

Del vapor a la electricidad: transiciones energéticas en la minería española contemporánea, 1860-1930

Andrés Sánchez Picón
Universidad de Almería

Miguel Á. Pérez de Perceval Verde
Universidad de Murcia

Resumen

Este artículo realiza una primera aproximación al cambio en las fuentes de energía en los siglos XIX y XX en la minería española. Esta actividad necesita un importante consumo de energía, lo que motivó su incremento conforme se fue expandiendo la extracción. De todas maneras, hubo que esperar al siglo XX para que se produjera un uso más intensivo. Este proceso coincide con el cambio en los patrones energéticos. La energía eléctrica se instauró rápidamente y desbancó a la tradicional fuente, el vapor, situándose con diferencia como la fuente principal de energía. Este proceso se realizó de manera compleja, con importante diferencias en cuanto al suministro, lo que produjo relaciones de dependencia sobre todo en las cuencas históricas.

Palabras clave: Minería española, máquinas de vapor, energía eléctrica, transición energética.
Códigos JEL: N0, N5, O3, R4.

Abstract

The paper is an initial overview of the changes in energy sources during the Nineteenth and Twentieth centuries in the Spanish mining sector. This activity requires significant energy consumption, so energy needs were growing as mining development expands. Anyway, it was not until the Twentieth century that a more intensive use should occur. This process corresponds to the change in energy patterns. Electric power was established and quickly overtook the traditional source, i.e. steam, and became by far the main source of energy. This process was performed in a complex manner, with significant differences in energy supply that resulted in dependence relations, especially in the historical mining districts.

Key words: Spanish mining, steam engines, electric power, energy transition.
JEL Codes: N0, N5, O3, R4.

Del vapor a la electricidad: transiciones energéticas en la minería española contemporánea, 1860-1930]*

[Fecha de recepción del original: 07-2-2014; versión definitiva 31-05-2014]

Andrés Sánchez Picón

Universidad de Almería

Miguel Á. Pérez de Perceval Verde

Universidad de Murcia

1. Introducción

La minería para sus múltiples actividades precisa de un importante consumo energético. No sólo ha de movilizar unas grandes cantidades de tierras y minerales para obtener los artículos que busca a diferentes profundidades sino que, además, tiene que realizar normalmente una serie de procesos, ligados tanto a la extracción y primer tratamiento de los minerales como a otras tareas destinadas a la preparación de los artículos para su venta. Además, dada la ubicación de los yacimientos lugares más o menos alejados de los puntos por los que se puede comercializar, las compañías mineras también tuvieron que realizar en numerosos casos una importante inversión en medios de transporte. Ello ha hecho que el desarrollo minero esté condicionado por las disponibilidades energéticas, que permiten la utilización de tecnologías de extracción y de movimiento de tierras que hacen posible el aprovechamiento de minerales situados a profundidades cada vez mayores. Además, facilitan los medios para enfrentarse a uno de los principales escollos del laboreo, la eliminación del agua cuando los depósitos a extraer se encuentran por debajo del nivel freático.

El desarrollo minero, por tanto, tendió a incrementar progresivamente la utilización de energía. Pero hay que tener presente que los niveles de consumo varían en función de diversos factores, que están en relación con el tipo de mineral, su disposición, las características de los criaderos y las técnicas de laboreo. Por tanto, no se puede comparar directamente el consumo de energía de una zona con otra como medida de un mayor o menor adelanto tecnológico sino que hay que tratar las cifras con cierta precaución.

En el siglo XIX hubo un cambio importante en el desarrollo de la tecnología minera: el paso de la energía del vapor a la nueva oferta que fue surgiendo en las últimas décadas

* Este trabajo se ha realizado en el marco de las ayudas del Ministerio de Economía y Competitividad (Plan Nacional de I+D+i) a los proyectos de investigación HAR2010-21941-C03-02 y HAR2010-21941-C03-03. Una versión preliminar fue presentada al Seminario Internacional “Ferrocarriles y electricidad en España: balance histórico, contexto europeo y desarrollo de la red”, Almería, 10-11 de noviembre de 2011.

de la centuria. Sobre todo destaca la energía eléctrica, que se adaptó eficazmente a las necesidades de la minería de la época. Pero la nueva fuente llevaba consigo otros problemas, especialmente el relativo al suministro de la tensión necesaria para el funcionamiento de las máquinas. En función del tamaño de las explotaciones, además de su capacidad financiera, las empresas mineras pudieron contar con un suministro propio o se tuvieron que contentar con el que les proporcionaba los proveedores externos. Ello, como veremos, tuvo importantes consecuencias sobre el funcionamiento del laboreo.

Para el análisis de la evolución de la utilización de energía en la minería española, la fuente principal que hemos utilizado ha sido la *Estadística Minera y Metalúrgica*, que se publicó ininterrumpidamente desde 1861. La información que nos proporciona es variada, en función de las épocas, siendo muy rica en determinados momentos. El problema de estos datos reside en las limitaciones que tuvieron los encargados de su redacción para recopilar la información que necesitaban, junto con las actividades que se tuvieron en cuenta a la hora de contabilizar los consumos

No disponemos aún de una metodología que nos permita apoyarnos en datos rigurosos de los flujos físicos (de materiales y energía) vinculados a la expansión minera en periodos históricos. En primer lugar, existen serios problemas de información, ya que las estadísticas oficiales proporcionan datos de los minerales y metales vendibles, pero nos deja a oscuras respecto a otras magnitudes físicas como las cantidades de ganga desechada o los movimientos de tierras realizados para la extracción o para el depósito de estériles o escombreras.

Para el avance en la estimación de determinados coeficientes de conversión que nos permitieran una aproximación a partir de las producciones reseñadas en las series oficiales, existen también serios problemas. La extraordinaria diversidad geoquímica de las menas utilizadas en el laboreo minero a lo largo de la expansión minera (carbonatos sulfuros, óxidos, etc.), o la colocación de los minerales (su profundidad), y la propia evolución de la tecnología extractiva, hacen especialmente complejo la estimación de los flujos físicos asociados a la explotación minera. En el caso de algunos minerales, como el plomo (el principal protagonista de la expansión del XIX), los datos oficiales encubren diferencias de ley tan espectaculares como las que separaban las galenas extraídas de algunas explotaciones subterráneas, con más del 50-60% de metal, de los carbonatos explotados, por ejemplo, en la Sierra de Cartagena de los mantos más superficiales del criadero, que con leyes inferiores al 20-30% suponían un extraordinario movimiento de tierras para su extracción a cielo abierto. Más adelante, la tecnología de aprovechamiento y concentración de minerales polimetálicos con procedimientos fisicoquímicos (lavado, lixiviación, flotación), así como el extraordinario aumento de la generación de residuos, van a complicar los intentos de evaluar la magnitud física del flujo de materiales afectado por los diferentes procesos de extracción minera¹.

¹ Sánchez Picón (2001).

2. Fuentes de energía y minas

Las actividades mineras incorporan unos elevados requerimientos energéticos. Como hemos mencionado, la extracción de las menas, su tratamiento para separar el material estéril y concentrar la mena hasta leyes admisibles comercialmente e industrialmente, la metalurgia básica, el movimiento de tierras, etcétera, constituyen actividades de una alta intensidad energética. De ahí que haya sido, también, la disponibilidad energética el factor restrictivo más importante para el desarrollo minero. Además, en la extracción minera es muy difícil mejorar la eficiencia energética. Por cada unidad de material extraído o concentrado, se requieren cantidades crecientes de fuerza de trabajo -en el caso de minas de base orgánica-, combustible o explosivos (que generan grandes desplazamientos de los materiales que cubren las sustancias aprovechables). La necesidad de implementar recursos energéticos crecientes conforme avanza la explotación minera, hace muy problemática la aplicación de estrategias o tecnologías que posibiliten una disminución del consumo energético.

