



Máster Universitario en Economía y Desarrollo

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER CURSO ACADÉMICO [2022-2023]

TÍTULO: ELECTRIFICACIÓN DE LA INDUSTRIA MINERA ESPAÑOLA.
FACTORES CLAVE DE LOS CAMBIOS EN EL CONSUMO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA 2005-2019

AUTOR:

D. Gianluca Vincenzo, Simoni

TUTOR ACADÉMICO:

Dra. DÑA. ROCIO ROMÁN COLLADO

Dr. D. JOSÉ MANUEL CANSINO MUÑOZ-REPISO

RESUMEN:

El presente trabajo tiene como objetivos identificar los factores claves en la evolución del consumo eléctrico en la industria minera en España, analizar la variación del consumo eléctrico del sector minero entre las diferentes Comunidades Autónomas (CCAA) o regiones y estudiar las variaciones del consumo energético en la minería segmentado por tipo de producto minero. Para alcanzar estos objetivos se emplea el método de descomposición del Índice Logarítmico de Media Divisa (LMDI) tipo LMDI I, el cual permite identificar los efectos impulsores e inhibidores del consumo eléctrico para el periodo temporal comprendido entre el año 2005 al 2019. Los resultados de este trabajo permiten identificar al efecto Intensidad como el principal impulsor del consumo eléctrico de la industria minera. En contra parte, el efecto Actividad se presenta como el principal inhibidor durante todo el periodo de estudio. Mientras que los efectos Peso del producto S1 y Peso de la Comunidad Autónoma mostraron un aporte poco relevante al consumo eléctrico. Los resultados de este trabajo permiten extraer conclusiones de utilidad para la mejora de la política energética minera de España. Algunas de las recomendaciones son escalables para la Unión Europea (UE).

PALABRAS CLAVE:

Consumo eléctrico, Análisis de descomposición LMDI, Intensidad Energética, Industria Minera



Máster Universitario en Economía y Desarrollo

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

MASTER THESIS ACADEMIC COURSE [2022-2023]

TITLE: ELECTRIFICATION OF THE SPANISH MINING INDUSTRY. KEY FACTORS OF THE ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION CHANGES 2005-2019

AUTHOR:

D. Gianluca Vincenzo, Simoni

ACADEMIC SUPERVISOR:

Dra. DÑA. ROCIO ROMÁN COLLADO

Dr. D. JOSÉ MANUEL CANSINO MUÑOZ-REPISO

ABSTRACT:

The present work aims to identify key factors in the evolution of electricity consumption in the mining industry in Spain, analyze the variation in electricity consumption within different Autonomous Communities (CCAA) or regions, and study variations in energy consumption in mining segmented by type of mineral product. To achieve these objectives, the Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) decomposition method, specifically LMDI type I, is employed, allowing for the identification of driving and inhibiting effects on electricity consumption for the time period from 2005 to 2019. The results of this study identify the Intensity effect as the primary driver of electricity consumption in the mining industry. In contrast, the Activity effect appears as the main inhibitor throughout the study period. Meanwhile, the Weight of Product S1 and Weight of the Autonomous Community effects showed a less relevant contribution to electricity consumption. The findings of this study provide valuable insights for improving Spain's mining energy policy, with some recommendations being scalable for the European Union (EU).

KEYWORDS:

Electric Power Consumption, LMDI Decomposition Analysis, Energy Intensity, Mining Indust

Índice

Contenido

1.	Introducción	5
2.	Revisión de la literatura.....	7
3.	Metodología	9
4.	Base de datos	12
5.	Resultados	14
6.	Discusión.....	25
7.	Conclusiones	28
	Bibliografía	30
	Anexo A.....	37

1. Introducción

La energía eléctrica es el principal motor de las economías modernas representando una parte cada vez mayor de los consumos energéticos totales (IEA, 2021). En el año 2019, el consumo mundial superó los 22.000 TWh. Se espera que la demanda de electricidad aumente como consecuencia de la mayor electrificación en la industria y el transporte, además del creciente uso de dispositivos electrónicos. A este resultado esperado contribuye también la transición de los países desarrollados a fuentes energéticas renovables. La proyección es que el porcentaje de electricidad en la demanda de energía final industrial alcance un 45% para el año 2050 (Electric Power Research Institute, 2018). No obstante, para la descarbonización industrial se necesita aumentar en gran escala el suministro de la energía renovables y desarrollar tecnologías de calentamiento diferentes a las tradicionalmente utilizadas (Wei et al., 2019).

La búsqueda de una electricidad descarbonizada ha supuesto grandes esfuerzos por parte de los gobiernos e industrias, lo que ha conducido a colocar al sector eléctrico en la vanguardia de los esfuerzos por combatir el cambio climático y la contaminación mediante el uso de combustibles alternativos a los de origen fósil como el hidrógeno o las energías renovables. En la actualidad los mayores esfuerzos se centran en el sector industrial y residencial, ya que representa más del 90% de la demanda mundial de electricidad (IEA, 2022). En este marco de desarrollo sostenible se espera que las energías renovables proporcionen dos tercios del suministro de electricidad en todo el mundo para el año 2040. La energía solar fotovoltaica tendrá un papel clave al contar para el 2035 una capacidad instalada mayor a la del carbón y el gas (IEA, 2019).

La transición energética hacia energías renovables va a exigir un aumento en la producción de minerales como el grafito, litio y el cobalto hasta un 500% al año 2050. Estos minerales son necesarios para el desarrollo de las tecnologías renovables. Se estima que 3000 millones de toneladas de minerales y metales serán necesarios para atender la demanda de energía eólica, solar y térmica, además de los sistemas de almacenamiento de energía (World Bank, 2017). Se ha generado un círculo vicioso en torno a la creciente necesidad de los minerales críticos para construir el sistema de energías limpias, pues durante el proceso de extracción minera, se consumen grandes cantidades de energía, las cuales generan emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Sin duda, la transición a energías limpias será intensiva en el uso de estos minerales, por lo que se necesitará centrar esfuerzos en el control y mejora del consumo energético de la industria minera para descarbonizar la producción de fuentes renovables (Hund et al., 2023).

Con datos del 2016 la extracción mundial de cobre era de 20,2 millones de toneladas, mientras que la producción metalúrgica fue de 19 millones de toneladas. Hasta 2016 se estimaba un crecimiento anual del 6% y las proyecciones disponibles esperan que este porcentaje siga aumentando (Pietrzyk & Tora, 2018).

La creciente demanda de minerales críticos a consecuencia de la transición a energías limpias supone un desafío para una industria minera particularmente intensiva en el consumo de energía eléctrica. La industria minera necesita de grandes cantidades de electricidad para operar con maquinaria pesada, equipos de perforación, trituración y otros procesos de concentración y transporte mineral. Otras actividades en el sector también demandan electricidad como es el caso de la iluminación, ventilación subterránea y climatización de los campamentos. Por todo lo anterior, la mejora de la eficiencia energética (particularmente en el consumo eléctrico) resulta esencial para reducir los costes de producción y la huella de carbono (Henriksson, Söderholm & Wårell, 2013). En línea con la mejora de la eficiencia energética, numerosas explotaciones mineras han iniciado programas de automatización que dependen de sistemas electrificados. Es el caso del uso de los vehículos y maquinarias inteligentes alimentados por microrredes de energía renovable parcial. (Ertugrul et al., 2020).

España es uno de los países que mayores esfuerzos han realizado en la mejora de la eficiencia energética dada su tradición minera. Ejemplos de las medidas que se están implementando incluyen la modernización de los equipos y maquinaria, la optimización de los procesos de extracción y la utilización de fuentes de energía renovable en el proceso productivo. El Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2022), establece la Hoja de Ruta para la Gestión Sostenible de las Materias Primas Minerales establece una serie de medidas para mejorar la eficiencia energética y reducir la huella de carbono de la minería en España. Adicionalmente, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021) publica la *Estrategia Española de Economía Circular*, la cual que establece objetivos para fomentar la eficiencia energética en la gestión de los residuos mineros promoviendo su reutilización y reciclaje. Estos esfuerzos de los gobiernos españoles van en línea con los planes estratégicos de la Unión Europea como el Pacto Verde y la nueva Estrategia Industrial, donde el acceso, la seguridad y la sostenibilidad ambiental de las cadenas de suministros de minerales estratégicos son un eje fundamental para el objetivo de neutralidad climática de la UE para el 2050 (OECD, 2021).

Resulta de interés analizar los determinantes del consumo eléctrico de la industria minera española. Según los datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España (2019) están en funcionamiento 2.665 explotaciones, que generan 28.728 empleos, de los cuales 22.978 corresponden a la extracción de minerales no metálicos

(industriales, ornamentales, productos de cantera), 148 a minerales energéticos y 5.602 a minerales metálicos. España es un actor clave dentro del suministro de minerales críticos para la UE, además de unas de las regiones con mayor potencial de explotación y exploración. En el año 2018, el ranking realizado por el Fraser Institute clasificó a España como uno de los destinos de inversión minera más atractivos de Europa, además, destacaba a España como un punto clave a nivel europeo para construir las baterías necesarias para la tecnologías renovables y vehículos eléctricos de toda Europa (Stedman & Green, 2018).

El objetivo de este trabajo es triple; 1) identificar los factores claves en la evolución del consumo eléctrico en la industria minera en España, 2) analizar la variación del consumo eléctrico del sector minero entre las diferentes Comunidades Autonómicas (CCAA) o regiones y 3) estudiar las variaciones del consumo energético en la minería segmentado por tipo de producto minero. Los resultados de este trabajo permiten extraer conclusiones de utilidad para la mejora de la política energética minera de España. Algunas de las recomendaciones son escalables para la Unión Europea (UE).

Para alcanzar estos objetivos se emplea el método de descomposición del Índice Logarítmico de Media Divisa (LMDI) tipo LMDI I. Esta metodología permite identificar los efectos impulsores e inhibidores del consumo eléctrico de la industria minera española. El análisis se realiza para el periodo temporal comprendido entre el año 2005 al 2019 (último año del que se dispone del Informe minero anual en el momento de realizar la investigación).

El documento está estructurado de la siguiente manera. Tras la introducción, el segundo apartado realiza una revisión sistemática de la literatura científica disponible. El tercer apartado expone la metodología utilizada. El cuarto muestra las bases de datos utilizadas. En el quinto apartado se exponen los principales resultados de la investigación. En el sexto apartado se discute los resultados obtenidos. Por último, el séptimo apartado resume las principales conclusiones.

2. Revisión de la literatura

La revisión de la literatura científica muestra el interés para los investigadores del sector de la minería tanto desde el punto de vista económico como medioambiental. La preocupación por el alto consumo de energía eléctrica y la importancia de promover la eficiencia son denominadores comunes en los análisis disponibles.

Jeswiet & Szekeres (2016) analizaron la enorme importancia que tiene el consumo energético de la minería en la etapa de trituración para servir como materia prima del sector industrial, asociando de esta manera un consumo eléctrico adicional al producto final. Su análisis permite una valoración rigurosa del impacto medioambiental causado. Levesque, Millar & Paraszczak (2014) realizaron una comparativa de las mejores prácticas de gestión energética puestas en marcha por la industria minera desde los años setenta. Los autores enfatizaron la importancia de desarrollar organismos que recopilen y expongan los datos energéticos de la industria minera de forma transparente para contribuir al progreso de la industria minera. Por otro lado, Purhamadani, Bagherpour & Tudeshki (2021) pusieron el foco en identificar los principales responsables del consumo energético en los procesos de explotación minera con el objetivo de aplicar medidas de mejora en su eficiencia.

