

DESARROLLO CIENTIFICO Y CAMBIO TECNICO EN LA SIDERURGIA VASCA DEL SIGLO XIX: LAS EXPERIENCIAS CHENOT, TOURANGIN Y GURLT*

RAFAEL URIARTE AYO

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

RESUMEN

Durante la segunda mitad del siglo XIX, en un momento en el que las técnicas tradicionales para la producción de hierro en el horno bajo habían quedado definitivamente arrinconadas, hubo diversas tentativas para tratar abaratar y reducir los tiempos de producción del hierro dulce, conservando las ventajas del procedimiento directo. Aunque la intuición, el empirismo y los conocimientos adquiridos en el entorno productivo seguían siendo elementos básicos en los procesos de cambio técnico, las experiencias aquí analizadas reflejan de qué modo empresarios e industriales siderúrgicos empezaron a incorporar conocimientos teóricos y alternativas más cercanos al ámbito científico.

ABSTRACT

During the second half of the 19th century, in a moment where traditional techniques for the iron production in the low furnace had been definitely neglected, there were various attempts to try to reduce costs and production times in wrought iron-making, preserving the advantages of the direct process. Though the intuition, the empiricism and the knowledge acquired in the productive environment remained being basic elements in the technical change processes, the experiences here analyzed reflect how entrepreneurs and siderurgical industrialists began to incorporate theoretical knowledge and alternatives nearest to scientific field.

Palabras clave: Industrialización, Transferencia tecnológica, Siderurgia, País Vasco, Siglo XIX.

* Deseo hacer constar mi agradecimiento hacia la fundación Georg Fischer por su amable hospitalidad y las facilidades ofrecidas para la consulta de los inestimables fondos de la Eisenbibliothek (Schaffhouse).

1. Introducción

Mediado el siglo XIX, la siderurgia vasca se debatía en un complejo e incierto proceso de cambio, donde estructuras productivas heredadas del Antiguo Régimen coexistían con nuevas instalaciones, tecnologías y productos. A pesar de que las tradicionales ferrerías tan solo permanecían activas allí donde confluían circunstancias muy específicas¹, lo cierto es que en 1848 todavía se contabilizaban un total de 186 instalaciones de este tipo repartidas entre el País Vasco y Navarra². Por su parte, las nuevas tecnologías que trataban de implantarse y las estrategias empresariales que las sustentaban no habían logrado todavía imponer un modelo alternativo de perfiles bien definidos.

El cambio técnico, con frecuencia presentado de forma excesivamente lineal, estaba siendo el resultado de un complejo proceso de búsqueda, ensayo y contrastación. En este contexto, junto a pautas más extendidas y experimentadas, el País Vasco, principalmente Vizcaya, dio acogida a iniciativas de modernización más minoritarias y peor conocidas. Los llamados hornos *Chenot* y posteriormente los *Tourangin* y *Gurlt*, aunque nunca lograron imponerse en una estructura industrial marcada precisamente por la *heterogeneidad y diversificación*³, fueron sin duda una experiencia importante en el tránsito hacia una nueva vía de desarrollo para la siderurgia vasca⁴.

Fieles al procedimiento directo, las técnicas mencionadas se adaptaban a la específica dotación de recursos existentes en la zona, particularmente en lo que se refiere al mineral, hacían uso de una mano de obra adiestrada en la industria siderúrgica tradicional y, sobre todo en el caso de los hornos *Tourangin-Gurlt*, permitían reutilizar las viejas instalaciones de ferrerías abandonadas por la crisis definitiva de dicho sector. Aunque el desarrollo futuro de la siderurgia a nivel internacional, acabará poniendo de manifiesto el fracaso de la vía abierta por *Chenot*, se trata de una experiencia cuyo estudio nos permitirá penetrar en aspectos significativos del complejo proceso de cambio técnico y modernización de la industria del hierro y el acero. La literatura científica y tecnológica de la segunda mitad del siglo XIX, donde los procedimientos estudiados fueron descritos con relativo detalle, constituye una parte fundamental del material utilizado en el trabajo. Las *Estadísticas Mineras* también han resultado una fuente rica en detalles. La documentación notarial, finalmente, me ha permitido desvelar aspectos significativos que, de otro modo, hubiera sido necesario omitir.

2. A. Chenot: breves notas biográficas

De acuerdo con los datos biográficos proporcionados por E. Grateau [1859, p. 5-9], Adrian Chenot (1803-1855) se formó académicamente en la *Ecole des mines* de París. En 1822 concluyó sus estudios y en 1823 llevó a cabo los primeros ensayos de un nuevo procedimiento metalúrgico que tenía como objetivo la obtención de hierro mediante el procedimiento directo, utilizando hulla como combustible. Sin que sus ensayos pudieran concluir con éxito, se trasladó a Auvergne, donde permaneció hasta 1830, realizando únicamente estudios de laboratorio. En 1830 se desplazó a Haute-Saône y al año siguiente consiguió establecer un horno para el tratamiento directo del mineral de hierro, de acuerdo con ensayos al parecer practicados previamente en Saponcourt y utilizando oligistos de Servance. Entre 1831 y 1834 A. Chenot pudo realizar numerosas experiencias prácticas en diversas instalaciones de Haute-Saône, Pirineos y Vierzon. Su objetivo prioritario era la producción de hierro esponja como paso intermedio para la obtención directa de hierro o acero. Después de un largo paréntesis en el que diversas circunstancias le obligaron a paralizar sus investigaciones, en 1846 volvió a Clichy-la-Garenne (Departamento del Sena) y tras nuevos ensayos practicados en dicha localidad y en Ariège acabó por definir los aspectos fundamentales de su nuevo procedimiento. En 1851 la *Exposición Universal* celebrada en Londres le permitirá exponer públicamente los resultados obtenidos. Sin embargo, la esponja metálica únicamente consiguió el reconocimiento del jurado como material de construcción (pavimentación, enlosado, etc.), pero no como medio para la fabricación industrial de hierro o acero⁵. A partir de entonces sus esfuerzos se centrarían en la fabricación industrial de acero, *repond à un besoin économique de l'époque* [Cfr. PERCY, 1864, p. 335]. En la *Exposición Universal* celebrada en París en 1855, A. Chenot recibió una de las Grandes Medallas de Oro, y su nuevo procedimiento sería calificado por Le Play como *the greatest metallurgical discovery of the age* [Cfr. PERCY, 1864, p. 335]. Aunque de forma matizada, en esta ocasión el jurado reconoció las aportaciones a la técnica siderúrgica realizadas por Chenot⁶. No obstante, de acuerdo con la información facilitada por J. Percy, la concesión del galardón fue controvertida y estuvo envuelta en extrañas circunstancias. En dos primeras votaciones no se alcanzó el acuerdo necesario para que A. Chenot recibiera la más importante distinción concedida por el jurado. La Medalla fue finalmente concedida en una tercera votación, una vez que el propio J. Percy y los miembros del jurado procedentes de Prusia y Austria hubieran abandonado París, lo cual motivó enérgicas y fundadas protestas. Al parecer, las presiones ejercidas para que A. Chenot recibiera el pleno reconocimiento en el certamen de París tenían como objetivo apoyar la introducción del procedimiento en Rusia, lo cual debió llevarse a cabo años más tarde⁷. Tras la clausura de la *Exposición*, A. Chenot murió al caer, al parecer accidentalmente, por una

ventana. Tras su fallecimiento, en la *Exposición Universal* de 1862, de nuevo en Londres, fue presentado de forma poco afortunada un modelo perfeccionado del procedimiento que a juicio de J. Percy indicaba su propio fracaso y que pasó prácticamente inadvertido [PERCY, 1864, p. 335].