En economías de base energética orgánica, las restricciones territoriales eran muy severas y la viabilidad de las explotaciones mineras estaba tanto o más condicionada por la disponibilidad de una fuente de energía accesible, que por la existencia de depósitos minerales de suficiente ley. Las energías utilizadas en este periodo, básicamente hasta el siglo XIX, procedían de la fuerza de trabajo (origen animal y humano), la madera de los bosques como suministradora de vigas para las fortificaciones y, sobre todo, combustible (carbón vegetal) y la fuerza hidráulica empleada para dar fuerza a los artefactos empleados para la concentración mecánica de las menas y su beneficio o fundición. En las condiciones energéticas de las sociedades orgánicas los obstáculos para el desarrollo minero, y para el crecimiento de la base material de la economía, debían ser muy amplios². En el caso de la minería sólo la confluencia de minerales con una elevada ley, (con frecuencia metales nobles con alto valor monetario unitario) y/o elevadas disponibilidades energéticas, permitieron la aparición de regiones con una importante actividad minera antes de la Revolución Industrial³.

En estas áreas montañosas la disponibilidad de madera tanto para la construcción como, sobre todo, para combustible en los hornos de fundición, se remontaba a los siglos de la Edad Media. En las montañas del Harz existió desde el siglo XII una estrecha relación entre los derechos de explotación minera y los derechos de uso de los bosques. La deforestación ocasionada por la minería ya provocó una paralización de las minas por más de un siglo en las postrimerías del medievo. La recuperación desde los siglos XV y XVI pudo realizarse a partir de la regeneración espontánea del bosque propiciada por la pausa minera. La sobreexplotación durante la edad moderna conduciría, no obstante a una nueva crisis de la madera a partir del setecientos, que se intentó afrontar con el inicio de los primeros planes de repoblación forestal y con los primeros ensayos con combustible mineral⁴.

² Sieferle (2001); Wrigley (1988).

³ Sánchez Picón (2001). Un panorama reciente reciente sobre transiciones energéticas en Kander, Malanima y Warde (2008).

⁴ Hillbrecht (1986).

Las restricciones territoriales, insalvables dados los elevados costos de transporte para una materia tan voluminosa y frágil en una orografía montañosa como el carbón vegetal, pesaron de tal modo que impidieron el crecimiento regular de la actividad minera en Centroeuropa. Problemas similares se dieron también en Inglaterra o Suecia como consecuencia del consumo de combustible de las ferrerías. Parece evidente que la minería basada en energías orgánicas o solares era incapaz de sostener su crecimiento en el largo plazo. Sin entrar en el debate sobre si la solución al bloqueo energético (el "hambre de madera") fuera decisiva en el desencadenamiento de la revolución industrial, está claro que el hallazgo de recursos sustitutivos con el desarrollo de la extracción de combustibles fósiles, es lo que permitirá superar el estrangulamiento que impedía la expansión minera.

Hay que diferenciar los procesos que destacan dentro del apartado extractivo. Por una parte, el laboreo necesita sacar a la superficie unos productos que se encuentran a diferentes profundidades y que precisan variados sistemas de arranque. Aquí habría que distinguir los dos tipos de minería que agrupan de modo general las variadas tipologías de laboreo: la subterránea y la realizada a cielo abierto. Cada una utiliza medios específicos de movimiento de las masas minerales, lo que supone unos particulares requerimientos. La minería que se realizaba en España en los dos primeros tercios del siglo XIX fue fundamentalmente subterránea. En el último tercio de la centuria comenzó el relevo hacia una extracción a cielo abierto, lo que suponía trabajar en concesiones de un cierto tamaño y realizar en principio mayores desembolsos. Se trata de una minería más moderna, que acabará siendo la forma principal de extracción de los minerales. A pesar de que trabajar a cielo abierto supone una movilización mayor de tierras, tiene por el contrario menores necesidades energéticas que la minería subterránea. Las estadísticas mineras no proporcionan información del grado de implantación de uno u otro tipo de extracción, pero podemos utilizar los datos que hay para algunos años (de 1902 a 1940) sobre los trabajadores de interior y de exterior para aproximarnos a esa variable.

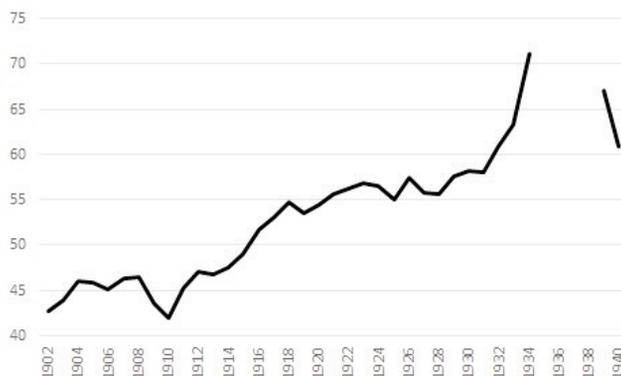
En el Gráfico 1 tenemos el porcentaje de trabajadores subterráneos. Las cifras pueden dar lugar a una interpretación equivocada, ya que muestran un aumento de las cifras de los empleados en el interior. Por ello hemos puesto el gráfico 2, en el que se presenta la misma variable para los 4 principales minerales. En resumidas cuentas, durante los dos primeros tercios del siglo XIX predominó la minería subterránea, sustentada sobre todo por el plomo, el mineral que ocupa una posición preeminente en el laboreo de esta época. En el último tercio del siglo el avance de la minería del cobre y del hierro, realizada bajo otro contexto en el que predominaba el laboreo a cielo abierto, produjo un claro retroceso de la extracción de interior. El inicio de siglo marca un cambio radical en la minería española, con el predominio de la extracción de los combustibles fósiles, que como vemos en el Gráfico 2 se caracterizaba por la utilización una elevada proporción de mano de obra de interior. Esta es la causa del incremento del porcentaje total en la minería española de

⁵ Sobre el "hambre de madera", entre una amplia bibliografía: Cipolla (1981) y Wilkinson (1988).

⁶ Sólo señalar la volatilidad que se observa en las cifras de 1933 en adelante. Diversos factores ligados tanto a la coyuntura económica como a la recogida de información estadística está en la base de estas fluctuaciones. A pesar de que suponen en cierto modo unas cifras *outlier*, hemos preferido mantenerlas a la espera de una revisión de los datos de la serie de las estadísticas mineras oficiales.

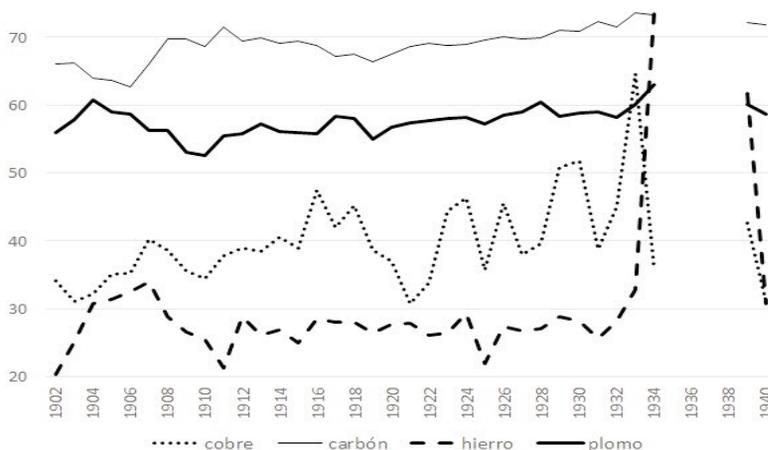
este tipo de trabajadores⁶. Como se puede apreciar claramente, se trataba de modelos extractivos diferentes, que además contaba con particulares requerimientos energéticos.