Debido a la alta intensidad de energía eléctrica por parte de la industria minera, la literatura disponible incluye trabajos orientados al análisis del consumo de energía eléctrica de la minería. Henriksson, Söderholm & Wårell (2013) analizaron la demanda de energía eléctrica por parte de la industria minera sueca durante el periodo de 1990 – 2005. Utilizando una función de costo variable generalizada de Leontief sus resultados mostraron una importante sensibilidad de la demanda de electricidad a los cambios en el precio de la electricidad a largo plazo lo que justifica los esfuerzos del sector en mejorar la eficiencia energética. Por otro lado, Morán et al. (2019), identificaron las principales operaciones mineras y de procesamiento mineral consumidoras de energía eléctrica con el objetivo de proponer iniciativas en la gestión energética, estudiando además la viabilidad de apoyar estas operaciones con electricidad procedente de fuentes de energía renovables. Brantes (2019) realiza un pronóstico de la cantidad de electricidad que será consumida por la industria minera chilena, en función de cumplir con la creciente demanda a nivel mundial por minerales como el cobre.

La literatura especializada muestra estudios específicamente dedicados a la eficiencia energética en la industria minera. Lin & Zhu (2021), identificando a la minería como la base del sector industrial chino y su importancia en la seguridad energética China, realizaron un análisis de los principales factores determinantes en la eficiencia del sector minero chino. Estos autores emplearon el método del Factor Total de Eficiencia Energética (TFEE). Otros trabajos se centran más en analizar la eficiencia de los procesos productivos propios de la extracción minera (Awuah-Offei, 2016). Laayati, Bouzi & Chebak (2020), analizan los elementos claves en la gestión inteligente de la energía utilizada por la industria minera. Brand, Vosloo & Mathews (2015) estudian la viabilidad de proyectos de mejora en la eficiencia energética mediante la obtención automatizada de datos en la industria minera del oro. Wysokiński et al. (2014) realizaron un análisis comparativo a nivel europeo utilizando el método de Data Envelopment Analysis (DEA).

Existe una abundante literatura que utiliza el análisis de descomposición para estudiar la evolución del consumo energético o las emisiones de gases de efecto invernadero del sector de la minería (Wang, Ang & Su, 2017). Una parte de estos estudios han utilizado el método LMDI en la industria minera para identificar factores claves que expliquen las variaciones en el consumo energético o las emisiones generadas. Wang & Feng (2018) utilizaron el método LMDI para analizar los cambios en el consumo energético de la industria de metal no ferroso chino identificando sus principales impulsores e inhibidores. Con las recientes políticas contra el cambio climático y la emisión de gases, un importante número de trabajos utilizaron el método LMDI para analizar las emisiones producidas por la minería China. Chen & Yan (2022) analizan por primera vez mediante este método de descomposición el desacoplamiento entre las emisiones de CO₂ y el crecimiento económico en la industria minera China. Wang & Feng (2017) realizaron años atrás un análisis sobre las emisiones de CO₂ de toda la industria minera China, identificando los principales impulsores de la emisión de gases de efecto invernadero. Mahanga, Massonini & Meng (2022) utilizaron el método LMDI para analizar cuáles fueron los factores impulsores de la innovación de la industria minera frente al desafío del cambio climático en los países africanos y asiáticos.

La revisión sistemática realizada de la literatura científica muestra un gap en la literatura para la industria minera española. Más específicamente la revisión no muestra ningún trabajo que utilice el método LMDI para analizar los factores clave determinantes del consumo de energía eléctrica de la industria minera española. En este sentido, este trabajo contribuye a cubrir esta brecha.

3. Metodología

Esta investigación utiliza el método de descomposición del Índice Logarítmico de Media Divisa (LMDI) (Ang, 1995; 2004; 2005), Ang & Liu (2001), Ang et al. (2010) & Ang (2015). Actualmente, los dos métodos más utilizados para el análisis de los cambios cuantitativos de variables relacionadas con el consumo de energía y el impacto medioambiental son el análisis de descomposición estructural (SDA) y el análisis de descomposición mediante índices (IDA) (Yeo et al., 2015). Ambas metodologías consisten en descomponer y analizar las variaciones de una variable en un periodo de tiempo. Mientras que el SDA nos permite descomponer la variación total en tendencia, ciclo y estacionalidad, el IDA descompone la variación total en factores clave mediante el uso de índices.

Las ventajas del uso del LMDI frente al SDA para abordar este estudio residen en la flexibilidad que proporciona al método al permitirnos descomponer la variación total en factores

específicos, lo cual nos permite estudiar las contribuciones relativas de cada factor en el periodo de tiempo estudiado. Además, la interpretación de las contribuciones en cambios porcentuales facilita la interpretación de los resultados obtenidos.

En concreto, el análisis LMDI incluye dos variantes desarrolladas por Ang & Choi (1997); LMDI-I y el LMDI-II. La diferencia entre ambas está en el cálculo utilizado para el factor de ponderación de los factores de descomposición. Este trabajo utiliza el análisis LMDI-I por su facilidad al ayudarnos a comprender la proporcionalidad en la que ha contribuido cada factor al sumar cada componente para obtener la variación final e identificar cambios estructurales en el periodo estudiado. Además, el método LMDI-I permite resolver los problemas asociados a la existencia de valores nulos en la serie de datos mediante su sustitución por valores pequeños cercanos a cero (Ang & Choi, 1997).

El análisis LMDI-I en su modalidad aditiva fue desarrollado por Ang et al. (1998). Posteriormente Ang & Liu (2001) desarrollarían su vertiente multiplicativa, la cual es comúnmente utilizada para la descomposición de indicadores mientras que el LMDI aditivo se recomienda la descomposición de variables (Goh & Ang, 2019).

En este trabajo utilizaremos el análisis LMDI-I aditivo ya que permite descomponer el consumo energético en expresiones simples y sin residuos. Además, al cumplir con el principio de distribución proporcional por subcategorías, resulta de interés para los objetivos de la investigación (Ang et al., 2009).

A partir de lo anterior el consumo de energía eléctrica de la industria minera en España (EE) se presenta con la siguiente factorización para un año concreto:

$$EE = \sum_{jk} E_{jk} = \sum_{jk} \left(\frac{E_{jk}}{Q_{jk}} \cdot \frac{Q_{jk}}{Q_k} \cdot \frac{Q_k}{Q} \cdot Q \right) = \sum_{jk} (I_{jk} \cdot S1_{jk} \cdot S2_k \cdot Q) = I \cdot S1 \cdot S2 \cdot Q \quad (1)$$

donde EE mide el consumo de energía eléctrica de la industria minera española en un año; E_{jk} muestra el consumo de energía eléctrica por tipo de producto minero (j) en la Comunidad Autónoma o región (k); Q_{jk} muestra la producción minera por cada Comunidad Autónoma (k) según tipo de producto (j); Q_k muestra la producción minera total de una Comunidad Autónoma (k). Finalmente, Q muestra la producción total de toda la industria minera española.

La ecuación (1) permite explicar el consumo de energía eléctrica de la industria minera en España en un año mediante los siguientes cuatro factores:

a) **Factor Intensidad (I_{jk}):** Mide el consumo eléctrico por unidad de producto minero (j) en la comunidad Autónoma (k).

b) **Factor Peso del Producto ($S1_{jk}$):** Mide el peso relativo de la producción de cada tipo de producto minero (j) sobre la producción total minera de la Comunidad Autónoma (k).

c) **Factor Peso de CCAA ($S2_k$):** Mide el peso relativo de la producción minera de cada Comunidad Autónoma sobre el total de la producción minera española.

d) **Factor Actividad (Q):** Mide la cantidad total de la producción minera española.

Aplicando el método LMDI-I aditivo al cambio de valor en la variable EE entre el periodo 0 y el T se obtiene la ecuación (2):

$$\Delta EE = EE^T - EE^0 = \Delta I + \Delta S1 + \Delta S2 + \Delta Act \quad (2)$$

De esta forma, el cambio en el consumo de energía eléctrica de la industria minera española (ΔEE), viene explicada por cuatro efectos; intensidad (ΔI), peso del producto ($\Delta S1$), peso de la comunidad autónoma ($\Delta S2$) y actividad (ΔAct) que se calculan como sigue:

$$\Delta I = \sum_{jk} \omega_{jk} \cdot \ln \left(\frac{I_{jk}^T}{I_{jk}^0} \right) \quad (3)$$

$$\Delta S1 = \sum_{jk} \omega_{jk} \cdot \ln \left(\frac{S1_{jk}^T}{S1_{jk}^0} \right) \quad (4)$$

$$\Delta S2 = \sum_{jk} \omega_{jk} \cdot \ln \left(\frac{S1_k^T}{S1_k^0} \right) \quad (5)$$

$$\Delta Act = \sum_{jk} \omega_{jk} \cdot \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \quad (6)$$

Siento ω_{jk} el factor de ponderación que se obtiene como la media logarítmica del consumo de energía eléctrica del producto minero (j) y la comunidad autónoma (k) entre el periodo 0 y T según la expresión

$$\omega_{jk} = \frac{E_{jk}^T - E_{jk}^0}{\ln E_{jk}^T - \ln E_{jk}^0} \quad (7)$$

Las ecuaciones (3) a (6) permiten interpretar los efectos de la descomposición de la siguiente forma:

Efecto Intensidad (ΔI): Refleja la variación en el consumo de energía eléctrica de la minería española debida al cambio la intensidad de energía eléctrica de cada producto minero (j) en la comunidad autónoma (k) entre el periodo T y 0.

Efecto Peso del Producto ($\Delta S1$): Refleja la variación en el consumo de energía eléctrica de la minería española debido al cambio en el peso relativo de los diferentes tipos de productos mineros de cada Comunidad Autónoma sobre el total de su producción minera entre el periodo T y 0.

Efecto Peso de la CCAA ($\Delta S2$): Refleja la variación en el consumo de energía eléctrica de la minería española debido al cambio en el peso relativo de la producción minera de cada Comunidad Autónoma sobre el total de la producción minera española entre el periodo T y 0.

Efecto Actividad (ΔAct): Refleja la variación en el consumo de energía eléctrica de la minería española debido al cambio en la producción minera de España entre el periodo T y 0.

4. Base de datos

La información utilizada procede de los principales organismos públicos responsables de la supervisión de la actividad minera en el territorio español. Los datos de la cantidad de energía eléctrica (EE) consumida por el sector minero, medido en MWh, en cada año de estudio fueron obtenidos de los informes de la estadística minera en España del periodo 2005-2019, publicados anualmente por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (2023) en colaboración con la Subdirección de Minas del Ministerio de Industria y Energía y Turismo y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Los datos corresponden a una operación estadística de carácter censal basada en una exhaustiva recopilación de toda la información de la industria minera a nivel nacional.

Los datos de la cantidad de productos mineros, medidos en miles de toneladas, fueron obtenidos mediante la generación de informes individuales para cada año en MINERVA servicio de la Subdirección General de Minas que ofrece el Ministerio para la Transición Ecológica (2023). Estos datos están medidos en miles de toneladas, clasificados por tipos de productos mineros y CCAA donde fueron extraídos.

Los datos obtenidos del Informe Minero Anual y las tablas descargables de MINERVA respecto a los productos están clasificados en tres grupos: Productos de Cantera, Rocas Ornamentales y Recursos Estratégicos. Este último dato engloba de forma agregada los Minerales Metálicos y Minerales Industriales, Carbón, Petróleo y Gas. La Tabla 1 resume esta clasificación.