En el terreno de la producción industrial, indudablemente el procedimiento ideado por Chenot no alcanzó la difusión ni el éxito que su apasionado cronista E. Gateau había pronosticado. La primera planta para la producción industrial de hierro y acero establecida de acuerdo con sus principios se construyó en Baracaldo (Vizcaya, 1852). Más tarde, se erigieron otras en Clichy-la-Garenne, (Departamento del Sena, 1855), Coulliete, (Bélgica, 1856), Pontcharra, (Departamento de Isère, 1856) y Hautmont, (Departamento de Nord, 1857) [GRATEAU, 1859, p. 10]. Aunque siempre de manera poco extendida, tras sucesivas mejoras introducidas por diferentes metalurgistas, el procedimiento consiguió mantenerse en activo por varias décadas y numerosas patentes fueron registradas como variantes del mismo⁸.

3. Los métodos Chenot, Tourangin y Gurlt: alternativas tecnológicas para una siderurgia en transición

Tal como fue ideado por A. Chenot, el sistema tenía como principal objetivo la producción de acero fundido. No obstante, en una primera fase se obtenía hierro en estado de esponja como producto intermedio, pudiendo ser forjado directamente para la obtención de hierro dulce o, en su caso, carburado y fundido para la producción de acero.

Como en todo proceso metalúrgico, en primer lugar se realizaba una adecuada selección y preparación del mineral a utilizar. Tras su lavado, el mineral era clasificado por tamaños, troceando las grandes rocas y aglutinando las más pequeñas para conseguir un tamaño uniforme de unos treinta centímetros cúbicos [GRATEAU, 1859, p. 40 y ss.; PERCY, 1864, pp. 337 y ss.]. Posteriormente, el mineral se mezclaba con cisco de carbón vegetal (agente reductor) y se introducía en una retorta vertical de ladrillos, calentada exteriormente, lo cual permitía el uso de cualquier clase de combustible (agente calorífico) capaz de elevar las paredes de la retorta hasta el rojo vivo. El mineral quedaba reducido a una masa esponjosa de hierro puro. Antes de ser extraída del horno y para evitar su reoxidación espontánea en contacto con el aire, se procuraba que la esponja enfriara, haciéndola permanecer en una alargadera de palastro situada en la parte inferior de la retorta. Una vez fría y tras realizar la operación de descarga era necesario clasificar la esponja por medio de un tromel. De este modo, se obtenían tres productos: 1) esponja pura, 2) fragmentos de esponja y trozos de carbón y 3) carbón mezclado con

cierta cantidad de esponja, generalmente no superior al 5% del producto total. Para separar finalmente el carbón y el hierro se hacía uso de un ventilador o se empleaban procedimientos magnéticos. A partir de este momento, la esponja podía ser reducida a tochos y barras mediante forja, o tratada para su transformación en acero. En este último caso, era necesario mezclarla previamente con carbono y manganeso en las proporciones adecuadas (*cementación en frío*). En la práctica, si el mineral utilizado contenía ya manganeso, como era el caso del extraído de Somorrostro, se añadía únicamente carbón vegetal y resina para compactar. La esponja así carburada era sometida posteriormente a un proceso de comprensión y moldeado, quedando reducida a 2/3 de su volumen primitivo, en forma de pequeños ladrillos cilíndricos, utilizando para ello máquinas de diferentes diseños [GRATEAU, 1859, pp. 40 y ss.]. Finalmente, se efectuaba la fusión en un proceso semejante al de las acerías de Yorkshire⁹.

Las instalaciones que inicialmente se construyeron en Clichy-la-Garenne, utilizadas principalmente para fines experimentales, estaban dotadas de un sólo horno reductor de 1,5 m. de largo por 0,5 m. de ancho. En Baracaldo, sin embargo, se levantaron dos hornos de 1,3 m. de largo, 0,60 m de ancho y 8 m. de alto. En Hautmont, tras haber comprobado las ventajas del nuevo diseño, también fueron construidos dos hornos, en este caso de 2 m. de largo por 0,5 de ancho y una altura de 8,5 m. Teniendo en cuenta la base de mampostería sobre la que descansaban las retortas, al nivel del suelo la altura era de 13 m. y añadiendo la fosa donde se situaba el sistema de descarga el total del aparato tenía una altura de 14,2 m.. Los hogares situados en los laterales (tres en el caso de Hautmont) comunicaban con las retortas por medio de un complejo sistema de canales horizontales y verticales, transmitiendo de este modo el calor necesario para la reducción¹⁰.

Los aparatos de refrigeración también podían presentar cambios en sus dimensiones y disposición. Generalmente, se trataba de una gran caja de palastro de doble pared por donde circulaba una corriente de aire frío. En Hautmont tenía 3 m. de altura, mientras que en Baracaldo se acercaba a los 7 m.. Situada a una cierta distancia del suelo (0,60 m. en Hautmont), por debajo se colocaban los carriles por donde se movían las vagonetas donde se recibía la esponja ya fría [BARINAGA Y CORRADI, 1875, pp. 722-724].

Suponiendo una instalación con dos retortas, el proceso se iniciaba cargando el horno con carbón vegetal menudo y mineral en unas proporciones de uno a tres, distribuyendo la carga en igualdad entre ambas retortas. En el hogar se introducía hulla en cantidades variables en función de su calidad y rendimientos de cada instalación. Transcurridos tres días, de cada retorta se extraía un tercio de la carga ya reducida para, seguidamente, alimentar

nuevamente el horno con las proporciones adecuadas de mineral y carbón, repitiéndose el proceso a intervalos de 24 horas. La esponja así obtenida debía permanecer por espacio de tres días en el aparato de refrigeración, de modo que el proceso completo concluía transcurridos seis días [BARINAGA Y CORRADI, 1875, pp. 722-724]. La mano de obra, empleada en turnos de doce horas, estaba compuesta por un maestro, dos ayudantes y un muchacho. El primero supervisaba y dirigía las operaciones, uno de los ayudantes se ocupaba de preparar el mineral, triturarlo, etc., el otro realizaba las cargas y descargas, y, finalmente, el muchacho debía vigilar la limpieza del mineral y carbón utilizados.

Tal como se ha dicho, el procedimiento Chenot fue objeto de numerosas variantes. Tras la muerte del inventor, sus propios hijos y otros empresarios y metalurgistas trataron de perfeccionarlo, corrigiendo alguno de los inconvenientes y dificultades que la práctica había puesto de manifiesto. En esta línea de mejoras, casi siempre conseguidas a través del tanteo y la experimentación, conocemos el proceso llevado a cabo en la empresa *Laramade*, en las proximidades de Vicdessos (Ariège), antigua forja catalana inicialmente equipada con dos hornos bajos. Tal como es detalladamente descrito por Mussy, en los años sesenta, tras haber implantado el primitivo sistema Chenot, los métodos de fabricación fueron variando en las sucesivas campañas y el horno reductor acabó transformándose en un pequeño alto horno, de proporciones semejantes a los antiguos *Stuckofen*¹¹.

Al margen de posibles experiencias paralelas llevadas a cabo en otras instalaciones, desde la perspectiva de la siderurgia vasca, los logros más importantes, tanto desde el punto de vista técnico como económico, se debieron a E. Tourangin. En lo fundamental, el citado metalúrgico consiguió eliminar el complejo y costoso proceso de separación del hierro esponja y el carbón sobrante tras la reducción, redujo el tiempo para la refrigeración de la esponja metálica, simplificó el diseño y construcción de los hornos e incrementó su capacidad, lo cual incidía sobre los aspectos más conflictivos del procedimiento Chenot. Por lo que se refiere al combustible, mientras Chenot había logrado utilizar hulla y carbón vegetal (cisco) sólo como reductor, el método Tourangin exigía el empleo exclusivo de carbón vegetal, aunque reduciendo significativamente el consumo final¹².

