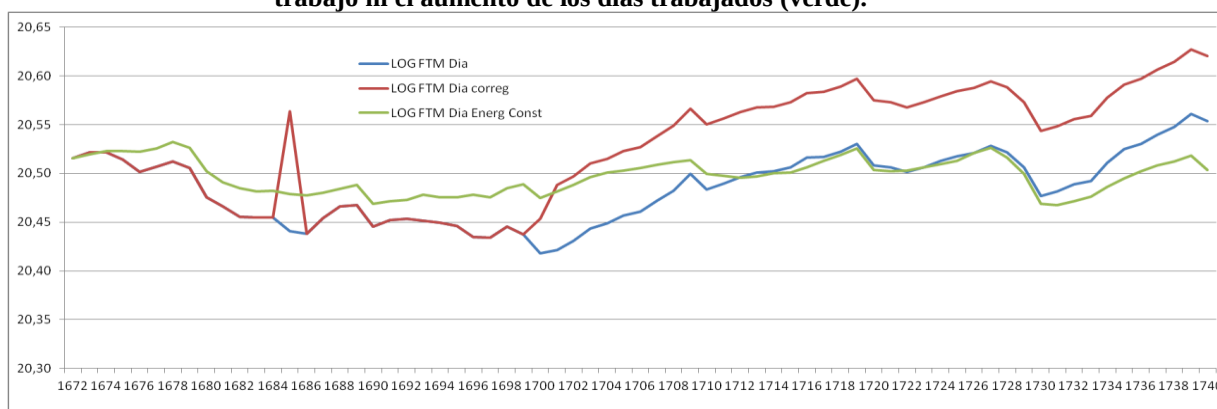


Fuente: Elaboración propia con datos de Clark (2001), Wrigley *et al* (1983), Froehle (2009), Fogel (2006) y TEMP.

aún más con el aumento de los días trabajados. Es decir, la crisis del mercado de trabajo de la segunda mitad del siglo XVII se manifiesta en dos fenómenos: primero,

una reducción o freno de la población activa agrícola (en personas o Kcal), y segundo, en una caída del trabajo-energía (excedente metabólico para trabajar por persona). Después ambas variables sufrirán una recuperación, mayor a nivel energético (intensificación) que en unidades de trabajo, algo que queda aún más patente con el aumento de los días trabajados (*gráfico 14*): a partir de 1699-1700, ante las dificultades climatológicas ambientales, sociales y los cambios institucionales, las jornadas de trabajo aumentan³⁰ (línea roja, oferta de trabajo-energía corregida con el aumento de los días trabajados), mostrando de forma mucho más clara como la recuperación del trabajo entre 1700-1740 fue marcadamente energética y no tanto en unidades de fuerza de trabajo. No fue en esta fase el incentivo del consumo el motor de la intensificación de la energía dedicada al trabajo (en un entorno deprimido), sino la mayor necesidad

Gráfico 14. Oferta bruta de trabajadores agrícolas en Kcal, Inglaterra, 1672-1740 (azul). Oferta bruta de trabajadores agrícolas en Kcal corregida con el incremento de los días trabajados (rojo). Oferta bruta de trabajadores agrícolas sin tener en cuenta la intensificación de la energía de trabajo ni el aumento de los días trabajados (verde).



Fuente: Elaboración propia con datos de Clark (2001), Wrigley *et al* (1983), Froehle (2009), Fogel (2006), *TEMP* y los citados por Broadberry (2011) de Clark y Van der Werf (1998).

derivada de la crisis climática.

¿Podemos aislar el efecto del impacto climático sobre L (reduciendo Q de Q'' a Q' , y de L'' a L') del efecto derivado por la reducción de la productividad marginal del trabajo (reduciendo Q de Q' a Z , y el output marginal de P_{mg} a P_{mg}')? Esto es, ¿podemos diferenciar el efecto demográfico de la crisis climática (medido en el número de la fuerza de trabajo agrícola) del puramente energético (energía-trabajo disponible por unidad de fuerza de trabajo)? Para poder hacerlo, he calculado la oferta de trabajo en

³⁰ Datos obtenidos de la tabla 12, de Broadberry (2011, p. 40), donde se recogen las estimaciones de los días trabajados por persona de Clark y Van der Werf: 266 días entre 1600 y 1649, 276 días entre 1650-1699, 312 días en 1685, 286 días entre 1700 y 1732, y 295 días entre 1733 y 1736, o los 258 días en 1760 de Voth.

Kcal manteniendo constante la oferta individual energética (línea verde del *gráfico 14*) de manera que vemos claramente como recoge con menos sensibilidad la realidad del mercado laboral (línea roja), tal y como finalmente se confirma con un análisis de los coeficientes de correlación (tabla 3) entre las temperaturas anuales medias *TEMP* y las variables laborales presentadas.

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre temperaturas anuales medias, fuerza de trabajo agrícola masculina (FTM), oferta de trabajo-energía y oferta de trabajo-energía incluyendo el incremento de los días trabajados.

Variable	1659-1740	1672-1740	1690-1740
FTM	0,13		0,29
FTM KCAL TOT diario		0,25	0,37
FTM KCAL TOT diario correg		0,49	0,53

Fuente: Elaboración propia

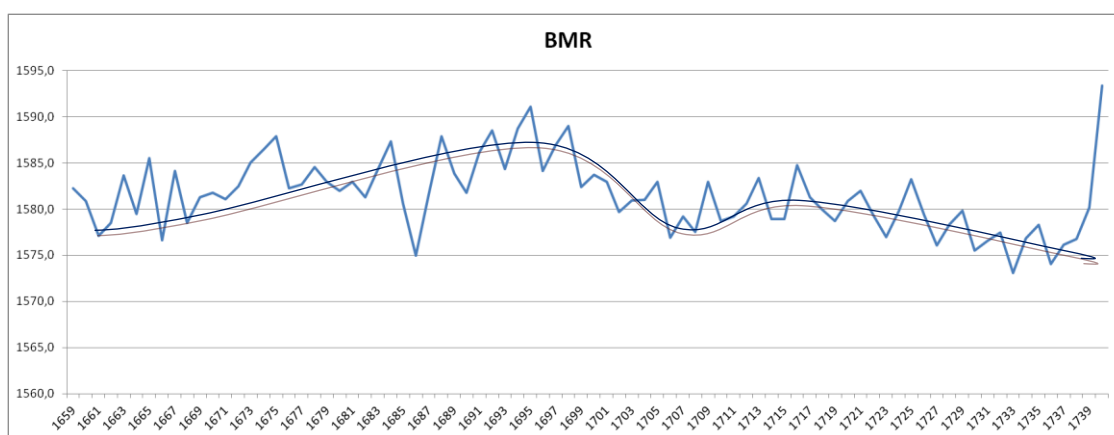
Resumiendo, durante la segunda mitad del siglo XVII el crecimiento de la población se estancó debido a un impacto climático que afectó a la mortalidad y el resto de las variables demográficas. La oferta de trabajo agrícola se debilitó, a través del efecto demográfico directo sobre la fuerza laboral (en número) pero también reduciendo la oferta de trabajo-energía (Kcal), donde el impacto fue aún mayor. Esto, junto a las malas cosechas ocasionadas por el clima (un menor INPT impulsaría también un incremento de la oferta de trabajo no atendida) y la creciente demanda urbana y comercial de productos agrícolas y ganaderos, acabó obligando tanto a campesinos como terratenientes a reinventarse lenta y gradualmente. La necesidad (y no los estímulos del consumo) instó a agricultores y jornaleros a trabajar más horas y más duro, para mantener la producción, pero también a redistribuir el trabajo en los componentes de las unidades familiares más resistentes, dada la menor disponibilidad energética per cápita (en el sector más pobre, por el contrario, creció la pauperización y la emigración). Los propietarios y terratenientes innovaron más, mediante la introducción de nuevos cultivos, cercando los campos abiertos, buscando métodos ahorradores de trabajo, persiguiendo el aumento de rentas y beneficios y reduciendo su dependencia de los administradores y de los contratos perpetuos. Los *Yeoman* compartieron el drenaje, intensificaron el trabajo comunitario cuando pudieron, lucharon por mantener los *open fields* y los territorios comunales, innovaron en técnicas generadoras de rendimientos pero también protegieron su trabajo. Aunque es difícil de probar, el estrechamiento de las calorías disponibles redujo el trabajo mental y lo

concentró en los sectores pudientes, lo que pudo haber contribuido a una desigualdad en las posibilidades de innovar (véase en el Apéndice el desarrollo teórico de esta cuestión).

Hipótesis tercera: impacto energético

La coyuntura climático-solar reforzó el cambio estructural del mercado de la energía³¹ mediante, a) un aumento de la demanda de energía *per cápita* necesaria para poder mantener la temperatura basal BMR (*gráfico 15*), a través de los requerimientos de comida, ropa o calefacción (Fouquet, 2008; pp. 12-14), y b) un estancamiento relativo aún mayor de la oferta de madera-energía, que desviaría el mercado hacia el carbón.

Gráfico 15. Evolución de la tasa metabólica basal en función de la temperatura, Inglaterra, 1659-1740.



Fuente: Elaboración propia con datos de Froehle (2009), Fogel (2006) y *TEMP*. Con unas condiciones climáticas adversas, los requerimientos basales aumentan, y viceversa. En el primer caso desciende el excedente energético para trabajar.