Tabla 1. Clasificación de los Productos Mineros

Productos Mineros	Productos de Cantera	
	Rocas Ornamentales	
	Recursos Estratégicos	Minerales Metálicos
		Minerales Industriales
Carbón, Petróleo y Gas		

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis de los resultados obtenidos se consultó los Panoramas Mineros que publica el Instituto Geológico y Minero de España (2023). Esta fuente aporta importantes datos sobre la producción mineral nacional. También ofrece un análisis y datos de comercio exterior, así como datos de la producción mundial y la evolución en los precios de los minerales en el mercado mundial. Con esta información se tomó la decisión de presentar los resultados interanuales y de analizar los datos obtenidos en el periodo global 2005-2019.

Los datos relativos al consumo eléctrico y la producción minera de las provincias de Ceuta y Melilla no se han tomado en cuenta para el cómputo de los resultados debido a nula contribución en el consumo de electricidad y producción minera total.

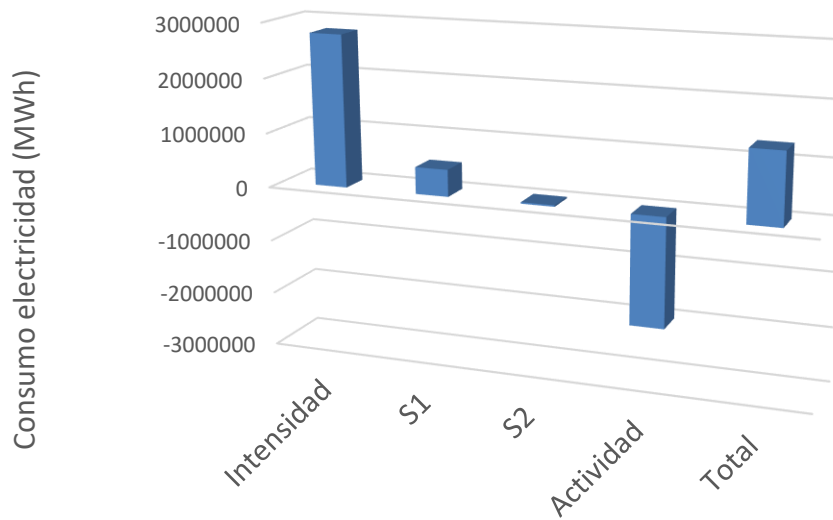
5. Resultados

El análisis de descomposición desarrollado muestra los factores determinantes del cambio en el consumo de electricidad de la industria minera española entre 2005 y 2019 en tres niveles correspondientes a los otros tantos objetivos perseguidos. En primer lugar, se presentan los resultados para el total de la minería española tanto para el total periodo bajo análisis como para cada uno de los bienios consecutivos. En segundo lugar, se muestran los resultados desagregados por CCAA. Finalmente se muestran los resultados para el total de la minería española diferenciando por tipo de producto minero.

5.1 Efectos clave del cambio en el consumo eléctrico de la industria minera española (2005-2019).

La variación en el consumo de energía eléctrica de la industria minera española entre 2005 y 2019 supuso un aumento de 1,3 millones de MWh equivalente al 170% respecto al primer año estudiado (Tabla A.1 del Anexo). El comportamiento de los efectos claves del consumo eléctrico de la minería en España muestra al efecto Intensidad como principal responsable del aumento en el consumo eléctrico del periodo total siendo responsable de un aumento de 2,8 millones de MWh. En menor medida, el efecto Peso del Producto S1 y el efecto Peso de la Comunidad Autónoma, contribuyeron en el aumento del consumo con un incremento de 49000 MWh y 26800 MWh respectivamente (Gráfico 1). Por otro lado, el efecto Actividad contribuyó negativamente a la variación del consumo provocando una reducción de -2 millones de MWh.

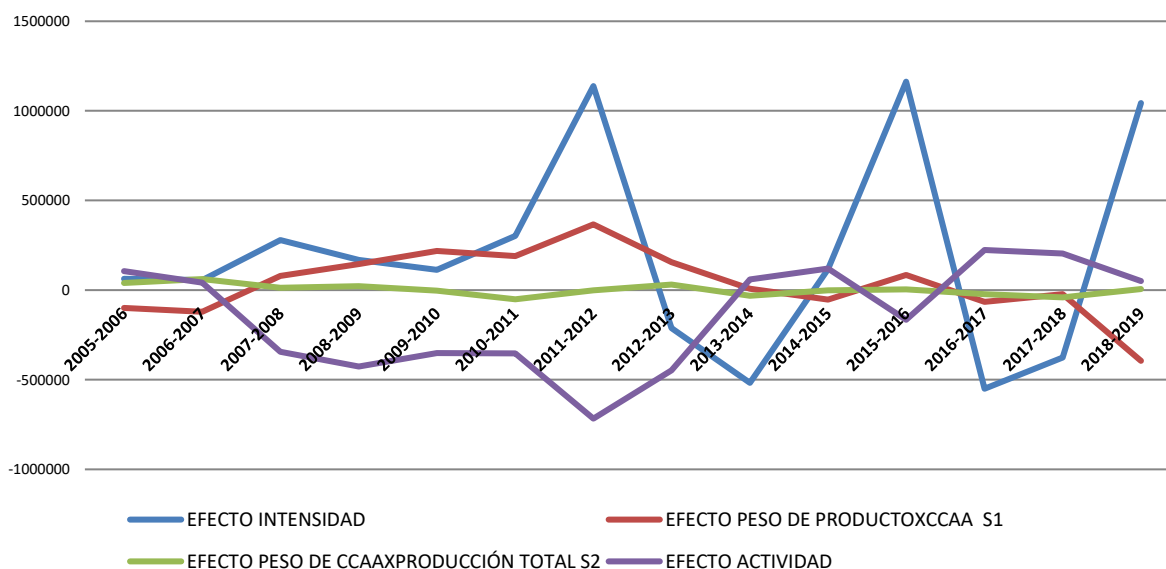
Gráfico 1. Efectos clave del cambio del consumo eléctrico de la minería en España
(2005-2019)



Fuente: Elaboración propia

El análisis de la evolución de los efectos para todo el periodo de estudio permite identificar al efecto intensidad como el principal impulsor del consumo eléctrico (Gráfico 2). Destacan los periodos 2011-2012, 2015-2016 y 2019 como años clave en el aumento de la intensidad energética de la industria minera española. Por otro lado, se observa cómo los efectos peso del producto S1 y en menor medida Peso de la Comunidad Autónoma S2, no influyeron significativamente en el aumento de este consumo. Finalmente debe destacarse el efecto actividad como un importante inhibidor del consumo eléctrico en gran parte del periodo estudiado, resaltando el bienio 2011-2012 como pico de su contribución a la reducción del consumo.

Gráfico 2: Cambio interanual de los efectos sobre el consumo eléctrico de la minería española (2005-2019)



Fuente: Elaboración propia

El comportamiento de los efectos para todo el periodo estudiado presenta los siguientes resultados desagregados (Figura 1). El efecto Intensidad es el principal responsable del aumento de consumo de energía eléctrica por parte de la industria minera española, actuando como principal impulsor en casi todo el periodo de estudio. Especialmente esto ocurre en los bienios 2012-2013, 2013-2014, 2016-2017 y 2018-2019.

El efecto Peso del producto (S1) actúa como el segundo impulsor clave tras el efecto intensidad. No obstante, ocasionalmente actuó como un inhibidor en los subperiodos 2005-2008 y 2016-2019.

Para el efecto Peso de la Comunidad Autónoma S2 se obtienen resultados similares al efecto S1 aunque contribuye en menor media al aumento del consumo eléctrico. Este efecto presenta periodos como impulsor (2005-2009, 2012-2013, 2015-2016 y 2018-2019) y otros como inhibidor (2009-2012, 2013-2015 y 2016-2018). Para el conjunto del periodo el efecto Peso de la Comunidad Autónoma se comporta como un ligero impulsor.

El efecto actividad es el mayor inhibidor en la descomposición del consumo de energía eléctrica de la industria minera si bien no para todo el periodo. Su comportamiento como inhibidor

se concentra en el periodo 2007-2013 y 2015-2016, mientras que en los periodos 2005-2007, 2013-2015 y 2016-2019 actúa como impulsor del consumo eléctrico.

5.2 Efectos clave del cambio en el consumo de energía eléctrica en el sector de la minería en España por Comunidades Autónomas

El método LMDI permite descomponer la variación del consumo eléctrico de la minería española a nivel Autonómico permitiendo así obtener resultados que satisfacen el segundo objetivo de esta investigación. Los resultados muestran el desempeño de las empresas del sector en cada CCAA y descompone la variación del consumo eléctrico en efectos clave para cada una de las Comunidades (Tabla 2). La variación de la energía eléctrica interanual consumida por CC.AA. se detalla en la TablaA.2 del Anexo.

Tabla 2: Efectos de la descomposición de los cambios en el consumo eléctrico (MWh) de la minería española por Comunidad Autónoma (2005-2019)

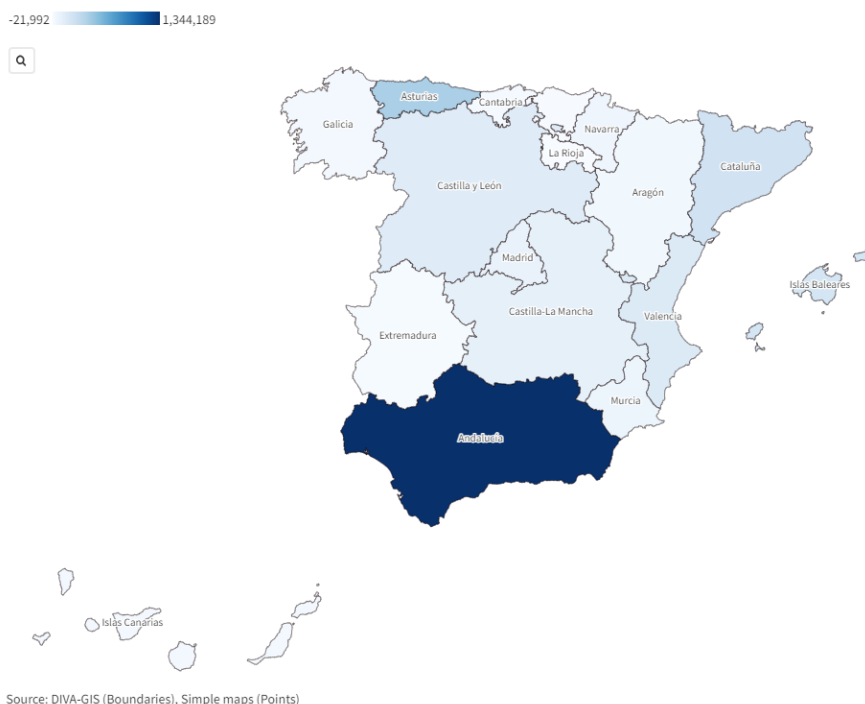
COMUNIDADES	INTENSIDAD	S1	S2	ACTIVIDAD	TOTAL
ANDALUCÍA	1344189	286971	58380	-515768	1173771
ARAGÓN	17874	22602	10747	-51402	-179
ASTURIAS	431276	-153956	-36564	-287512	-46756
BALEARES	217605	1034	4237	-10925	211950
CANARIAS	6140	133	-5619	-15220	-14566
CANTABRIA	4324	-1024	15366	-30971	-12306
CASTILLA Y LEÓN	140404	-12387	50850	-258696	-79829
CASTILLA-LA MANCHA	97063	28763	544	-85019	41351
CATALUÑA	239297	127611	3670	-190898	179680
EXTREMADURA	-7602	51983	100	-55496	-11015
GALICIA	5079	-35429	8739	-106868	-128479
LA RIOJA	-21992	29796	-2428	-3377	1999
MADRID	73005	61150	-38552	-100294	-4691
MURCIA	51954	32573	-25659	-76997	-18129
NAVARRA	39740	40782	496	-59627	21392
PAIS VASCO	-13823	30119	9517	-47311	-21499
VALENCIA	164545	-18706	-27023	-104291	14525

Fuente: Elaboración propia

5.2.1 Efecto Intensidad por Comunidad Autónoma

El efecto Intensidad para cada comunidad autónoma se muestra en la Tabla 3. Con el propósito de simplificar el análisis de este efecto nos centraremos en las CC.AA. que mostraron una mayor variación en términos absolutos en el periodo estudiado.

