

La difusión de la tecnología extranjera en España durante la Revolución Industrial: El caso de la industria algodonera catalana (1784-1861)

Joan R. Rosés

Departamento de Historia Económica e Instituciones, Universidad Carlos III de Madrid
C/ Madrid 126, 28903 Getafe, Madrid; e-mail: jroses@clio.uc3m.es

1. Introducción

La (primera) Revolución Industrial marca la transición al crecimiento económico moderno y se caracteriza, según la mayoría de los historiadores económicos, por una notable aceleración del progreso tecnológico.¹ Las innovaciones arquetípicas de este primer proceso de industrialización fueron la nueva maquinaria textil, la maquina de vapor y la metalurgia basada en el carbón. Casi todas esas innovaciones eran de origen británico, o fueron adaptadas para su uso industrial por técnicos de ese país, y fueron difundándose desde Gran Bretaña al resto de los países de Europa Occidental y Norteamérica durante los dos primeros dos tercios del siglo XIX. Por consiguiente, la primera industrialización aparece como un caso típico de difusión generalizada de tecnología desde un centro innovador hacia una serie de países seguidores que adoptan las innovaciones realizadas por ese país líder.² La industria española no escapó a la influencia del modelo británico ya que sus sectores más modernos, la industria textil y la siderurgia, adoptaron las tecnologías británicas y se desarrollaron siguiendo los patrones británicos.³

¹ Los economistas definen al progreso tecnológico como la habilidad para extraer más o mejores productos dado un nivel de esfuerzo, equipo, combustible y otros insumos. El progreso tecnológico consiste principalmente es un incremento en la eficacia de los agentes económicos para controlar nuestro entorno físico. Por tanto, se puede conseguir de múltiples maneras y no, simplemente, utilizando más y mejor maquinaria aunque en este artículo nos ocuparemos principalmente de la innovación tecnológica que va asociada con la adopción por parte de la industria de sucesivas generaciones de maquinaria.

² Existen numerosos trabajos sobre la difusión de la Revolución Industrial en el continente Europeo y Norteamérica, entre otros cabría destacar los estudios clásicos de Bruland (1989), Gerschenkron (1962), Habakkuk (1962), Jeremy (1981), Landes (1969), Milward y Saul (1973), Mokyr (1990) y Pollard (1991).

³ Véase el estudio clásico de Nadal (1974).

¿Cómo se produjo la difusión de la tecnología británica de la primera revolución industrial en España y qué agentes actuaron en la misma? ¿Cuál fue su cronología? ¿Qué razones impulsaron a los industriales españoles a adoptar la tecnología británica? ¿Qué obstáculos encontraron para ello? Este artículo va a analizar todas esas cuestiones esenciales mediante un estudio detallado del proceso de innovación tecnológica y de difusión de la tecnología británica en la industria de hilados y tejidos de algodón de Cataluña. Esta industria constituye el mejor ejemplo de este proceso puesto que no sólo fue la que se desarrolló con más rapidez a lo largo del siglo XIX sino que concentró gran parte de la tecnología británica importada por los españoles. Por ejemplo, en 1861 casi la mitad de las máquinas de vapor para uso industrial instaladas en España funcionaban en fábricas algodoneras catalanas.⁴

Hay que resaltar que la transferencia de tecnología de los países más avanzados a los más atrasados no es un proceso sencillo y lineal ya que encuentra grandes dificultades y entraña la solución de notables problemas.⁵ Alexander Gerschenkron fue el primero en señalar la gran oportunidad que para los países atrasados podía representar adoptar las tecnologías de los países líderes y, sin embargo, las dificultades que esta adopción entrañaba. Así, cuanto más atrasado se encontraba un país mayores eran los requerimientos iniciales de capital para comenzar su industrialización y más necesarias eran las instituciones, como los bancos o el estado, que encauzasen los posibles esfuerzos industrializadores.⁶ A partir de esta idea seminal, Ohkawa, Rosovsky y Abramovitz⁷ han identificado el concepto de “capacidad social” (*social capability*) como aquel conjunto de habilidades que dispone un país para importar, o desarrollar, tecnología.⁸ No sólo es necesaria una cierta “capacidad social” para adoptar las innovaciones foráneas sino que estas deben de amoldarse a la dotación de recursos y a las condiciones del país que desea utilizarlas.⁹ En otras palabras, todo proceso de adopción de tecnologías foráneas tiene dos fases una primera en que las innovaciones se reciben y una segunda donde son adaptadas a las condiciones locales. Por esa razón,

⁴ Según, los datos que recoge Gimenez Guitied (1862).

⁵ Véase, por ejemplo, Fagerberg (1994), Rosenberg (1982).

⁶ Gerschenkron (1962).

⁷ Ohkawa y Rosovsky (1973) y Abramovitz (1986).

⁸ En concreto Abramovitz ha señalado como componentes esenciales de esta capacidad social la competencia técnica y las instituciones políticas, comerciales, industriales y financieras.

⁹ Habakkuk (1962), Abramovitz (1986).

normalmente se combinan la importación de tecnología junto al desarrollo de aplicaciones tecnológicas propias y originales. Finalmente, también hay que resaltar que resultan importantes los actores que participan en todo el proceso de transferencia tecnológica para que éste se produzca de manera eficiente y sin grandes dilaciones. En este sentido, Nathan Rosenberg destaca la importancia de la industria de bienes de equipo como motor de los procesos de transferencia tecnológica internacional.¹⁰ Los países que poseen esta industria son capaces de resolver con más facilidad los problemas iniciales en la aplicación de las nuevas tecnologías. Por otro lado, la participación de las empresas de bienes de equipo del país líder en la transferencia de tecnología es capaz de influir positivamente en la misma al proveer los mecanismos institucionales y organizativos para facilitar la transferencia de los conocimientos necesarios para su aplicación.¹¹ En resumen, una transferencia con éxito de tecnología desde el país líder a los países seguidores requiere que estos tengan una cierta “capacidad social” e instituciones adecuadas, que la tecnología se adapte, o pueda adaptarse, a sus condiciones y que existan agentes que actúen de intermediarios en ese proceso.

El resto del artículo se va a organizar de la siguiente manera. La siguiente sección discute brevemente la difusión de la tecnología en la industria algodonera británica y en el continente europeo. El tercer apartado realiza un somero repaso a la cronología de la llegada de la maquinaria extranjera a la industria algodonera catalana. En la cuarta sección se discuten las diversas hipótesis que diversos autores han avanzado sobre las causas del atraso tecnológico de la industria algodonera y se presenta una hipótesis alternativa. En los siguientes dos apartados se analiza la rentabilidad económica de las diferentes máquinas de hilar y tejer con el fin de contrastar la hipótesis anterior. La última sección concluye.

2. La difusión de la tecnología de la industria algodonera

Como es bien conocido, Gran Bretaña fue el país originario de la mayoría de las innovaciones de la industria algodonera y donde estas se adoptaron por primera vez para

¹⁰ Rosenberg (1982).

¹¹ Bruland (1998).

su uso industrial.¹² El progreso de la maquinaria de hilar fue muy notable en la segunda mitad del siglo XVIII e importante, pero menos intenso, a lo largo de los primeros cincuenta años del siglo XIX. A lo largo de estos cien años se sucedieron hasta cinco tipos diferentes de máquinas cada vez más eficientes y automáticas. Los dos inventos que determinaron la evolución posterior de la maquinaria de hilar, la lanzadera volante de Kay y el hilado por cilindros de Paul, son de 1738. Derivada de la primera de las innovaciones, Hargreaves desarrolló la *jenny* en 1764. A partir del segundo principio, Arkwright desarrolló la máquina de hilar *water frame* en 1769 que aplicó por primera vez en una fábrica en 1771. Una mejora de la primitiva *jenny* fue la *mule-jenny* de Crompton de 1781, que hizo posible la primera aplicación de la máquina de vapor a una factoría algodonera en 1785.¹³

La *jenny* y la *mule-jenny* fueron pensadas, en principio, para ser operadas de forma manual en la industria doméstica y se adoptaron de forma generalizada en Gran Bretaña durante la década de 1780.¹⁴ En cambio, las *jennies* mejoradas que utilizaban más husos (en Cataluña conocidas como bergadanans) que se desarrollaron en la década de 1790 no tuvieron demasiado éxito entre los británicos.¹⁵ Al mismo tiempo que se difundían estas máquinas pensadas para la industria doméstica, Arkwright instalaba las primeras fábricas que utilizaban *water-frames* impulsadas por ruedas hidráulicas. A partir de 1790 se difundieron rápidamente las nuevas *mule-jennies* hidráulicas, que ya no se adaptaban al trabajo doméstico, y a finales de esa misma década las propulsadas por la fuerza de las máquinas de vapor. Las *mule-jennies* al vapor triunfaron rápidamente y dominaron la hilatura algodonera desde principios del siglo XIX hasta la década de 1830. En esos mismos años, las *water-frames* de Arkwright se fueron mejorando aunque sólo fueron adoptadas para la producción de hilo de urdimbre grueso que requería un alto consumo de energía. Por tanto, en las primeras décadas del siglo

¹² Llegados a este punto resalto necesario distinguir entre el proceso de invención, que raramente se puede explicar por leyes económicas, de los procesos de adopción de las innovaciones, que en cambio depende de criterios de rentabilidad. Véase al respecto Metcalfe (1988), p. 561.