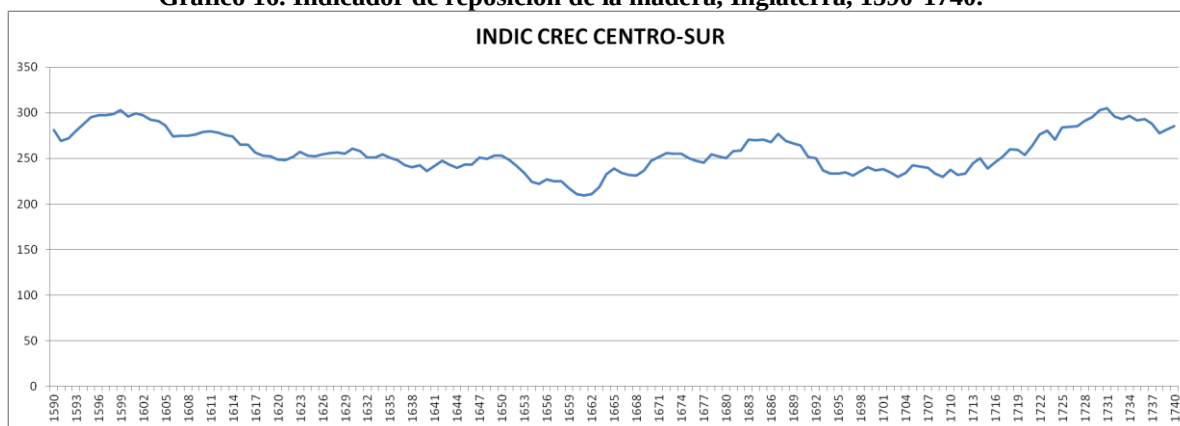
El menor ritmo de crecimiento de los árboles sugiere que la tasa de reposición de la madera debió descender (*gráfico 16*): hasta los años veinte del siglo XVIII no se recuperaría el nivel del año 1600. Aunque la cuestión de la madera sea muy compleja, la nueva situación del mercado energético *desequilibraría aún más la tendencia de consumo* hacia el carbón, mejor suministrado a la ciudad por vía fluvial, lo que hizo aún más atractiva, de forma indirecta, la emigración del campo a Londres y otras ciudades³²,

³¹ La demanda de energía estaría compuesta por la demanda doméstica de alimentos, ropa, calefacción y lugares más cálidos, además de la necesaria para producir (por ejemplo para las industrias). La oferta de energía se centraba fundamentalmente, aparte de la solar, eólica o del agua, en la oferta de madera, carbón y alimentos.

³² En Londres predominaba el carbón como fuente calórica gracias a la facilidad de acceso, no había una certeza de que la esperanza de vida fuera inferior en áreas urbanas pero sí que las oportunidades del comercio, el acceso a calefacción más barata y la menor dureza climática, los mayores salarios, la

reduciendo la fuerza de trabajo agrícola relativa disponible y preparando el terreno para un cambio institucional en el largo plazo, con un sistema comunal cada vez más debilitado (por el encarecimiento relativo de la madera, la reducción de los bosques a explotar, el aumento gradual de la superficie dedicada al cultivo o ganadería y por la menor densidad demográfica rural).

Gráfico 16. Indicador de reposición de la madera, Inglaterra, 1590-1740.



Fuente: Elaboración propia con la serie WILS.

Según E. A. Wrigley (2010, pp. 16-17), la madera era la fuente principal de la energía calórica consumida, aunque tenía un poder energético muy inferior respecto al carbón (un 50 por 100 menos) y la producción forestal estaba condicionada por la sostenibilidad de los bosques, fijada en dos toneladas anuales por acre. En este contexto, se ha argumentado que entre mediados de 1650 y 1750 hubo una crisis de la madera y que ésta fue una de las causas principales del crecimiento en el uso del carbón entre 1550 y 1680 (Nef, 1926). Thomas (1986) argumentó también que desde 1640, *la economía británica sufrió una escasez de madera tanto para construcción como para fuel*. Por el contrario, Allen (2004), Flinn (1978) o Hammersley (1973) dijeron que no fue así: no hubo tal crisis y más bien lo que ocurrió fue que el precio del carbón descendió en relación al de la madera, mostrando incluso ejemplos de grandes áreas boscosas como prueba de su abundancia. Los datos no parecen probar una crisis de la madera como fuente de energía, pero Hatcher³³ ha puntualizado (1993, p.33), que entre los siglos XVI y XVII, con el aumento de la demanda agrícola muchos bosques fueron transformados en tierras de cultivo. No obstante, la cuestión clave era el coste del transporte y la distancia entre demanda y oferta, factores que hacían la madera

abundancia de trabajo, eran factores que empujaban a muchas personas a emigrar temporalmente o de forma definitiva (nota propia).

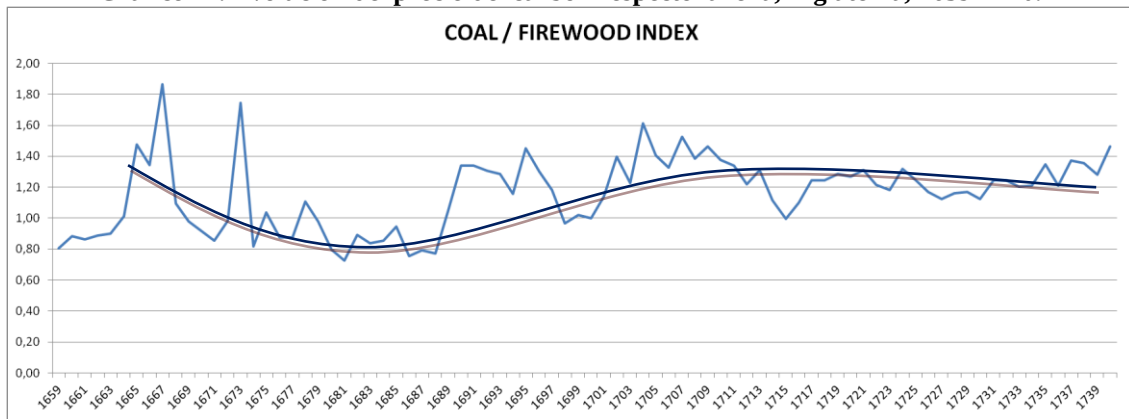
³³ Todo este apartado está basado en las explicaciones contenidas en “Heat, Power and Light, Revolutions in Energy Services”, de Roger Fouquet (2008).

abundante o escasa. La cuestión no está clara, pero parece evidente que el coste del transporte fue aumentando. Por tanto, Fouquet concluyó que hubo un claro fenómeno de escasez relativa hacia el decenio de 1650, confirmado por la fuerte subida de los precios, en un entorno donde la industria no fue el motor principal del fenómeno: en la industria no ferrosa el proceso de sustitución madera-carbón ya se estaba dando antes (“la avanzadilla” de la Revolución Industrial), mientras que los sectores todavía mayoritarios continuaban tirando de la madera al igual que la creciente demanda de calefacción doméstica (Fouquet, 2009; pp.52-55).

Analizando los *gráficos 17, 18, 19 y 20* todo apunta a que fue una etapa difícil: en los años noventa los precios del carbón, la madera y los tejidos subieron, esto es, la suma de la oferta de carbón y madera no pudo compensar el ascenso de la demanda de energía. El precio medio de la leña para combustible pasó de 10,87 chelines/Ton en el período 1580-1644 a 15,18 chelines entre 1645-1689, y a 15,42 chelines entre 1690 y 1740, mostrando también el estancamiento o desplazamiento de este recurso hacia el carbón. Por otra parte, el precio del carbón pasó de los 7,49 chelines/Ton entre 1580-1644, a los 10,23 chelines entre 1645 y 1689, y a los 11,81 chelines desde 1690 hasta 1740. Así pues, el coste de la madera fue creciendo de forma imparable desde el siglo XVI, alcanzando su techo máximo durante del *Mínimo de Maunder*. Respecto los precios del carbón, si bien en la primera fase del gran mínimo la oferta pudo satisfacer la creciente demanda (excepto en 1645-46, 1667 y 1673), estos acabaron saltando hacia arriba desde 1690. Todo esto parece indicar *una causa común exógena* (un impacto climático) porque el carbón y la madera se encarecieron a la vez, en un período demográfico de estancamiento³⁴, una idea avanzada por Fouquet (2009; p. 69), afirmando que la bajada de temperaturas, evidentes en las series del Met Office (2006) impulsaron al alza las necesidades de abrigo y de carbón, y desde la segunda mitad del siglo XVII, la gente tuvo que enfrentarse a la peor fase de la “*Little Ice Age*”: la tendencia declinante de las temperaturas provocó indudablemente un fuerte aumento de la demanda de calor.

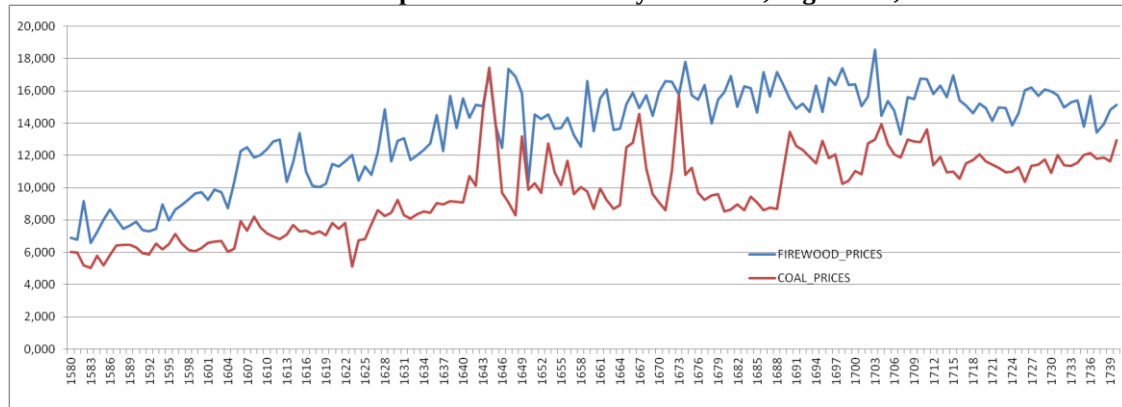
³⁴ Fouquet menciona también como factores causales el incremento de la demanda de madera para productos, la expansión de la Royal Navy, la construcción y el comercio internacional. Sin duda, los cambios en la política exterior y de defensa originados desde la Revolución de Cromwell promocionaron una actividad naval más agresiva, incrementándose la producción de barcos entre 1640 y 1680, incluida la madera necesaria para fundir el hierro; en segundo lugar por el aumento del comercio de bienes de lujo importados de la colonias y reexportados a Europa, comercio promovido por la ideología mercantilista del gobierno británico; y tercero, con la demanda generada por la reconstrucción de Londres después del gran incendio de 1666.