Mapa 1. Efecto Intensidad en las Comunidades Autónomas entre 2005 y 2019



Fuente: Elaboración propia con Flourish

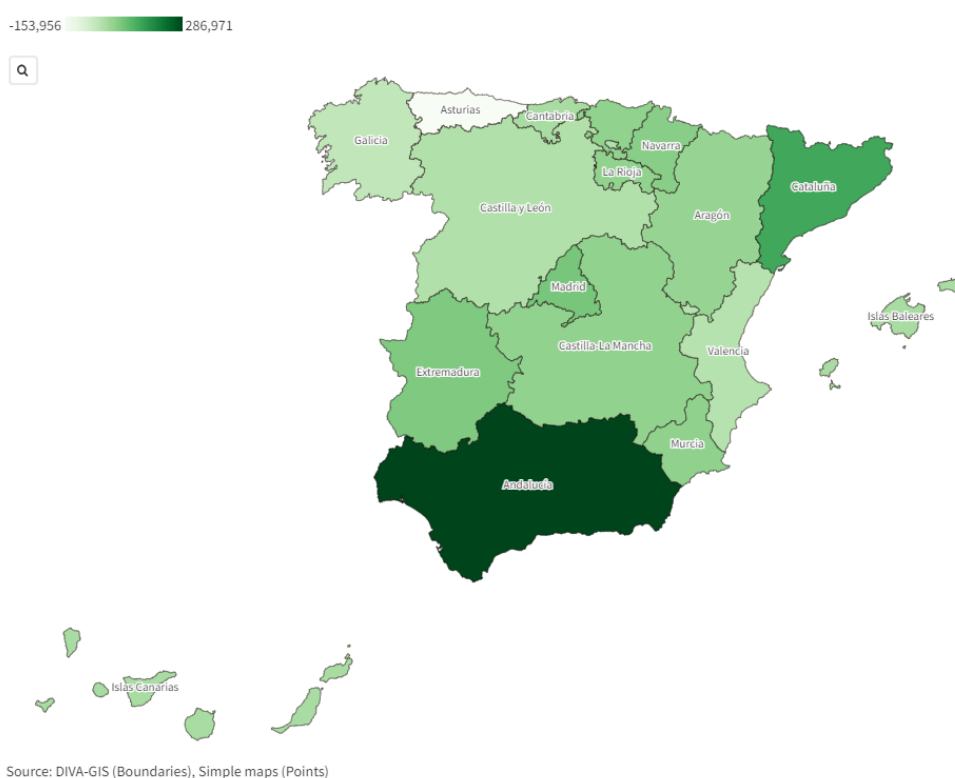
La comunidad de Andalucía es la que registra el mayor incremento del efecto Intensidad durante el periodo estudiado (Mapa 1). Asturias -histórica región minera- aparece como la segunda con mayor incremento del efecto Intensidad. Por último, cabe señalar a las comunidades de Cataluña y de Baleares mostraron valores positivos, contribuyendo así en gran medida al valor global para España del efecto Intensidad.

En general todas las comunidades han experimentado un incremento en la intensidad energética del sector minero con excepciones. Es el caso de La Rioja que experimentó una importante reducción. Finalmente, la comunidad de País Vasco es la única que experimentó una reducción en el efecto intensidad sostenida durante todo el periodo estudiado (ver Tabla A.4 de Anexo).

5.2.2 Efecto Peso de Producto S1 por Comunidad Autónoma

El efecto Peso del Producto S1 experimentado en cada CCAA se muestra en el Mapa 2 además de en la Tabla 3. También aquí nos centraremos en las CC.AA. que presentaron un mayor incremento o disminución en términos absolutos del efecto en el periodo bajo análisis.

Mapa 2. Efecto Peso de Producto S1 en las Comunidades Autónomas (2005-2019)



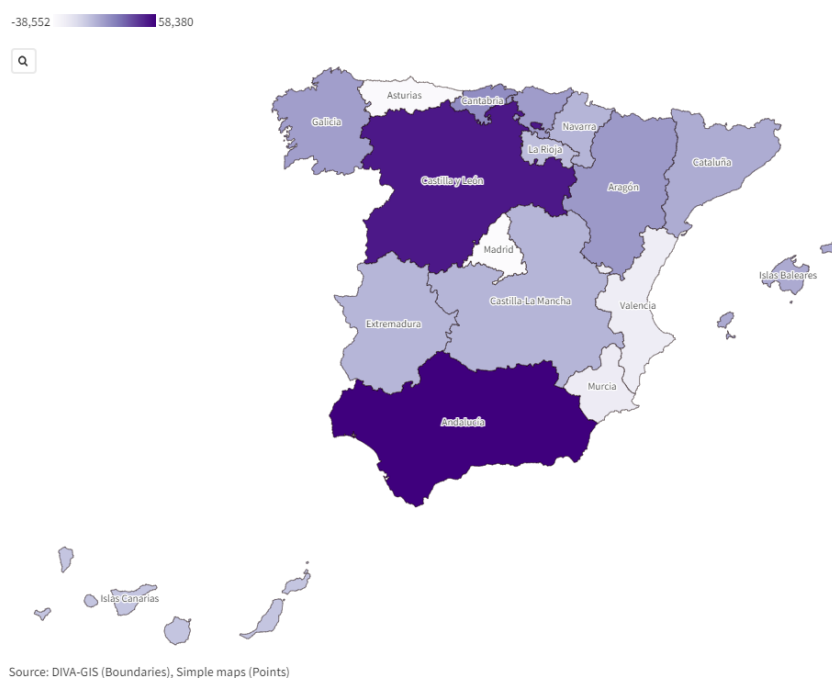
Fuente: Elaboración propia con Flourish

La comunidad andaluza registró el principal aumento del efecto Peso del Producto S1, seguido por la comunidad catalana que también experimentó un significativo incremento en este efecto. Por último, Madrid y Extremadura fueron comunidades que igualmente experimentaron incrementos del efecto S1 significativos. Importa señalar que Extremadura sostuvo un incremento del efecto S1 durante todo el periodo de estudio (Ver Tabla A.5 de Anexo).

5.2.3 Efecto Peso de la Comunidad Autónoma S2

El Mapa 3 y la Tabla 3 muestran el efecto Peso de la Comunidad Autónoma S2 experimentado en cada una de las CCAA. Pondremos el foco en las regiones con mayor variación absoluta de este efecto.

Mapa 3. Efecto Peso de la Comunidad Autónoma S2 en las Comunidades Autónomas (2005 - 2019)



Fuente: Elaboración propia con Flourish

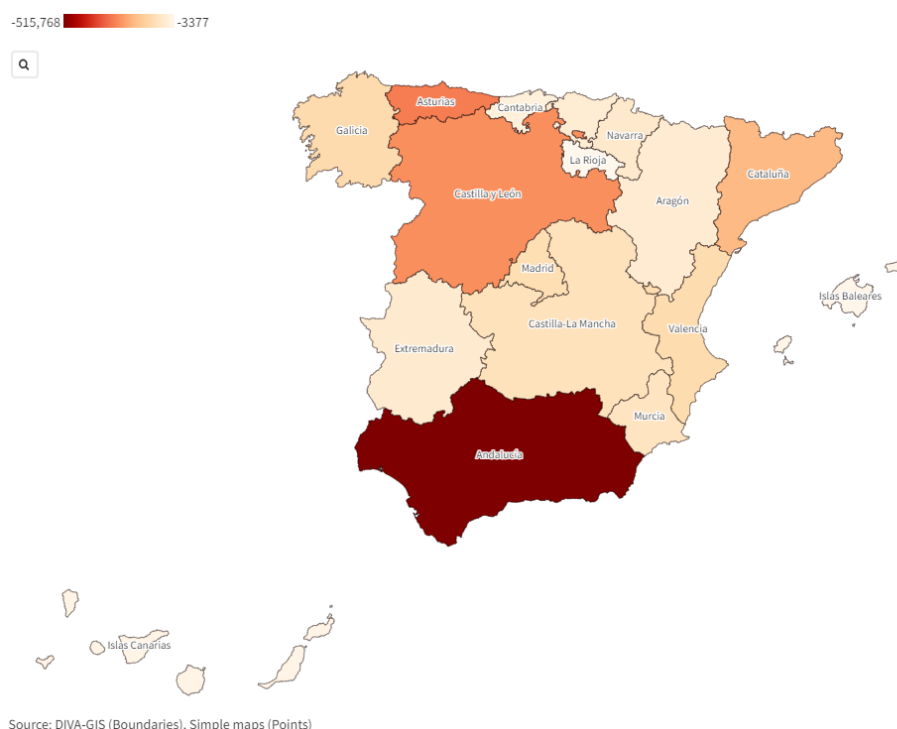
La Comunidad de Andalucía experimentó el principal incremento en el efecto Peso de la Comunidad Autónoma S2 mientras que las Comunidades de Cantabria y Aragón experimentaron un significativo aumento del efecto Peso de la Comunidad Autónoma. Ambas comunidades registran moderados incrementos en todo el periodo estudiado. También resalta el incremento de la comunidad de Castilla y León el cual fue positivo durante los periodos 2005-2012 pasando luego a registrar valores negativos para los periodos 2012-2019 (Ver Tabla A.6 de Anexo).

Las comunidades de Madrid y Asturias registraron en el cómputo global, las principales variaciones negativas del efecto S2 seguidas, con valores más reducidos por las Comunidades de Murcia y Valencia.

5.2.4 Efecto Actividad

El efecto Actividad experimentado en cada CCAA se muestra en la Tabla 3 y en el Mapa 4. Como en los efectos anteriores pondremos el foco en las regiones con mayor variación absoluta de este efecto.

Mapa 4. Efecto Actividad en las Comunidades Autónomas (2005 – 2019)



Fuente: Elaboración propia con Flourish

La Tabla A.7 de Anexo muestra como todas las CCAA han experimentado valores negativos en el cómputo general del efecto Actividad resaltando la comunidad de Andalucía como la que experimentó una mayor reducción durante todo el periodo estudiado. Por otro lado, las regiones del norte de España como Asturias, Castilla y León, Cataluña y Galicia también experimentan una variación negativa del efecto actividad (Mapa 4).

5.3 Análisis de la descomposición LMDI por Tipo de Producto

El método LMDI permite también descomponer la variación del consumo de energía eléctrica por tipo de Producto extraído en la minería española respondiendo así al tercer objetivo

de esta investigación. la Tabla A.3 del Anexo muestra el detalle de la descomposición LMDI por tipo de Producto Minero.