¹³ Todos estos datos proceden de Ellison (1968), p. 29.

¹⁴ La historia de la adopción de la tecnología de la hilatura en Gran Bretaña se basa en Von Tunzelmann (1978), pp. 176 y ss.

¹⁵ Según Von Tunzelmann (1978) porque al requerir mano de obra masculina, en vez de femenina, no eran competitivas con las *jennies* de menos husos.

XIX la hilatura doméstica fue desplazada de los mercados de hilo por las nuevas factorías mecánicas.

A principios de la década de 1830 las *mule-jennies* comenzaron a ser reemplazadas por las *mule self-actors*, conocidas en España como selfactinas. La adopción de las selfactinas por los industriales británicos no fue universal hasta la década de 1860, ya que las *mule-jennies* tradicionales continuaron siendo utilizadas para la fabricación de hilado fino porque eran más rentables que las selfactinas en este tipo de productos.

El progreso del tejido mecánico fue mucho más lento que el desarrollo de la maquinaria de hilar ya que desde que se produjo la invención del primer telar mecánico hasta que este fue competitivo, es decir económicamente rentable, transcurrieron casi cuarenta años.¹⁶ El primer telar mecánico fue inventado por Cartwright en 1785 y fue mejorados sucesivamente por Miller (1798), Horrocks (1893, 1813) y finalmente por Roberts (1822), que logró finalmente su viabilidad económica. Sin embargo, los telares mecánicos fueron nuevamente mejorados en Blackburn (1841) haciéndolos aun más competitivos respecto a los telares manuales. El ritmo de la adopción de los telares mecánicos en Gran Bretaña refleja ese proceso de mejora tecnológica: en 1813 había sólo 2400 telares mecánicos, en 1820 la cifra ya había crecido hasta los 14000, en 1830 había unos 80000, y en 1849 casi un cuarto de millón. En resumen, la competición entre telares manuales y mecánicos parece haberse decantado de manera definitiva a favor de estos últimos en la década de 1820.¹⁷

Todas las industrias algodoneras europeas acumularon un cierto retraso tecnológico respecto a la industria algodonera británica. En Bélgica, la primera fábrica algodonera moderna, que utilizaba *mule-jennies* movidas por máquinas de vapor, fue instalada en Gante en 1801. A partir de entonces el progreso de la hilatura mecánica fue muy rápido así que en 1815 ya se podían contar hasta un cuarto de millón de husos de *mule-jennies* propulsados por máquinas de vapor en funcionamiento. Asimismo, en 1823 se instalaron los primeros telares mecánicos.¹⁸ En Renania, al Norte de Alemania, la primera *water-frame* hidráulica fue instalada en 1783. En las siguientes décadas, la

¹⁶ El análisis que sigue se basa en Von Tunzelmann (1978), pp. 192-202 y Lyons (1987).

¹⁷ Von Tunzelmann (1978), pp. 192-202 trata de probar que este triunfo se debió a la mejora de la eficiencia de las máquinas de vapor sin embargo Lyons (1987) demuestra que debe de atribuirse completamente a la mejora tecnológica de los mismos telares mecánicos.

¹⁸ Pollard (1991), pp. 118-119; Mokyr (1974).

hilatura algodonera prosperó con cierta lentitud no instalándose hasta 1821 la primera máquina de vapor. Hacia mediados de siglo la hilatura desapareció y la producción algodonera se concentró en las fases del tejido y el acabado, donde la ventaja de los productores británicos era mucho menor, montándose el primer telar mecánico en 1842.¹⁹ Otra región de Alemania, Sajonia, fue capaz de evolucionar desde la protoindustria al sistema de fábrica. En la década de 1790, la *jenny* se difundió rápidamente pero los hiladores domésticos sajones no pudieron resistir a la competencia británica y esta hilatura doméstica prácticamente había desaparecido a principios del siglo XIX. Sin embargo, entre 1799 y 1806 comenzaron a instalarse las primeras *mule-jennies* hidráulicas gracias a la protección obtenida con el bloqueo continental napoleónico. En los siguientes años, la industria algodonera prosperó de tal manera que en 1831 se encontraban en funcionamiento hasta 84 hilaturas mecánicas propulsadas por ruedas hidráulicas con 361.200 husos y se había instalado se instaló la primera máquina de vapor. Treinta años más tarde, en 1861, los husos ya eran más de 700.000 y el tejido se comenzaba a mecanizar.²⁰

La segunda industria algodonera de Europa, después de la británica, era la francesa que, en 1810, disponía de más de un millón y medio de husos en funcionamiento. En Francia, las principales áreas algodoneras eran Alsacia, Normandía, París y la zona septentrional cercana a la frontera belga.²¹ La industria algodonera alsaciana tenía una larga tradición en la estampación de tejidos de algodón cuando comenzó la mecanización del hilado a principios del siglo XIX. La primera hilatura mecánica movida por ruedas hidráulicas fue establecida en 1802. El crecimiento del sector fue rápido de tal manera que en 1828 el número de husos mecánicos ya alcanzaba el medio millón llegando a más de 700.000 a principios de la década de 1860. Una característica particular de la industria algodonera alsaciana fue su capacidad para producir por medios mecánicos hilo de algodón de la más alta calidad. Al aumento de la producción de hilados acompañó un desarrollo paralelo del tejido de tal manera que a finales de la década de 1840 había más de 15.000 telares manuales en funcionamiento.²² En Normandía había en 1795 siete fábricas hidráulicas y su número creció hasta las veinte en 1804. Sin embargo, la fuerte competencia del hilado británico produjo que la

¹⁹ Pollard (1991), pp. 126-127.

²⁰ Pollard (1991), pp. 131-132; Tipton (1976), p. 35.

²¹ Levy-Leboyer (1964), pp. 28-29 y 59.

²² Pollard (1991), p. 129.

región se especializase en el tejido desarrollándose tanto el tejido manual como el mecánico.²³

En Suiza, la primera hilatura mecánica data de 1801 aunque esta industria no pudo competir con los británicos hasta 1830 en que se establecieron las primeras fábricas hidráulicas con *mule-jennies*. En la década de 1850 las *mule-jennies* fueron reemplazadas por selfactinas mientras el número de husos crecía desde 600.000 en 1844 hasta alcanzar los 2 millones en 1872.²⁴ El tejido mecánico progreso con más lentitud y no se difundió hasta después de 1842.²⁵

De los datos recogidos en el párrafo anterior se deduce que en mayoría de las industrias algodoneras del continente instalaron las primeras hilaturas mecánicas a finales del siglo XVIII, o principios del siglo XIX, y que éstas dominaron rápidamente la producción de hilado desplazando la producción doméstica. Las primeras máquinas de vapor llegaron algo más tarde, entre 1820 y 1830 (excepto en el caso de Bélgica que la primera se instaló en 1801), y no en todos los casos lograron imponerse a las ruedas hidráulicas. Por tanto, al contrario que en Gran Bretaña, en la Europa continental el triunfo de la máquina de vapor no es ubicuo y la rueda hidráulica es usada en muchas ocasiones para propulsar las fábricas algodoneras. El triunfo del telar mecánico es aún más tardío ya que estos comenzaron a adoptarse de manera generalizada a partir de 1842. Por tanto, el retraso tecnológico de la industria del continente europeo respecto a la británica era de aproximadamente veinte años, retraso que desapareció a partir de 1842 cuando las maquinas de vapor, las selfactinas y los telares mecánicos se difundieron rápidamente.