Gráfico 17. Evolución del precio del carbón respecto la leña, Inglaterra, 1659-1740.



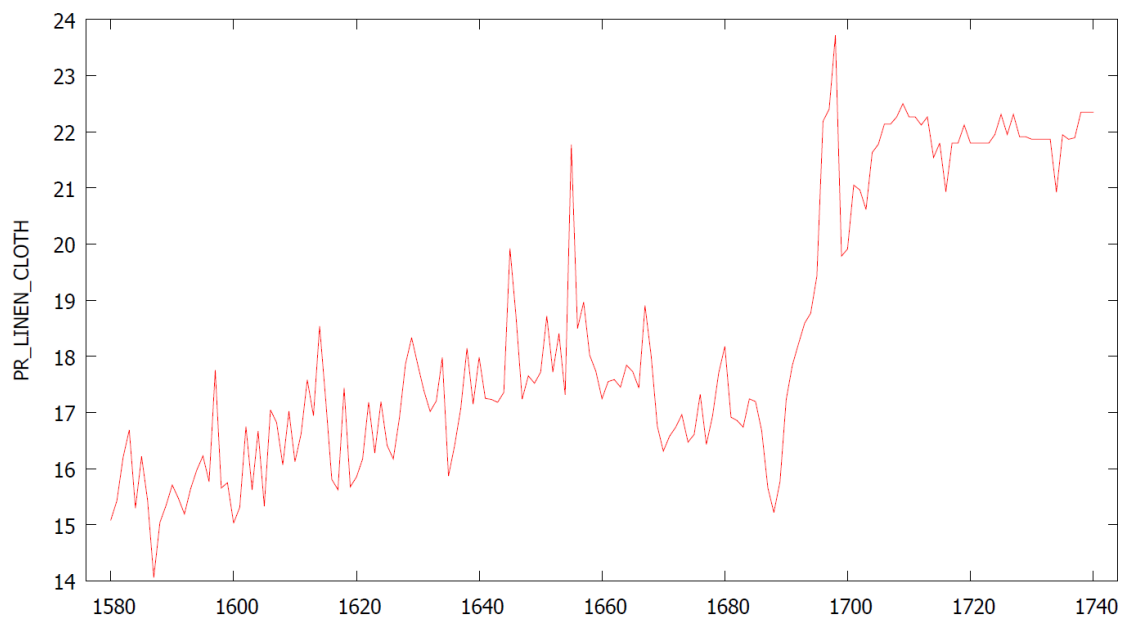
Fuente: Elaboración propia con datos de Clark (2004, 2005, 2007).

Gráfico 18. Evolución del precio/tn del carbón y de la leña, Inglaterra, 1580-1740.



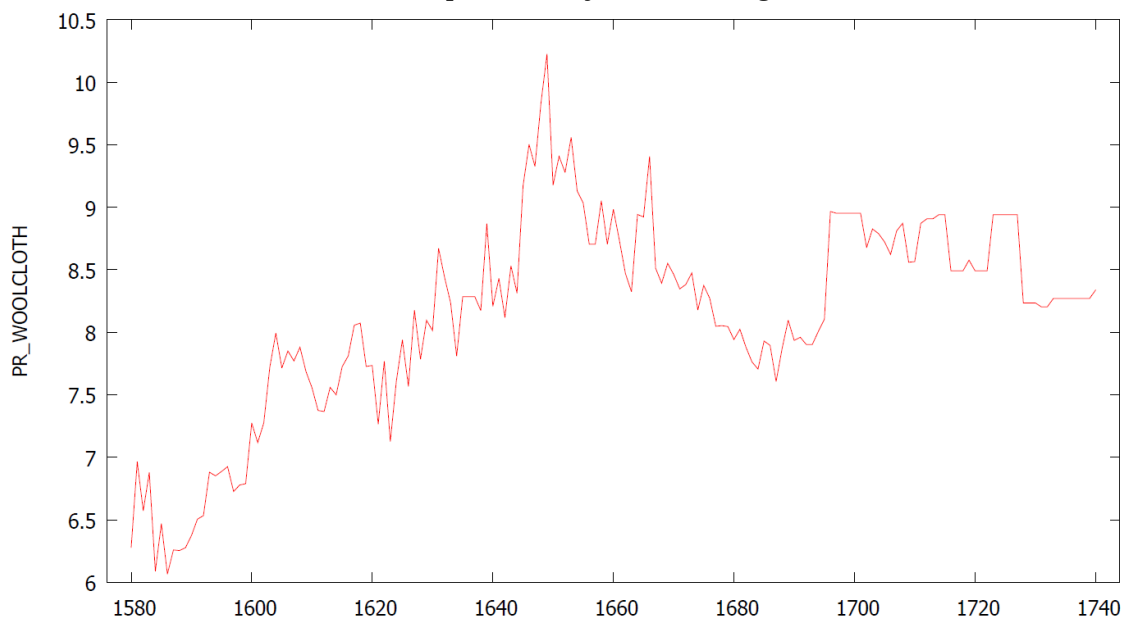
Fuente: Clark (2004, 2005, 2007).

Gráfico 19. Evolución del precio del tejido de lino, Inglaterra, 1580-1740.



Fuente: Fuente: Clark (2004, 2005, 2007).

Gráfico 20. Evolución del precio del tejido de lana, Inglaterra, 1580-1740.



Fuente: Fuente: Clark (2004, 2005, 2007).

Concluyendo, el impacto energético supuso una mayor dificultad en el acceso al calor necesario para mantener el metabolismo basal de la población rural (y la población en su conjunto). Esta situación generó un incremento de la demanda per cápita de energía y los precios de la madera y el carbón (aunque este segundo, a pesar de encarecerse, absorbiera parte del desplazamiento de la demanda). La madera, relativamente escasa, en un momento de menor tasa de reposición natural, no siempre accesible por falta de stock, junto a las crecientes limitaciones institucionales en su uso (disminución de los derechos del común sobre los bosques), los altos costes de su transporte y en definitiva por su elevado precio, no podía competir con oferta de calefacción por carbón de Londres u otros lugares de fácil acceso, que además de ser el carbón un mineral con una calidad calorífica superior. Esto vino acompañado con una crisis demográfica que mermó muchas estructuras familiares, obligándolas a la búsqueda de alternativas en el “atractivo” sector urbano y comercial, consolidando la reducción de la fuerza de trabajo rural. Finalmente, la reducción de los bosques abrió más el camino al aumento de la superficie total y media de las fincas agrícolas (fenómeno que se produce sobre todo desde el fin de la depresión climática, a principios del siglo XVIII). El *Mínimo de Maunder*, con su impacto directo (en la demografía y el suelo) e indirecto (la energía), pudo contribuir a acelerar en el largo plazo el camino hacia la Revolución Industrial gracias a un aumento de los salarios reales y el crecimiento imparable de una nueva

fuelle de energía, menos costosa de obtener. Hubo sin embargo un período intermedio, hasta mediados del siglo XVIII, en el cual el crecimiento económico se basó en la mano de obra (medida por su fuente energética, el alimento), más barata que el capital (medida por su fuente energética, el carbón). Cuando esta relación se invirtió, es cuando de verdad se inició la Revolución Industrial.

Modelo empírico

Metodología y datos

Para esta primera prospección he realizado una labor de búsqueda, selección y tratamiento de 119 series climatológicas y económicas, sin contar las transformadas en retardos, diferencias o logaritmos (ver Apéndice). La metodología econométrica aplicada se centra en contrastar la incidencia del cambio climático en la economía agraria inglesa. Dadas las restricciones de tiempo y espacio, queda pendiente un trabajo más exhaustivo, con más datos y técnicas de análisis de largo plazo, que incluya supuestos de no linealidad de los efectos climáticos.

Me he topado con diversos problemas. Primero, no disponemos de datos físicos o económicos que encajen a la perfección con una aplicación práctica de la teoría. Segundo, no todas las series temporales empiezan en los años precisados (ideal hubiera sido que se iniciaran en 1600, y eso explica porqué en algunos análisis efectuados las series comienzan más tarde). Un ejemplo es la serie de temperaturas *TEMP*, que empieza en 1659, y otras aún más tarde (como *FTM_KCAL_TOT_diario_correg*), lo que recorta el período temporal a estudiar. Tercero, hay que tomar con mucha precaución la información cuantitativa disponible, ya que muchas series no dejan de ser estimaciones que parten de supuestos simplificadores concretos, presentando cada una de ellas una problemática particular que muchas veces solo conoce a fondo su autor. Y cuarto, no se cuenta con series trimestrales o mensuales, que podrían mejorar la precisión del análisis econométrico.

Especificación, estimación y contrastes

Con el output agregado Q podemos aplicar, siempre teniendo en cuenta las restricciones comentadas sobre la metodología, dos estrategias. La *primera estrategia* (tabla 4) es

plantear un modelo con una variable dependiente representativa del output agrícola físico (por ejemplo en Kcal o toneladas) y como variables independientes las series representativas de 1) del factor exógeno climático--solar $\tilde{S}$, s_t y s_t^{35} , en este caso utilizando las series-fuente del cambio climático, la irradiación solar del año anterior, *SOLAR_IRRAD_1* y también *MM_11_RAIN_WILS*, la serie a largo plazo de lluvias de Wilson; 2) del factor tierra-materia T , que consideraremos constante durante el período, excepto el índice de productividad natural de la tierra *INPT-2 PATERSON_INDEX_1* (Índice de Paterson del año anterior), y 3) del factor L , que viene representado por *FTM_KCAL_TOT_diario_correg*, es decir, la oferta de trabajo en Kcal teniendo en cuenta el aumento de los días trabajados que se produjo entre los siglos XVII y XVIII. Aunque los resultados verifican la hipótesis de la fuerza causal del factor climático, esta primera estrategia no puede ser desarrollada plenamente por dos motivos. El primer motivo es que no podemos especificar bien el modelo al no contar con datos del ISPT, componente clave de la productividad total de los factores.