Gráfico 1. Porcentaje de trabajadores de interior, 1902-1940



Fuente: *Estadística Minera y Metalúrgica*, 1902-1940.

Gráfico 2. Porcentaje de trabajadores de interior en la minería del plomo, hierro, carbón y cobre, 1902-1940



Fuente: *Estadística Minera y Metalúrgica*, 1902-1940.

Otro proceso importante desde el punto de vista energético es el relacionado con el desagüe de las explotaciones. Los yacimientos minerales se encuentran a diferentes profundidades, lo que obliga a trabajar en numerosas ocasiones por debajo del nivel freático y hace necesario una labor de drenaje para poder realizar el laboreo. La movilización de importantes cantidades de agua fue uno de los principales retos a los que hubo de enfrentarse el aprovechamiento de los recursos mineros, constituyendo una de las actividades en la que se requería la utilización intensiva de energía. Será esta parcela de

la extracción la que tendió a mecanizarse en primer lugar. Mientras el arranque y la conducción de los minerales a la superficie continuaron realizándose manualmente o utilizando caballerías (malacates) durante buena parte del siglo XX, las labores de desagüe forzaron la introducción de las modernas máquinas de vapor. Por poner un ejemplo, en sierra Almagrera (Almería) en la década de 1860 sólo había una máquina de vapor, que estaba destinada a los servicios de desagüe⁷.

Una vez obtenidos los minerales, antes de conseguir productos vendibles, hay que acondicionarlos de diversas maneras: selección, preparación, concentración... Destaca esta última tarea, asociada normalmente a labores de lavado de las menas, que, en función de las técnicas utilizadas, tienen específicos requerimientos energéticos, especialmente para dar movimiento a los aparatos de molienda y de separación de los minerales. El tipo de mineral y sus características (especialmente la ley que tiene) hace que estas tareas tengan desigual intensidad. Es el caso de, por ejemplo, de las menas complejas y de baja contenido metalífero de la sierra de Cartagena-La Unión, que precisaron de una importante labor de concentración y de separación de los metales, asumiendo esta actividad un porcentaje relevante de medios humanos y energéticos.

Por último, nos encontramos con los aspectos relativos al transporte de los minerales a los lugares de venta y de comercialización. Cables aéreos, planos inclinados, cintas transportadoras, ferrocarriles mineros, etc. forman parte de la panorámica de las cuencas mineras. Hay que diferenciar los medios que se utilizaban específicamente para el movimiento interior de las explotaciones (dentro de la mina y entre la mina y los lugares donde se procesaba los minerales), que se incluían normalmente en la cifras de consumo de energía de las estadísticas mineras, de las infraestructuras dedicadas al transporte a los lugares por los que se comercializaba. En función de la distancia este apartado adquiriría una trascendencia vital para el funcionamiento de la empresa explotadora, asumiendo en numerosas ocasiones el coste que suponía el tendido y mantenimiento de determinadas sistemas de transporte. Ello produjo es desarrollo de una red específicamente minera, controlada en su mayor parte por las empresas del sector. Líneas de ferrocarril como la de Tharsis al embarcadero de Punta de la Cruz, de 47 km; de Río Tinto al embarcadero de Huelva, de 83 km; de las minas de Lucainena al embarcadero de Aguamarga, de 36 km, por citar unos ejemplos.

La inversión en estos medios de transporte correspondía normalmente a las empresas mineras, que rentabilizaban su construcción y mantenimiento con los ingresos de los minerales, constituyendo en la mayoría de los casos elementos vitales para hacer viables las labores mineras. La inversión en estos medios de transporte, como señala Chastagnaret (2000: 630) formaba parte de los gastos de primer establecimiento. Entraban dentro de las estrategias de las empresas, constituyendo un elemento clave para su rentabilidad, por lo que habría que tenerlo en cuenta a la hora de medir el consumo energético de las explotaciones. El problema es que en las cifras que nos proporcionan las estadísticas oficiales de la época, como señalamos más adelante, no se incluyó este apartado. Por tanto, las cifras globales de consumo energético contienen un sesgo importante a tener en cuenta, tanto por lo que se refiere al montante total como a la trascendencia de la

⁷ Sánchez Picón (1995), p. 20.

utilización de cada uno de los tipos de energía.

3. Las estadísticas mineras

Como hemos mencionado, la fuente principal que hemos utilizado para acercarnos al objeto de nuestro trabajo son las estadísticas mineras, que se publican de manera ininterrumpida desde 1861. Desde el comienzo nos ofrecen información del número de máquinas instaladas y de su potencia⁸. En los primeros años los datos estaban agrupados por provincias (para el conjunto de todos los minerales extraídos). A partir de 1867 incluyen información desagregada para cada uno de los minerales.

Los problemas de esta fuente son numerosos, lo que nos lleva a tratar con bastante cuidado las cifras que nos ofrece. Una simple ojeada a los datos provinciales muestra la existencia de numerosas lagunas y la presencia de grandes fluctuaciones en las cifras provinciales, especialmente en las series correspondientes al siglo XIX. Ya se han señalado los problemas a los que se enfrentó la recopilación de información para las series nacionales desde sus inicios, que tuvo que salvar continuas dificultades⁹.

En cuanto a la contabilidad de las fuentes de energía, objeto de nuestro trabajo, observamos fluctuaciones aún más acusadas que las que encontramos en el resto de los datos provinciales. Parece como si en este apartado existiera una dificultad especial a la hora de recabar la información necesaria para cumplimentarlo. Otro aspecto importante es el relativo a lo que se incluía en la contabilidad minera. Los datos parecen corroborar que lo que se anotaba era lo estrictamente ligado con la extracción y las tareas subsidiarias. Un apartado importante que quedaba fuera de las cifras contabilizadas era la energía utilizada en el transporte de la mena a los puntos por los que se comercializaba (cables aéreos, ferrocarriles...). Quedaba fuera, por tanto, de la contabilidad energética un apartado importante que, como hemos mencionado, suponía un notable consumo energético. Hay que resaltar que estas infraestructuras estaban directamente relacionadas con las posibilidades de extracción y que formaban parte de la inversión y la actuación económica de las sociedades mineras.

En cuanto a las cifras disponibles de los motores eléctricos, como señala Chastagnaret (2000: 615-616), hubo un retraso en incorporarlos en las estadísticas oficiales. Según dichos registros, 1907 es el año en el que comienza a aparecer una utilización significativa de la energía eléctrica, cuando ya hacia algunos años antes que había comenzado el proceso de cierta electrificación de algunas cuencas¹⁰.

⁸ Ya señalaba Monasterio (1861), p. 261, en los inicios de la andadura de las series oficiales defectos en la contabilidad de las máquinas utilizadas, ya que “advertimos la omisión de los motores de sangre”, que constituían la mayor parte de la fuerza utilizada en aquella época.

⁹ Sólo hay que ver las continuas quejas de los ingenieros encargados de su redacción, que se plasman en los informes provinciales. En algunos de ellos reconocían para algunos años del siglo XIX que las cifras eran sólo estimativas, dada la dificultad para recabar información de los diferentes productores. Sobre el particular, “La estadística minera de España...” (1991), p. 4.

¹⁰ Chastagnaret señala el caso del establecimiento minero de Horcajo, donde a partir de 1900 se utilizaban bombas centrífugas eléctricas. Véase sobre el particular, Madariaga (1900), que realiza una descripción del establecimiento mencionado.

A la vista de la carencia de nuestra fuente, sería necesaria una reconstrucción de las cifras utilizando datos paralelos, al menos para las principales cuencas y minerales. En nuestro caso, este aspecto escapa a las posibilidades de este artículo, que sólo pretende realizar una primera aproximación al tema. Por tanto, tomaremos las cifras que presentan las estadísticas mineras como indicativas de tendencias y de estructuras globales de la utilización de la energía.