Técnicamente la variante principal introducida por Tourangin consistió en separar el carbón del mineral y utilizar óxido de carbono como reductor. Con ello, se prescindía del sistema de canales que rodeaban las retortas en el procedimiento Chenot y, una vez terminada la operación, el metal quedaba básicamente libre de impurezas. Por otro lado, para evitar su reoxidación al contacto con el aire, el hierro ya reducido era recalentado junto a los tragantes

por donde era introducido el gas reductor en la cuba central. De este modo, sin que la ganga llegara a fundir, se conseguía soldar las partículas de hierro, eliminando en gran medida su posible inflamación y reoxidación [BARINAGA CORRADI, 1875, p. 729].

Tal como fue descrito por J. Bruno de la Peña siguiendo observaciones realizadas en la ferrería vizcaína de Vedia veinte días después de que se pusiera en funcionamiento [BRUNO DE LA PEÑA, 1862, pp. 33-43], el horno Tourangin consistía en una cuba central donde se introducía el mineral y dos hogares laterales donde debía generarse el gas necesario para su reducción. En su parte inferior ambos hogares disponían de una tobera por la que se introducía el aire que, tras atravesar una capa de carbón incandescente de unos sesenta u ochenta centímetros de grosor, se transformaba en óxido de carbono y nitrógeno. De este modo, y puesto que en su parte superior los hogares se encontraban herméticamente cerrados¹³, se forzaba una corriente de gases (mezcla de óxido de carbono y nitrógeno) hacia la cuba central con la temperatura suficiente para reducir el mineral. Cercana a la tobera, los hogares tenían otra abertura que permanecía cerrada con ladrillo y barro durante la marcha del horno y que se destapaba cuando era necesario retirar los residuos de la combustión del carbón. La altura del aparato debía ser de unos 4 m. y su anchura 0,80 m.

Aquellas ferrerías que adoptaron el sistema Tourangin generalmente lo hicieron con variantes más o menos importantes. En la de *Usánsolo* (Vizcaya) cada hogar disponía de dos toberas y en *Astepe* (Vizcaya) se introdujeron los llamados hornos Gurlt. Frederick Gurlt tenía patente británica de su procedimiento fechada en 16 de julio de 1856 (nº 1679)¹⁴, mientras que, como veremos, Tourangin patentó su método en Francia con fecha de 25 de marzo de 1853 y en España en 27 de julio de 1855. Puesto que ambos procedimientos tenían notables semejanzas¹⁵, a pesar de que los propietarios de *Astepe* alegaron que en su establecimiento se *seguía el procedimiento ideado por el alemán Gurlt*¹⁶, se entabló un largo y complejo litigio entre las partes. También *Santa Ana de Bolueta* debió incorporar algún horno Gurlt en sus instalaciones hacia los años sesenta [JORDAN, 1872, p. 150].

Fuera del País Vasco, concretamente en Río Tinto, el ingeniero E. Cossio consiguió corregir la gran desigualdad con la que generalmente tenía lugar la reducción. Para ello, por medio de un tabique vertical, separó la cuba central de sus hornos en dos partes y tapando alternativamente cada una de ellas lograba controlar el proceso de reducción y hacerlo mucho más uniforme¹⁷.

De manera general, la marcha en los hornos Tourangin se iniciaba cargando de carbón vegetal los generadores y de mineral (en trozos de tres a cinco centímetros de diámetro) la cuba central. En las instalaciones de *Usánsolo* se introducían 1400 Kg de mineral y 400 Kg de carbón vegetal, siendo el producto 1000 Kg de hierro esponja. Cuando la temperatura del horno en su tercio inferior alcanzaba los 700-800° C°, se iniciaba la reducción. Cada ocho o doce horas tenía lugar la operación de descarga de la esponja, utilizando para ello la puerta inferior de la cuba. Por medio de una rejilla e introduciendo barras de hierro se dividía la carga en dos partes y se daba salida a la parte inferior ya reducida. Según se extraía, la esponja era depositada en unos pequeños vagones de un quintal métrico de capacidad, cubierta con un poco de carbonilla y comprimida con una pala para darle cierta compacidad. Durante la operación, para evitar que penetrara aire en el horno y reoxidara nuevamente el hierro ya reducido, se tapaba el tragante central con una chapa de palastro y simultáneamente se disminuía la corriente de las toberas. Una vez concluida la descarga se volvía a cerrar la puerta de salida, tapándola con lodo para evitar la entrada de aire, se apartaban las barras de la rejilla y se efectuaba una nueva carga. Tras enfriar, la esponja era sometida a forjado en fraguas y martinets tradicionales para su transformación en tochos o barras. Dicha operación, además de producir elevadas pérdidas, resultaba demasiado lenta, necesiándose tres forjas para el tratamiento de la esponja obtenida en dos hornos de reducción. Un horno de las características descritas trabajaba ininterrumpidamente, día y noche, se efectuaban tres descargas diarias y se obtenían 42 quintales por jornada. El número de operarios empleados era cinco, de los cuales dos se ocupaban de preparar el mineral.

4. La siderurgia vizcaína: tradición y cambio técnico

Aunque existen ciertos datos contradictorios, de acuerdo con E. Grateau, el primer establecimiento que utilizó industrialmente el procedimiento Chenot se construyó en Baracaldo en 1852, a pesar de que todavía en 1851 existían aspectos básicos del mismo que no habían sido resueltos satisfactoriamente [GRATEAU, 1859, pp. 9-10]. Se trataba de la futura fábrica *Nuestra Señora del Carmen* que, sin embargo y según sus propietarios (la *Sociedad Ibarra, Hermanos y Cía*), fue construida entre 1855 y 1860¹⁸. I. Goenaga, por su parte y en un mismo texto, nos da las fechas de 1857 y 1859 [GOENAGA, 1883, p. 447 y 450]. Cualquiera que sea la fecha exacta, lo cierto es que con anterioridad a 1855 A. Chenot, J. de Vilallonga y la *Sociedad Ibarra, Hermanos y Cía*, habían obtenido del gobierno español *privilegio de introducción con objeto de asegurar la propiedad de un procedimiento para el tratamiento de los óxidos metálicos o de sus compuestos*¹⁹, y uno de los hijos

del inventor fue quien personalmente montó los primeros hornos con los que la citada factoría inició su actividad²⁰.

No podemos precisar de qué manera se establecieron las conexiones entre A. Chenot y los empresarios que hicieron posible la introducción de su procedimiento en España. No obstante, sabemos que los establecimientos franceses que trabajaron con el sistema Chenot lo hicieron empleando mineral procedente de Somorrostro y fue precisamente *Ibarra, Hermanos y Cía* quien garantizó los necesarios suministros²¹. Por otro lado, el empresario catalán J. de Vilallonga, miembro de la citada sociedad, había realizado estudios de ingeniería en Burdeos y viajado por Francia, Bélgica e Inglaterra, por lo que era un buen conocedor de las técnicas siderúrgicas desarrolladas en Europa [GONZALEZ PORTILLA, 1977, p. 75; NADAL, 1975, p. 180]. Las circunstancias mencionadas debieron propiciar el establecimiento de los contactos personales necesarios para la materialización del proyecto.

En 1867, tras más de una década de funcionamiento, *Nuestra Señora del Carmen* era ya un complejo y moderno establecimiento en el que coexistían diversas tecnologías y líneas de producción. Empleaba directamente a un total de 420 hombres y 60 mujeres, disponía de viviendas para los empleados y obreros, iglesia y fábrica de gas propia para el alumbrado. Las instalaciones industriales básicas eran dos altos hornos, uno de ellos al carbón vegetal y el otro alimentado con coque, diez hornos de pudelado asociados a ellos y ocho hornos de reducción por el sistema Chenot con siete afinerías. El complejo contaba además con varias máquinas de vapor, martillos pilones, tren de laminación, extensos almacenes y un *laboratorio químico completo para analizar los materiales y los productos de los citados hornos*²². Desconozco en qué medida el citado laboratorio pudo condicionar decisiones de inversión u orientaciones técnicas en *Nuestra Señora del Carmen*. En cualquier caso, su presencia es indicativa del carácter innovador de la factoría y de la actitud empresarial que la guiaba²³.