Tabla 4. Modelo de producción agrícola en Inglaterra, MCO, 1672-1740 (T = 69).
Variable dependiente: *NOM_GDP_AGR*

	<i>Coficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	-61392.2	11458.6	-5.3578	<0.00001	***
PATERSON_INDEX_1	0.0247804	0.0117536	2.1083	0.03899	**
MM_11_RAIN_WILS	-0.41724	0.139334	-2.9945	0.00392	***
SOLAR_IRRAD_1	45.2126	8.43813	5.3581	<0.00001	***
FTM_KCAL_TOT_diario_correg	-1.80136e-07	5.20982e-08	-3.4576	0.00098	***
PRIC_INDEX_AGR	0.43865	0.128891	3.4033	0.00116	***

Media de la vble. dep.	101.3102	D.T. de la vble. dep.	16.66326
Suma de cuad. residuos	9826.406	D.T. de la regresión	12.48898
R-cuadrado	0.479566	R-cuadrado corregido	0.438262
F(5, 63)	11.61056	Valor p (de F)	5.72e-08
Log-verosimilitud	-268.9827	Criterio de Akaike	549.9653
Criterio de Schwarz	563.3700	Crit. de Hannan-Quinn	555.2834
rho	-0.023455	Durbin-Watson	2.027556

Fuente: elaboración propia.

Efectivamente, con la ecuación neoclásica del crecimiento agrícola Cobb-Douglas o en incrementos, el componente PFT está compuesto por el INPT (clima) y el ISPT, la aportación humana a la productividad (innovación, tecnología, instituciones), pero desconocemos tanto ISPT como los factores de ponderación a y b . Formalmente:

$$Q = PTF \cdot L^{\alpha} \cdot T^{\beta}$$

³⁵ Para los detalles teóricos, véase el Apéndice.

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \alpha \frac{\Delta L}{L} + \beta \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta PTF}{PTF}$$

donde $PTF = a INPT + b ISPT$, siendo a , b y $ISPT$ desconocidos.

No obstante, el segundo motivo (y no menos importante) radica en el output agregado Q : todas las unidades de medida deberían estar expresadas en unidades físicas o en cálculos obtenidos desde éstas. La mejor forma de medir los efectos del cambio climático es con valores no económicos: factores físicos dan lugar en primera instancia a efectos físicos, y solo después a efectos económicos, cuando las consecuencias físicas originales inundan el sistema humano-social. En este sentido, desgraciadamente, no disponemos de una medida física del output sino únicamente una medida-índice del PIB agrario real monetario, desarrollada por Broadberry, Campbell y Van Leeuwen (2012) y discutida ya en la página 15, lo que con toda seguridad también mermará los resultados. Para entender esto bien, aún a precios constantes, el PIB agrario en unidades monetarias no refleja bien los impactos físicos climáticos. Si una meteorología adversa reduce la cosecha al 50 por 100, pero los precios aumentan, pongamos, en el orden de un 100 por 100, la caída de la producción física no es visible en valores monetarios. Esto hace que una serie del PIB agrario en índice base 100=1700 y unidades monetarias como la de Broadberry *et al* no sea probablemente la más adecuada para mis propósitos (independientemente de su gran valor) y los resultados de la especificación queden amortiguados. No obstante, utilizando la serie del PIB nominal (estimación propia) e incluyendo el índice de precios agrícolas como variable explicativa, los resultados validan los objetivos marcados (*tabla 4*): *el cambio climático afectó el output* (a través de las lluvias y la irradiancia solar), mostrando sus coeficientes los signos correctos: a mayor INPT del año anterior (*PATERSON_INDEX_1*) y mayor radiación solar del año anterior (*SOLAR_IRRAD_1*), más producción. Sin embargo, a pesar de su validez, sorprende el impacto negativo de las lluvias a largo plazo (*MM_11_RAIN_WIL*) sobre el output, algo que merece mayor investigación: probablemente las causas estén en que la variable endógena, como ya he comentado, no sea la ideal porque no refleja la producción física, o bien porque faltan variables explicativas relevantes que incrementen la potencia del test como el ISPT, elemento principal de la PTF.

La *segunda estrategia* consiste en la inclusión del impacto físico en el sistema económico a través de los precios, producto a producto. De esta forma logramos evitar la falta de idoneidad del PIB agrario disponible. En el caso del trigo, los factores

climáticos afectan directamente su producción (*RAIN_RINN_1*, *GRAD_LONG* y *SUM_WILS_RINN_STAND_TEMP_STAND*), además de otros factores como los costes agrícolas (*PR_WAGE_FARM_1*), las expectativas de los productores (*PR_WHEAT_1* y *PR_WHEAT_2*) y el ISPT. Después, cuando se obtiene la cosecha, ésta se confronta a la demanda de trigo, determinando el precio de equilibrio. Por tanto, el precio del trigo P dependerá de la oferta de trigo física obtenida Q , compuesta por las variables expresadas en la primera especificación junto a los costes agrícolas w (la medida de coste más disponible) y las expectativas P_{-1} (los precios de la cosecha anterior), más los factores que conforman la demanda de trigo: un índice de población o demográfico aN (en este caso *BIRTH_RATE*), el precio de productos sustitutivos o alternativos del trigo P_{rest} (partiremos del supuesto que son el centeno, la cebada y la carne, es decir *PR_RYE*, *PR_BARLEY* y *PR_PORK*), las importaciones de trigo $Import$ (cuya información no disponemos), la tasa de inflación monetaria π (como posible factor de influencia sobre el precio) y los salarios w (que surgen de nuevo como vector de la demanda, aunque haya que plantearse en qué grado los pagos en especie pueden atenuar su valor explicativo), así como el ISPT (del que tampoco dispongo de una medida). Dicho mediante expresión formal³⁶:

$$Q = f [\tilde{S}, (1 + s_t) (T_m + T_e), (1 + s_l) (L_f + L_m), \varphi ((1 + s_l) L_m^n)] \quad (1)$$

y

$$P = F (aN, Prest, Import, \pi, w, Q) \quad (2)$$

y sustituyendo (1) en (2),

$$P = F (aN, Prest, Import, \pi, w, P_{-1}, f [\tilde{S}, (1 + s_t) (T_m + T_e), (1 + s_l) (L_f + L_m, \varphi ((1+s_l) L_m^n))]) \quad (3)$$

Los resultados de esta segunda estrategia se reflejan en la *tabla 5*, que presenta unos estadísticos de contraste aceptables (fuerza explicativa conjunta del modelo correcta según la F de Snedecor, un R^2 de 0.86 y no auto correlación). En esta podemos ver como los precios de trigo están influenciados por las variables climáticas en sus signos esperados: unas lluvias de verano elevadas (*RAIN_RINN_1*) afectaban de forma negativa la producción, elevando los precios; si la combinación de lluvias de primavera y temperaturas anuales (*SUM_WILS_RINN_STAND_TEMP_STAND*) presentaba

³⁶ Para ver los detalles teóricos, que he desarrollado de forma original, y para entender la base de todo lo que desarrollo en este trabajo, véase el Apéndice.

valores altos (más lluvias de primavera y mejores temperaturas), los precios del trigo descendían por la mejora de las cosechas. Además de los resultados anteriores, es interesante resaltar como, 1) la mayor tasa nacimientos empujaba al alza la demanda del cereal (*BIRTH_RATE*), 2) el signo de los precios de productos alternativos (centeno, cebada, carne) es correcto y además son variables significativas, sobre todo el centeno: cuando subían los precios del trigo, se desplazaba la demanda a productos sustitutivos y viceversa; 3) las expectativas de los agricultores cumplían también un papel importante, sobre todo en cuanto a los precios del trigo del año anterior: si éstos aumentaban, se esperaba un precio también alto para la siguiente cosecha.

**Tabla 5. Modelo de producción y precios del trigo en Inglaterra, MCO, 1662-1740 (T = 81).
Variable dependiente: *PR_WHEAT***

	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	1.97412	1.16076	1.7007	0.09350	*
RAIN_RINN_1	0.0032526	0.000628069	5.1787	<0.00001	***
GRAD_LONG	-0.000288808	0.000259128	-1.1145	0.26891	
PR_WAGE_FARM_1	-0.119422	0.066706	-1.7903	0.07780	*
BIRTH_RATE	-0.0797238	0.0313687	-2.5415	0.01329	**
BIRTH_RATE_1	0.0505014	0.0316031	1.5980	0.11462	
PR_RYE	0.4556	0.076114	5.9858	<0.00001	***
PR_BARLEY	0.641197	0.207617	3.0884	0.00290	***
PR_PORK	0.294062	0.157344	1.8689	0.06588	*
SUM_WILS_RIN_STAN D__TEMP_STAND	-0.0749945	0.040766	-1.8396	0.07012	*
PR_WHEAT_1	0.205725	0.0758643	2.7117	0.00844	***
PR_WHEAT_2	-0.105806	0.0604778	-1.7495	0.08465	*

Media de la vble. dep.	4.210762	D.T. de la vble. dep.	1.012860
Suma de cuad. residuos	9.287932	D.T. de la regresión	0.366889
R-cuadrado	0.886830	R-cuadrado corregido	0.868789
F(11, 69)	49.15491	Valor p (de F)	2.99e-28
Log-verosimilitud	-27.22182	Criterio de Akaike	78.44365
Criterio de Schwarz	107.1770	Crit. de Hannan-Quinn	89.97186
rho	-0.082729	h de Durbin	-1.007344

Fuente: elaboración propia.