4. La larga transición energética en la minería española

En el Gráfico 3 presentamos los valores del cociente obtenido de dividir la potencia mecánica instalada en la extracción minera española, a partir de máquinas de vapor y de motores eléctricos principalmente, entre el número de trabajadores declarados por las empresas mineras¹¹. Su evolución demuestra la lentitud del proceso de intensificación tecnológica en la minería española y la tardía transición energética en el sector desde los recursos orgánicos y tradicionales, hasta los basados en la combustión del carbón, en su mayor parte. En efecto, durante las primeras décadas de la expansión de la extracción minera peninsular, cuando ya los minerales hispanos ocupaban lugares punteros en el ranking de países productores (plomo, hierro, cobre, etc.), la tecnología extractiva se basaba en el uso de la fuerza de sangre (trabajadores y caballerías), siendo muy minoritario, aunque localmente decisivo, el empleo de energías inorgánicas. Así, hasta mediada la primera década del siglo XX, la potencia instalada por obrero en la minería española se mantuvo por debajo de 0,5 CV. Desde entonces hasta la Primera Guerra Mundial se observa una rápida aceleración que en tasas de crecimiento anual supone un ritmo del 9,3% entre 1900 y 1914, frente al poco más del 4% de los últimos treinta y cuatro años del siglo XIX. La intensificación energética y tecnológica se detiene con brusquedad en los años de la Gran Guerra, consecuencia de la dependencia de combustible y equipos foráneos, para recuperarse rápidamente en la década de 1920.

La expansión del siglo XIX, centuria en la que España, no lo olvidemos, llegaría a encabezar el ranking minero en una serie de sustancias, se produjo, evidentemente, con el concurso masivo de energías tradicionales. La mecanización, el vapor y los combustibles fósiles se comenzaron empleando de manera casi exclusiva en dar movimiento a las decenas de bombas de desagüe de las minas y muy secundariamente en la extracción y la preparación mecánica de los minerales.

Esto en lo que se refiere al laboreo; por lo que atañe al beneficio de los minerales (la metalurgia básica), durante la segunda mitad del siglo, terminarían predominando los procedimientos metalúrgicos basados en el aprovechamiento de energías fósiles (hulla y coque), como salida, también a la intensa deforestación ocasionada por las fundiciones entre 1820 y 1860.

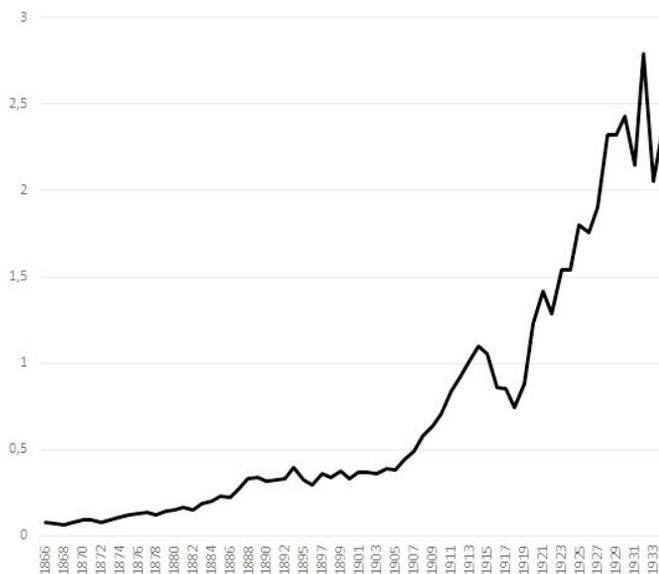
Un aspecto íntimamente relacionado con el crecimiento de la tasa de extracción fue la mecanización del transporte con la introducción de la tracción al vapor ferroviaria durante el último tercio del siglo XIX. Los tendidos férreos que, construidos cuando finalizaba la

¹¹ Serie construida a partir de las *Estadísticas Mineras y Metalúrgicas*.

centuria, conectaban las cuencas mineras con los puntos de elaboración o exportación, ampliaron el mapa minero de la península y disminuyeron algunas de las restricciones territoriales que habían dificultado el crecimiento del sector.

Sin embargo, la mecanización y la incorporación del nuevo paradigma tecnoenergético fue lenta, parcial y convivió durante todo el siglo con el empleo abundante de energías orgánicas. Centrada en el desagüe y en el transporte, los primeros artefactos mineros movidos al vapor no hacen acto de presencia, de una manera significativa, hasta la segunda mitad del siglo. Antes, y después conviviendo con una mecanización limitada, el empleo masivo de energía muscular hizo de personas (adultos y niños) y de caballerías, los elementos dominantes en la minería española del siglo XIX.

Gráfico 3. Potencia de la maquinaria instalada en la minería española, CV por trabajador, 1866-1934



Fuente: *Estadística Minera y Metalúrgica, 1866-1934*

Los datos del cuadro 1 ilustran la desigual mecanización en algunas de las ramas más importantes del sector minero. En las concesiones mineras que declaraban alguna producción de minerales de hierro o de plomo en 1891 (seguramente con una producción que en términos monetarios estaría en torno a los 2/3 del laboreo minero) entre el 50 y el 70 por cien no declaraban ninguna maquinaria. Aunque algunas de estas minas estaban integradas en agrupaciones que sí podían estar mecanizadas, tal circunstancia, muy común en las minas de cobre de Huelva o, a distancia, en algunos cotos férricos vizcaínos, era prácticamente inexistente en el resto del sector. Los aparatos de extracción continuaban siendo en muchas concesiones los primitivos tornos manuales. Destaca, asimismo, la persistencia, en una fecha tan avanzada como la del catastro, de un significativo número de explotaciones servidas por malacates movidos por caballerías.

Más de 230 artefactos de este tipo se mantenían en uso en 1891. En la década anterior habían terminado siendo superados largamente por las casi 500 máquinas de vapor en actividad. No obstante, la dotación energética de la mayoría de las minas de plomo y de hierro de la península (sumando las que disponían de malacates y las que carecían de maquinaria) seguía siendo tradicional en ausencia de cualquier tipo de artefacto consumidor de combustible fósil. Su presencia es particularmente notable en los cuencas mineras del Sureste español, en los distritos del plomo de Almería (Sierras de Gádor y Almagrera) y Murcia (La Unión-Cartagena), precisamente en aquellos parajes de mayor tradición minera, donde se habían producido el resurgimiento del sector. La maquinaria al vapor introducida en algunos de los más viejos distritos no ocasionaría, sin embargo, el arrumbamiento de las tecnologías tradicionales. La especialización de la tracción mecánica en las labores de desagüe (las máquinas de más potencia) y la extracción (con la proliferación en el sudeste a partir de las décadas de 1880 de pequeños artefactos de una potencia media inferior a los 10 CV) dejaba a cargo de la energía muscular el transporte interior y exterior en las explotaciones (que en las minas de Linares y Almería tomaba la forma de mano de obra infantil) de los materiales arrancados con el auxilio de la pólvora, pero con el uso exclusivo de "pico y pala".

Cuadro 1. Mecanización de la extracción minera en España (1891)

	Con máquinas de vapor			Con máquinas de sangre (malacates)		Sin maquinaria	Total minas
	Minas	Número	Potencia (HP)	Minas	Número	Minas	
Mineral de hierro	49	71	1.366	49	66	258	356
Mineral de plomo	182	426	9.668	132	165	295	592

Fuente: Catastro de las minas en productos existentes en 30 de junio de 1891, en *Estadística Minera y Metalúrgica, 1866-1934* 1890-1891, pp. 54-209.