La Tabla 3 muestra que todos los productos mineros (productos de cantera, rocas ornamentales y recursos estratégicos) contribuyeron al aumento del consumo de energía eléctrica de la industria de la minería española entre 2005 y 2019. Específicamente, los Recursos Estratégicos tuvieron la mayor contribución al incremento del consumo energético, seguidos muy de cerca por los Productos de Cantera, mientras que las Rocas Ornamentales tuvieron una contribución menos significativa.

Entre 2005 y 2019, en el caso de los productos de cantera, los efectos clave de su aumento fueron principalmente el efecto Intensidad y en menor medida el efecto Peso de la Comunidad Autónoma S2. Por su parte, los recursos energéticos incrementaron el consumo de energía eléctrica debido al efecto Intensidad y en menor medida, el efecto Peso del Producto Minero S1. Finalmente, las rocas ornamentales tuvieron como efectos claves al efecto Intensidad y al efecto Peso del Producto Minero S1.

Tabla 3. Efectos de la descomposición de los cambios en el consumo eléctrico (MWh) de la minería española por tipo de producto minero entre 2005 y 2019

PRODUCTOS	INTENSIDAD	S1	S2	ACTIVIDAD	TOTAL
Productos de cantera	1373694	-13349	47598	-899400	508543
Rocas Ornamentales	444532	19836	-3359	-194702	266306
Recursos Estratégicos	970851	485529	-17439	-906571	532370

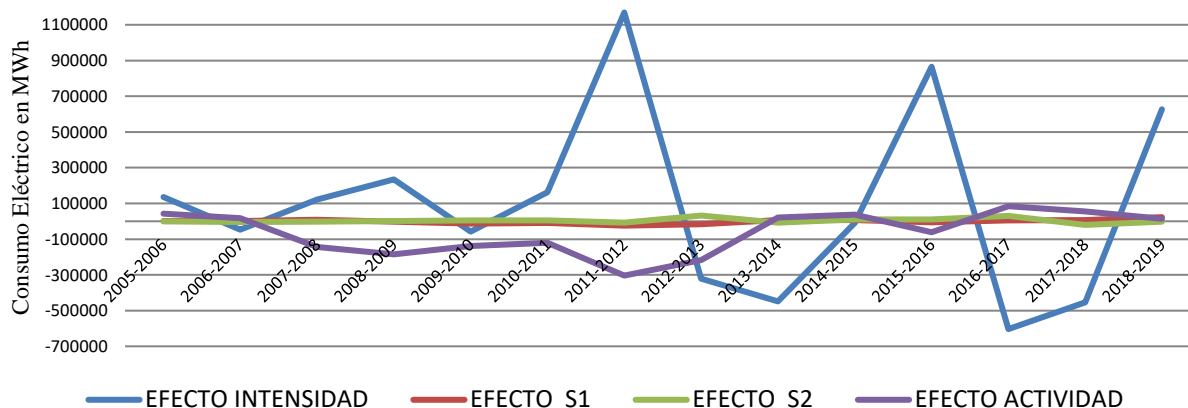
Fuente: Elaboración Propia

5.3.1 Análisis interanual de los Productos de Cantera

El nivel de influencia de cada efecto por Productos de Cantera sobre el consumo final de energía eléctrica se muestra en el gráfico 3. Debe subrayarse la gran influencia de los Productos de Cantera en el cómputo global en la variación del efecto intensidad. Los periodos 2011-2012, 2015-2016 y 2018-2019 corresponden a los picos de su contribución en la explicación de la variación del consumo de energía eléctrica. En sentido contrario estos incrementos de intensidad vienen seguidos de marcados periodos de descenso en los bienios 2013-2014 y 2016-2017.

También es posible identificar al Efecto Actividad como un importante inhibidor durante gran parte del periodo. Sin embargo, los efectos S1 y S2 no tienen apenas relevancia al explicar los cambios del consumo de energía inducidos por los Productos de Cantera.

Gráfico 3. Evolución de los efectos de consumo eléctrico para los Productos de Cantera periodo 2005-2019



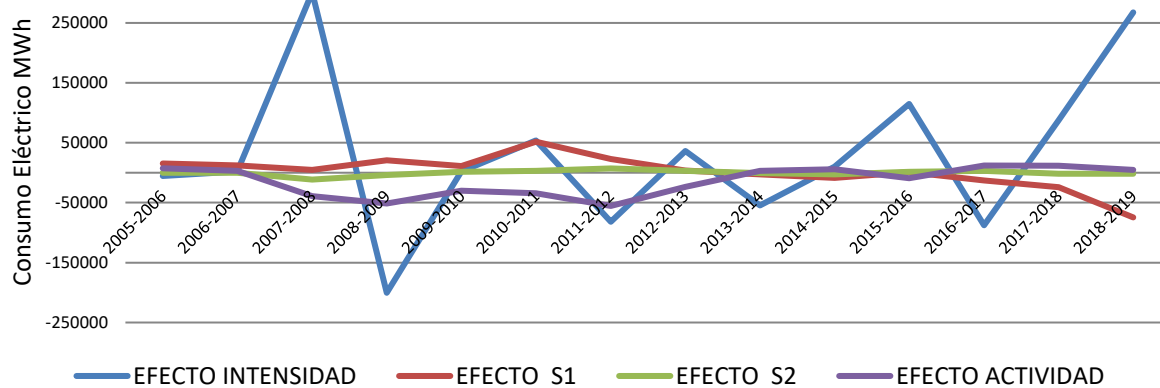
Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Análisis interanual de las Rocas Ornamentales

El gráfico 4 muestra el nivel de influencia de cada efecto por Productos de Cantera sobre el consumo final de energía eléctrica. Destaca la influencia del efecto intensidad en las Rocas Ornamentales para el cómputo global durante los periodos 2007-2008, 2010-2011, 2015-2016 y 2018-2019. Estos incrementos del efecto Intensidad son seguidos de periodos valle en los bienes 2008-2009, 2011-2012 y 2016-2017, en los cuales el efecto Intensidad actúa como un inhibidor del consumo energético.

Por otro lado, el Efecto Peso del Producto S1 presenta un importante comportamiento impulsor en el periodo 2010-2011, mientras que en el periodo 2018-2019 presenta un comportamiento inhibidor. El efecto Actividad actúa como inhibidor durante el primer subperiodo 2005-2012, mientras que el efecto S2 no tiene mayor relevancia en los cambios del consumo energético.

Gráfico 4. Evolución de los efectos en el consumo eléctrico para los Rocas Ornamentales periodo 2005-2019



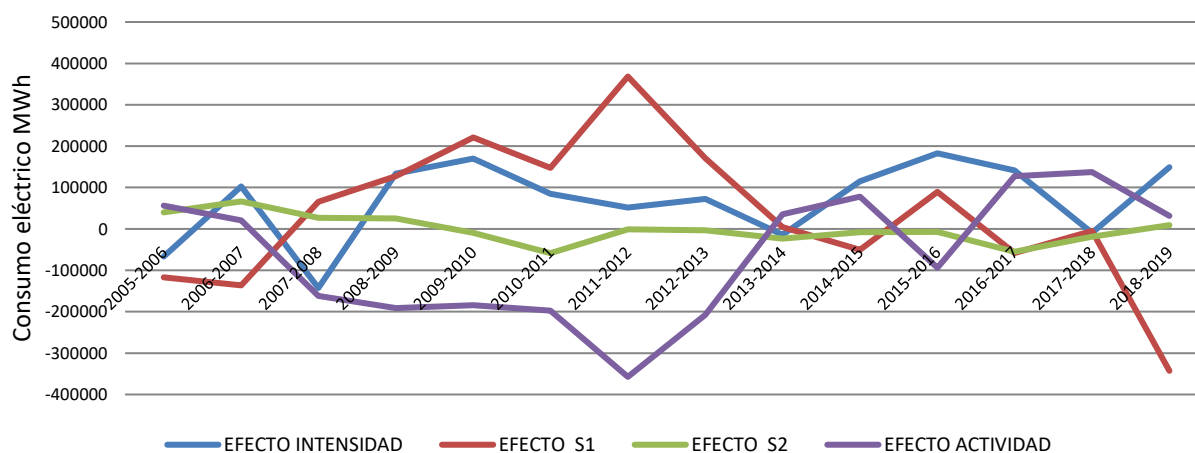
Fuente: Elaboración Propia

5.3.3 Análisis interanual de los Recursos Estratégicos

El nivel de influencia de cada efecto por Recursos Estratégicos sobre el consumo final de energía eléctrica se muestra en el Gráfico 5 donde destaca la influencia del efecto Peso del Producto S1 durante el primer subperiodo 2005-2012. Para este subperiodo el efecto presenta un importante comportamiento impulsor del consumo eléctrico, alcanzando su pico en el bienio 2011-2012. Por el contrario, el segundo subperiodo está marcado por un descenso del efecto S1 hasta convertirse en un importante inhibidor del consumo energético en el segundo subperiodo 2018-2019.

Por otro lado, el efecto Intensidad actúa como un importe impulsor del consumo eléctrico durante todo el periodo de tiempo estudiado 2005-2019. En contraparte, el efecto Actividad es el mayor inhibidor del consumo de energía principalmente durante el primer sub-periodo 2005-2012, cuyo valle lo experimenta en el año 2011-2012 compensando el pico del efecto S1 en ese mismo periodo. Finalmente, el efecto S2 no tiene mayor relevancia en los cambios del consumo de energía eléctrica.

Gráfico 5. Evolución de los efectos en el consumo eléctrico para los Recursos Estratégicos periodo 2005-2019



Fuente: Elaboración propia

6. Discusión

En los diez últimos años, se ha producido una electrificación general de la industria en España. Esto se refleja en el consumo de electricidad, el cual ha sido el principal componente del consumo total de energía del sector industrial en España. En términos relativos su peso ha oscilado entre el 51,7% y el 59,2% a lo largo del periodo analizado. En 2019 el consumo de electricidad supuso el 56,7% del consumo energético de la industria en España (INE 2021).

La electrificación generalizada que experimenta el sector industrial, también se extiende a la industria minera española donde el consumo eléctrico es especialmente importante. Durante el periodo de análisis 2005-2019, el consumo eléctrico de la minería española registró un aumento de 1,3 millones de MWh. Este notable incremento coincide en el tiempo con el aumento de la demanda global de materiales y minerales para la construcción y la fabricación de tecnologías limpias (Nurmi, 2017).

El consumo eléctrico de la industria minera española se ha visto afectado por la agenda global de sostenibilidad que conlleva la transformación del modelo económico y establece las bases de un nuevo modelo económico más responsable con los recursos y su impacto al medio ambiente (Linares García & Vázquez Santos, 2018). Los principales programas en materia de eficiencia y energía durante el periodo estudiado son el Acuerdo de París de 2015 y la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas. En España se estableció el Marco Estratégico

de Energía y Clima, el cual se basa en tres pilares: la Ley 7/2021, de Cambio Climático y Transición Energética, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (2023), y la Estrategia de Transición Justa (2023). Estas iniciativas buscan facilitar la transición hacia un modelo económico más sostenible y competitivo. Los datos obtenidos por este trabajo muestran un incremento del consumo eléctrico por parte de la industria minera, lo cual concuerda con el proceso de electrificación que experimenta la industria en consonancia de los acuerdos y programas en materia energética propuestos por la UE y el gobierno español. Sin embargo, cabe señalar que los objetivos en materia de descarbonización y sostenibilidad dependerán de las fuentes de generación eléctrica utilizadas para alimentar a los nuevos procesos de la minería electrificada.