La relación entre oferta de trabajo-energía e impacto climático (a través de su efecto demográfico y energético) *queda también verificada* (hipótesis segunda). Ya en el primer modelo de producción se ha comprobado que la oferta de trabajo-energía masculina corregida con aumento de las horas anuales trabajadas (*FTM_KCAL_TOT_diario_correg*), es un factor significativo en la determinación del output agrícola (tabla 4). Como comenté en la p. 21, las variables que afectaban la fuerza de trabajo masculina FTM (Inglaterra, siglo XVII) eran la evolución de la población (*POPULATION*), los niveles salariales y no salariales (*PR_WAGE_FARM_1*,

también una medida de la “desutilidad” del trabajo), las características del mercado de trabajo tales como la estacionalidad o capacidad productiva del sector agrario (que medimos con *PETERSON_INDEX* y *REAL_GDP_AGR_1*). Además he incluido una variable relacionada con el mantenimiento basal indicativo de la demanda de calor (confección de lino, *PR_LINEN_CLOTH_1*) y otra con el estímulo de la FTM hacia una mayor diversificación del consumo (leche, *PR_MILK_1*) y finalmente, varios indicadores climáticos: temperatura (*TEMP_2*) y *SOLAR_IRRAD*. Los resultados se pueden visualizar en la *tabla 6*, mostrando una especificación y contraste aceptables (ausencia de auto correlación, valor explicativo global del modelo correcto y un coeficiente de determinación corregido de 0.924), y lo que es más importante, *las variables climáticas son significativas de forma directa* (a través de la temperatura y la radiación solar). Además se constata la capacidad explicativa de, primero, la población (signo positivo correcto, a mayor población mayor oferta de trabajo-energía); segundo, de los salarios agrícolas del año anterior (signo positivo correcto, a mayor salario, más incentivo a trabajar, dados los bajos niveles salariales); tercero, de los precios del tejido de lino (signo negativo correcto, a menor precio, menor necesidad de reservar energía al BMR y más excedente energético para trabajar); cuarto, del precio de la leche (signo positivo correcto, su mayor precio estimula al trabajo al ser un alimento de valor); quinto, del Índice de Paterson (signo negativo correcto: a menor INPT-2 o menor rendimiento de la tierra por razones climáticas, mayor es la oferta de trabajo por razones de necesidad); y sexto, de la producción agrícola del año anterior (signo negativo correcto, a peor producción del año anterior, mayor es la oferta de trabajo por razones de necesidad). Los precios del trigo del año anterior resultan no significativos, lo cual encaja bastante bien con los estudios demográficos comentados en los apartados anteriores que tratan la esta cuestión.

Tabla 6. Modelo de la fuerza de trabajo masculina agrícola en unidades de energía, Inglaterra, MCO, 1672-1740 (T = 69). Variable dependiente: *FTM_KCAL_TOT_diario_correg*

	<i>Coficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	2.86733e+010	1.15448e+010	2.4836	0.01586	**
TEMP_2	1.02603e+07	3.22152e+06	3.1849	0.00231	***
POPULATION	292.433	22.8544	12.7955	<0.00001	***
PR_WAGE_FARM_1	8.8741e+06	4.05228e+06	2.1899	0.03250	**
PR_LINEN_CLOTH_1	-2.50704e+06	1.22616e+06	-2.0446	0.04536	**
PR_MILK_1	4.99114e+06	1.25966e+06	3.9623	0.00020	***
PETERSON_INDEX	-20023.6	10942.5	-1.8299	0.07232	*
REAL_GDP_AGR_1	-484667	115097	-4.2110	0.00009	***
SOLAR_IRRAD	-2.1582e+07	8.53337e+06	-2.5291	0.01413	**
PR_WHEAT_1	-1.74987e+06	2.07734e+06	-0.8424	0.40299	

Media de la vble. dep.	8.23e+08	D.T. de la vble. dep.	46788854
Suma de cuad. residuos	9.75e+15	D.T. de la regresión	12857598
R-cuadrado	0.934479	R-cuadrado corregido	0.924485
F(9, 59)	93.49778	Valor p (de F)	1.49e-31
Log-verosimilitud	-1221.997	Criterio de Akaike	2463.994
Criterio de Schwarz	2486.335	Crit. de Hannan-Quinn	2472.857
rho	-0.081712	Durbin-Watson	2.091218

Fuente: elaboración propia.

La tercera hipótesis (impacto energético), consistente en una creciente demanda per cápita de energía aceleradora del proceso de sustitución de la madera por el carbón, también presenta evidencias positivas, sobre todo a la hora de probar la capacidad de influencia del clima en los precios de los inputs energéticos. En primer lugar, cabe preguntarse si los factores ambientales afectaron a la tasa metabólica BMR, es decir, la energía mínima requerida, y la respuesta es positiva (tabla 7), aunque a mi juicio, uno, el índice BMR debe hacerse más preciso con estudios antropométricos o de campo y dos, debemos analizar más a fondo la naturaleza de las relaciones detectadas. Efectivamente, los contrastes de este primer modelo muestran una buena capacidad explicativa global, ausencia de correlación de los residuos y un R^2 elevado, aunque lo más interesante es la fuerza explicativa y cumplimiento de los signos esperados de las variables climáticas: a menor irradiancia solar (*Mínimo de Maunder*), más demanda energética metabólica; el efecto neto de un descenso de la temperatura del mismo año y el anterior genera (efecto de medio plazo) una disminución de la BMR; las lluvias del año anterior pesan más que las presentes (efecto de medio plazo). Es importante ver como otros componentes de la demanda también influyen: si sube el precio del trigo, la BMR desciende, esto es, la escasez relativa de trigo genera el problema de una BMR menor, que se compensa en parte con una mayor demanda de centeno *-PR_RYE-* y una recuperación de la BMR; si sube el precio del carbón de Londres también lo hace el

**Tabla 7. Modelo de la BMR de fuerza de trabajo masculina agrícola en unidades de energía, Inglaterra, MCO, 1673-1740 (T = 68).
Variable dependiente: BMR_SIN_PESO_FIJO**

	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	Valor p	
const	12396.8	5537.31	2.2388	0.02939	**
SOLAR_IRRAD_1	-9.1118	4.08245	-2.2319	0.02987	**
TEMP	-5.28987	0.815009	-6.4906	<0.00001	***
TEMP_1	13.0608	0.996034	13.1129	<0.00001	***
MM_11__RAIN_RICH	0.31547	0.165702	1.9038	0.06237	*
MM_11__RAIN_RICH_1	-0.433688	0.158623	-2.7341	0.00849	***
MM_11__RAIN_RINN_1	-0.0929994	0.0366371	-2.5384	0.01411	**

MM_11_RAIN_WILS	-0.198896	0.105828	-1.8794	0.06569	*
MM_11_RAIN_WILS_1	0.318755	0.102502	3.1097	0.00301	***
PR_WHEAT	-1.61171	0.875539	-1.8408	0.07125	*
PR_RYE	2.16814	1.09175	1.9859	0.05222	*
PR_COAL_LOND	0.432475	0.211631	2.0435	0.04598	**
PR_FIREWOOD	0.745424	0.49559	1.5041	0.13849	
PR_LINEN_CLOTH_1	0.817883	0.483279	1.6924	0.09645	*
BMR_SIN_PESO_FIJO_1	0.970125	0.0196409	49.3931	<0.00001	***

Media de la vble. dep.	1572.934	D.T. de la vble. dep.	40.54694
Suma de cuad. residuos	634.4552	D.T. de la regresión	3.459892
R-cuadrado	0.994240	R-cuadrado corregido	0.992719
F(14, 53)	653.4754	Valor p (de F)	4.34e-54
Log-verosimilitud	-172.4186	Criterio de Akaike	374.8373
Criterio de Schwarz	408.1299	Crit. de Hannan-Quinn	388.0288
rho	-0.088424	h de Durbin	-0.733317

Fuente: elaboración propia.

BMR, ante las mayores dificultades, y lo mismo pasa con la demanda de leña o ropa (demanda de calor); y si el año anterior la BMR aumentó, se espera lo mismo para este año (expectativas).

En segundo lugar y una vez visto como un indicador de la demanda de energía reacciona ante los impactos climáticos, debe estudiarse si también son afectados los precios relativos de la energía, es decir, del carbón y la madera (*tablas 8 y 9*). En este sentido, y lo más importante, estos efectos quedan también verificados: cuando las

Tabla 8. Modelo de precios relativos de la energía, Inglaterra, MCO, 1659-1740 (T = 82).
Variable dependiente: PR_COAL_LOND_INDEX_PR_FIREWOOD

	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	Valor p	
const	1.44618	0.310141	4.6630	0.00001	***
PR_WHEAT	-0.0679805	0.0199962	-3.3997	0.00108	***
TEMP	-0.0920499	0.0283281	-3.2494	0.00173	***
PR_LINEN_CLOTH	0.0554889	0.0100327	5.5308	<0.00001	***
PR_BEANS_1	-0.199063	0.058084	-3.4272	0.00099	***
WILS_RINN_1	-0.000622033	0.000273868	-2.2713	0.02600	**
PR_COAL_LOND_IN DEX__PR_FIR_1	0.176574	0.101491	1.7398	0.08600	*

Media de la vble. dep.	1.158701	D.T. de la vble. dep.	0.235310
Suma de cuad. residuos	1.953538	D.T. de la regresión	0.161391
R-cuadrado	0.564432	R-cuadrado corregido	0.529587
F(6, 75)	16.19816	Valor p (de F)	7.35e-12
Log-verosimilitud	36.86720	Criterio de Akaike	-59.73439
Criterio de Schwarz	-42.88736	Crit. de Hannan-Quinn	-52.97057
rho	-0.004509	h de Durbin	-0.099701

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Modelo de precios del carbón en Londres, Inglaterra, MCO, 1660-1740 (T = 81).