En términos comparativos, de acuerdo con la información facilitada por E. Grateau, hacia 1859 las instalaciones de Baracaldo aventajaban claramente en costes a los establecimientos de similares características existentes en Francia (cuadros 1 y 2). El factor determinante residía sin duda en el mineral; mientras en Baracaldo el coste de una tonelada era de 10 francos, en Coulliet y Hautmont el mineral transportado desde Somorrostro tenía un coste de 45 o 50 francos por tonelada²⁴. También existían ventajas del lado del combustible. El cisco de carbón vegetal empleado en la reducción, se obtenía en *parte del cribaje de carbón de leña que acopia el establecimiento*²⁵. De este modo, mientras el carbón vegetal utilizado en uno de los altos hornos tenía un coste a pié de fábrica de 32 rs. por quintal métrico, el cisco destinado a los hornos

Chenot costaba tan sólo 15 rs. De hecho, tal como afirma I.L. Bell, prestigioso metalurgista inglés que visitó la factoría en 1872, la permanencia del procedimiento se debió a la posibilidad de utilizar como reductor un material que en caso contrario hubiera sido desechado²⁶.

Sin embargo, a medida que se conseguía mejorar la calidad del hierro dulce obtenido a través del procedimiento indirecto y se consolidaba la producción de acero Bessemer, la inferioridad del método Chenot resultará evidente²⁷. Frente al convertidor Bessemer, I.L. Bell estima que los hornos Chenot consumían 2,3 veces más combustible y tenían una pérdida de hierro metálico 3,5 veces superior²⁸.

De acuerdo con I. Goenaga, los hornos Chenot del citado establecimiento estuvieron en actividad hasta fines de 1871, en que se abandonaron *porque el sistema indirecto de hornos altos al carbón vegetal, según los interesados, da mejores resultados*²⁹. Al margen de las dificultades técnicas a las que ya hemos hecho mención, la construcción de los hornos Chenot era compleja y tenía un elevado coste. De hecho eran casi tan costosos como los propios altos hornos, sin que existiera una clara ventaja en los resultados³⁰. Por otro lado, como es sabido, en la fabricación de acero y a pesar del criterio mantenido por Ed. Grateau³¹, el procedimiento Bessemer acabará imponiéndose, frustrando las esperanzas depositadas en el método Chenot.

Por lo que se refiere a E. Tourangin, sabemos que patentó su procedimiento en Francia con fecha de 25 de marzo de 1853³². Poco tiempo después se trasladó al País Vasco, fijando su residencia en la localidad vizcaína de Arrancudiaga. A principios del año 1855 realizaba las primeras gestiones con objeto de conseguir la aprobación de su patente en España. Concretamente, en 23 de marzo del citado año otorgó poder a J.E. Galdos, con residencia en Madrid, para que obtuviera del gobierno *el permiso y patente de introducción en este Reino de España de un procedimiento también con patente en Francia [...] para un método perfeccionado en la fabricación de hierro por el sistema catalán*³³. Como resultado de dichas gestiones, obtuvo el correspondiente privilegio por Real Cédula fechada en 27 de julio de 1855, quedando registrado en el Conservatorio de Artes con el número 1275³⁴. Por otro lado, E. Tourangin trató de conseguir la *invalidéz del privilegio de invención para la elaboración de hierro por el método Chenot*³⁵ que, como hemos visto, había sido otorgado con anterioridad al propio A. Chenot y a los dueños de *Nuestra Señora del Carmen*. Estos, por su parte, se vieron forzados a entrar en litigio, para lo que otorgaron poder a P. Zavala, *a fin de que conteste lo conveniente, sostenga dicho privilegio en toda su extensión y haga que se impongan al infractor las penas que marca la ley*³⁶.

CUADRO 1. *Costes de Producción de 1 Tm. de esponja de hierro, C.1859 (Frc.)*

	Couillet	Hautmont	Pontcharra	Baracaldo
Mineral	59'50	59'50	53'00	13'20
Carbón mineral	15'00	18'00	30'00	15'00
Carbón vegetal	26'30	26'30	24'50	17'50
Mano de Obra	2'50	3'00	2'00	2'00
TOTAL	101'30	106'80	89'50	57'70

Fuente: [GRATEAU, E., 1859, p. 62].

CUADRO 2. *Precios finales de 1 Tm. de acero C.1859 (Frc.)*

	Couillet	Hautmont	Poncharra	Baracaldo
Acero soldado laminado	265'50	281'50	255'50	189'00
Acero pudelado laminado	175'00	230'00	326'00	195'00
Acero fundido laminado	297'00	342'00	402'00	297'50
Acero fundido martillado	355'50	402'00	443'00	335'00

Fuente: [GRATEAU, E., 1859, p. 62].

Simultáneamente, E. Tourangin tomó en arriendo varias ferrerías con objeto de reformarlas y establecer en ellas su nuevo sistema. De acuerdo con las escrituras que he podido localizar, en 23 de febrero de 1855 arrendó por espacio de cuatro años la ferrería de *Anuncibay*, situada en Orozco³⁷, y en 17 de marzo del mismo año la ferrería *Gastaca* de Arrancudiaga por nueve años³⁸. Fuera de Vizcaya, en el valle burgalés de Mena, con fecha de 9 de agosto de 1856, estableció una sociedad industrial con M.M. Quintana, cuya duración se fijó en cuatro años y que tenía como objeto la reforma y explotación de cuatro ferrerías que el citado Quintana tenía en arriendo³⁹.

Al margen de las peculiaridades de cada contrato, las ferrerías fueron arrendadas de acuerdo con las condiciones acostumbradas en este tipo de documentos, siendo el aspecto más conflictivo el que hacía referencia a la financiación de las obras de mantenimiento o reforma de las instalaciones⁴⁰. En síntesis, el propietario debía hacer entrega del establecimiento en estado labrante y, concluido el contrato, debía ser devuelto en igual estado por parte del arrendatario. Tanto en *Gastaca* como en *Anuncibay*, E. Tourangin tenía absoluta libertad para emprender y ejecutar cuantas obras considerase necesarias, siempre con la condición de que las ferrerías fuesen devueltas a su

estado primitivo una vez concluidos los respectivos contratos⁴¹. En la Sociedad constituida con M. Quintana, E. Tourangin asumía las tareas de dirección de los trabajos y de instrucción de los operarios, quedando bajo la responsabilidad del primero los aspectos administrativos y de gestión de la empresa⁴².

En 1860, E. Tourangin estaba ya en condiciones de hacer públicos los resultados obtenidos. Según relata el ingeniero I. Goenaga, en dicha fecha asistió junto con el químico M. Bonet y el oficial de artillería M. Aspiroz a los primeros ensayos de obtención del hierro-esponja por el método Tourangin realizados por el mismo inventor en la ferrería *Gastaca*, calificándolos como *sumamente favorables, comparados con los de las ferrerías* [GOENAGA, 1883, p. 448]. La *Estadística Minera* de 1862 constata la reconversión hacia otros usos industriales de antiguas ferrerías y menciona que *alguna de estas forjas adoptan el sistema Tourangin*⁴³. Ciertamente, frente al método Chenot, recluido desde un principio a un único establecimiento, los hornos Tourangin acabaron introduciéndose en algunas de las viejas ferrerías vizcaínas. No obstante, tal como las propias *Estadísticas Mineras* nos revelan, la difusión del procedimiento quedó limitada a un número reducido de establecimientos y localidades⁴⁴.