3. La adopción de la tecnología británica en la industria algodonera catalana

La cronología de la llegada de las principales innovaciones británicas a la industria algodonera catalana se conoce bastante bien gracias a testimonios contemporáneos y a los trabajos de diversos historiadores.²⁶ En términos generales podemos distinguir dos grandes fases en este proceso: una primera donde la maquinaria

²³ Según Levy-Leboyer (1964), pp. 69 en el Seine-Inférieure había en 1847 57.000 telares manuales y 7800 telares mecánicos.

²⁴ Milward y Saul (1973), pp. 455-456; Lévy-Leboyer (1964), p. 180; Pollard (1991), p. 130.

²⁵ Pollard (1991), p. 130.

²⁶ Entre los coetáneos Ferrer Vidal (1875), Figuerola (1968), Gutiérrez (1837), Ronquillo (1851-1857); y entre los historiadores Agustí (1983), Nadal (1974), Sánchez (1989)(1996)(2000) y Thomson (1992).

extranjera se difunde con cierta premiosidad y una segunda, a partir de 1842, donde la renovación del equipo productivo se produce con inusitada rapidez. En la primera fase, pese a la utilización de la nueva maquinaria textil británica, la adopción de la maquina del vapor por parte de las empresas algodoneras catalanas fue anecdótica, ya que la maquinaria fue movida a mano, por caballos o por medio de ruedas hidráulicas, mientras que en la segunda fase la maquina del vapor fue la protagonista siendo adoptada rápidamente por las empresas del sector.²⁷

Las primeras hiladoras manuales *jennies* fueron instaladas en Barcelona por técnicos de origen francés en 1784.²⁸ Pocos años más tarde, en 1792, un técnico inglés introdujo una *jennie* mejorada (con 78 husos en vez de los habituales 40 de las *jennies* comunes) y la máquina de cardar por cilindros.²⁹ En los mismos años también se tiene noticia de la llegada a Cataluña de la primera *water-frame*, también de origen británico.³⁰ Las maquinas manuales tuvieron mucho más éxito que las *water-frames* ya que en 1796, sólo cuatro años más tarde de su llegada, ya funcionaban en Cataluña más de 250 *jennies*.³¹ Además, las maquinas de hilar manuales fueron posteriormente mejoradas por técnicos locales que desarrollaron una variante de la *jennie* con hasta 120 husos conocida como bergadana.³² La *jennie* y la bergadana eran de madera y relativamente sencillas de fabricar siendo muy pronto producidas en Cataluña. A partir de 1797, se comenzaron a instalar las primeras hilaturas mecánicas que utilizaban *water-frames* movidas por la fuerza de caballerías o por saltos de agua de tal manera que diez años mas tarde, en 1807, su número rondaba la veintena utilizando unos 13000 husos.³³ Desde Francia, aunque era una maquina de origen inglés, llegaron a Cataluña en 1806 las primeras *mule-jennies* de madera que eran propulsadas por caballos o

²⁷ Resulta imprescindible resaltar la importancia de la transición desde la rueda hidráulica y las otras formas de propulsión hacia la maquina de vapor ya que fue un verdadero cambio de “tecnología de uso general” (*general purpose technology*); es decir una innovación drástica con un uso potencial en una gran cantidad de sectores y con la capacidad de cambiar la forma en que estos operan [Helpman (1998)].

²⁸ Thomson (1992), pp. 248-249.

²⁹ Thomson (1992), pp. 253-254.

³⁰ Thomson (1992), p. 249-250.

³¹ Sánchez (2000), pp. 495-496.

³² Ferrer Vidal (1875), p. 101.

³³ Sánchez (2000),cuadro 4.

ruedas hidráulicas.³⁴ En esos años también tuvieron lugar los primeros ensayos con las máquinas de vapor que no llegaron a fructificar en un uso industrial de las mismas.³⁵

En la posguerra, y hasta 1832, se produjo un crecimiento notable de la hilatura algodонера sin la introducción del vapor. Se trató del típico desarrollo protoindustrial extendiéndose, por tanto, la hilatura manual por numerosas villas y ciudades utilizando el trabajo de mujeres y niños que compartían sus tareas industriales con tareas domésticas y agrícolas.³⁶ En esta hilatura manual tuvo lugar un cierto progreso técnico ya que las bergadananas fueron reemplazando paulatinamente a las *jennies*.³⁷ Simultáneamente se fueron instalando nuevas hilaturas mecánicas movidas por saltos de agua y caballerías que utilizaban *mule-jennies* y, en menor medida, *throstles* o continuas, que eran una versión mejorada de la *water-frame*. El número de husos en activo ascendió entre 1807 y 1830 de poco más de 95.000, de los cuales casi 13.000 eran mecánicos, a más de 1,1 millones, de los cuales algo más de 128.000 eran mecánicos.

Un gran salto tecnológico se produjo en 1833 con la fundación de la “fábrica Bonaplata” en Barcelona.³⁸ Esta nueva fábrica movida por el vapor integraba la producción mecánica de hilados y tejidos de algodón con un taller para reparar y fabricar la nueva maquinaria.³⁹ Unos pocos años antes, en 1828, uno de los fundadores de esta empresa también había introducido con éxito en su fábrica de Sallent los telares mecánicos.⁴⁰ Sin embargo, la difusión del vapor y del tejido mecánico fue muy lenta a lo largo de la década que siguió a la instalación de esta primera fábrica “moderna” pese al notable crecimiento de la producción algodонера. Así, en 1841, por cada caballo instalado de vapor se podían contar hasta seis movidos por agua o caballerías.⁴¹

³⁴ Sánchez (1989), p. 38; Thomson (1992), pp. 263-264.

³⁵ En esos ensayos participaron técnicos extranjeros y algunos de los más notables científicos locales. Véase, Agustí (1983), Thomson (1992), pp. 264-265; Sánchez (2000), pp. 498.

³⁶ Gutiérrez (1837), pp. 152-153; Thomson (1992), pp. 305 y ss.

³⁷ Sánchez (2000), p. 505.

³⁸ Esta nueva fábrica ha sido señalada, pese a su corta duración, como prototipo y símbolo de la nueva industrialización catalana. Véase, entre otros, Ferrer Vidal (1875), Vicens Vives (1958), Nadal (1974)(1983) y Thomson (1992).

³⁹ Ferrer Vidal (1875).

⁴⁰ Ferrer Vidal (1875).

⁴¹ Sayró (1842).

Tabla 1. Evolución del número de husos y motores en la hilatura de algodón catalana

	1807	1830	1841	1850	1860
Husos manuales	82.870	1.034.048	725.787	180.058	7.366
Husos mecánicos					
Water-frames	10.980				
Throstles o continuas		32.020	34.680	51.040	57.297
Mule-jennies	2.040	96.169	281.640	376.810	133.693
Selfactinas				96.328	572.970
Total mecánicos	13.020	128.189	316.320	524.178	763.960
Total husos	95.890	1.162.237	1.042.107	704.236	771.326
% mecánicos	13,58	11,03	30,35	74,43	99,05
Motores					
Caballos	11	423	1.182	241	0
Agua (CV)	39	186	543	1.374	1.914
Vapor (CV)	0	0	289	2.140	3.886
Total caballos	51	609	2.014	3.755	5.800
% vapor	0,00	0,00	14,35	56,99	67,00

Notas y fuentes: Véase apéndice 1.

Como ya hemos señalado con anterioridad, la situación cambió de manera sustancial a partir de 1842 ya que en sólo tres años, de 1842 a 1845, la fuerza proporcionada por las máquinas de vapor creció de 289 CV hasta los 1849 CV.⁴² Asimismo, el número de telares mecánicos también aumentó de forma exponencial desde los 210 hasta alcanzar una cifra superior a los 4000 en 1850.⁴³ A la vez que se producía esta rápida difusión de las máquinas de vapor y los telares mecánicos, las antiguas máquinas de hilar *mule-jennies* eran rápidamente reemplazadas por las nuevas selfactinas que en 1860 movían tres cuartas partes de los husos en funcionamiento.⁴⁴

En resumen, la industria catalana no desentona demasiado en este panorama internacional de difusión de la maquinaria algodonera ya que los catalanes se encuentran entre los pioneros en la recepción de la maquinaria británica. Sin embargo, en Cataluña el proceso de adopción de la tecnología mecánica es mucho más lento que el resto de Europa a causa de la extraordinaria resistencia del hilado manual y la tardía adopción de la máquina de vapor. En cambio, a partir de 1842, tal como sucede en otras

⁴² Según Figuerola (1968) y Ronquillo (1851-1857) la potencia de vapor instalada había crecido muy ligeramente en los que restaba de la década llegando en 1849 a los 1868 CV.