Variable dependiente: PR_COAL_LOND

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	-4.62816	6.5894	-0.7024	0.48478	
SUM_WILS_RIN_ST AND__TEMP_STA ND	-0.579395	0.158898	-3.6463	0.00051	***
PR_HOUSING	-0.69761	0.260188	-2.6812	0.00914	***
PR_HOUSING_1	0.661616	0.255426	2.5902	0.01166	**
PR_LINEN_CLOTH	0.759424	0.297013	2.5569	0.01273	**
PR_LINEN_CLOTH_ 1	-0.4299	0.302445	-1.4214	0.15964	
PR_WOOLCLOTH_1	2.14693	0.703418	3.0521	0.00321	***
PRIC_INDEX_AGR_ 1	-0.0528582	0.0218728	-2.4166	0.01828	**
PR_RYE	-0.783984	0.30548	-2.5664	0.01242	**
NAT_INCR_RATE	-0.0866596	0.0483832	-1.7911	0.07760	*
PR_COAL_LOND_1	0.260804	0.0958425	2.7212	0.00820	***

Media de la vble. dep.	15.51849	D.T. de la vble. dep.	2.943368
Suma de cuad. residuos	246.7557	D.T. de la regresión	1.877520
R-cuadrado	0.643969	R-cuadrado corregido	0.593107
F(10, 70)	12.66119	Valor p (de F)	3.02e-12
Log-verosimilitud	-160.0490	Criterio de Akaike	342.0980
Criterio de Schwarz	368.4369	Crit. de Hannan-Quinn	352.6655
rho	-0.024384	h de Durbin	-0.423562

Fuente: elaboración propia.

temperaturas descendieron, el precio relativo de la energía carbón-madera creció. Si las lluvias netas del año anterior eran menores, ocurría lo mismo. Ambas cosas indican que un efecto climático negativo y largo implicaba una subida permanente de los precios relativos del carbón-madera y del carbón en concreto (a través del *SUM_WILS_RIN_STAND__TEMP_STAND* del segundo modelo) y una mayor demanda de energía per cápita, como hemos podido ver antes. Las expectativas también parecieron ser importantes: ante una situación inflacionaria de la energía, se esperaba que ésta situación continuara al año siguiente.

Finalmente, también la demanda de energía-calor medida a través de los precios de la confección de lino arrojan los resultados esperados: los índices climáticos (irradiación solar o Índice de Peterson) también revelan influencia en este componente (*tabla 10*).

**Tabla 10. Modelo de precios de la tela de lino, Inglaterra, MCO, 1660-1740 (T = 81).
Variable dependiente: PR_LINEN_CLOTH**

	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	Valor p	
const	-744.66	371.1	-2.0066	0.04835	**
SOLAR_IRRAD	0.547022	0.272416	2.0080	0.04819	**
PR_COAL_LOND_IN DEX__PR_FIREWO O	1.58147	0.361046	4.3802	0.00004	***
PETERSON_INDEX_ 1	-0.00123889	0.000559711	-2.2134	0.02987	**
PR_LINEN_CLOTH_ 1	0.856765	0.0432015	19.8318	<0.00001	***

Media de la vble. dep.	19.79956	D.T. de la vble. dep.	2.420313
Suma de cuad. residuos	34.67712	D.T. de la regresión	0.675483
R-cuadrado	0.926004	R-cuadrado corregido	0.922109
F(4, 76)	237.7695	Valor p (de F)	3.88e-42
Log-verosimilitud	-80.57508	Criterio de Akaike	171.1502
Criterio de Schwarz	183.1224	Crit. de Hannan-Quinn	175.9536
rho	-0.163422	h de Durbin	-1.584779

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El *Mínimo de Maunder* pudo haber acelerado de forma decisiva la llamada Revolución Agraria inglesa. Para confirmar esta propuesta, se contrastan tres hipótesis principales.

La primera hipótesis, el aumento de los rendimientos de la tierra por *causas naturales* al finalizar la crisis climática, ayudaría a explicar, en primer lugar, por qué incluso en el trabajo de R. Allen (2004) sobre el papel del nitrógeno siguieron manteniéndose dudas sobre las razones últimas de los rendimientos de la tierra, y avanzaría en la resolución del “misterio” de los rendimientos, estos es, de que aumentaran tanto en campos cercados o abiertos, con ganado o sin él, con más innovaciones en cultivos o sin éstas. La peor combinación de temperaturas y lluvias netas, (que conforman el Índice Natural de la Producción de la Tierra INPT, componente de la productividad total de los factores) afectaron negativamente la producción y en el caso del trigo, incrementó su precio. Cuando estos valores se recuperaron a largo plazo, la producción aumentó también. Lo mismo ocurre con otra medida del INPT (INTP-2 o Índice de Paterson) y con el resto de las variables ambientales contempladas (lluvias de verano o radiación solar). Todos estos factores debilitaron la aportación media de nitrógeno lo suficiente como para frenar la mejora de los rendimientos y hacer “invisibles” los resultados de las mejoras introducidas por los agricultores, de forma que cuando el *Mínimo de Maunder*

finalizó (1705-1715) hubo una recuperación sustancial en el flujo de nitrógeno natural (INPT): no todo se explicaba con la rotación de cultivos, los abonos o los sistemas de propiedad (cercamientos, campos abiertos). Las causas del aumento de los rendimientos derivados de las rotaciones o los abonos desde principios del siglo XVIII se sobrevaloraron, al no tenerse en cuenta la mayor aportación “natural” (del nitrógeno aportado por las deposiciones atmosféricas, y por las mejores condiciones de mineralización de éste en el suelo o bien por la acumulación), y de hecho, el incremento de la fijación “social” del nitrógeno (ISPT, componente central de la productividad total de factores) habría sido *en parte* causado por la reacción de las fuerzas motoras rurales ante las dificultades previas del XVII, es decir, que en el fondo en las innovaciones también tuvieron algo que ver los factores ambientales.

La segunda hipótesis matiza la idea de que el aumento de la productividad del trabajo por acre fuera ocasionado por un incremento del tamaño de las fincas: el mayor output por unidad de trabajo fue también debido al estancamiento demográfico *causado en parte* por el empeoramiento climático, durante la segunda mitad del siglo XVII. La oferta de trabajo agrícola se debilitó, a través del efecto demográfico directo sobre la fuerza laboral (en número) pero también *reduciendo la oferta unitaria de trabajo-energía (intensidad)*, donde el impacto fue aún mayor y donde las diferencias se hicieron más evidentes. Esto parece probarse con los contrastes econométricos aplicados sobre los posibles factores explicativos de la oferta de trabajo-energía masculina: las temperaturas, la irradiación solar o el INTP-2 vuelven ser variables influyentes. Esto, junto a las malas cosechas ocasionadas por el clima (un menor INPT impulsaría también un incremento de la oferta de trabajo no atendida) y la creciente demanda urbana y comercial de productos agrícolas y ganaderos, acabó obligando tanto a campesinos libres como terratenientes a reinventarse lenta y gradualmente. La necesidad instó a agricultores y jornaleros a trabajar más para mantener la producción, pero también a redistribuir el trabajo en los componentes de las unidades familiares más resistentes, dada la menor disponibilidad energética per cápita a la vez que creció la pauperización y la emigración. Los propietarios y terratenientes innovaron más, mediante la introducción de nuevos cultivos, cercando los campos abiertos, buscando métodos ahorradores de trabajo, persiguiendo el aumento de rentas y beneficios y reduciendo su dependencia de los administradores y de los contratos perpetuos. Los *Yeoman* compartieron el drenaje, intensificaron el trabajo comunitario cuando pudieron,

lucharon por mantener los *open fields* y los territorios comunales, innovaron en técnicas generadoras de rendimientos pero protegiendo su trabajo. La presión política se acentuó (tanto a nivel del pensamiento puritano y mercantilista como en la práctica de los jueces de paz) en aras de fijar la población en las parroquias, marcar techos salariales o crear un ejército de reserva.

Finalmente, se confirma un impacto climático significativo en el mercado de la energía (*hipótesis tercera*), a través de un descenso de la irradiancia solar, las temperaturas y las precipitaciones, empujando al alza las necesidades humanas de energía así como los precios relativos del carbón-madera, el carbón llegado a Londres o los tejidos de lino y lana. Dicho de otra forma, hubo un aumento sustancial de la demanda de energía para poder mantener la temperatura basal, desequilibrando todavía más la tendencia secular del consumo hacia el carbón (el recurso más abundante aunque de peor calidad), lo que contribuyó a incrementar la emigración del campo a la ciudad, reduciendo más la fuerza de trabajo disponible (y la calidad del mismo dado que la oferta de trabajo medida en Kcal pudo haber descendido, aunque esto deberá estudiarse bien) y preparando el terreno para un cambio institucional en el largo plazo, al perder importancia de forma progresiva un sistema comunal cada vez más debilitado. La escasez de madera, no siempre accesible por no disponer de suficiente stock o por los costes de su transporte, no podía competir a largo plazo con la oferta de calefacción del carbón londinense (centro de destino), aunque favoreció una reducción de los bosques y un ascenso de la superficie agraria y ganadera. Todo esto, junto a una crisis demográfica y política que destruyó familias enteras obligándolas a la búsqueda de alternativas en el mundo urbano, a pesar de las restricciones a los movimientos migratorios, consolidó la reducción de la fuerza de trabajo rural.