Podemos tomar como un indicador relativamente significativo de los materiales extraídos por la minería española del siglo XIX el hecho de que hacia 1869 el ramo del laboreo había extraído 1,7 millones de toneladas de mena; mientras que hacia 1891 la cifra se había sextuplicado hasta alcanzar 10,2 millones de toneladas que, tras la intensa mecanización del sector en los años previos a la guerra europea, ascendería en 1913 a 17,9 millones de toneladas. Estos datos parecen insistir en la idea repetida de que el incremento del volumen de materiales extraídos por las sociedades mineras en la segunda mitad del XIX, se produjo a un ritmo elevado y en un marco energético de transición o convivencia entre los antiguos y los modernos sistemas tecnoenergéticos.

Este panorama dual, en donde conviven las viejas y las nuevas tecnologías, las antiguas y las nuevas fuentes de energía, iniciará su final durante la primera década del siglo XX, cuando se produzca una rápida transformación de las bases físicas del sector. Sin embargo, a lo largo del siglo XIX habían predominado los sistemas basados en energías

y tecnologías preindustriales, asociados nos sólo a un empleo masivo de una mano de obra abundante y barata, sino también al predominio, dadas las bajas barreras de entrada, de la empresa minera minifundista y de prácticas de organización del trabajo caracterizadas por una fuerte presencia del arrendamiento de las concesiones y la utilización, incluso por las pocas grandes empresas, del destajo y la subcontratación¹².

5. La aceleración de la transición energética hacia la electrificación

Cuando despunta el nuevo siglo, se acelerará la transformación de la base energética de la minería española. En el Gráfico 4 se aprecian los significativos cambios acaecidos en la fuerza motriz empleada desde el ecuador del siglo XIX. Hasta los primeros años del siglo XX, la utilización de la fuerza del vapor había sido exclusiva. Su uso se concentraba en un conjunto de tareas que le eran propias desde los primeros tiempos del vapor allá a principios del siglo XVIII, cuando apareció en las minas galesas el "amigo del minero"¹³. Nos referimos a las relacionadas con el desagüe de las explotaciones, tanto subterráneas como a cielo abierto, en donde se encontraban, como ya se ha dicho, a mediados del siglo XIX los artefactos más potentes utilizados en el sector (son especialmente reseñables los aplicados a la desecación de las minas de plomo argentífero de Almagra o los usados en las minas de Almadén).

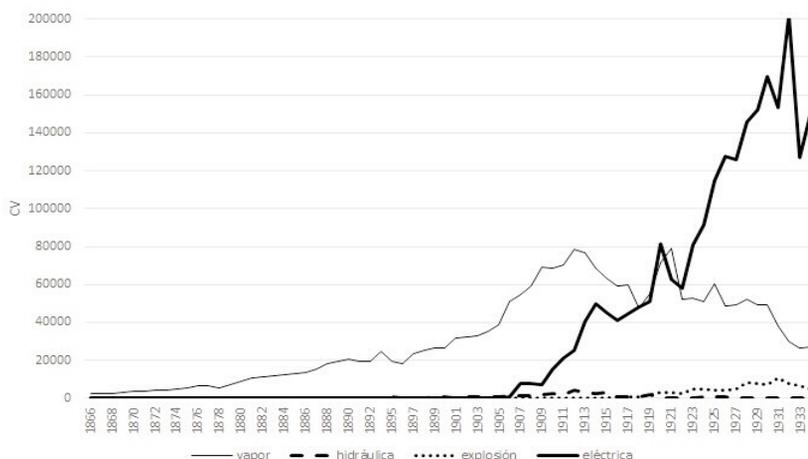
Algunos talleres de preparación mecánica de las menas, utilizaban también, aunque en porcentaje minoritario, la fuerza del vapor para el machacado o la criba de algunos minerales¹⁴. Durante la etapa expansiva de la mecanización en los primeros años del siglo XX, el crecimiento de la potencia instalada en máquinas de vapor se cuadruplica para alcanzar su máximo en vísperas de la guerra europea (unos 8.000 cv instalados en 1912). El avance resulta también espectacular en el parque motriz eléctrico que pasa de apenas unos cientos de caballos de vapor a más de 4.000 en 1914. La mecanización adopta irreversiblemente el camino de la electrificación en el período de entreguerras. Cuando llegue la década de los treinta la potencia de la maquinaria eléctrica empleada triplica a la de las máquinas de vapor. El triunfo de la electrificación y la rapidez de esta segunda modalidad de transición energética (del vapor a la electricidad) estuvo empujado en la necesidad de encontrar unos intermediarios energéticos más eficientes en una coyuntura de especial encarecimiento del combustible. A esta característica se les unen las relacionadas con la incomparable versatilidad y flexibilidad de la energía eléctrica. Así, la posibilidad de transmitir a cada vez mayor distancia el fluido, desde el punto de producción hasta el de aprovechamiento, así como el desarrollo de motores eléctricos cada vez más pequeños e idóneos para una amplia gama de tareas que la ruidosa y "sucias" tecnología del vapor fue incapaz de desarrollar. Por último, además, las centrales eléctricas, construidas por las principales empresas del sector en las inmediaciones de los cotos mineros, podían diversificar su oferta y externalizar sus excedentes con la venta de fluido a otros consumidores (fluido para la iluminación a las poblaciones adyacentes o a otras industrias, etc.).

¹² Sánchez Picón (1995).

¹³ Existe un acceso reciente por internet a la obra original del inventor Savery (1702).

¹⁴ Escudero (1992); Sánchez Picón (1995).

Gráfico 4. Potencia de la maquinaria instalada en la minería española, por tipo energía utilizada: vapor, hidráulica, de explosión y eléctrica, en CV, 1866-1934



Fuente: *Estadística Minera y Metalúrgica, 1866-1934*

Las ventajas de esta rápida transición hacia la electrificación debieron resultar evidentes para las empresas mineras en el contexto de la finalización de la etapa expansiva de la minería española. En efecto, a partir de 1914 las dificultades en los mercados europeos, hasta entonces casi exclusivos consumidores de la materia prima española, se fueron multiplicando por el aumento de la concurrencia y por los cambios en la elasticidad de la demanda provocados por la irrupción de productos sustitutivos¹⁵. De un modo u otro, los beneficios comenzarían a caer y las empresas productoras estuvieron atentas, en una actividad tan intensiva en energía como la minería, a la evolución de los precios relativos. Así, el encarecimiento del carbón británico (multiplica por 5,2 su precio entre 1913 y 1920) y del asturiano (lo multiplica a su vez por 4,7), mientras que el de la electricidad se mantuvo estable y apenas subió un 10 por cien¹⁶, sería un incentivo poderoso para la aceleración del cambio tecnológico en la minería peninsular.

Además, la electrificación, mucho más eficiente que el vapor en el uso de las fuentes de energía, aportaba flexibilidad y eficiencia ya que el fluido se conectaba con un racimo de innovaciones que en aquel momento se estaba produciendo en la extracción minera y en el desagüe. Así, la producción de aire comprimido para el funcionamiento de martillos perforadores, la mejora de la ventilación forzada, las mejoras en los motores de desagüe, etc., reforzaban la opción eléctrica en la mayoría de los tajos mineros. A esta creciente necesidad respondió una oferta variada y competitiva de fabricantes europeos, y también nacionales, que impulsaron la fabricación de equipo para la minería. Así fue con el material fabricado por Sulzer en Winterthur (Suiza), o Wolf, en Magdeburgo (Alemania) o Cockerill (Belgica).

¹⁵ Escudero (1986); Chastagnaret (2000).

¹⁶ Carreras (1985).

La transición tuvo efectos también sobre la estructura empresarial del sector y el tamaño de las unidades productivas. La tecnología asociada a la nueva energía fósil resultaba más eficiente en grandes unidades que en pequeñas, lo que alentaría la tendencia a las grandes instalaciones de extracción y beneficio integrado, así como a la constitución o ampliación de grandes grupos empresariales. Es la época del cuasi monopolio en la minería y la metalurgia del plomo de la multinacional Peñarroya, o de la expansión en el subsector de las piritas de la Rio Tinto Company. En todo caso, la pequeña minería sustentada en empresas de capital local, sucumbía ante la elevación de las barreras de entrada al negocio y la pérdida de competitividad.