⁴³ Ronquillo (1851-1857), Tomo I, p. 129.

⁴⁴ Comisión especial arancelaria (1867).

regiones con industria algodonera, Cataluña recorta rápidamente la distancia tecnológica que la separaba de los británicos.

4. Las explicaciones del atraso relativo

El relativo atraso de la industria catalana en adoptar la nueva maquinaria respecto a la británica se ha atribuido a diversos factores. Por un lado se encuentran aquellos que atribuyen este atraso a factores que afectan a la demanda de la nueva maquinaria. Jordi Nadal sostiene que la lenta mecanización de la industria catalana se debe a “la abundancia de brazos, la falta de recursos [naturales] y la estrechez del consumo”.⁴⁵ Es decir, este autor sostiene implícitamente que la nueva maquinaria no se adapta a las dotaciones de factores de Cataluña y a los condicionantes del mercado español. Alejandro Sánchez, después de restar importancia al atraso de la industria catalana respecto a la británica, sostiene que la nueva maquinaria de vapor no podía ser adoptada hasta que la industria hubiera madurado a través de una serie de cambios técnicos y organizativos.⁴⁶ Para Jordi Maluquer de Motes “las *mule-jennies* se introdujeron lentamente [en la industria algodonera catalana] por las fuertes inversiones necesarias para instalar fábricas movidas por energía hidráulica y por máquinas de vapor”.⁴⁷ Para Gabriel Tortella, en cambio, la poca “calidad” del empresariado local, que se muestra reacio a la introducción de las innovaciones foráneas, es la principal causa del atraso industrial.⁴⁸

Por otro lado se encuentran aquellos que resaltan los factores de la oferta de maquinaria moderna, y no sólo los de la demanda. Según, el contemporáneo José Ferrer y Vidal la rápida aceleración de la adopción de la maquinaria extranjera en la década de 1840 debe asociarse a una etapa general de paz y prosperidad y a la eliminación de las prohibiciones británicas a la exportación de maquinaria en 1842.⁴⁹ Más recientemente, James K.J. Thomson ha ligado la expansión de la hilatura moderna en Cataluña, a partir de 1830, a la mejora de las circunstancias económicas que facilitó la inversión industrial y a la eliminación por parte de los británicos de los impedimentos a la emigración de

⁴⁵ Nadal (1992), p. 114.

⁴⁶ Sánchez (2000).

⁴⁷ Maluquer de Motes (1998), p. 48.

⁴⁸ Tortella (1994).

⁴⁹ Ferrer Vidal (1875), p. 101.

sus trabajadores especializados en 1825 y a la exportación de maquinaria en 1842.⁵⁰ Finalmente, Maria Lluïsa Gutiérrez i Medina también ha señalado que la razón principal del atraso de la industria algodonera catalana hasta 1843 era la prohibición que regía en Gran Bretaña a la exportación de maquinaria.⁵¹

A lo largo del resto de este apartado vamos a demostrar que fueron principalmente los problemas de transmisión del conocimiento causados por las restricciones al movimiento internacional de maquinaria, que impidieron el desarrollo de una industria exportadora de bienes de equipo en Gran Bretaña, los que provocaron el atraso tecnológico de la industria algodonera catalana. Los industriales catalanes no adoptaron la maquinaria extranjera porque no desearan hacerlo, ni porque la tecnología británica no fuese económicamente rentable dadas las condiciones económicas de Cataluña, ni porque sus organizaciones no estuviesen preparadas para ello, ni tan siquiera porque no dispusiesen del capital necesario sino porque no tenían la capacidad tecnológica para hacerlo. La restricción legal de los británicos a la exportación de maquinaria hizo muy difícil la transferencia del conocimiento que era necesario para operar con la tecnología del vapor.⁵² En cambio, una vez que fueron eliminadas las restricciones institucionales a la exportación de maquinaria, la capacidad tecnológica fue transmitida directamente a los empresarios catalanes por las empresas inglesas fabricantes de maquinaria.⁵³ Por tanto, el modelo catalán de difusión y adopción de tecnología foránea se adapta bastante bien al propuesto por Kristine Bruland para explicar la difusión de la tecnología británica en Escandinavia durante la primera mitad del siglo XIX. Según esta historiadora existen dos fases principales en este proceso: una primera en la que los individuos juegan un papel principal, y la difusión tecnológica es lenta, y una segunda en que las empresas productoras de maquinaria son decisivas, y el progreso tecnológico se acelera. La frontera entre las dos fases se encuentra marcada

⁵⁰ Thomson (1992), p. 316.

⁵¹ Gutiérrez Medina (1997), pp. 147-148.

⁵² Nótese que la capacidad tecnológica no se adquiere, simplemente, al comprar maquinaria extranjera sino que el dominio de cualquier tecnología, especialmente aquellas que representan un cambio radical en las formas de producción se encuentra, indefectiblemente, asociado con el dominio de una serie de conocimientos tácitos (el saber hacer) que resultan sumamente difíciles de transmitir de una nación a otra.

⁵³ Gutiérrez Medina (1997) ofrece una descripción extensa de cómo se relacionaban las empresas algodoneras catalanas, en este caso la España Industrial, con las compañías británicas, y francesas, proveedoras de maquinaria.

por la reforma legislativa que liberalizó la exportación de maquinaria desde Gran Bretaña.⁵⁴

En la primera fase, la transmisión del conocimiento recae en individuos que viajan de un país a otro. El caso catalán se encuentra repleto de procesos de transmisión individual del conocimiento ya que todas las innovaciones británicas en la industria algodonera hasta 1842 fueron introducidas de esta manera. Por ejemplo, el primer intento de introducir la *water-frame* de Arkwright se debió a dos fabricantes de máquinas ingleses, John Waddle y Joseph Caldwell, que decidieron abandonar Francia en 1789 a causa de la Revolución y fueron protegidos por el gobierno español. Después de un largo periplo por Madrid y la Real fábrica de Avila fueron enviados a Barcelona donde presentaron la nueva máquina a la Junta de Comercio. Una vez allí sus intentos para convencer a los fabricantes de pintados y estampados fracasaron y los dos técnicos abandonaron finalmente el país sin dar a conocer el secreto de su máquina.⁵⁵ Otro ejemplo es el de la misma “fábrica Bonaplata”. En la primavera y verano de 1830, los dos principales fundadores de la nueva fábrica, José Bonaplata y Juan Rull, viajaron por Inglaterra para visitar las fábricas locales, comprar la maquinaria que necesitaban y colocar a uno de sus pupilos en una de las fábricas como aprendiz. Cuando llegaron a España solicitaron un privilegio para poder instalar e importar sin aranceles la maquinaria británica y los materiales que necesitaban para su funcionamiento, principalmente hierros y carbones.⁵⁶ El problema de esta primera fase, desde el punto de vista de los industriales catalanes, es que el conocimiento llegaba con notable retraso y además su difusión alcanza a unos pocos individuos. Además, los industriales se encuentran abandonados a su suerte cuando tratan de resolver los pequeños problemas y realizar las pequeñas reparaciones que requiere la nueva maquinaria para funcionar.⁵⁷ Resultado de esta serie de problemas es que la industria algodonera catalana utiliza

⁵⁴ Bruland (1998), pp. 169-170.

⁵⁵ Thomson (1992), pp. 249-253.

⁵⁶ Nadal (1983).