El análisis de la descomposición del cambio en el consumo eléctrico de la industria minera para todo el periodo de estudio 2005-2019 identificó al efecto Intensidad como agente clave y el principal impulsor. Cabe destacar el efecto intensidad muestra tres importantes picos que afecta en el incremento del consumo eléctrico de la minería (Gráfico 2). El primero corresponde al bienio 2011-2012 coincidiendo con un periodo marcado por la crisis financiera que dio lugar a una caída significativa del 27,6% de la producción minera total, sin embargo, la energía consumida en la producción no disminuyó en igual medida, lo cual se tradujo en un incremento notable del efecto Intensidad en la producción. Como explica Calvo et al. (2019), el precio de los productos minerales soy dependientes de su utilidad y contexto económico, los altos costos de producción de minerales utilizados en la construcción local se trasladaron a la explotación de minerales metálicos de alto valor internacional.

El segundo pico del efecto intensidad se registró en el periodo 2015-2016, un momento donde la economía española se encontraba en etapa de recuperación. Sin embargo, aunque se registró una disminución en el número de explotaciones del 1,5% y de la producción en un 6,6%, se produjo un incremento en el consumo de energía eléctrica. Esto se explica por un incremento del 50% en la cantidad de explotaciones dedicadas a los minerales metálicos, un tipo de explotación caracterizada por ser una minería a cielo abierto, la cual necesita de mucha energía para la explotación de grandes toneladas de tierra rica en metales. Los resultados en esta investigación van en la línea de los encontrados por Purhamadani, Bagherpour & Tudeshki (2021) que relacionan los grandes proyectos mineros a cielo abierto con el incremento de la intensidad energética.

Por último, el tercer pico se experimenta en el periodo 2018-2019, donde se presenta un descenso de la actividad y la producción debido a diversos factores como el fin de la explotación de las minas de carbón para el año 2020 como pronosticó Mioche (2006) y el descenso en el

consumo de productos petrolíferos del 7,8% cuando 10 años antes representaba el 13,7% (INE 2021). Por otro lado, el consumo de energía eléctrica experimentó un aumento del 28,6%. Este incremento en el consumo eléctrico por parte de la minería fue estudiado previamente por Paneri (2022) donde explica que los incrementos del consumo de energía eléctrica minería, no solo provienen de los procesos estacionarios de esta, sino también del constante incremento en la electrificación de todos los procesos mineros.

Para todo el periodo estudiado identificamos al efecto actividad como el principal inhibidor del consumo eléctrico en la industria minera española. Los resultados de este trabajo exponen claramente que la producción total, así como el número de explotaciones vienen disminuyendo de forma sostenida. Sin embargo, presenta tres pronunciados valles que contrarrestan los picos experimentados por el efecto Intensidad en los mismos periodos. El valle producido durante el periodo 2011-2012, se explica en la literatura científica (Mendiluce, 2012) donde reconoce el impacto que el sector construcción tiene sobre la producción y el consumo industrial de productos minerales no metálicos, metales básicos, coque y otros minerales industriales. Para el periodo 2015-2016, el contexto económico de recuperación ayuda a experimentar un valle de actividad menos pronunciado. Sin embargo, el fin de la minería de carbón a nivel europeo tal y como reconoce Baris (2014) y a nivel español como lo reconoce Zafrilla (2014) tiene un importante impacto en la reducción del efecto actividad minera española.

En cuanto al efecto Peso del Producto S1, podemos identificar un papel impulsor del consumo en el periodo 2008-2012, debido en gran medida a la reactivación de las explotaciones metálicas de la Faja Pirítica, las cuales como hemos señalado antes, son muy demandantes energéticamente. La documentación oficial publicada sustenta el auge de las explotaciones de minería metálica. A pesar de que la minería ha perdido un 35% neto de explotaciones respecto a 2008, el número de explotaciones se ha reducido en todos los subsectores, excepto en la minería metálica que muestra un aumento de un 166,7% respecto al año 2008 (Panorama Minero, 2019).

Cabe señalar que el efecto Peso de la Comunidad Autónoma S2, tiene un papel neutro en el consumo de energía eléctrica, debido a las pocas variaciones existentes en la cantidad de producción de cada comunidad autónoma, así como la poca diferencia que se encuentran en materia de consumo energético en cada una de estas.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el análisis por comunidades autónomas muestran la gran relevancia que tiene la comunidad de Andalucía. Durante el periodo de estudiado 2005-2019, Andalucía registró un incremento del consumo eléctrico de 1,2 MWh, siendo la CCAA que experimenta el mayor incremento. Estos resultados se pueden explicar por la reactivación de la

Faja Pirítica en el año 2009, que significó un aumento del consumo de energía eléctrica de la industria minera Andaluza del 39% entre el año 2011 y el 2012. Estos datos concuerdan con lo expuesto por Calvo et al., (2016), que explica el incremento del consumo energético producto de la reactivación de la Faja Pirítica, debido al aumento de la intensidad energética necesaria para explotar zonas mineras caracterizadas por leyes bajas de mineral. Por otro lado, encontramos CCAA que actuaron como inhibidores del consumo eléctrico. Los principales inhibidores fueron algunas comunidades del norte de España como Galicia, Castilla y León y Asturias. Sin embargo, hay que señalar que el efecto Actividad fue un inhibidor de consumo eléctrico para la totalidad de las CCAA.

Finalmente, la descomposición del consumo por tipo de producto minero permitió identificar a los Recursos Estratégicos como los principales impulsores del consumo eléctrico de la industria minera con un aumento de 53 mil MWh durante todo el periodo estudiado, explicado como se expuso anteriormente por las nuevas explotaciones polimetálicas de la Faja Pirítica. Los productos de cantera experimentaron un aumento similar de 51 mil MWh, más relacionado al repunte del sector construcción y a la recuperación económica. En menor medida las Rocas Ornamentales experimentaron un aumento de 27 mil MWh, relacionado en parte al sector construcción y al incremento de las exportaciones de este tipo de productos. Los resultados coinciden con lo expuesto por Newman (2003), donde se enfatiza que, a pesar de la constante disminución de la actividad minera en el territorio español, sigue siendo un actor importante en la cadena de suministros europea.

7. Conclusiones

Mediante el método de descomposición LMDI pudimos identificar los factores claves en la evolución del consumo eléctrico de la industria minera. El cual se incrementó en 1,3 millones de MWh entre 2005 y 2019. Este incremento acumulado supone un 170% desde el inicio de la serie analizada. Los resultados encontrados permiten identificar como principal impulsor del consumo eléctrico al efecto Intensidad, lo que se traduce en un mayor uso de energía por tonelada mineral producida y una reducción de la eficiencia energética de la industria minera. Es fácil correlacionar los picos de aumento del efecto intensidad durante en el periodo estudiado, con eventos económicos como las crisis económicas, la recuperación española, el cierre de las minas de carbón en España y la reactivación de las explotaciones de la Faja Pirítica. La industria minera española se muestra vulnerable a las fluctuaciones económicas durante el periodo.

El efecto Peso del Producto S1 se identifica como el segundo impulsor del consumo eléctrico en la industria minera. Los resultados permiten relacionar los aumentos de consumo producto del efecto S1 con los cambios de producción minera experimentados en España asociados a la reactivación de la Faja Pirítica. Esto supuso un aumento en la cantidad de toneladas de minerales metálicos extraídos. Por otro lado, el efecto Peso de la Comunidad Autónoma S2, tuvo una influencia mínima en las variaciones de consumo eléctrico de la minería española. Esto se debe a los pocos cambios en la distribución geográfica de las explotaciones mineras en España y además muestra la poca variación de consumo eléctrico necesario para realizar las operaciones mineras entre las diferentes CCAA. Finalmente, el efecto Actividad se posiciona como principal inhibidor del consumo eléctrico de la minería española. La reducción de la actividad minera en España ha sido sostenida durante el periodo estudiado, por lo cual la actividad tuvo un efecto inhibidor en el consumo eléctrico.

El trabajo cumple con el objetivo de analizar el consumo eléctrico de la minería en las diferentes CCAA. Los resultados muestran la enorme relevancia que tiene la Comunidad de Andalucía la cual presenta el mayor incremento de consumo eléctrico con un total de 1,2 millones MWh, seguida de Baleares y Cataluña con 212 y 180 mil MWh respectivamente. Por otro lado, encontramos CCAA que actuaron como inhibidores del consumo eléctrico. Los principales inhibidores fueron algunas comunidades del norte de España como Galicia, Castilla y León y Asturias. Sin embargo, hay que señalar que el efecto Actividad fue un inhibidor de consumo eléctrico para la totalidad de las CCAA.

Por último, el análisis de las variaciones del consumo energético en la minería segmentado por tipo de producto minero nos permitió identificar la importancia que tienen los recursos estratégicos y los productos de cantera por sobre las rocas ornamentales. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de centrar los esfuerzos de innovación y eficiencia energética en los productos de cantera y los recursos estratégicos para la industria minera española, los cuales concentran gran parte de la producción total.

Finalmente, los resultados de este trabajo permiten también extraer conclusiones de utilidad para la mejora de la política energética minera de España. En primer lugar, es necesario tomar medidas ante el incremento del consumo eléctrico de la industria minera. Una mejor cooperación interinstitucional ayudará a enfocar los esfuerzos en suplir la demanda eléctrica de la minería con fuentes renovables, ya que en gran medida son la demanda de estas fuentes de energía de renovable las responsables en incrementar el consumo de energía de la industria minera. De esta manera se creará un círculo energético cada vez más autosostenible entre la minería y las energías renovables.

En segundo lugar, cabe señalar que los esfuerzos en materia energética y sostenibilidad minera deben estar centrados en la Comunidad de Andalucía por la gran relevancia que tiene a nivel nacional para la industria minera. De esta misma manera, es prioridad para futuras políticas públicas, centrar los recursos en mejorar la eficiencia de las minas dedicadas a los productos de cantera y a los recursos energéticos. Algunas de estas recomendaciones son escalables para la UE.

Bibliografía

Ang, B. W. (1995). Multilevel decomposition of industrial energy consumption. *Energy Economics*, 17(1), 39-51.

Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*, 32, 1131–1139. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421503000764>

Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide. *Energy Policy*, 33(7), 867–871. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.010>

Ang, B. W., & Choi, K. H. (1997). Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industries: a refined Divisia index method. *Energy Journal*, 18(3), 59–73.

Ang, B. W., & Liu, F. L. (2001). A new energy decomposition method: Perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy*, 26(6), 537–548. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(01\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(01)00022-6)

Ang, B. W., Mu, A. R., & Zhou, P. (2010). Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends. *Energy Economics*, 32(5), 1209–1219. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.03.011>

Ang, B. W., Xu, X. Y. & Su, B. (2015). Multi-country comparisons of energy performance: The index decomposition analysis approach. *Energy Economics*, 47, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.10.011>

Ang, B. W., Zhang, F. Q., & Choi, K. H. (1998). Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy*, 23(6), 489–495.

[https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(98\)00016-4](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(98)00016-4)

Awuah-Offei, Kwame. (2016). Energy efficiency in mining: A review with emphasis on the role of operators in loading and hauling operations. *Journal of Cleaner Production*. 117. 10.1016/j.jclepro.2016.01.035.

Baris, K. (2011). The role of coal in energy policy and sustainable development of Turkey: Is it compatible to the EU energy policy? *Energy Policy*, 39(3), 1754-1763.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.007>

Brand, H. G., Vosloo, J. C., & Mathews, E. H. (2015). Automated energy efficiency project identification in the gold mining industry. In 2015 International Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE) (pp. 17-22). IEEE.