A pesar del aumento del tamaño de las instalaciones mineras en esta época y a pesar del incremento del volumen de materiales extraídos y tratados, las cifras de empleo en el sector, crecientes hasta los primeros años del siglo XX, tenderán al estancamiento a continuación, paralelamente a su intensificación tecnológica.

6. El proceso desigual de electrificación

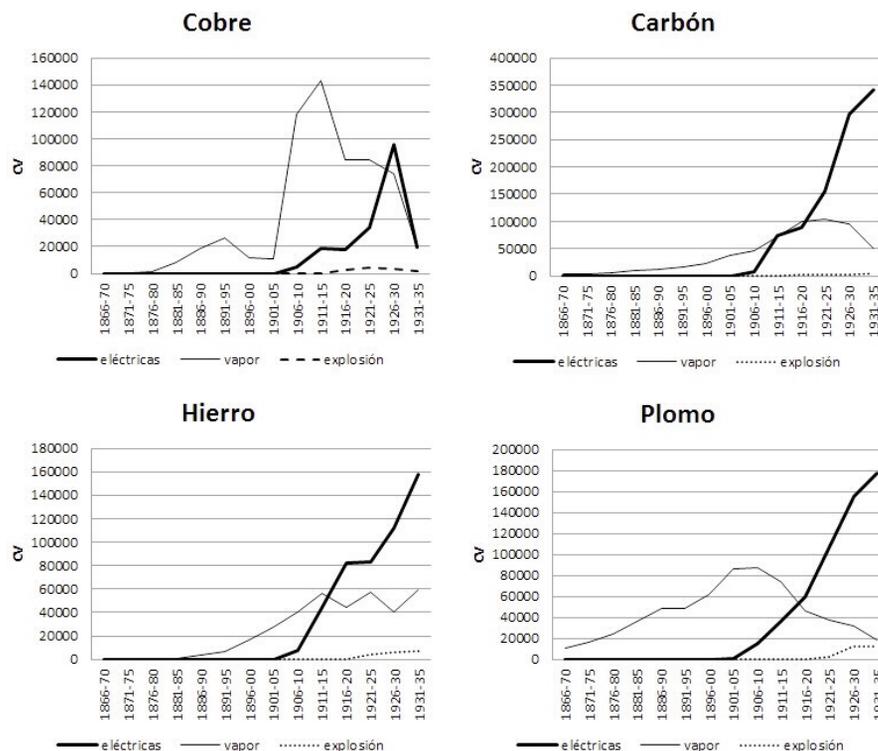
La sustitución de los motores a por los eléctricos se produjo a inicios del siglo XX. Aunque las estadísticas mineras tardaron en reflejar este hecho, se puede constatar, como hemos mencionado, que el cambio de centuria marcó el desarrollo de importantes iniciativas en este campo. Como hemos podido comprobar (Gráfico 4), la energía eléctrica siguió un proceso de constante desarrollo, a pesar de las difíciles circunstancias por las que atravesó la minería española en estos años. El proceso de adopción de la nueva tecnología fue global, pero se realizó de manera desigual entre los minerales que predominaban en el laboreo de la época. Para no complicar la exposición, sólo presentamos los cuadros de los minerales de cobre, hierro, carbón y plomo, además del de los combustibles fósiles.

Como es lógico, el avance más espectacular en cifras absolutas es el que se produce en el carbón. La trascendencia que había alcanzado el laboreo de estos productos, unido a que constituye la base de un tipo de generación de energía eléctrica, explica los niveles que alcanza. Rápidamente se situó como el mineral con mayor consumo tanto de energía en general como la relativa al apartado eléctrico. En cuanto al plomo, destaca los niveles de utilización de energía a vapor en el siglo XIX, corolario de la trascendencia que tuvo el laboreo de este mineral en el conjunto de la actividad extractiva española de la época.

Pero, lo relevante de estos gráficos es el momento en el que se produjo el cambio hacia el nuevo patrón energético y cuándo se realizó el relevo de las fuentes tradicionales de energía. Destaca un hecho que puede parecer extraño: hubo una anticipación de la minería del plomo en el inicio de la mutación energética, anticipándose incluso a la minería del carbón. Este hecho puede ser más sorprendente cuando se puede catalogar a la actividad extractiva en estos minerales como una de las más atrasadas de las cuatro consideradas. El laboreo del plomo se vio hipotecado por su temprano desarrollo, alrededor de mediados del siglo XIX, cuando la legislación imponía severas limitaciones al tamaño de las concesiones. Ello produjo que se caracterizara por el predominio del minifundio minero, con una extracción fundamentalmente subterránea en la que predominaba el

atraso técnico y cierta impronta especulativa. Incluso se vio acompañada por una precaria situación laboral, como se puede comprobar en la utilización de unos altos índices de trabajo infantil¹⁷.

Gráfico 5. Energía consumida por el laboreo de diferentes minerales (de cobre, hierro, plomo o carbón) según los tipos de motores (eléctricos, de vapor y de explosión), 1866-1935



Fuente: *Estadística Minera y Metalúrgica, 1866-1934*

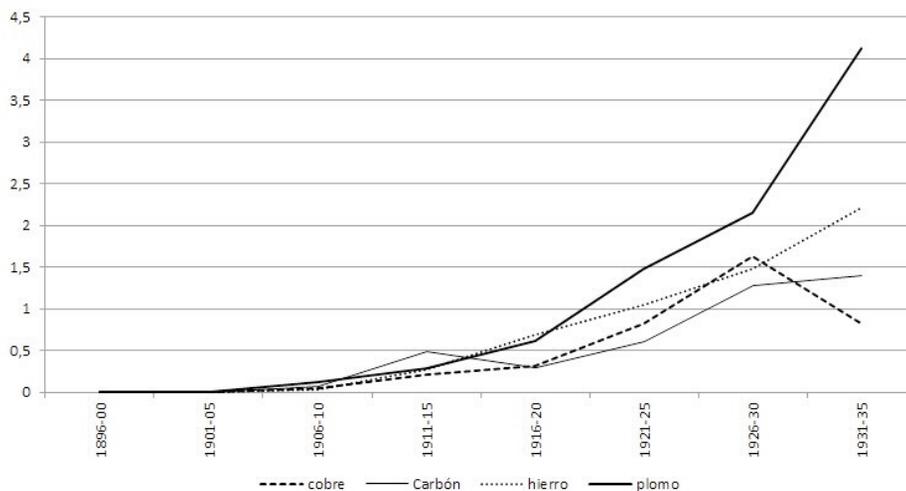
En cambio, a pesar de su atraso, la minería del plomo se adelantó en la transición energética¹⁸. Ello no constituía un síntoma de avance organizativo o de cambio las formas de laboreo. Simplemente estaba en relación con las nuevas posibilidades que le proporcionó a esta minería la aplicación de los nuevos motores eléctricos. Estos se adaptaban mejor a las características de su laboreo, por lo que hubo un rápido relevo de las energías tradicionales. Por ello, como ya hemos mencionado, la potencia instalada o el tipo de energía utilizada sólo es un indicador parcial de la modernidad de las estructuras

¹⁷ Sánchez Picón y Pérez de Perceval (1999); Pérez de Perceval, Martínez Soto y Sánchez Picón (2013).

¹⁸ Chastagnaret (2000), p. 616, señala iniciativas pioneras en materia de utilización de la electricidad en el municipio de La Unión en 1900.

productivas¹⁹. Por ello se tiene que analizar con cautela la situación que nos presenta el Gráfico 6, donde se muestra el grado de intensidad energética por obrero de las diferentes minerías. Hay que ver los diferentes requerimientos que tenían no sólo cada uno de los minerales sino cada cuenca y los problemas a los que se enfrentaba el laboreo.