⁵⁷ Por ejemplo, Gutiérrez Medina (1997), pp. 164-66 explica como toda la producción de la España Industrial se detuvo por un problema nimio causado porque sus técnicos desconocían como se debían engrasar los piñones que transmitían la fuerza de su máquina de vapor al resto de las instalaciones.

tecnologías relativamente sencillas que pueden ser reparadas y/o producidas localmente.⁵⁸

En la segunda fase, como ya hemos mencionado con anterioridad, la tecnología británica se transmitió a través de las grandes compañías productoras de maquinaria.⁵⁹ Con este sistema se superaban dos de los principales escollos de los procesos de transferencia tecnológica: (1) los problemas que tienen los innovadores para ceder las invenciones a terceros obteniendo de ellos las compensaciones que les resarzan de los costos y la incertidumbre de la invención, y (2) las dificultades de los imitadores para adquirir las habilidades necesarias para utilizar la nueva tecnología. Los fabricantes británicos de maquinaria textil no sólo vendían los equipos más modernos a sus clientes extranjeros sino que también les proveían con una serie de servicios imprescindibles que facilitaban la transmisión de una gran parte de la experiencia y las técnicas inglesas. En concreto, las mismas empresas les facilitaban el montaje de la maquinas, enseñaban a los operarios locales su funcionamiento, proveían a las nuevas fábricas con los recambios y piezas necesarios, y un soporte técnico.⁶⁰

Finalmente, en una tercera fase, después de un cierto período de aprendizaje y adaptación a las nuevas tecnologías todas las empresas algodoneras catalanas fueron capaces de trabajar de forma autónoma con la ayuda circunstancial de los técnicos ingleses.⁶¹ A lo largo de esta fase los imitadores desarrollaban sus propias habilidades adaptando y utilizando su maquinaria a sus propias exigencias. Los trabajadores nacionales sustituyeron a los extranjeros en sus funciones y las fábricas españolas desarrollaron sus propios métodos de producción realizando numerosas innovaciones de producto. Asimismo, se desarrolló una industria de bienes de equipo local capaz de reparar y producir la maquinaria extranjera.⁶²

⁵⁸ Obviamente, esta opción hubiese resultado completamente imposible sin los altos niveles de protección que gozaba la industria algodonera española. Sobre la ineficiencia de la industria española respecto a la británica y las razones de su falta de competitividad internacional véase Rosés (2000)(2001).

⁵⁹ Sobre la importancia de dichas compañías en la industrialización de Gran Bretaña véase MacLeod (1992); y sobre su importancia en el ámbito internacional Bruland (1989)(1998) y Jeremy y Stapleton (1991).

⁶⁰ Bruland (1989)(1998) y Jeremy y Stapleton (1991).

⁶¹ Rosés (1998b).

⁶² Escribano (1986), Figuerola (1969), Gutiérrez Medina (1997), y Nadal (1991b)(1992b).

5. La resistencia de la hilatura manual y la tardía difusión del vapor

Tal como ya hemos señalado con anterioridad, las dos características más notables de la industria algodonera catalana, y que la diferenciaban de manera más marcada del resto de las industrias algodoneras europeas, fueron la larga preponderancia de la hilatura manual y la tardía difusión de la máquina de vapor. Para clarificar las razones por las cuales los husos manuales no fueron arrinconados por los husos mecánicos hasta mediados de los años 1840 hemos calculado los costes de su sustitución por las diferentes clases de *mule-jennies* en servicio en Cataluña antes de ese momento.⁶³ Si tenemos razón en nuestra explicación sobre las causas del atraso tecnológico de la industria algodonera catalana, la maquinaria más moderna era más eficiente dadas las condiciones económicas de Cataluña y no existían razones de rentabilidad para que no sustituyese a la maquinaria manual. El objetivo de nuestros cálculos será, por tanto, capturar la racionalidad del empresario “típico”, en la década de 1841, decidiéndose entre invertir en *mule-jennies* o en bergadanas.⁶⁴ Para este cálculo utilizamos la teoría del capital suponiendo, implícitamente, que las decisiones que toma cada empresario no afectan a los precios de *inputs* y *outputs*. Además, también suponemos que esta decisión se toma bajo la creencia de que las condiciones económicas relevantes para nuestros cálculos permanecerán constantes a lo largo de todo el tiempo en que la maquinaria estará en uso. Es decir, para realizar nuestra estimación de los beneficios suponemos que los precios para 1841 estaban dados y se iban a mantener a lo largo de la vida útil de la máquina de hilar. En otras palabras, no estamos calculando el beneficio actual (o pérdida) resultado de la instalación de una *mule-jenny* sino el beneficio que *razonablemente* un empresario podía pensar en obtener a principios de la década de 1840 al realizar tal inversión.⁶⁵

La tabla 2 presenta tanto los cálculos para determinar la oportunidad de las decisiones del empresario. Esta oportunidad se determina para dos situaciones

⁶³ Aunque para nuestros cálculos hemos utilizado los precios de 1841, tal como aparecen en las fuentes, debemos resaltar que los resultados son aplicables al menos a los veinte años anteriores ya que las *mule-jennies* no fueron mejoradas técnicamente a lo largo de esas dos décadas ya que estaban siendo reemplazadas paulatinamente por las selfactinas en Gran Bretaña.

⁶⁴ Ejercicios parecidos han sido realizados por Von Tunzelmann (1978) y Lyons (1987) para analizar la rentabilidad de la maquinaria algodonera en Gran Bretaña.

⁶⁵ Naturalmente, en la vida real los empresarios pueden ser más o menos amantes del riesgo de lo que estamos suponiendo.

diferentes: (1) cuando el empresario debe de escoger entre instalar una u otra maquinaria y (2) cuando el empresario debe de decidir si sustituir las máquinas antiguas en funcionamiento por máquinas nuevas. Obviamente, en este último caso el empresario sólo reemplazara la maquinaria antigua por la nueva si los costes totales de la nueva maquinaria son inferiores a los costes variables de la antigua.⁶⁶ Para ayudar a su interpretación también hemos computado la rentabilidad extra del capital implícita en esa elección, es decir, los beneficios monopolísticos que recompensarían el cambio de maquinaria.⁶⁷ Asimismo, hemos realizado los cálculos para dos supuestos: con la nueva maquinaria funcionando al 100 % (es decir los 12 meses del año, 6 días a la semana, y 11,5 horas diarias) y al 85%.

Tabla 2. Las alternativas a las *bergadanas*, 1841

Bergadanas reemplazadas por:	Mule-jennies Por caballos		Mule-jennies Hidráulicas		Mule-jennies al vapor	
	Al 100%	al 85%	al 100%	Al 85%	Al 100%	al 85%
Capacidad de la más avanzada						
Costes fijos						
(i) Maquinaria	-8,27	-8,27	-17,13	-17,13	-28,33	-28,33
(ii) Motor	0,00	0,00	-2,73	-2,73	-4,04	-4,04
(iii) Edificios	-6,23	-6,23	-8,28	-8,28	-7,05	-7,05
(iv) Circulante	-2,94	-2,94	-6,41	-6,41	-3,26	-3,26
Costes variables						
(v) Alim. Caballos	-9,13	-9,13	0,00	0,00	0,00	0,00
(vi) Algodón en rama	-63,64	-51,26	-56,07	-44,83	-93,36	-76,53
(vii) Aceite y otros	-4,17	-3,54	-0,77	-0,65	-1,23	-1,04
(viii) Carbón	0,00	0,00	0,00	0,00	-16,54	-14,06
(ix) Trabajo	-33,88	-27,29	-28,46	-22,69	-20,11	-15,59
Producto extra	+136,79	+110,54	+178,12	+145,67	+233,84	+193,04
(1) Elección de maquinaria						
Beneficio neto	+8,55	+1,88	+63,53	+48,20	+65,85	+49,06
Rentabilidad extra implícita (%)	+4,83	+1,06	+22,42	+17,01	+21,69	+16,16
(2) Reemplazo de maquinaria						
Beneficio neto	+7,75	+1,08	+62,73	+47,41	+65,05	+48,26
Rentabilidad extra implícita (%)	+4,37	+0,61	+22,14	+16,73	+21,43	+15,90

⁶⁶ Salter (1966).

⁶⁷ A lo largo del tiempo, los beneficios monopolísticos dependen, no sólo del precio de las materias primas, sino también del precio de los productos. En nuestro caso, el precio del carbón se mantuvo casi constante entre 1840 y 1860 mientras que el precio de los productos decrecía de forma notable de tal manera que los beneficios monopolísticos de adoptar *mule-jennies* prácticamente desaparecieron al final del período (aunque, obviamente, la ventaja de las *mule-jennies* sobre las *bergadanas* se mantenía).

Notas y fuentes: Véase el apéndice 2 para las fuentes y los supuestos de los cálculos. Todos los valores se encuentran en Reales y han sido calculados por huso/año. Las cifras se han ajustado por redondeo. Valores negativos indican ventaja para la maquina antigua y, por el contrario, valores positivos indican superioridad de la maquina nueva. El beneficio neto resulta de la suma de los costes fijos, variables y la producción extra. La rentabilidad extra implícita es el resultado de dividir el beneficio neto entre el capital fijo y es, por tanto, la tasa de beneficio que obtiene el capital por encima del tipo de interés competitivo (que se ha supuesto del 6%) y de los beneficios que se obtendrían utilizando la maquinaria antigua.