Queda sin embargo, mucho trabajo por hacer: primero, hay que extender el período temporal estudiado, es necesario estudiar mejor las series, combinar los datos más a fondo, trabajar con nuevos indicadores y mejores datos (climáticos y económicos) y tener en cuenta que las causas y los efectos no eran lineales ni continuos; segundo, se deben investigar más profundamente las implicaciones a largo plazo del cambio climático natural: un primer método sería comparar el output a partir de los modelos presentados, bajo el supuesto de la ausencia de impacto climático, y comparar los resultados, pero también sería necesaria la aplicación de otras técnicas econométricas

alternativas sobre la productividad total de los factores, conectando ésta con el output y a su vez con el factor climático; tercero, queda por probar como este cambio climático reversible afectó al ISPT (las innovaciones y las instituciones, lo que he llamado “fijación social del nitrógeno”); cuarto, hay que obtener información de producción física (en Kg o medidas similares), de los productos más importantes, para así evitar el problema del output medido en unidades monetarias; quinto, debe extenderse el análisis a todos los productos, o al menos, los más relevantes; sexto, hay que intentar procurar que los datos comparados pertenezcan a la misma región, en la medida de lo posible, de lo contrario la potencia de los contrastes son inferiores; séptimo, es preciso completar la investigación con fuentes primarias de la época o referencias escritas; octavo, hay que seguir avanzando con la metodología cuantitativo- energética de la oferta y demanda de trabajo; noveno, debe ampliarse el análisis del impacto climático a sus posibles efectos en las rentas y beneficios, la distribución de la renta y la desigualdad, así como el resto de los sectores como la industria, servicios y negocios marítimos.

Bibliografía

ABELED, M. (1998): Historia del sol y el cambio climático. Madrid: McGrawHill.

ACOT, P. (2005): Historia del clima. Buenos Aires: Editorial El Ateneo.

ALLEN, R.C. (1988): “El crecimiento de la productividad del trabajo en los principios de la agricultura moderna inglesa”, en *Revolución en los campos. La reinterpretación de la revolución agraria inglesa*. Zaragoza: PUZ (2004).

ALLEN, R.C. (1989): “Cercamientos, métodos agrícolas y crecimiento de la productividad en el sur de las Midlands”, en *Revolución en los campos. La reinterpretación de la revolución agraria inglesa*. Zaragoza: PUZ (2004).

ALLEN, R.C. (1991): “Las dos revoluciones agrícolas inglesas 1450-1850”, en *Revolución en los campos. La reinterpretación de la revolución agraria inglesa*. Zaragoza: PUZ (2004).

ALLEN, R. C. (1999): “Tras la pista de la revolución agraria inglesa”, en *Revolución en los campos. La reinterpretación de la revolución agraria inglesa*. Zaragoza: PUZ (2004).

ALLEN, R.C. (2004):” The Nitrogen Hypothesis and the English Agricultural Revolution: A Biological Analysis”. Versión no publicada.

ALLEN, R. C. (2009): *The British Industrial Revolution in Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.

ALLEN, R.C. (2011): "Why the Industrial Revolution was British: Commerce, induced Invention, and the Scientific Revolution". *Economic History Review*, 64, 2, pp. 357–384.

ARNAB RAI CHOUDHURI and BIDYA BINAY KARAK, (2012): "The Origin of Grand Minima in the Sunspot Cycle" (Department of Physics, Indian Institute of Science, Bangalore 560012, India y National Astronomical Observatory of Japan, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan).

AURAY, S., EYQUEM, A., JOUNEAU-SION, F. (2012): "Climatic Conditions and Productivity: An Impact Evaluation in Pre-industrial England". *Série des Documents de Travail CREST*, n° 2012-31, pp.

BARDET, J.P. y J. DUPÂQUIER (2001): "Historia de las poblaciones de Europa", Vol. I, 2001.

BECKER, G. S. (1985): «Capital humano, esfuerzo y la división del trabajo por razón de sexo», en P. Schwarz y R. Febrero (Eds.), *La esencia de Becker*. Madrid: Editorial Ariel, 1997, pp. 429-452.

BLAUG, M. (1956): *Teoría económica en retrospectiva*. México: Fondo de Cultura Económica, 1985.

BOWDEN, P. (1967): "Fluctuations and Trends in the Agrarian Economy", en *The Agrarian History of England and Wales*, Vol. IV, 1560-1640, Ed. Joan Thirsk, Cambridge at the University Press.

BOHSTEDT, J. (2010): *The Politics of Provisions. Food Riots, Moral Economy and Market Transition in England, 1550-1850*.

BROADBERRY, S., CAMPBELL, B., KLEIN, A., OVERTON, M. (2011): "British Economic Growth, 1270-1870: An Output-Based Approach". <http://www.lse.ac.uk/economicHistory/whosWho/profiles/sbroadberry.aspx>

BROADBERRY, S., CAMPBELL, B., VAN LEEUWEN, B. (2012): "When did Britain industrialise? The sectoral distribution of the labour force and labour productivity in Britain, 1381–1851". *Explorations in Economic History* 50, pp. 16–27.

CAMPBELL, B. (2012): "Nature as Historical Protagonist: Environment and Society in Pre-industrial England". *Economic History Review* 63, 2, pp. 281–314.

CASS D., SHELL K. (1983) "Do Sunspots Matter?" *Journal of Political Economy*, 91, nº 2, 193-227.

CHIZHEVSKY, A (1924): *Physical Factors of the Historical Process*. Kaluga, 1924.

CHIZHEVSKY, A (1938): *The Terrestrial Echo of Solar Storms*, París, 1938.

CLARK, G. (2001): "Land Rental Values and the Agrarian Economy: England and Wales, 1500-1912". Versión contenida en su web. Artículo posteriormente publicado en *European Review of Economic History* 6, 281-308, en 2002.

CLARK, G. (2004): "The Price History of English Agriculture, 1209-1914". *Research in Economic History*, 22, pp. 41-124.

CLARK, G. (2005): "The Condition of the Working-Class in England, 1209-2004". *Journal of Political Economy* 113, 6, pp. 1307-1340.

CLARK, G. (2007): "The Long March of History: Farm Wages, Population and Economic Growth, England 1209-1869," *Economic History Review*, 60, 1, pp. 97-135.

COLEMAN, D. C. (1956): «Labour in the English Economy of the Seventeenth Century». *The Economic History Review*, New Series, Vol. 8, No. 3 (1956), pp. 280-295.

COOPER, R. J., T. M. MELVIN, I. TYERS, R. J. S. WILSON, K. R. BRIFFA (2012) "A Tree-ring Reconstruction of East Anglian (UK) Hydroclimate Variability over the Last Millennium", *Clim Dyn.*

CRAFTS, N. (2010): "Explaining the first Industrial Revolution: two views". *European Review of Economic History*, 15 (1): 153-168.

CROLEY T.J. (1996) "Remembrance of Things Past: Greenhouse Lessons from the Geologic Record".

DELL, M., JONES B. F., OLKEN, B.A. (2012): "Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century". *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4 (3), pp. 66-95.

DE VRIES (1977): "Histoire du climat et économie", *Annales, E.S.C.*, XXXII, pp. 198-226.

DE VRIES, J. (2008): *La Revolución Industrial. Consumo y economía doméstica desde 1650 hasta el presente*. Barcelona: Editorial Crítica, 2009.

DESCHÊNES, O., GREENSTONE, M. (2007): "Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century". *American Economic Review*, 97 (1), pp. 354-385.

EDDY, J. (1976): The Maunder Minimum, *Science*, Vol. 192 no. 4245 pp. 1189-1202.

ESCUADERO, A. (2002): "Volviendo a un viejo debate: el nivel de vida de la clase obrera británica durante la Revolución Industrial". *Revista de Historia Industrial*, Vol. 21, pp. 13-60.

FOGEL, R. W. (1994): "Economic Growth, Population Theory, and Physiology: the Bearing of Long-Term Processes on the Making of Economic Policy". Working Paper No. 4638, National Bureau of Economic Research.

FOUQUET, R. (2008): "Heat, Power and Light, Revolutions in Energy Services". Cheltenham, UK: Edward Elgar.

FROEHLE, A. W., CHURCHILL, S. E. (2009): "Energetic Competition Between Neandertals and Anatomically Modern Humans". *PaleoAnthropology*, pp. 96–116

GALLOWAY, P. (1985): "Annual variations in deaths by age, deaths by causes, prices and weather in London, 1670 to 1830". *Population Studies*, XXXIX, pp. 487-505.

GALLOWAY, P., (1986): "Long-Term Fluctuations in Climate and Population in the Pre-Industrial Era". *Population and Development Review* 12.1, 1-24.

GALLOWAY, P. (1994): "Secular Changes in the Short-Term Preventive, Positive and Temperature Checks to Population Growth in Europe, 1460 to 1909". *Climate Change*, 26-1, pp. 3-63.

GALLUP, J.L., MELLINGER, A., SACHS, J.D. (1999): "Geography and Economic Development". *International Regional Science Review*, Vol. 22, No. 2, pp. 179-232.

GALLUP, J.L., SACHS, J.D. (2001): "The Economic Burden of Malaria". *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 64, pp 85-96.

GARCÍA MATA, C. Y SHAFFNER F.I. (1934): "Solar and Economic Relationships: a Preliminary Report". *The Quarterly Journal of Economics*, 49 (1): 1-51.

GORBANEV, M. (2012): "Sunspots, Unemployment, and Recessions, or Can the Solar Activity Cycle Shape the Business Cycle? MPRA Paper No. 40271, Universidad de Munich.