Gráfico 6. Consumo de energía eléctrica (CV) por trabajador, 1896-1935



Fuente: *Estadística Minera y Metalúrgica, 1866-1934*

De todas maneras, hay que resaltar la celeridad de la respuesta que hubo por parte de la minería de plomo frente a las nuevas oportunidades energéticas. Es una muestra de la capacidad de reacción y de renovación que podía alcanzar, teniendo que moverse en los estrechos límites que le imponía la limitada extensión de las explotaciones. Las empresas que se desarrollaron alrededor del laboreo del plomo, tildadas en numerosas ocasiones de depredadoras, antieconómicas, especulativas, carentes de espíritu emprendedor por la literatura de la época, mostraban una iniciativa que puede parecer extraña. Lo cierto es que, dentro del limitado margen de actuación que tenían, las sociedades mineras que se desarrollaron en los distritos históricos dedicados a la extracción de los minerales de plomo tuvieron una importante capacidad de adaptación para aprovechar las reducidas posibilidades que existían para rentabilizar su negocio.

7. La dependencia energética

Un elemento a tener en cuenta en la adopción de la energía eléctrica como fuerza motriz, es el apartado del suministro. Las sociedades mineras pudieron optar entre producir ellas mismas la electricidad necesaria o depender del abastecimiento exterior. Hubo soluciones intermedias, como contar con generadores para el caso de que hubiera

¹⁹ Borrás y Cohen (1990), p. 5; Chastagnaret (2000), p. 632.

dificultades en la llegada de la tensión necesaria. La adopción de la electricidad supuso la asunción de algunos riesgos, como el de cambiar motores o adoptar una nueva maquinaria. Pero la dependencia del suministrador de fluido aparece como el más importante reto al tuvieron que enfrentarse las empresas mineras. El cambio de fuente se estaba produciendo en un momento en el que la red eléctrica estaba configurándose y en el que el abastecimiento regular no estaba asegurado. Además, la lenta expansión de la red eléctrica dejaba a algunas cuencas mineras, situadas en parajes agrestes y alejados, sin la posibilidad de adquirir en el mercado una fuente que pudiera prestar este servicio. De ahí que la garantía del suministro empujara a las grandes compañías mineras, como Riotinto o Peñarroya, a la opción de la autoproducción mediante la construcción de grandes centrales térmicas de generación de electricidad en las inmediaciones de los tajos mineros. Otras empresas más pequeñas (como la Société Minière d'Almagrera o la Argentífera de Almagrera) también escogieron esta opción, pero dada la cuasi imposibilidad de almacenamiento del fluido, la búsqueda de clientes alternativos tanto en la propia cuenca minera como fuera de ella, a fin de rentabilizar la capacidad generadora instalada, se convertiría en una preocupación importante para este tipo de productores.

Como opción intermedia entre la compra de electricidad y la autoproducción se desarrollaron opciones como la construcción de centrales térmicas de reserva, que se activaban en el caso de fallos en el suministro (coto Menas en Almería) e incluso, a pesar de su irregularidad, del aprovechamiento de la alternativa hidroeléctrica. Así sería en el caso del distrito de Linares, en donde a partir de 1920 la Compañía Linarense de Electricidad pondría en marcha, en las inmediaciones de la estación Linares-Baeza, una central hidroeléctrica. Destacable en la electrificación de las minas de Linares y La Carolina fue la actuación de una empresa pionera en Andalucía: Mengemor²⁰. Sin embargo, para cubrir la carencia de fluido durante el estiaje algunas de las principales compañías del distrito construyeron sus propias centrales térmicas. Este sería el caso de El Guindo o de la propia empresa pública Arrayanes, en donde la autoproducción se vería facilitada por los avances en la generación de fluido a partir de motores diesel²¹. Donde no era posible, la vulnerabilidad de un suministro afectado por circunstancias diversas, se revelaría dramáticamente en los años de la postguerra, cuando se intensifiquen las restricciones eléctricas.

En las estadísticas mineras tenemos para unos pocos años datos sobre el origen de la energía eléctrica (propia o adquirida). Concretamente de 1931 a 1934 y para el año aislado de 1939. La información además es parcial, con un importante porcentaje en que no aparece rellenado este dato²². De todas maneras, la información es ilustrativa de la situación que estamos mencionando.

²⁰ Bernal (1993).

²¹ <http://www.proyectoarrayanes.org/descargas/PropuestaListaIndicativa-web.pdf>.

²² En algunos minerales apenas hay información sobre la fuente de la energía, como sucede en el caso del cobre, por lo que no lo hemos incluido en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fuerza eléctrica empleada en la minería española, en porcentajes, 1931-1939

año	Máquinas eléctricas (térmicas e hidráulicas) propias o adquiridas, kW, %			
	Sin datos	Adquirida	Propia	total
plomo				
1931	69,2	7,4	23,3	100
1932	66,8	16,6	16,6	100
1933	78,0	13,4	8,6	100
1934	8,9	91,0	0	100
1939	90,5	9,2	0,2	100
hierro				
1931	46,2	41,6	12,2	100
1932	43,8	50,4	5,8	100
1933	55,3	24,5	20,2	100
1934	94,8	3,7	1,5	100
1939	94,4	4,1	1,5	100
carbón				
1931	85,2	4,3	10,5	100
1932	80,2	4,2	15,6	100
1933	65,2	4,6	30,2	100
1934	56,6	12,1	31,3	100
1939	85,9	4,1	10,0	100
total minería				
1931	69,1	14,0	16,9	100
1932	65,6	16,3	18,1	100
1933	63,8	12,0	24,2	100
1934	50,8	24,8	24,4	100
1939	86,7	4,8	8,5	100

Fuente: *Estadística Minera y Metalúrgica, 1866-1934*

En el Cuadro 2 vemos como en las cifras totales hay un ligero predominio de la energía eléctrica propia. Este reparto se realiza de manera desigual entre los minerales relevantes para los que tenemos información. En el caso del carbón, un elemento que proporciona por sí mismo la materia prima para la generación de electricidad (constituyendo una actividad secundaria de algunas empresas mineras), la generación propia parece como lógica ganadora. En cuanto a los minerales de hierro, en general se sitúan en el lado contrario, con un porcentaje mayor de energía suministrada desde el exterior. En el extremo se encuentra los minerales de plomo, donde la opción por la electricidad pasaba por una elevada dependencia del abastecimiento exterior, sobre todo en determinadas cuencas, como veremos a continuación. La extracción de estos últimos minerales seguía

caracterizado, a pesar de los avances de importantes sociedades (especialmente al SMM Peñarroya), por un modelo empresarial en el que predominaba un tamaño reducido de las explotaciones mineras. Esta situación reducía la capacidad económica y productiva para poder introducirse en la generación eléctrica. El problema se agravaba por la ubicación de las minas en el sur peninsular, con escasos recursos hídricos, lo que reducía las posibilidades de aprovechamiento de este medio de generación de electricidad.

En el caso de la minería de la Sierra de Cartagena-La Unión la situación, tal y como nos la describen los contemporáneos llegó a ser dramática. Destacamos el relato que nos hace el inspector provincial de Murcia, Bernardino Rolandi, en 1923. La electricidad se adaptaba perfectamente a las formas de trabajo y a la estructura empresarial de este distrito, por lo que rápidamente sustituyó a principios del siglo XX su maquinaria de vapor por otra eléctrica. Pero ello se realizó a costa de una dependencia casi total de la empresa encargada del servicio, lo que le permitió incluir ciertas cláusulas abusivas en los contratos. La situación se agravó debido a graves deficiencias en el servicio (cortes del abastecimiento y bajo voltaje de la red), lo que llevará a una situación de conflictividad en el distrito minero, en la que incluso se llegó a acordar la paralización de la minas de la sierra en 1920. En resumen, lo sucedido en esta cuenca es una muestra de la debilidad que tenían las pequeñas y medianas empresas mineras ante el cambio energético, sobre todo por la dependencia que tuvieron que asumir del suministro en un momento de dificultades y de consolidación de la red eléctrica española.