Tal como muestra la tabla anterior cada uso mecánico, de cualquiera de los tres tipos, emplea más capital, materiales e incluso mano de obra que el huso manual aunque este mayor coste se encuentra contrarrestado por el exceso de producción que resulta en un beneficio neto en la sustitución de las bergadanas por *mule-jennies*. Sin embargo, si analizamos los resultados en mucho más detalle observaremos como en el caso de las *mule-jennies* movidas por caballerías es probable que la sustitución de las bergadanas ya instaladas no se viese compensada por los rendimientos obtenidos (con la máquina funcionando al 85% la rentabilidad extra implícita que un empresario podía obtener con este proceso era de sólo medio punto).⁶⁸ En cambio, las bergadanas son claramente inferiores a las *mule-jennies* hidráulicas y al vapor resultando su sustitución por las máquinas más modernas muy rentable para cualquier empresario ya que se obtienen unos rendimientos extra implícitos de más del 15% en el menos favorable de los casos.⁶⁹ En otras palabras, no existe ninguna justificación, en términos de rentabilidad, para no sustituir los husos manuales por husos mecánicos.

Sin embargo, si el empresario no tiene la capacidad tecnológica para sustituir sus bergadanas por *mule-jennies* propulsadas por vapor o ruedas hidráulicas sólo abandonara la producción con los husos manuales en el momento en que no sean rentables.⁷⁰ Para analizar esta situación vamos a considerar los cambios en los precios

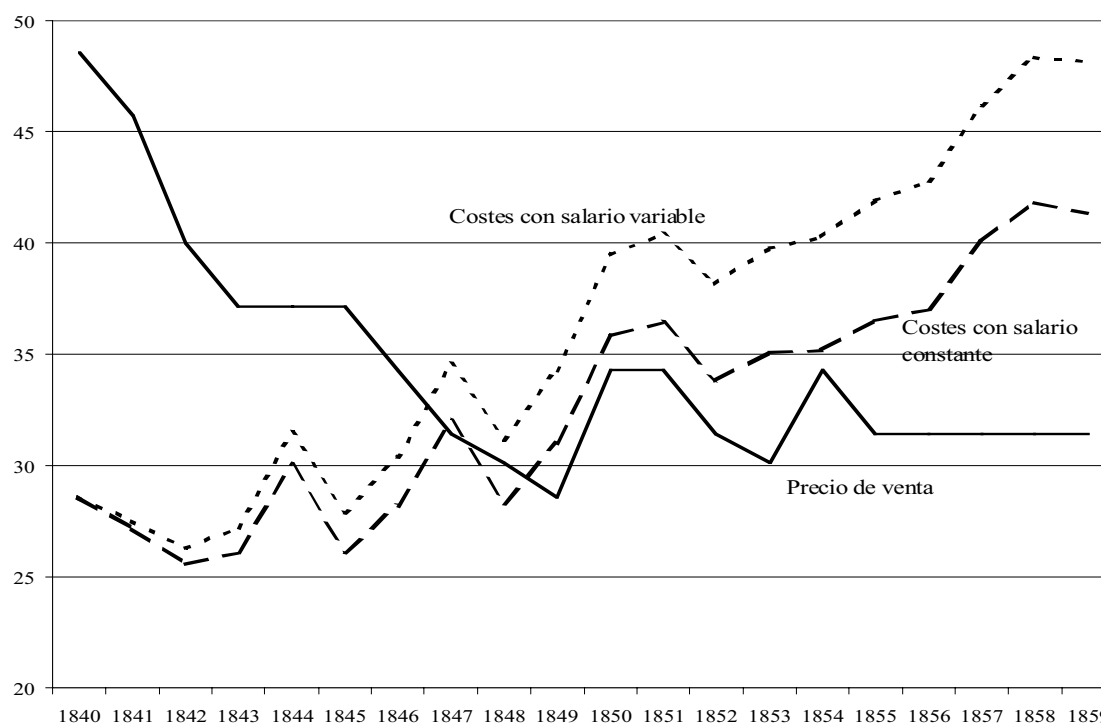
⁶⁸ Los cálculos se han hecho para una bergadana instalada en Berga y una *mule-jenny* movida por caballos instalada en Barcelona donde los costes laborales son mayores. Por tanto, no es difícil suponer que si la bergadana se instalase en Barcelona resultaría mucho menos rentable y, por tanto, más interesante para el empresario reemplazarla por una *mule-jenny* movida por caballos.

⁶⁹ En otras palabras, el empresario gracias a esos rendimientos extras podría recuperar el monto total de su inversión (aunque su máquina funcionase al 85% de capacidad) en un período nunca superior a los 7 años que es, aproximadamente, la mitad del período de vida de un huso de *mule-jenny* en condiciones de utilización normales.

⁷⁰ Una situación parecida se podría producir si las imperfecciones del mercado de capital impidiesen a dicho empresario conseguir el capital necesario para esa transformación o trasladar su fábrica allí donde la energía hidráulica estuviese disponible o el transporte de carbón fuese rentable. Sin embargo, parece

de los *outputs* e *inputs*, principalmente el trabajo, causados por la adopción de la nueva tecnología a partir de 1840. Obviamente, estos cambios van a afectar la rentabilidad de la bergadana si suponemos que su productividad permanece constante y los precios vienen dados por el mercado.

Gráfico 1. Precio de venta y costes del producto anual de un huso de bergadana



Notas y fuentes: Todos los valores están en Rv. Los costes con salario variable se han calculado bajo el supuesto que la tasa de crecimiento de los salarios de los hiladores manuales fuera la misma que se dio en el sector mientras que los costes con salario constante se han calculado suponiendo que los salarios de los hiladores manuales sólo crecieron el coste de la vida. Los precios de venta proceden de Rosés (2001), los salarios de Rosés (1998a) y para el resto de los datos y supuestos véase tabla 2.

El gráfico 1 es bastante elocuente, pese a que no se contabilizan los costes de transacción inherentes a la producción doméstica, la rentabilidad de las bergadanas se degrada rápidamente en la década de 1840 hasta que dejan de ser rentables a mediados de la misma, en el caso de salarios variables, o a finales de la misma, en el caso de salarios constantes. En esos años, el descenso de los precios del hilo causado por la

difícil de creer que la situación del mercado de capital industrial en Cataluña se alterase de forma tan notable en 1842 como para impulsar todos los procesos de instalación y renovación de maquinaria que no se habían llevado a cabo en los veinte años anteriores.

rápida difusión de la nueva maquinaria hizo antieconómico el huso de los husos manuales y provocó su desaparición de la industria. Estos resultados coinciden con los datos recogidos en la tabla 2 sobre la evolución del número de husos manuales que en la década de 1840 se redujeron en un 75 por ciento mientras que prácticamente desaparecieron a lo largo de la siguiente década.⁷¹

Siguiendo la metodología utilizada en la tabla 2, en la tabla 3 analizamos las diferentes alternativas de fuerza motriz para las *mule-jennies*; es decir, presentamos un análisis coste beneficio de la energía animal, hidráulica y de vapor.

Tabla 3. La elección de la fuerza motriz, 1841

Reemplazo de:	Caballos por Hidráulicas		Caballos por Vapor		Hidráulicas por Vapor	
	Al 100%	Al 85%	al 100%	Al 85%	al 100%	Al 85%*
Capacidad de la más avanzada						
Costes fijos						
(i) Maquinaria	-5,54	-5,54	-15,13	-15,13	-9,60	-9,60
(ii) Motor	-2,73	-2,73	-4,04	-4,04	-1,31	-1,31
(iii) Edificios	-2,05	-2,05	-0,83	-0,83	+1,22	+1,22
(iv) Circulante	-2,44	-2,44	-0,22	-0,22	+2,22	+2,22
Costes variables						
(v) Alim. Caballos	+9,13	+9,13	+9,13	+9,13	0,00	0,00
(vi) Algodón en rama	7,57	18,81	-29,72	-12,89	-37,29	-31,70
(vii) Aceite y otros	+3,40	+3,51	+2,94	+3,13	-0,46	-0,39
(viii) Carbón	0,00	0,00	-16,54	-14,06	-16,54	-14,06
(ix) Trabajo	+5,42	+11,18	+13,76	+18,28	+8,35	+7,10
Producto extra	+41,33	+8,88	+97,06	+56,25	+55,73	+47,37
(1) Elección de maquinaria						
Beneficio neto	+54,07	+38,75	+65,85	+49,06	+2,32	+0,85
Rentabilidad extra implícita (%)	+19,09	+13,68	+21,69	+16,16	+0,76	+0,28
(2) Reemplazo de maquinaria						
Beneficio neto	+36,75	+21,42	+65,05	+48,26	-27,77	-29,24
Rentabilidad extra implícita (%)	+12,97	+7,56	+21,43	+15,90	-9,15	-9,63

Notas y fuentes: Véase la tabla 2. *En este caso se ha supuesto que ambas fábricas, la hidráulica y la movida al vapor, se encontraban trabajando al 85% de su capacidad.