- HANES, C., RHODE, P. W. (2013): “Harvests and Financial Crises in Gold Standard America”, *The Journal of Economic History*, Volume 73, pp 201-246.
- HILL, C. (1969): *De la Reforma a la Revolución industrial, 1530-1780*. Barcelona: Editorial Ariel, 1980.
- HILL, C. (1972): *El siglo de la Revolución, 1603-1714*. Madrid: Editorial Ayuso, 1972.
- HILL, C. (1983): *El mundo trastornado. El ideario popular extremista en la revolución inglesa del siglo XVII*. Madrid: Ediciones Siglo XXI, 1983.
- HOUSTON, R. A. (1996): «The Population History of Britain and Ireland, 1500-1750», en Michael Anderson (Ed.), *British population history: from the Black Death to the present day*, Cambridge University Press, 1996, pp. 95-191.
- HUNTINGTON, E. (1920): *Word-Power and Evolution*, New Haven.
- HUTCHISON, T. (1988): *Before Adam Smith: The Emergence of Political Economy, 1662-1776*. Oxford: Basil Black Well Ltd.
- JEVONS, W. S. (1875). “The Solar Period and the Price of Corn (1875)”, *Investigations in Currency and Finance*. London: Macmillan, pp 194-205 (1909a).
- JEVONS, W. S. (1878): “The Periodicity of Commercial Crises and Its Physical Explanation”, con “Postscript” (1882), *Investigations in Currency and Finance*. London: Macmillan, pp 206 – 220 (1909b).
- JEVONS, W. S. (1878): “Commercial Crises and Sunspots Part I”, *Investigations in Currency and Finance*. London: Macmillan, pp 221 – 234 (1909c).
- JEVONS, W. S. (1879): “Commercial Crises and Sunspots Part II”, *Investigations in Currency and Finance*. London: Macmillan, pp 235 – 243.
- JEVONS, H. S. (1910): *The Sun’s Heat and Trade Activity*. London: F. S. King and Son.
- JEVONS, H. S. (1933): “The Causes of Fluctuations of Industrial Activity and the Price- Level”, *Journal of the Royal Statistical Society*. XCVI, pp 545 – 588.
- JONES, E. L. (1964): “Seasons and Prices: the role of the Weather in English Agricultural History”. Allen & Unwin, London.

KELLY, M., Ó GRÁDA, C. (2012): “Agricultural Output, Calories and Living Standards in England before and during the Industrial Revolution”. Working Papers Series. Documento sin paginar.

KOEPKE, N y BATEN, J. (2005): “Climate and its impact on the Biological Standard of living in north-east, centre-west and south Europe during the last 2000 years” en *History of Meteorology*.

KUESTER, D., BRITTON, C.R., (2003): “A re-examination of the Sunspot Weather Theory of Business Cycles”, Forum of the Association for Arid Land Studies, International Center for Arid and Semi-arid Land Studies, Texas Tech University, Lubbock TX Vol. XIX No 1, 2003 pp. 16-23.

LAILER (1991): “The Golden Age of the Quantity Theory”, 89, 174 y 191, nº 14.

LEAN, J., BEER J., BRADLEY, R. (1995): “Reconstruction of solar irradiance since 1600: Implications for climate change”, *Geophysical Research Letters*, Vol. 22, No. 23, pp. 3195-3198.

LEE, R. (1981): “Short-Term variation: Vital Rates, Prices and Wheather”, en Wrigley y Schofield (Eds.): *The Population History of England 1541-1871*. Editorial: Edward Arnold, Bungay, Suffolk. British Library.

LE ROY LADURIE, E. (1983): *Histoire du climat depuis l’an Mil*. París: Flammarion, 2 vols.

MALANINA, P. (2009): *Pre-Modern European Economy. One Thousand Years (10th-19th Centuries)*. Leiden: Ed. Brill.

MANN, M. y P. JONES, (2004): “2,000 Year Hemispheric Multi-proxy Temperature Reconstructions”, *IGBP PAGES/World Data Center for Climatology, Data Contribution Series*, NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

MANN, M.E., E.P. GILLE, R.S. BRADLEY, M.K. HUGHES, J.T. OVERPECK, F.T. KEIMIG, AND W.S. GROSS, (2000): “Global Temperature Patterns in Past Centuries: An Interactive Presentation”, *Earth Interactions*: Vol. 4, Paper 4, November 2000. IGBP Pages/World Data Center for Paleoclimatology. Data Contribution Series #2000-075. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.

MARSH, N.D, SVENSMARK H. (2000) Low cloud properties influenced by cosmic rays. *Phys Rev Lett* 85:5004–5007.

MICHAELOWA, A. (2001). “The Impact of Short-Term Climate Change on British and French Agriculture and Population in the First Half of the 18th Century”, en P.

Jones, A. Olgivie, T. Davis (Eds.): *History and Climate. Memories of the Future*. Editorial: Kluwer, New York, 2001, pp. 201-218.

MIROWSKI, P. (1984). "Macroeconomic Instability and the "Natural" Processes in Early Neoclassical Economics", *The Journal of Economic History*, Vol. 44, n° 2, Jun 1984, pp. 345-358.

MIROWSKI, P. (1989): *More Eath than Light*. Cambridge University Press.

MOKYR, J. y O'GRADA, C. (2002): "What Do People Die of During Famines? The Great Irish Famine in comparative perspective", *European Review of Economic History* 6.3, 339-363.

MOKYR, J. (2009): *The Enlightened Economy: An Economic History of Britain 1700–1850*. New Haven: Yale University Press.

MOORE, H.L. (1914): *Economic Cycles, Their Law and Cause*. New York.

MOORE, H.L. (1923): *Generating Economic Cycles*. New York.

NORDHAUS, W. (2006): "Geography and Macroeconomics: New Data and Findings". *Proceedings of the National Academy of Science*, 103, pp. 3510-3517.

OVERTON, M. (1989a): "Weather and agricultural change in England, 1660-1739". *Agricultural History*, LXIII, pp. 77-88.

OVERTON, M. (1989b): "The Determinants of Crop Yields in Early Modern England", en Campbell y Overton (Eds.): *Land, Labour and Livestock: Historical Studies in European Agricultural Productivity*. Editorial: Manchester University Press, Manchester.

PARKER, G. (2008): "Crisis and Catastrophe: The global Crisis of the Seventeenth Century Reconsidered". *American Historial Review*, 113 (4), pp. 1053-1079.

PARKER, G. (2013): *Global Crisis. War, Climate Change and Catastrophe in the Seventeenth Century*. Yale University Press, New Haven and London.

PERDOMO, C.: "Nitrógeno", Facultad de Agronomía de la Universidad de la República.

PERSONS, W.M. (1931): *Forecasting Business Cycles*. New York.

PLOSSER, C., SCHWERT, G. (1978). „Money, Income, and Sunspots: Measuring

Economic Relationships and the Effects of Differencing”, *Journal of Monetary Economics*, 4: 637-660.

REIDEL, D. (1979). “Evidence of a 22-year Rhythm of Draught in the Western US related to the Hale Solar Cycle since the 17th Century”, en *Solar Terrestrial Influences on Weather and Climate*.

RINNE, K.T., N.J. LOADER, V.R. SWITSUR Y J.S. WATERHOUSE (2013): “400-year-August Precipitation Reconstruction for Southern England using Oxygen Isotopes in Tree Rings”, *Quaternary Science Reviews*, 60, pp. 13-25.

SACHS, D. J., WARNER, A. (1997): Sources of Slow Growth in African Economies“. *Journal of African Economies*, 6, 335-376.

SCHUMPETER, J. A. (1939): Ciclos económicos. Análisis teórico, histórico y estadístico del proceso capitalista. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza (2010).

SCHUMPETER, J. A. (1939): Business Cycles A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process. Document produit en version numérique par Didier LAGRANGE.

SIEFERLE, R.P (1990): «The energy system: A basic concept of Environmental History », en P. Brimblecombe and C. Pfister (Eds.), *In The Silent Countdown. Essays in European Environmental History*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 9-20.

SIEFERLE, R.P. (2001): The subterranean forest. Energy Systems and the Industrial Revolution. Cambridge: The White Horse Press.

SMITH, A. (1776): « De la acumulación del capital, o del trabajo productivo e improductivo», en *Una investigación de la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*. Barcelona: Librería Bosch, 1933.

SOROKIN, P. (1928): Contemporary Sociological Theories. New York.

STIGLER, G. S. (1962): “Henry L. Moore and Statistical Economics”, *Econometrica*, Vol. 30, January 1962, Number 1, pp. 1-21,

SVENSMARK H, FRIIS-CHRISTENSEN E. (1997): “Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage, a missing link in solar–climate relationships”. *J Atmos Sol-Terr Phys* 59:1225–1232.

SVENSMARK, H. (2007): “Cosmoclimatology: A new theory emerges”. *Astronomy & Geophysics*, Vol. 48, Issue 1, pages 1.18 1.24.

SVENSMARK H, BONDO T, SVENSMARK J (2009) Cosmic ray decreases affect atmospheric aerosols and clouds. *Geophys Res Lett* 36:L15101.

TELLO, E. Y GALÁN, E. (2010?) “Sistemas agrarios sustentables y transiciones en el metabolismo agrario: desigualdad social, cambios institucionales y transformaciones del paisaje en Catalunya (1850-2010)”.

TILLY, C. (1996): *Las revoluciones europeas, 1492-1992*. Barcelona: Editorial Crítica, 2000.

TOHARIA, L. (1983): “Prólogo”, en TOHARIA, L (Ed.), *El mercado de trabajo: teorías y aplicaciones*. Madrid: Alianza, pp. 9-37.

WILSON, R., D. MILES, N.J. LOADER, T. MELVIN, L. CUNNINGHAM, R. COOPER, AND K. BRIFFA (2012): “A millennial long March-July precipitation reconstruction for southern-central England”, *Climate Dynamics*, Online First, 28 March 2012.

WRIGLEY, E. A. Y SCHOFIELD, R.S. (1983): *The Population History of England, 1541-1871: a Reconstruction*. London: Revised paperback edition, 1989.

WRIGLEY, E.A. (2004): *Poverty, Progress, and Population*. Cambridge: Cambridge University Press.

WRIGLEY, E.A. (2010): *Energy and the English Industrial Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press.

YASUHIKO T. YAMAGUCHI, YUSUKE YOKOYAMA, HIROKO MIYAHARAD, KENJIRO SHOE, AND TAKESHI NAKATSUKA (2010): “Synchronized Northern Hemisphere Climate change and Solar Magnetic Cycles during the Maunder Minimum”, University of Tokyo, Institute of Biogeosciences, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Institute for Cosmic Ray Research, Department of Civil Engineering and Systems Management; Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Nagoya University. Edited by Konrad A. Hughen, Woods Hole Oceanographic Institute, Woods Hole, MA, and accepted by the Editorial Board October 8, 2010 (received for review January 6, 2010).