En cualquier caso, conviene que nos detengamos en analizar las razones del relativo *éxito* conseguido por Tourangin. Su adecuación a la específica dotación de recursos existentes en la región sin duda fue un factor determinante. El mineral de hierro existente en Somorrostro era difícilmente sustituible y Tourangin *llegó a conseguir su objeto, gracias en parte a la excelente calidad y dulzura de los minerales de Vizcaya* [VICUÑA, 1875, p. 42]. La utilización de carbón vegetal, desde un primer momento se consideró también como un elemento positivo (*es una modificación muy conveniente para las forjas del país, porque no es necesario el carbón mineral para obtener el hierro esponja*⁴⁵). Vizcaya carecía de yacimientos de carbón fósil, sin embargo, seguía manteniendo una superficie forestal de cierta extensión, tradicionalmente destinada a la producción de carbón vegetal con destino a ferrerías ya inactivas. Dadas las dificultades técnicas existentes para su transporte, en la mayoría de las ocasiones, el carbón no hubiera tenido salida comercial de no existir instalaciones suficientemente próximas a las zonas boscosas. La posibilidad de hacer uso de instalaciones ya existentes, introduciendo modificaciones inicialmente no muy complejas y de bajo coste, también fue una circunstancia importante⁴⁶. Además de reducir el volumen de inversión inicial, posiblemente también permitió el empleo de una mano de obra, cuyo adiestramiento previo en instalaciones tradicionales debió facilitar su incorporación al trabajo en los nuevos establecimientos⁴⁷.

En términos cuantitativos, frente a la ferrería tradicional, las teóricas ventajas del procedimiento se materializaban en un notable incremento de la capacidad productiva, una mayor eficiencia técnica, sobre todo en lo que se refiere al consumo de combustible, y unos costes de producción inferiores, manteniendo el mismo nivel de calidad.

La ventaja de costes es puesta de relieve con claridad por I. Goenaga [1883, p. 448]. De acuerdo con sus datos, la producción de un quintal métrico de hierro dulce planchuela tenía los siguientes costes según el procedimiento empleado:

- ferrería tradicional *bien montada* 30,50 pts.
- ferrería tradicional con *algunas modificaciones* 26,50 pts.
- fábricas hierro esponja, procedimiento Tourangin 20,45 pts.
- alto horno al carbón vegetal y pudelado con hulla 18,25 pts.

El mismo autor nos proporciona una estructura de costes y consumos para el procedimiento Tourangin donde los coeficientes técnicos para el mineral son de 2,22 y para el carbón vegetal de 1,61⁴⁸. En el cuadro 2 se estiman coeficientes técnicos del mineral para diferentes establecimientos y fechas, algo superiores a los que se obtienen según los datos de I. Goenaga. En cualquier caso, tal como ha sido analizado por L.M. Bilbao, donde reside con claridad la ventaja de los hornos Tourangin es en el bajo consumo de combustible. Hacia 1827, las ferrerías tradicionales en Vizcaya tenían coeficientes medios para el combustible superiores a 5 [URIASTE AYO, 1988, p. 140] y en 1867, las ferrerías navarras trabajaban con coeficientes superiores a 4 [BILBAO, 1988, p. 245].

CUADRO 3. *Coefficientes técnicos del mineral*

	Astepe	Vediacolea	Usándolo	Plaza	N.S. Guadalupe
1870	3'16	2'97	-	-	-
1871	3'16	2'97	-	-	-
1873	3'02	-	-	-	-
1876	2'91	-	3	-	-
1878	2'24	-	2'25	2'25	2'82
1880	2'50	-	2'25	-	2'23
1882	3'33	-	-	-	-
1884	3'33	-	-	-	-
1886	3'36	-	-	-	-

Fuente: *Estadísticas Mineras.*

En cuanto a la producción, en la segunda mitad del siglo XVIII, los niveles medios por ferrería y año se situaban en torno a las 45 Tm.⁴⁹, mientras que los establecimientos que incorporaron el sistema Tourangin podían llegar a producir anualmente por encima de las 600 Tm., y en el caso de la fábrica *Astepe* (método Gurlt) se alcanzaron máximos de 2.300 Tm.⁵⁰. En realidad, al margen de otras variables, técnicamente la capacidad de producción de las diferentes empresas podía variar de manera sustancial de acuerdo con el número de hornos instalados y la mano de obra empleada. En 1866 la fábrica *Astepe* disponía de 4 hornos de reducción y 4 forjas de afino, siendo su producción de 1.380 Tm.. La misma empresa en 1871 producía 2.300 Tm., empleando 8 hornos, 6 forjas y un total de 142 operarios. En *Bediacoleta* se trabajaba con 3 hornos de reducción en 1868, produciendo 414 Tm., y con 2 hornos, 3 fraguas y 40 operarios en 1871, produciendo 470 Tm. En *Irauregui* en 1877 tan sólo existía 1 horno de reducción y 2 forjas de afino, el número de empleados era 8 y se produjeron 250 Tm.⁵¹.

Como en todo procedimiento directo, la pureza y el bajo punto de fusión del mineral resultaban imprescindibles. Debido a ello, el conjunto de establecimientos citados, al igual que ocurría con los hornos Chenot de *Ntra. Sra. del Carmen*, consumían de forma necesaria la vena negra (hematites) que secularmente había sido utilizada en las antiguas ferrerías⁵².

Los niveles de calidad conseguidos eran también equiparables a los que se alcanzaban en las mismas ferrerías⁵³, y la demanda se centraba en los sectores tradicionales de consumo, principalmente en la agricultura. En ocasiones, como en el caso de *Astepe*, donde se producía *mucho y excelente hierro, sumamente dulce*⁵⁴, gran parte era exportado para clavazón y otros usos.

El último establecimiento que permaneció en activo fue *Astepe (Ntra. Sra. de la Concepción)*, empresa ubicada en Amorebieta, propiedad de J.J. Jáuregui. Fue una de las primeras ferrerías que adoptaron el sistema Tourangin-Gurlt y durante las dos largas décadas en las que estuvo en actividad una vez reformada, se introdujeron constantes modificaciones, pequeños cambios y mejoras, que sin duda debieron contribuir al afianzamiento de la empresa⁵⁵. En 1890 *Astepe* abandonaría definitivamente el sistema Tourangin-Gurlt e iniciaría una nueva etapa con la puesta en marcha de un alto horno al carbón vegetal⁵⁶. Los progresos en calidad y costes alcanzados en la producción de hierro dulce mediante el procedimiento indirecto y la consolidación del sistema Bessemer para la producción industrial de acero, acabaron arrinconando una experiencia tecnológica que encontró cabida en un momento de búsqueda, experimentación y cambio.

5. Conclusiones

El proceso de cambio tecnológico que experimentó la siderurgia europea durante el siglo XVIII y primera mitad del XIX fue por lo general resultado del esfuerzo innovador realizado por numerosos industriales y artesanos anónimos directamente vinculados a la actividad productiva. En la metalurgia del hierro, al igual que en otros campos, el cuerpo de conocimientos acumulado e históricamente transmitido seguía basándose en la experimentación y el empirismo. La literatura técnica desarrollada a partir del Renacimiento, a pesar de ser un importante vehículo para la transmisión del conocimiento y su sistematización, generalmente se limitaba a describir procesos, técnicas o instrumentos en uso [MOKYR, 1990, pp. 64-65; OLSZEWSKY, 1971, pp. 57-58]. Hasta mediados del siglo XIX, la ciencia siguió siendo incapaz de explicar gran parte de los complejos procesos químicos que constituyen la base de la actividad metalúrgica. Así, quienes diariamente se enfrentaban a la obtención del hierro o del acero, lo hacían con criterios basados en la intuición, la experiencia y el saber acumulado en el propio entorno productivo⁵⁷. Sin embargo, de un modo progresivo, a partir de la segunda mitad del siglo XIX, los avances en el conocimiento científico permitieron plantear el cambio técnico bajo condiciones bien distintas⁵⁸. Las experiencias que hemos tenido oportunidad de observar en las páginas precedentes, dentro de los límites de un análisis particular, pueden ser ilustrativas de este nuevo contexto. El propio informe de E. Grateau, califica el método Chenot como *fruit de vingt-cinq ans de recherches persévérantes et s'appuyant sur des principes vraiment industriels, présente l'heureuse alliance de la science et de la pratique* [GRATEU, 1859, p. 62]. Por otro lado, tal como hemos visto, la presencia de un laboratorio de química en la empresa que adoptó por primera vez el procedimiento (*Nuestra Señora del Carmen*), resulta cuando menos indicativa de su indudable carácter innovador y de una actitud empresarial que iba más allá de la rutina y del mero empirismo.