Brantes, R. (2019). Forecast for electricity consumption in the copper mining industry, 2018-2029. *Journal of Mining Engineering and Research*, 1(1), 35-44.

Calvo, G., Mudd, G., Valero, A., & Valero, A. (2016). Decreasing Ore Grades in Global Metallic Mining: A Theoretical Issue or a Global Reality? *Resources*, 5(4), 36.

<https://doi.org/10.3390/resources5040036>

Calvo, G., Valero, A., & Valero, A. (2019). How can strategic metals drive the economy? Tungsten and tin production in Spain during periods of war. *The Extractive Industries and Society*, 6(1), 8-14.

Chen, W., & Yan, S. (2022). The decoupling relationship between CO2 emissions and economic growth in the Chinese mining industry under the context of carbon neutrality. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134692.

Electric Power Research Institute (EPRI). U.S. national electrification assessment. Palo Alto: Electric Power Research Institute (EPRI); 2018.

Ertugrul, N. & Pourmousavi K., Seyyed A. & Davies, M. & Sbarbaro, D. & Moran, L. (2020). Status of Mine Electrification and Future Potentials. 151-156. 10.1109/SGES51519.2020.00034.

Estrategia de Transición Justa. (n.d.). Retrieved October 20, 2023, from https://www.transicionjusta.gob.es/es-es/Paginas/La_Transicion_Justa/La-estrategia-de-transici%C3%B3n-justa.aspx

Goh, T., & Ang, B. W. (2019). Tracking economy-wide energy efficiency using LMDI: approach and practices. *Energy Efficiency*, 12(4), 829-847.

González, A. A., Llamas, P. L., Alonso, C. S., Martínez, R. M., & Borge, R. (2018). La transición energética: un cambio de modelo económico y social. *Executive excellence: la revista de liderazgo, la gestión y la toma de decisiones*, (147), 60-65.

Henriksson, E., Söderholm, P., & Wårell, L. (2014). Industrial electricity demand and energy efficiency policy: The case of the Swedish mining industry. *Energy Efficiency*, 7(3), 477-491. <https://doi.org/10.1007/s12053-013-9233-7>

Hund, K.; la Porta, D.; Fabregas, T.P.; Laing, T.; Drexhage, J. *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*; World Bank: Washington, DC, USA, 2020.

IEA (2019), *World Energy Outlook 2019*, IEA, París <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>, Licencia: CC BY 4.0

IEA (2021), *Electricity Information: Overview*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview>, License: CC BY 4.0

IEA (2022), *World Energy Outlook 2022*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022?language=es>, License: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)

Instituto Geológico y Minero de España. (n.d.). Retrieved October 20, 2023, from <https://www.igme.es/panoramaminero/pmlin.htm>

Jeswiet, J., & Szekeres, A. (2016). Energy Consumption in Mining Comminution. *Procedia CIRP*, 48, 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.250>.

Laayati, O., Bouzi, M., & Chebak, A. (2020, December). Smart energy management: Energy consumption metering, monitoring and prediction for mining industry. In *2020 IEEE 2nd*

International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS) (pp. 1-5). IEEE.

Levesque, M., Millar, D. and Paraszczac, J. (2014) Energy and Mining—The Home Truths. *Journal of Cleaner Production*, 84, 233-255.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.088>

Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, Pub. L. No. Ley 7/2021, BOE-A-2021-8447 62009 (2021). <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7>

Lin, Boqiang & Zhu, Runqing. (2020). Energy efficiency of the mining sector in China, what are the main influence factors? *Resources, Conservation and Recycling*. 167. 105321. 10.1016/j.resconrec.2020.105321.

Linares-García, J., & Vásquez-Santos, K. (2018). Ciudades inteligentes: ¿materialización de la sostenibilidad o estrategia económica del modelo neoliberal?. *El Ágora USB*, 18(2), 479-495.

Mahanga, A., Massonini N. & Meng, X. (2022). Innovation and Climate Change Mitigation Technology in the Asian and African Mining Sector: Empirical Analysis Using the LMDI Method. *Energies*, 15(24), 9424.

Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2022). Hoja de Ruta para la gestión sostenible de las Materias Primas Minerales. Retrieved October 22, 2023, from <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/materias-primas-minerales.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). Estrategia Española de Economía Circular y Planes de Acción. (n.d.). Retrieved October 22, 2023, from <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España. Estadística Minera (2019). <https://energia.gob.es/mineria/Estadistica/DatosBibliotecaConsumer/2019/estadistica-minera-anual-2019.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico—Consulta de estadísticas mineras. (s. f.). Recuperado 11 de octubre de 2023, de <https://energia.gob.es/mineria/Estadistica/Paginas/Consulta.aspx>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico—Estadística minera. (n.d.). Retrieved October 20, 2023, from <https://energia.gob.es/mineria/Estadistica/Paginas/estadistica-minera.aspx>

Ministerio para la Transición Ecológica. MINERVA. (s. f.). Recuperado 11 de octubre de 2023, de <https://sedeaplicaciones.minetur.gob.es/minerva/GenerarInformes.aspx>

Mioche, P. (2004). Fifty years of European coal and steel, 1952-2002. Office for Official Publications of the European Communities.

Morán, L., Sbarbaro, D., Ortega, F., & Espinoza, J. (2019). Electrical energy consumption characterization of open-pit mining and mineral processing operations towards the use of renewable energy sources. In 2019 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (pp. 1-6). IEEE.

Newman, H.R., 2002. The mineral industry of Spain in 2002. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook.: Area Reports: International, vol. III.

Nurmi, P. A. (2017). Green Mining—A Holistic Concept for Sustainable and Acceptable Mineral Production. In *Geoethics at the Heart of All Geoscience. Annals of Geophysics*, 60(7). <https://doi.org/10.4401/ag-7420>.

OECD (2021), Mining Regions and Cities Case of Andalusia, Spain, OECD Rural Studies, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/47062327-en>.

Paneri, A., Moore, K., Beylot, A., Muller, S., Braun, M., & Yan, X. (2021). Renewable energy can make small-scale mining in Europe more feasible. *Resources, Conservation and Recycling*, 172, 105674. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105674>

Panorama Minero (2019). Instituto Geológico y Minero de España (IGME). <https://www.igme.es/PanoramaMinero/actual/PANORAMA%20MINERO%202019.pdf>

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030. (n.d.). Retrieved October 20, 2023, from <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.html>.

Pietrzyk, S., & Tora, B. (2018). Trends in global copper mining—a review. In IOP conference series: materials science and engineering (Vol. 427, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.

Purhamadani, E., Bagherpour, R., & Tudeshki, H. (2021). Energy consumption in open-pit mining operations relying on reduced energy consumption for haulage using in-pit crusher systems. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125228>

Stedman, A., & Green, K. P. (2019). Fraser Institute Annual Survey of Mining Companies 2018.

Wang, H., Ang, B. W., & Su, B. (2017). Assessing drivers of economy-wide energy use and emissions: IDA versus SDA. *Energy Policy*, 107, 585-599.

Wang, M., & Feng, C. (2017). Analysis of energy-related CO₂ emissions in China's mining industry: Evidence and policy implications. *Resources Policy*, 53, 77-87.

Wang, M., & Feng, C. (2018). Decomposing the change in energy consumption in China's nonferrous metal industry: An empirical analysis based on the LMDI method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2652-2663.

Wei, M., McMillan, C. A., & de la Rue du Can, S. (2019). Electrification of industry: Potential, challenges and outlook. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 6, 140-148.

World Bank Group. (2017). *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*. © World Bank, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/28312> License: CC BY 3.0 IGO.

Wysokiński, M., Baran, J., Gołasa, P., & Lenort, R. (2014). Economic and Energy Efficiency of the Mining and Quarrying Sector in European Countries. In *Metal 2014: 23th International Conference on Metallurgy and Materials* (pp. 1965-1971).

Yeo, Y., Shim, D., Lee, J. D., & Altmann, J. (2015). Driving forces of CO₂ emissions in emerging countries: LMDI decomposition analysis on China and India's residential sector. *Sustainability*, 7(12), 16108-16129.

Zafrilla, J. E. (2014). The mining industry under the thumb of politicians: The environmental consequences of the Spanish Coal Decree. *Journal of Cleaner Production*, 84, 715-722.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.031>

Anexo A

Tabla A.1 Consumo de energía eléctrica interanual (MWh) de la minería española periodo 2005 - 2019

COMUNIDADES	AÑOS														
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
ANDALUCÍA	132577	232471	147636	153710	281671	398188	492000	1510140	984283	594536	656893	976100	880071	919522	1306348
ARAGÓN	47678	59278	59681	53411	47501	86691	39785	35256	124281	50904	66247	60598	58622	53988	47499
ASTURIAS	350415	319137	315547	246260	300294	330938	292914	274919	249366	256061	267228	262951	251418	241716	303659
BALEARES	18552	18291	18016	16259	18789	10167	8658	7916	9384	10197	12736	9186	9333	10885	230502
CANARIAS	21491	19422	17688	13046	31293	12540	11034	10927	7878	8570	10127	8776	10663	6963	6925
CANTABRIA	37578	36226	37376	33884	31166	32586	29810	25562	23285	26467	25734	26627	21535	20797	25272
CASTILLA Y LEÓN	290660	308660	333374	298664	270035	228111	321696	216364	211844	138196	125896	171799	518195	220353	210831
CASTILLA-LA MANCHA	88153	88766	114220	113066	94251	81012	69231	74658	71803	45727	88510	80546	84535	89660	129504
CATALUÑA	218760	212518	242605	228069	298196	194791	198855	213528	209248	295822	354395	857419	409786	395025	398440
EXTREMADURA	46076	65121	78868	79710	93057	83162	29466	46328	84325	87874	71789	204123	61783	46163	35061
GALICIA	232709	199754	196314	116810	124352	121223	101330	83836	79870	78851	73430	86169	87403	90304	104230
LA RIOJA	4388	6018	5050	6029	4851	4342	3181	3266	1992	4225	4067	5048	17697	6884	6387
MADRID	120998	129843	137508	124662	115141	90149	87646	95779	92449	90530	99705	105108	107892	111379	116307
MURCIA	61241	72640	81806	313531	55436	49202	45628	36906	35062	35724	42263	43489	46819	42082	43112
NAVARRA	36743	40493	44459	51306	50394	72667	68764	57232	47702	47711	49891	52825	53192	56347	58135
PAIS VASCO	42821	46039	45191	66472	37448	55971	54001	29580	24018	23225	25510	23589	21143	21739	21322
VALENCIA	111962	117683	135111	122045	91703	72155	157269	76454	71057	52254	55649	141583	61598	131497	126487
TOTAL	1862802	1972360	2010450	2036934	1945578	1923895	2011268	2798651	2327847	1846874	2030070	3115936	2701685	2465304	3170021

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.2 Variación del consumo eléctrico interanual (MWh) por Comunidades Autónomas