8. Conclusiones

El tipo de fuente de energía utilizada y su potencial en la historia de la minería española del siglo XIX y primer tercio del XX es un tema complejo, que hay que analizarlo en relación con los diferentes tipos de minerales, su disposición y los sistemas de extracción utilizados. Una mayor intensificación energética no significa, en principio, una minería más adelantada. Lo mismo que una transición más rápida hacia nuevas fuentes de energía no tuvo una relación directa con la modernización de las formas de extracción.

La transición del vapor a la electricidad fue rápida en el sector minero y contrastó con la larga duración de la que se produjo, a lo largo del todo el siglo XIX, desde las energías de base orgánica al uso de la derivada de combustibles fósiles (carbón). La mayor eficiencia y versatilidad de los motores eléctricos y su conexión con un conjunto de innovaciones decisivas en el ámbito de la extracción y el tratamiento de los minerales, dotó a la nueva forma de aprovechamiento energético de una ventaja indudable sobre los antiguos motores de vapor.

El proceso de electrificación no se realizó de forma paralela en las diferentes cuencas y minerales sino lo que destaca es una importante diversidad a la hora de adoptar la nueva fuente de energía. Destaca cómo la transición se produjo antes dónde predominaban formas más atrasadas de laboreo, como es el caso de los minerales de plomo, lo que nos muestras las posibilidades que tenía ese modelo de minería

La adopción de la electricidad representó una oportunidad para la minería pero, además, la asunción de ciertos riesgos. Uno de los que tuvo mayor incidencia fue la dependencia

que asumieron determinados distritos de suministradores externos del fluido. Ello supuso un importante hándicap en un momento en el que se estaba desarrollando la infraestructura básica de la red eléctrica y el abastecimiento de la tensión necesaria no estaba asegurado.

Bibliografía

- BERNAL, A.M. (1993): "Ingenieros-empresarios en el desarrollo eléctrico español: Mengemor, 1904-1951", *Revista de Historia Industrial*, pp. 93-126.
- BORRAS, J.M. y COHEN, A. (1990): "Aproximación al trabajo infantil y juvenil en la minería española (1868-1930)", XV Simposi d'Anàlisi Econòmica (Nivells de vida a Espanya, s. XIX i XX), Barcelona, Universitat Autònoma de Barcelona, I: 57-66.
- CHASTAGNARET, G. (2000): *L'Espagne, puissance minière dans l'Europe du XXe siècle*. Casa de Velázquez, Madrid.
- CIPOLLA, C.M. (1981): *Historia Económica de la Europa preindustrial*. Alianza. Madrid
- ESCUADERO, Antonio (1992): "Trabajo y capital en las minas de Vizcaya", *Revista de Historia Industrial*, 1, pp. 95-124.
- ESCUADERO, Antonio (1996): "Pesimistas y optimistas ante el "boom" minero". *Revista de Historia Industrial*, 10.
- ESCUADERO, Antonio (1998): *Minería e industrialización de Vizcaya*. Crítica/Universidad de Alicante, Barcelona.
- Estadística Minera y Metalúrgica (1861-1940)*.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1995): *La ley de la Entropía y el proceso económico*. Fundación Argentaria. Colección Economía y Naturaleza. Madrid.
- GÓMEZ MENDOZA, A. (1998): "Los obstáculos físicos al desarrollo de la industria española en el siglo XIX", en Parejo, A. y Gómez Mendoza, A. (eds.), *De Economía e Historia*. Estudios en Homenaje a José Antonio Muñoz Rojas. Málaga.
- HILLBRECHT, M.L. (1986): "Eine mittelalterliche Energiekrise", en Hermann, H. (ed.), *Mensch und Umwelt in Mittelalter*, pp. 275-283. Deutsche Verlags-Anstalt.
- KANDER, A., MALANIMA, P. y WARDE, P. (2008): "Energy transitions in Europe: 1600-2000", Paper no. 2008/12, Centre for Innovation, Research and Competence in the Learning Economy, Lund University.
- MADARIAGA, J.M. de (1900): "Desagüe eléctrico en las minas del Horcajo (Ciudad Real)", *Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería*, 51, pp. 127-129.
- MARTÍNEZ ALIER, J. (1993): "Temas de historia económico-ecológica", en González de Molina, M. y Martínez Alier, J. (eds.), *Historia y Ecología, Ayer*, 11, pp. 19-48.

- MONASTERIO, José de (1861): "Estadística Minera", *Revista Minera. Periódico científico é industrial*, 12, pp. 257-265.
- NAREDO, J.M. y VALERO, A. (dirs.) (1999): *Desarrollo económico y deterioro ecológico*. Fundación Argentaria. Col. Economía y Naturaleza. Madrid.
- ORTIZ RAMOS, A. (1993): "Recursos no renovables (reservas, extracción, sustitución y recuperación de minerales)", en Naredo, J.M. y Parra, F. (comps.), *Hacia una ciencia de los recursos naturales*. Siglo XXI, Madrid, pp. 121-174.
- PÉREZ DE PERCEVAL, Miguel Á.; MARTÍNEZ SOTO, Ángel Pascual y SÁNCHEZ PICÓN, A. (2013): "El trabajo de menores en la minería española, 1860-1940", en Borrás, José María (ed.), *El trabajo infantil en España (1700-1950)*, Barcelona, Icaria/Universidad de Barcelona, pp. 153-191
- ROLANDI, Bernardino (1924): *Informe sobre el problema social-minero en la sierra de Cartagena*. Sobrinos de la Suc. De M. Minuesa de los Ríos, Madrid.
- SÁNCHEZ PICÓN, Andrés (1995): "Modelos tecnológicos en la minería del plomo andaluza durante el siglo XIX", *Revista de Historia Industrial*, 7, pp. 11-37.
- SÁNCHEZ PICÓN, A. (2001): "Transición energética y expansión minera en España", en González de Molina, M. y Martínez Alier, J. (eds.), *Naturaleza transformada. Estudios de historia ambiental en España*, Icaria, Barcelona, pp. 265-288.
- SÁNCHEZ PICÓN, A. y PÉREZ DE PERCEVAL VERDE, M.A. (1999): "La mano de obra de la minería española (1868-1900). Una aproximación regional y sectorial", en Carreras, Pascual, Reher y Sudrià (eds.), *La industrialización y el desarrollo económico de España*. Universitat de Barcelona.
- SAVERY, T. (1702): *The Miners Friend, or an engine to raise water by fire...* Printed S. Crouch. London (<http://www.history.rochester.edu/steam/savery>).
- SIEFERLE, R.P. (2001): "Qué es la historia ecológica", en González de Molina, M. y Martínez Alier, J. (eds.), *Naturaleza transformada. Estudios de historia ambiental en España*, Icaria, Barcelona, pp. 31-54.
- SIN AUTOR (1991): "La estadística minera de España. Análisis de los procedimientos empleados en su elaboración", *Boletín de Información Económico-financiero*, 22, pp. 1-37 + anexos.
- SIN AUTOR (1926): "La red eléctrica nacional y la industria minero-metalúrgica", *Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería*, LXXVII, pp. 481-484
- SUDRIÀ, C. (1997): "La restricción energética en la economía española contemporánea", *Papeles de Economía Española*, 73, pp. 165-188.
- WILKINSON, R.G. (1988): "The English Industrial Revolution", en Worster (ed.), *The Ends of the Earth. Perspectives on Modern Environmental History*. Cambridge.
- WRIGLEY, E.A. (1988): *Continuity and Change. The Character of the Industrial Revolution in England*. Cambridge.