En otro orden de cosas, junto con el indudable peso de una adecuada disponibilidad de recursos naturales, también ha quedado reflejada la importancia de una tradición siderúrgica previa, con empresariado y mano de obra capaz de realizar las adaptaciones técnicas necesarias e instalaciones que, llegado el caso, pudieron ser reconvertidas y modernizadas.

La amplitud del intervalo de tiempo existente entre invención e innovación es otro aspecto central en el análisis del cambio técnico. Por lo general, cuando quien trata de innovar es el propio inventor, circunstancia que se daría en nuestro caso, dicho intervalo puede verse ciertamente reducido⁵⁹. Apenas conocemos el sistema de patentes establecido en la España del siglo XIX [SAIZ GONZALEZ, 1995] y, como es sabido, existe una extensa polémica sobre el impacto real de las leyes de patentes en los procesos de

cambio técnico [MOKYR, 1990, pp. 247-252]. Con todo, al menos por lo que hemos tenido ocasión de comprobar tanto en el caso Chenot como Tourangin, desde la perspectiva del inventor-innovador el registro de patentes debió ser un mecanismo importante para el financiamiento y estímulo de la investigación.

Por último, aunque siempre difícil de detectar, la existencia de *una sutil y compleja red de contactos y comunicación entre personas* [ROSENBERG, 1979, p. 186] fue un elemento igualmente valioso. De hecho, si el mineral existente en Somorrostro explica la ubicación en Vizcaya de los establecimientos Chenot, Tourangin y Gurlt, la comercialización del mismo en territorio francés probablemente facilitó los contactos personales que hicieron posible la experiencia.

NOTAS

1 Por lo general, como señaló en su informe I. Goenaga, las ferrerías que lograron permanecer activas por más tiempo eran aquellas que, por su ubicación, tenían acceso privilegiado a las materias primas (combustible o mineral), o bien mantenían mercados de carácter muy local y selectivo protegidos por la distancia [GOENAGA, 1883, p. 448].

2 [BILBAO & FERNANDEZ DE PINEDO 1982, p. 226]. Sobre la persistencia del procedimiento directo en la siderurgia española, ver URIARTE [1995].

3 [BILBAO, 1988, p. 236]. En el mismo artículo, el autor nos ofrece un balance global del proceso de cambio técnico en la siderurgia vasca anterior a 1880. Un análisis que incluye el desarrollo posterior a la difusión del procedimiento Bessemer puede verse en FERNANDEZ DE PINEDO [1983].

4 Como más adelante tendremos ocasión de comprobar, Vizcaya fue la primera región donde el procedimiento Chenot consiguió implantarse con fines industriales y, posiblemente, fue el último lugar donde los hornos Chenot y Tourangin estuvieron activos. También es importante mencionar que las primeras instalaciones construidas en Francia en las décadas de los cincuenta y sesenta consumieron mineral procedente de los yacimientos vizcaínos de Somorrostro. Un cuadro general de la situación del sector en España en 1865, reflejando la diversidad tecnológica existente, puede verse en NADAL [1970, pp. 220-221].

5 De acuerdo con el informe del jurado, "M. Chenot, dit le rapport de M. Dufrénoy, s'est efforcé un problème très important, qui a pour objet d'obtenir le fer directement du minerai sans passer par l'état intermédiaire de gueuse de fonte, comme dans la méthode catalane, ou sans être obligé de faire deux opérations... Il espère pouvoir amener l'éponge métallique à la forme massive par la simple compression à la chaleur ordinaire des forges; mais jusqu'ici son attente n'a pas été couronnée de succès" [GRATEAU, 1859, p. 8].

6 "le Jury pense qu'aucun exposant peut-être ne se présente avec un ensemble plus remarquable de faits nouveaux et importants au point de vue

industrial; que si l'on ne peut pas encore dire que ces découvertes ou inventions soient arrivées à l'état de grande exploitation industrielle, ses produits ont du moins cette perfection exceptionnelle due à la science ou au travail, qui suffit pour justifier la médaille d'honneur que le Jury décerne à M. Chenot" [*Exposition Universelle de 1855*, p. 25, el subrayado es del original].

7 "there were singular rumours respecting the supposed instigator of these persevering efforts to honour Chenot, in connection with an attempt to introduce the process into Russia; rumours which, if founded, would justify the inference, that zeal for the welfare of that country was not the sole object" [PERCY, 1864, p. 336].

8 [BARRACLOUGH, 1990, p. 20]. Durante cierto tiempo, el método logró ser reconocido por los metalurgistas y aplicado en diferentes países (España, Francia, Italia, Rusia, entre otros), especialmente como alternativa para la obtención de acero: "fue abriéndose camino, merced a la perseverancia de su inventor, que se ha aplicado en grande escala, y que si bien no ha producido todos los resultados que de él se esperaban en la fabricación del hierro dulce, se emplea con ventaja en la obtención de aceros" [BRUNO DE LA PEÑA, 1862, p. 33].

9 Una descripción contemporánea de los procedimientos utilizados en Yorkshire puede verse en LE PLAY [1843]; véase también FLINN y BIRCH [1954].

10 [BARINAGA CORRADI, 1875, pp. 722-724]. Según otra descripción, los hornos existentes en Baracaldo en 1872 tenían una altura de 10 m., y una base de 1,44 m. por 0,40 m. [BELL, 1884, p. 34].

11 Las medidas del horno eran 4,40m. de altura, sección circular de 1,05m. en el vientre, 0,80m. en la boca y 0,60m. en la base [MUSSY, 1969, pp. 334-357].

12 "para la misma producción de esponja habrá una economía que según creemos será próximamente de 10 a 15 Kilogramos de carbón vegetal por cada 100 kilogramos de esponja producida" [BRUNO DE LA PEÑA, 1862, p. 47].

13 Al parecer, inicialmente el tragante de los hogares se tapaba simplemente por medio de una chapa de hierro y lodo, existiendo fugas que dificultaban la labor de los operarios e incrementaban los consumos de combustible. Con posterioridad se introdujo un sistema de cierre hidráulico que solucionó ambos inconvenientes. [BRUNO DE LA PEÑA, 1862, p. 35].

14 *Abridgments of Specifications relating to the Manufacture of Iron and Steel (1883)*, pp. 297-298.