De los resultados de esta tabla se deduce, de manera obvia, que la sustitución de caballos por máquinas de vapor o ruedas hidráulicas era muy rentable pese a la mayor

⁷¹ Bythell (1978) y Lyons (1989) explican diversas estrategias que adoptaron las familias manufactureras del Lancashire para tratar de sobrevivir a la crisis del tejido manual. Es muy probable que muchas de estas también se aplicasen en Cataluña en la hilatura doméstica de algodón. Entre estas destaca reducir los

inversión en capital fijo que requerían las dos últimas. En cambio, la competencia entre ruedas hidráulicas y máquinas de vapor no ofrece resultados concluyentes dada la ligera superioridad de las máquinas de vapor. Como es bien conocido las máquinas de vapor tiene más costes fijos en maquinaria y motor y menores en edificio que las ruedas hidráulicas.⁷² Asimismo, producen más hilo con una menor cantidad de trabajo a cambio, obviamente, de consumir carbón. Utilizando la cantidad de carbón que consumen y el precio del transporte se puede llegar a establecer el tamaño del área geográfica en donde las máquinas de vapor son más eficientes que las ruedas hidráulicas.⁷³ En 1841, instalar una máquina de vapor, en vez de una rueda hidráulica, era rentable hasta una distancia por carretera de algo más de 54 kilómetros de Barcelona.⁷⁴

6. La segunda generación de maquinaria

En la década de 1840 comenzaron a llegar las primeras selfactinas a Cataluña, se difundió de forma generalizada la máquina de vapor, y aumento de forma exponencial la cantidad de telares mecánicos. Siguiendo el método que ya hemos utilizado en la sección anterior vamos a establecer la racionalidad típica del empresario que se decide a reemplazar sus *mule-jennies* por las nuevas selfactinas o tiene que escoger entre instalar uno u otro tipo de máquina de hilar.

salarios, o mantener los salarios nominales pese al aumento del coste de la vida, y aumentar las horas de trabajo para conservar el ingreso familiar.

⁷² Véase Temin (1966) y Von Tunzelmann (1978).

⁷³ Los precios del transporte de carbón por carretera proceden de Comisión especial arancelaria (1861).

⁷⁴ Estos cálculos coinciden con la distribución de las fábricas movidas por vapor tal como aparecen en el Censo de Sayró [Sayró (1842), Madoz (1846)]. Aunque ésta no es la razón para la escasa difusión de la máquina de vapor en Cataluña ya que dentro de esa radio las fábricas al vapor eran aún pocas.

Tabla 4. La sustitución de las mule-jennies por selfactinas, 1850

Reemplazo de:	<i>mule-jenny</i> hidráulica por selfactina de vapor		<i>mule-jenny</i> de vapor Por selfactina de vapor	
Capacidad de la más avanzada	al 100%	al 85%	al 100%	al 85%
Costes fijos				
(i) Maquinaria	-2,45	-2,45	+7,15	+7,15
(ii) Motor	-0,56	-0,56	+1,04	+1,04
(iii) Edificios	+4,75	+4,75	+3,53	+3,53
(iv) Circulante	+1,65	+1,65	-0,57	-0,57
Costes variables				
(v) Alim. Caballos	0,00	0,00	0,00	0,00
(vi) Algodón en rama	-47,32	-28,95	-9,93	+8,44
(vii) Aceite y otros	-13,56	-11,41	-13,11	-10,96
(viii) Carbón	-11,51	-9,78	+5,03	+6,76
(ix) Trabajo	+46,54	+49,15	+32,66	+35,27
Producción	+48,32	+16,73	+6,52	-25,06
Elección de maquinaria				
Producto Extra	+25,86	+19,13	+32,33	+25,60
Rentabilidad extra implícita (%)	+11,85	+8,77	+14,82	+11,73
Reemplazo de maquinaria				
Producto Extra	-4,82	-11,56	-6,11	-12,84
Rentabilidad extra implícita (%)	-2,21	-5,30	-2,80	-5,88

Notas y fuentes: Véase tabla 2.

La tabla 4 muestra que desde el punto de vista de un empresario en 1850 no resulta eficiente reemplazar sus antiguas *mule-jennies* por las nuevas selfactinas.⁷⁵ Sin embargo, las ventajas de la nueva máquina de hilar son muy obvias si el empresario debe de escoger entre una u otra máquina para instalarla en su fábrica. La nueva máquina de hilar es más barata, consume menos carbón, ahorra trabajo, produce más hilo aunque utiliza más materiales auxiliares.⁷⁶ También es importante resaltar que su mayor eficiencia energética, es decir su capacidad de ahorrar carbón, extiende el radio en el cual la maquinaria movida por vapor es más rentable económicamente que la maquinaria propulsada por ruedas hidráulicas.

⁷⁵ Sin embargo, en esta época se difundió un sistema que permitía transformar las antiguas *mule-jennies* en modernas selfactinas. Es decir, que evitaba tener que desmontar las máquinas de hilar antiguas ya instaladas.

⁷⁶ Este ahorro de carbón es debido a la utilización de máquinas de vapor de alta presión que son más eficientes que las máquinas de vapor de baja presión que se han considerado en el caso de las *mule-jennies*. Sobre las ventajas de las máquinas de vapor de alta presión véase Von Tunzelmann (1978).

Tabla 5. La sustitución de telares manuales por mecánicos, 1850

Capacidad del telar mecánico	al 100%	al 85%
Costes fijos		
(i) Maquinaria	-227,77	-227,77
(ii) Motor	-156,77	-156,77
(iii) Edificios	-66,47	-66,47
(iv) Circulante	-51,24	-51,24
Costes variables		
(v) Hilo	-4078,83	-2252,38
(vi) Materiales	-496,49	-422,02
(vii) Carbón	-345,03	-293,28
(viii) Trabajo	-1231,16	-803,93
Producción	+7811,14	+4722,22
(1) Elección de maquinaria		
Producto Extra	+1157,39	+448,36
Rentabilidad extra implícita (%)	+21,15	+8,19
(2) Reemplazo de maquinaria		
Producto Extra	+975,68	+266,66
Rentabilidad extra implícita (%)	+17,83	+4,87

Notas y fuentes: véase tabla 2.

La tabla 5 considera la sustitución de telares manuales por telares mecánicos. En este caso, la mayor productividad del nuevo telar cubre sus mayores costes fijos y variables de tal manera que no sólo resultaba su instalación más rentable que la de los telares manuales sino que los beneficios que produce hacen rentable el reemplazo de los antiguos telares por nuevos. Pese a esta enorme ventaja de los telares mecánicos, como en el caso de las bergadananas, los telares manuales fueron capaces de seguir compitiendo con la nueva maquinaria hasta bien entrado el siglo XIX.

7. Conclusiones

Este artículo ha demostrado que la industria algodonera catalana se encontraba atrasada tecnológicamente hasta la década de 1840. Las causas de este atraso hay que buscarlas en la incapacidad de los empresarios catalanes para adoptar la nueva tecnología algodonera que utilizaba la maquina de vapor y era muy sofisticada para las capacidades tecnológicas locales. Para demostrar este punto hemos analizado la rentabilidad de los diversos tipos de máquinas utilizadas en España antes y después de 1840 y hemos testimoniado que la nueva maquinaria era más eficiente que la antigua y no existía, por tanto, ninguna razón económica para que no fuese reemplazada.