15 Según la *Estadística Minera* de 1864, el método Gurlt utilizado en Astepe era "casi idéntico" al Tourangin.

16 [VICUÑA, 1875, p. 142]. El mismo Vicuña añade, "Bien saben los que a estos asuntos se dedican, cuán fácil es decir donde comienza el invento y termina la imitación de los procedimientos metalúrgicos (...), inclinándonos nosotros a que en dicha fábrica se copió a Tourangin" [VICUÑA, 1875, pp. 142-143]. Según la acreditada obra de H.M. Howe, basándose en informes remitidos por agentes enviados a España por L.G. Laureau para examinar el funcionamiento de las instalaciones de hierro esponja, el método Gurlt, que en Bilbao era denominado Tourangin, estuvo en uso entre 1865 y 1884 y, aunque existían opiniones contrarias, de acuerdo con su criterio, el procedimiento Tourangin coincidía plenamente con el Gurlt [HOWE, 1892, p. 275]. Un análisis más detallado de

ambos procesos, insistiendo en las diferencias, en J. Bruno de la Peña [1862, pp. 51-55].

17 De hecho, tal como informaba Sandberg en 1862, nunca se conseguía reducir por completo el mineral en una sola operación, por lo que era necesario introducir nuevamente en el horno las porciones reducidas de forma imperfecta [PERCY, 1864, p. 345].

18 *Información sobre el derecho diferencial de bandera*, 1867, p. 102.

19 Archivo Histórico Provincial de Vizcaya (AHPV), Leg. 5766.

20 [VICUÑA, 1875, p. 142]. Al parecer, Alfredo Chenot, hijo de Adrian, solicitó en 1856 privilegio de invención en España de un nuevo método para la obtención de hierro esponja, según el cual las retortas existentes en el método ideado por su padre fueron sustituidas por un horno de cuba y el calentamiento exterior mediante hulla por un calentamiento interno al carbón vegetal [BRUNO DE LA PEÑA, 1862, p. 50].

21 "Le minerai de Sommorostro est celui qui a été le plus employé, jusqu'à présent, dans les usines où l'on applique le procédé Chenot"; "Les minerais de Sommorostro sont réguliers et abondants; des marchés passés avec la maison Ibarra, Hermanos et Cie, à Bilbao, en assurent la fourniture régulière" [GRATEAU, 1859, pp. 22 y 52].

22 *Información sobre el derecho diferencial de bandera*, p. 98.

23 Frente al empirismo y la ausencia de medios fiables para determinar y controlar la calidad de la producción en sociedades tradicionales, el desarrollo de la química aplicada a lo largo del siglo XIX puso a disposición de la industria procedimientos científicos de análisis que permitieron abordar el cambio técnico bajo condiciones muy distintas [DAY, 1990, pp. 188-189].

24 [GRATEAU, 1859, p. 23]. A pesar de ello, el mineral vizcaíno no encontraba fácil sustitución: "Malgré les frais énormes de transport dont il est ainsi grevé, on trouve cependant avantage à l'employer, à cause de sa richesse et de sa faible teneur en gangue" [Ibidem].

25 *Información sobre el derecho diferencial de bandera*, p. 98.

26 "its continuance seemed dependent upon the possession of a quantity of charcoal screenings, which would otherwise have been wasted" [BELL, 1884, p. 32]. El mismo autor afirma que en la fecha de 1872 no existía ningún otro lugar en el mundo donde se empleara el método Chenot.

27 "Fifty years ago, when five tons and more of coal were frequently used to make a ton of pig iron, the Chenot system, when dealing with rich and cheap ores, might have had some pretensions to hold a place, in competition with the blast furnace and the puddling process. Against the present more perfect mode of smelting iron, where the ton of pig metal is obtained with 40 cwts. of coal, the struggle, in my opinion, would be hopeless; and still less has this direct plan a chance of holding its own against the Bessemer mode of treatment, in which the waste gases from the blast furnace, with proper machinery, suffice to expel, in the converter, the impurities absorbed during the smelting of the ore" [BELL, 1884, p. 34].

28 [BELL, 1884, p. 34]. Los datos aportados por I.L. Bell fueron recogidos en SANCHEZ RAMOS [1945, pp. 168-169].

29 [GOENAGA, 1883, p. 447]. Posiblemente la fecha sería algo posterior, puesto que como hemos visto I.L. Bell afirma haberlos presenciado en actividad en 1872.

30 "los hornos de reducción empleados por dicho autor (Chenot) son casi tan costosos como los hornos altos de carbón vegetal para lingotes y el procedimiento indirecto da resultados algo más ventajosos que el de Chenot" [GOENAGA, 1883, p. 448]

31 "Cependant le procédé Bessemer a été à bon droit abandonné. Fondé sur une combustion très énergique du carbone contenu dans la fonte en fusion, il brulait une forte proportion du fer produit" [GRATEAU, 1859, p. 62].

32 Archivo Histórico Provincial de Vizcaya (AHPV), Leg. 5323.

33 AHPV., Leg. 5323.

34 AHPV., Leg. 5324.

35 AHPV., Leg. 5223.

36 AHPV., Leg. 5766.

37 AHPV., Leg. 5323. Con fecha de 17 de septiembre de 1856, dicho contrato será revisado, ampliando a ocho años su duración e introduciendo otro tipo de modificaciones relativas a las obras de reforma y su financiación (AHP., Leg. 5324).

38 AHPV., Leg. 5223.

39 Se trataba de las ferrerías de Sedillo, Tijano, Vega y Aguera de Montija [AHPV., Leg. 5324].

40 Sobre el sistema de arriendos utilizado en las ferrerías vizcaínas, ver R. Uriarte Ayo [1988, pp. 145-158].

41 Según la cláusula décima del arriendo de la ferrería Gastaca el arrendatario "podrá ejecutar cuantas obras crea necesarias sobre cualesquiera terminos de lo arrendado (salvo en la máquina del molino) y a condición de quitar lo que hiciese y poner las cosas en el estado en que las toma cuando termine dho. arriendo" [AHPV., Leg. 5223]. En Anuncibay, la cláusula octava permitía al arrendatario "ejecutar obras de fabricación y poner cualesquiera maquinaria en la ferrería y deshacer y recoger lo que pusiese para sí, pero al cabo del arrendamiento repondrá el Establecimiento en el mismo ser y estado en que lo reciba" [AHPV., Leg. 5223].

42 AHPV., Leg. 5324.

43 *Estadísticas Mineras*, 1864, p. 9.

44 En Vizcaya, hubo unas siete ferrerías que en diferentes momentos adoptaron el método Tourangin, sin embargo, nunca hubo más de cinco que trabajaran simultáneamente. Fuera de Vizcaya, el método Tourangin tuvo una difusión mucho más limitada. Anteriormente se ha hecho mención al horno construido en Río Tinto. La *Estadística Minera* de 1873 informa que se estaban proyectando fábricas de hierro esponja sobre el río Urola en Guipúzcoa. La misma fuente para 1881 constata la existencia de un horno del sistema Tourangin en la provincia de Cuenca y otros dos hornos más en una fábrica de Guadalajara.

45 *Estadísticas Mineras*, 1867, p. 38.

46 [GOENAGA, 1883, p. 448 y 460]. A los criterios de eficiencia y rentabilidad, quizá habría que añadir componentes *sociales* igualmente significativos: "que se puede prescindir de la creación de fábricas montadas con cuantiosos capitales, las que presentan graves inconvenientes, no solo por la

dificultad de reunir en ellas grandes acopios de mineral y de combustible para asegurar una marcha continua, sino también por hacer necesaria una aglomeración de operarios que en circunstancias normales puede ser causa de tumultos y desórdenes" [BRUNO DE LA PEÑA, 1862, p. 57].

47 No obstante y a pesar de que el procedimiento en sí mismo no exigía la introducción inicial de grandes cambios, lo cierto es que algunos de los establecimientos que lo incorporaron acabaron transformándose en auténticas factorías de tamaño medio, muy alejadas de la primitiva herrería sobre la cual se asentaban. Tal sería el caso de la fábrica Astepe (*Nuestra Señora de la Concepción*) que había llegado a emplear a más de 140 operarios y que sobre los años ochenta, última década en la que trabajó con el sistema Tourangin, empleaba entre 80 y 90 trabajadores, y tenía instalados 5 hornos de manga, 1 de reverbero, 4 de afino, 2 forjas, 3 máquinas hidráulicas de 50 caballos de fuerza y 1 de vapor de 25 [*Estadísticas Mineras*].