A partir de 1842, con la eliminación de la restricción del gobierno británico a la exportación de maquinaria y el desarrollo internacional de las empresas exportadoras de bienes de equipo, los industriales catalanes pudieron proveerse no sólo de la nueva maquinaria sino también del conocimiento tecnológico para utilizarla. Por esa razón, y gracias a su mayor rentabilidad, la nueva maquinaria textil se difundió con rapidez entre las empresas algodoneras catalanas arrinconando en muy pocos años a los antiguos husos y telares manuales. En el caso español, los grandes beneficios que obtenían los empresarios al cambiar de maquinaria eran posibles gracias a la protección que gozaban de la industria británica que ya las había adoptado.

Bibliografía (selección)

- Blaug, M. (1961): "The productivity of capital in the Lancashire Cotton Industry during the Nineteenth Century", *Economic History Review*, vol. 13, núm. 3, pp. 358-381.
- Bruland, K. (1989). *British technology and European Industrialization: The Norwegian textile industry in the mid nineteenth century*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bruland, K. (1998). "Skills, Learning and the International Diffusion of Technology: A Perspective on Scandinavian Industrialization", en Berg, M. Y Bruland, K. (eds.): *Technological Revolution in Europe*, Cheltenham: E. Elgar, pp. 161-187.
- Bythell, D. (1978). *The Handloom Weavers: A Study in the English Cotton Industry during the Industrial Revolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Camps, E. (1995). *La formación del mercado de trabajo industrial en la Cataluña del siglo XIX*. Madrid: Ministerio de Trabajo.
- Carreras, A. (1983): "El aprovechamiento de la energía hidráulica en Cataluña, 1840-1920. Un ensayo de interpretación", *Revista de Historia Económica*, vol. 1, núm. 2, pp. 31-63.
- De Long, J.B. and Summers, L. (1991). "Equipment Investment and Economic Growth". *Quarterly Journal of Economics*, vol.106, núm. 2, pp. 445-502.
- Escribano, A. (1986). "La Maquinista Terrestre i Marítima". *Recerques*, núm.18, pp. 141-160.
- Jeremy, D.J. (1981). *Transatlantic Industrial Revolution*. Oxford: Basil Blackwell.
- Landes, D.S. (1969). *The Unbound Prometheus. Technological change and industrial development in Western Europe from 1750 to the present*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lévy-Leboyer. M. (1964). *Les Banques Européenes et l'industrialisation internationale dans la première moitié du XIX^e siècle*. Paris: P.U.F.
- Lyons, J.S. (1987). "Powerloom profitability and Steam Power Costs". *Explorations in Economic History*, vol. 24, núm. 4, pp. 397-400.
- Lyons, J.S. (1989). "Family Response to Economic Decline: Handloom Weavers in Early Nineteenth-Century Lancashire". *Research in Economic History*, vol. 2, pp. 45-91

- Maluquer de Motes, J. (1985): "La Revolución Industrial en Cataluña", en Sánchez-Albornoz, N. (ed.), *La modernización económica de España, 1830-1930*, Alianza, Madrid, pp. 199-225.
- Maluquer de Motes, J. (1998). *Història econòmica de Catalunya. Segles XIX i XX*. Barcelona: Universitat Oberta - Proa.
- Mokyr, J. (1974). "Industrial Revolution in the Low Countries". *Journal of Economic History* **34** (2), pp. 365-391.
- Mokyr, J. (1990). *The Lever of Riches*. Oxford: Oxford University Press.
- Nadal, J. (1974). *El fracaso de la Revolución Industrial en España*. Barcelona: Ariel.
- Nadal, J. (1983). "Los Bonaplata: tres generaciones de industriales en la España del siglo XIX". *Revista de historia económica* **1** (1), pp. 79-95.
- Nadal, J. (1991a). "La indústria cotonera". In Nadal, J. Maluquer de Motes, J. and Cabana, F. (eds). *Història Econòmica de la Catalunya contemporània* **3**. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, pp. 12-85.
- Nadal, J. (1991b). "La metal·lúrgia". In Nadal, J. Maluquer de Motes, J. and Cabana, F. (eds). *Història Econòmica de la Catalunya contemporània* **3**. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, pp. 159-202.
- Nadal, J. (1992a). *Moler, tejer y fundir. Estudios de historia industrial*. Barcelona: Ariel.
- Nadal, J. (1992b). "Los Planas, constructores de turbinas y material eléctrico". *Revista de Historia Industrial*, núm. 1, pp. 63-94.
- Rosenberg, N. (1963). "Capital Goods, Technology, and Economic Growth". *Oxford Economic Papers* **15** (3), pp. 217-28.
- Rosenberg, N. (1982). *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sánchez, A. (1989). "La era de la manufactura algodonera en Barcelona, 1736-1839". *Estudios de Historia Social*, núm. 48-49, pp. 65-113.
- Sánchez, A. (1996). "La empresa algodonera en Cataluña antes de la aplicación del vapor, 1783-1832", en Comin, F. and Martín Aceña, P.(eds), *La empresa en la historia de España*, Madrid: Civitas, pp. 155-170.
- Sánchez, A. (2000). "Crisis económica y respuesta empresarial. Los inicios del sistema fabril en la industria algodonera catalana, 1797-1839". *Revista de Historia Económica*, vol. 18, núm. 3, pp. 485-523.
- Sudrià, C. (1987): "El dilema energètic en el creixement econòmic català". *Revista Econòmica de Catalunya*, núm. 4, pp. 88-100.
- Temin, P. (1966). "Steam and Waterpower in the Early Nineteenth Century". *Journal of Economic History*, vol. 26, núm. 2, pp. 187-205.
- Thomson, J.K.J. (1992). *A Distinctive Industrialisation. Cotton in Barcelona: 1728-1832*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Tortella, G. (1994): *El desarrollo de la España contemporánea. Historia económica de los siglos XIX y XX*, Madrid: Alianza Universidad.
- Vicens Vives, J. and Llorens, M. (1984 [1961]). *Industrials i polítics*. Barcelona: Vicens Vives.
- Von Tunzelmann, G.N. (1978). *Steam Power and British Industrialization to 1860*. Oxford: Clarendon Press.
- Von Tunzelmann, G.N. (1995), "Time-Saving Technical Change: The Cotton Industry in the English Industrial Revolution". *Explorations in Economic History* **32** (1), pp. 1-27.

Fuentes

- Comisión del Gobierno de S.M. (1841). *Informe sobre algodones en rama y manufacturados que dió al Ministerio de Hacienda, con fecha 8 de agosto de 1840, una comisión nombrada por la Junta Revisora de los Nuevos Aranceles*. Madrid: Imprenta Nacional.
- Comisión especial arancelaria (1867): *Información sobre el derecho diferencial de bandera y sobre los de aduanas exigibles...*, Imprenta Nacional, Madrid.
- Ellison, T. (1968 [1886]): *The Cotton Trade of Great Britain*. Frank Cass, Londres.
- Ferrer Vidal, J. (1875): *Conferencias sobre el arte de hilar y tejer en general y especialmente sobre el de hilar y tejer el algodón*, Establecimiento de Jaime Jepús Roviralta, Barcelona.
- Figuerola, L. (1968[1849]). *Estadística de Barcelona en 1849*. Madrid: Instituto de Estudios Fiscales.
- Gimenez Guted, F. (1862): *Guia fabril e industrial de España. publicada con el apoyo y autorización del gobierno de S.M.*, Librería Española y Librería del Plus Ultra, Madrid y Barcelona.
- Gutiérrez, M.M. (1834). *Comercio libre o funesta teoría de la libertad económica absoluta*, Madrid: M. Calero.
- Gutiérrez, M.M. (1837). *Impugnación a las cinco proposiciones de Pebrer sobre los grandes males que causa la ley de aranceles...* Madrid: Imprenta de M. Calero.
- Junta de fábricas (1850): *Censo de fábricas de 1850*. Arxiu del Foment de Treball Nacional.
- Madoz, P. (1846): *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*, Madrid.
- Mann, J.A. (1968 [1860]): *The Cotton Trade of Great Britain*, Frank Cass, Londres.
- Ronquillo, J.O. (1851-1857): *Diccionario de materia mercantil, industrial y agrícola*, Imprenta Gaspar, Barcelona.
- Sayró, E. (1842): *Industria algodonera de Cataluña*, Imprenta Nacional, Madrid.

Apéndices. Por razones de espacio no se incluyen los dos apéndices que acompañan a este artículo y que se pueden obtener directamente del autor (jroses@clio.uc3m.es).