48 [GOENAGA, 1883, p. 460]. El coeficiente para el carbón sería ligeramente superior si añadiésemos la hulla utilizada en la laminación.

49 Sobre la capacidad productiva de la herrería vizcaína, véase URIARTE [1988, pp. 158-165].

50 Véase cuadro 1.

51 *Estadísticas Mineras*.

52 "Estos dos procedimientos y el de Chenot que como producto intermedio obtienen el hierro esponja, necesitan forzosamente emplear la mena de Somorrostro" [*Estadísticas Mineras*, 1868, p. 77].

53 Producían un hierro maleable "que no cede en calidad al de las herrerías" [*Estadísticas Mineras*, 1863, p. 41].

54 *Estadísticas Mineras*, 1863, p. 41.

55 "mejoras y modificaciones que las conocemos perfectamente, gracias a la amabilidad de dicho Señor, pero que no podemos publicarlas como se comprenderá fácilmente" [GOENAGA, 1883, p. 460].

56 *Estadísticas Mineras*, 1890-1891, p. 314.

57 Una excelente exposición de los problemas del cambio técnico en el sector puede verse en LANDES [1979, pp. 104-112]. Véase también, BERNAL [1973, pp. 38-39 y 92-107].

58 La interacción ciencia-tecnología es uno de los aspectos del cambio técnico que más ha preocupado a los especialistas. Para una visión sintética reciente es de utilidad VOLTI [1992, pp. 55-67]; con referencia al siglo XX, ROSENBERG [1992]; para Francia, FOX y WEISZ (eds.) [1980].

59 Véase el estudio clásico de ENOS [1962], y los comentarios de ROSENBERG [1979, pp. 80-87].

BIBLIOGRAFIA

Abridgments of Specifications relating to the Manufacture of Iron and Steel (1883), Londres.

BARRACLOUGH, K.G. (1990) *Steelmaking: 1850-1900*. Londres.

BARINAGA Y CORRADI, L. (1875) *Curso de metalurgia especial*. Madrid.

BELL, I.L. (1884) *Principles of the Manufacture of Iron and Steel, with some notes on the Economic Conditions of their Production*. Londres.

BERNAL, J.D. (1973) *Ciencia e industria en el siglo XIX*. Barcelona.

BILBAO, L.M. & FERNANDEZ DE PINEDO, E. (1982) "Auge y crisis de la siderometalurgia tradicional en el País Vasco (1700-1850)". En P. Tedde (ed.), *La economía española al final del Antiguo Régimen. II. Manufacturas*. Madrid, 134-228.

BILBAO, L.M. (1988) "La primera etapa de la industrialización en el País Vasco, 1800-1880: cambio tecnológico y estructura de la industria siderúrgica". En E. Fernández de Pinedo y J.L. Hernández Marco (eds.), *La industrialización del norte de España (Estado de la cuestión)*. Barcelona, 222-251.

BRUNO DE LA PEÑA, J. (1862) *Fabricación del hierro por el procedimiento del Sr. D. Ernesto Tourangin*. Madrid.

DAY, L. (1990), "The Chemical and Allied Industries". En I. Mc.Neil (ed.), *An Encyclopedia of the History of Technology*. London, 186-225.

ENOS, J. (1962) "Invention and Innovation in the Petroleum Industry". En *The Rate and Direction of Inventive Activity*. Princeton, 299-321.

Estadísticas Mineras y Metalúrgicas de España (1862-1886) Madrid.

Exposition Universelle de 1855. Rapports du Jury Mixte International (1856), París

FERNANDEZ DE PINEDO, E. (1983) "Nacimiento y consolidación de la moderna siderurgia vasca (1849-1913): el caso de Vizcaya". En *Información Comercial Española*, 598, 9-19.

FLINN, M.W. & BIRCH, A. (1954) "The English Steel Industry before 1856, with Special Reference to the Development of the Yorkshire Steel Industry". En *Yorkshire Bulletin of Economic and Social Research*, vol. VI, 163-177.

FOX, R. & WEISZ, G. (Eds.) (1980) *The organization of science and technology in France, 1808-1914*. Cambridge.

GOENAGA, I. (1883) "El hierro en Vizcaya". En *Revista Minera y Metalúrgica*, año XXXIV, t. XXXIV, 1883, 296-299, 311-314, 328-329, 339-341, 355-358, 447-451, 459-462.

GONZALEZ PORTILLA, M. (1977) "Los orígenes de la sociedad capitalista en el País Vasco. Transformaciones económicas y sociales de Vizcaya". En *Saioak*, año I, n. 1, 67-127.

GRATEAU, E. (1859) "Mémoire sur la fabrication de l'acier fondu par le procédé Chenot". En *Revue Universelle des Mines, de la Métallurgie, des Travaux Publics, des Sciences et des Arts*, vol. 6, 1-62.

HOWE, H.M. (1892) *The Metallurgy of Steel*. New York.

Información sobre el derecho diferencial de bandera y sobre las aduanas exigibles a los hierros, el carbón de piedra y los algodones, presentada al Gobierno de Su Magestad por la comisión nombrada al efecto en Real Decreto de 10 de noviembre de 1865, II, Hierros (1867), Madrid.

JORDAN, S. (1872) *Métallurgie du fer et de l'acier*. París.

LANDES, D.S. (1979) *Progreso tecnológico y revolución industrial*. Madrid.

MOKYR, J. (1990) *The lever of riches. Technological Creativity and Economic Progress*. New York.

MUSSY (1869) "Description de la constitution géologique et des ressources minérales du canton de Vicdessos et spécialement de la mine de Rancié". *Annales des Mines*, T. XV, 327-404.

NADAL OLLER, J. (1970) "Los comienzos de la industrialización española (1832-1868): la industria siderúrgica". En VV.AA., *Ensayos sobre la economía española a mediados del siglo XIX*. Madrid, 203-233.

NADAL OLLER, J. (1975) *El fracaso de la revolución industrial en España, 1814-1913*. Barcelona

OLSZEWSKI, E. (1971) "La notion et le développement des sciences techniques". En VV.AA., *XII Congrès International d'Histoire des Sciences, Actes, T. XB. Histoire des Techniques*. Paris, 57-62.

PERCY, J. (1864) *Metallurgy. The art of extracting metals from their ores, and adapting them to various purposes of manufacture*. Londres.

ROSENBERG, N. (1979) *Tecnología y economía*. Barcelona.

ROSENBERG, N., (1992) "Science and Technology in the Twentieth Century". En G. Dosi, R. Giannetti y P.A. Toninelli (eds.), *Technology and Enterprise in a Historical Perspective*. Oxford, 63-96.

SAIZ GONZALEZ, J.P. (1995) *Propiedad industrial y revolución liberal. Historia del sistema español de patentes. España (1759-1929)*. Madrid.

SANCHEZ RAMOS, F. (1945) *La economía siderúrgica española. Tomo I. Estudio crítico de la historia industrial de España hasta 1900*. Madrid.

URIARTE AYO, R. (1988) *Estructura, desarrollo y crisis de la siderurgia tradicional vizcaína, 1700-1840*. Bilbao.

URIARTE AYO, R. (1995) "The Direct Process in the Spanish Ironmaking during the 19th Century: Survival and Last Improvements". En G. Magnusson (ed), *The Importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change*. Estocolmo, 375-384.

VICUÑA, G. (1875) "El hierro en Vizcaya". *Revista Minera, Científica, Industrial y Mercantil*, 130-132, 137-138, 142-145.

VOLTI, R. (1992) *Society and technological change*. New York.