COMUNIDADES	AÑOS													
	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
ANDALUCÍA	99894	-84835	6074	127961	116517	93812	1018140	-525857	-389747	62357	319207	-96029	39451	386826
ARAGÓN	11600	403	-6270	-5910	39190	-46906	-4529	89025	-73377	15343	-5649	-1976	-4634	-6489
ASTURIAS	-31278	-3590	-69287	54034	30644	-38024	-17995	-25553	6695	11167	-4277	-11533	-9702	61943
BALEARES	-261	-275	-1757	2530	-8622	-1509	-742	1468	813	2539	-3550	147	1552	219617
CANARIAS	-2069	-1734	-4642	18247	-18753	-1506	-107	-3049	692	1557	-1351	1887	-3700	-38
CANTABRIA	-1352	1150	-3492	-2718	1420	-2776	-4248	-2277	3182	-733	893	-5092	-738	4475
CASTILLA Y LEÓN	18000	24714	-34710	-28629	-41924	93585	-105332	-4520	-73648	-12300	45903	346396	-297842	-9522
CASTILLA-LA MANCHA	613	25454	-1154	-18815	-13239	-11781	5427	-2855	-26076	42783	-7964	3989	5125	39844
CATALUÑA	-6242	30087	-14536	70127	-103405	4064	14673	-4280	86574	58573	503024	-447633	-14761	3415
EXTREMADURA	19045	13747	842	13347	-9895	-53696	16862	37997	3549	-16085	132334	-142340	-15620	-11102
GALICIA	-32955	-3440	-79504	7542	-3129	-19893	-17494	-3966	-1019	-5421	12739	1234	2901	13926
LA RIOJA	1630	-968	979	-1178	-509	-1161	85	-1274	2233	-158	981	12649	-10813	-497
MADRID	8845	7665	-12846	-9521	-24992	-2503	8133	-3330	-1919	9175	5403	2784	3487	4928
MURCIA	11399	9166	231725	-258095	-6234	-3574	-8722	-1844	662	6539	1226	3330	-4737	1030
NAVARRA	3750	3966	6847	-912	22273	-3903	-11532	-9530	9	2180	2934	367	3155	1788
PAIS VASCO	3218	-848	21281	-29024	18523	-1970	-24421	-5562	-793	2285	-1921	-2446	596	-417
VALENCIA	5721	17428	-13066	-30342	-19548	85114	-80815	-5397	-18803	3395	85934	-79985	69899	-5010
TOTAL	109558	38090	26484	-91356	-21683	87373	787383	-470804	-480973	183196	1085866	-414251	-236381	704717

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.3. Efectos de la descomposición LMDI por tipo de Producto Minero (MWh)

PRODUCTO	Productos de cantera				Rocas Ornamentales				Recursos Estratégicos			
	INTENSIDAD	S1	S2	ACTIVIDAD	INTENSIDAD	S1	S2	ACTIVIDAD	INTENSIDAD	S1	S2	ACTIVIDAD
2005-2006	135513	1771	149	42189	-5636	15653	-189	7131	-66863	-116708	40095	56453
2006-2007	-47717	2171	-4866	17429	2009	12354	78	3046	102476	-136167	66430	20847
2007-2008	121273	8360	-2280	-144250	301035	4628	-11425	-38926	-142644	65715	26530	-161531
2008-2009	234736	-2626	494	-184278	-200427	20819	-3958	-51242	133962	127330	25061	-191224
2009-2010	-58051	-12882	5137	-138038	1927	10987	1484	-29792	169859	220971	-9295	-183991
2010-2011	162893	-9993	4459	-121098	54032	51718	2949	-34174	84969	147772	-58617	-197537
2011-2012	1168871	-24536	-7065	-304105	-82084	23096	7148	-55430	51995	368210	-1308	-357408
2012-2013	-320883	-17103	32022	-216501	36207	3420	3364	-23589	72846	170446	-3665	-207368
2013-2014	-448885	6011	-7149	21684	-54368	-2761	-847	3359	-14479	4723	-23291	35032
2014-2015	-8753	6818	9614	36827	10072	-8906	-2944	5872	115066	-50304	-7806	77641
2015-2016	865713	-6072	9961	-62119	114631	897	1306	-9277	182711	89255	-7409	-93731
2016-2017	-603566	5587	29482	84192	-87899	-13095	3028	12032	141173	-57857	-54875	127548
2017-2018	-454411	6193	-20220	54615	87333	-24372	-1847	11783	-9220	-4958	-18639	137362
2018-2019	626961	22951	-2139	14054	267700	-74602	-1505	4504	149002	-342898	9351	31337

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.4 Evolución Interanual del efecto Intensidad (MWH) por Comunidad Autónoma

CCAA	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
ANDALUCÍA	90868	-86523	28931	170763	86221	150233	1149291	-417474	-427406	-9858	290063	-161352	-54885	535315
ARAGÓN	8926	-3690	4176	1724	42595	-44829	3110	94660	-68002	7320	-3994	-12179	-6643	-5301
ASTURIAS	-27270	1946	-87173	50551	59201	20566	15131	96527	-5615	-13773	45596	53268	56174	166147
BALEARES	-1398	-384	1262	11403	-6848	-563	1123	2316	-996	900	-3586	-952	963	214365
CANARIAS	2010	37	-1665	24013	-18151	2174	2726	-348	-931	-112	-798	1720	-4211	-324
CANTABRIA	-5588	-1549	-2106	4754	3746	4227	589	-1560	616	-1218	7070	-8964	-625	4931
CASTILLA Y LEÓN	16791	17408	552	12565	-5385	118110	-48055	40597	-89710	9954	41916	313761	-294744	6644
CASTILLA-LA MANCHA	142	22315	16824	1333	-5447	-1875	19338	-103	-23961	50536	8505	-6082	-16484	32023
CATALUÑA	-7614	37724	10760	77053	-85166	29948	46368	-29612	109460	40740	497899	-459105	-61782	32623
EXTREMADURA	11035	23931	-903	23128	7779	-30164	14289	7371	-1934	-1266	163796	-190900	-20521	-13243
GALICIA	-37035	-4764	-23316	31745	10862	-2958	3615	6991	-1602	-9333	13084	-3549	1920	19421
LA RIOJA	71	-793	1162	-121	172	270	1916	-838	838	-554	1982	5429	-29894	-1632
MADRID	9251	13181	15536	10885	-20827	3061	18246	5955	2138	15157	1892	942	-19393	16982
MURCIA	3108	7789	266298	-235012	7078	-5747	1575	1080	1032	5614	564	2894	-7505	3187
NAVARRA	4265	2531	8155	7093	24989	-9210	-6263	-17813	7812	17202	-6482	-428	3435	4454
PAIS VASCO	-802	1192	24938	-32779	27057	-14027	-16173	-694	-4462	2522	2696	-4617	-596	1921
VALENCIA	-3746	26418	16231	9171	-14140	82678	-68045	1116	-15008	2554	102852	-80179	78492	26151
TOTAL	63013	56768	279663	168270	113736	301894	1138781	-211830	-517732	116385	1163056	-550292	-376298	1043663

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.5 Evolución Interanual del efecto Peso del Producto S1 (MWh) por Comunidad Autónoma

COMUNIDADES	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
ANDALUCÍA	1383	749	170	6645	73770	25251	168881	55344	32742	-28863	117167	17532	-1562	-182238
ARAGÓN	-1798	-3181	5030	2351	10817	7537	1885	897	-287	-1221	543	51	123	-146
ASTURIAS	-70772	-74275	37183	37778	23073	83709	44966	-60547	5504	19116	-24882	-49472	-49358	-75979
BALEARES	209	193	16	733	-70	-129	227	44	-124	132	-55	5	-69	-79
CANARIAS	-291	140	133	171	106	-92	75	-119	-27	28	30	-11	-27	16
CANTABRIA	-1212	54	929	-164	1231	2215	1693	-2571	424	-1851	2184	-2638	-504	-815
CASTILLA Y LEÓN	-18942	-27867	-3759	13678	19746	8115	18864	4227	-3746	-5512	4535	16824	-12053	-26499
CASTILLA-LA MANCHA	2327	-4649	-3492	1673	11005	5403	19375	32429	-2474	-15928	-9902	-491	-9550	3037
CATALUÑA	-6936	-4083	27691	34092	32068	9993	25393	75645	-25129	-2710	-659	-40714	49326	-46366
EXTREMADURA	4273	-2094	9283	12521	13120	-25314	4924	18034	13687	7729	-2467	-433	1052	-2332
GALICIA	-3090	-8941	-26516	-3260	-5678	6423	10362	4653	-1254	-3269	4607	2178	-5849	-5793
LA RIOJA	-137	73	87	11	-8	-15	24	-7	0	0	0	9031	19436	1300
MADRID	-6341	2384	19780	16968	11160	7868	24112	12398	-5165	-1150	-3686	-3987	3437	-16628
MURCIA	1286	955	13327	13491	6704	-3337	6712	5059	-2777	-524	466	-2198	-6875	285
NAVARRA	-747	-137	39	4870	11951	13408	23554	10525	-1607	-15454	9068	-1330	-379	-12980
PAIS VASCO	152	631	1942	7838	-980	21346	-486	60	-73	27	144	-288	36	-231
VALENCIA	1355	-1597	-3139	-3874	11059	27115	16209	692	-1723	-2941	-13016	-9425	-10320	-29101
TOTAL	-99283	-121643	78703	145523	219076	189497	366770	156763	7972	-52392	84079	-65366	-23137	-394548

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.6 Evolución Interanual del efecto Peso de la Comunidad Autónoma S2 (MWh) por Comunidad Autónoma

COMUNIDADES	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
ANDALUCÍA	-2164	-2937	3663	-3417	17027	-167	-27537	52318	-17250	62213	-33400	-27008	22911	14128
ARAGÓN	1527	6036	-5507	1315	-2494	1274	2544	5238	-7511	5614	2098	5281	-2675	-1994
ASTURIAS	48222	62128	29852	26362	6801	-84903	13392	-14734	-696	-10486	-7002	-36416	-36519	-32566
BALEARES	-85	-462	-1	-5677	882	913	577	644	1643	810	827	335	-161	3992
CANARIAS	-4921	-2295	-417	-1252	3087	-1419	631	-918	1406	1060	57	-614	-166	140
CANTABRIA	3402	1879	3992	-6	2347	-3476	2321	6212	1412	712	-6601	4569	-1326	-71
CASTILLA Y LEÓN	3592	28492	24378	8939	-10301	15922	9041	-11153	14791	-24933	9415	-7225	-16384	6276
CASTILLA-LA MANCHA	-6745	5686	5467	620	-3148	-1507	-10214	-22277	-1350	4139	-839	3800	24112	2800
CATALUÑA	-3647	-8286	-11295	16764	-5690	79	9364	-12614	-5059	358	43290	5483	-34759	9683
EXTREMADURA	687	-9572	6380	-2925	-14504	8765	6985	23650	-10760	-27504	-23829	39478	-465	3715
GALICIA	-4786	6151	-3380	6051	14390	-2950	-1741	-992	-519	2441	448	-4477	-368	-1527
LA RIOJA	1415	-362	709	150	168	-741	-818	28	1307	138	-693	-2207	-1232	-289
MADRID	-1018	-10681	-24985	-10454	3548	2919	-4866	-4877	-1607	-10751	14144	-2904	10549	2431
MURCIA	3324	-1183	-23301	-8179	-10345	14240	-3893	-1556	1357	-974	3103	-1060	6051	-3244
NAVARRA	-1908	688	7075	-1474	-3395	4775	-8646	7102	-7613	-2610	3831	-2223	-4341	9235
PAIS VASCO	1406	-3621	3589	6580	339	841	4839	-160	3044	-1781	-3096	633	-584	-2512
VALENCIA	1755	-10018	-3394	-11800	-1387	-5773	6798	5809	-3883	419	2105	2188	-5350	-4491
TOTAL	40055	61642	12825	21596	-2674	-51209	-1225	31721	-31288	-1136	3858	-22365	-40706	5706

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.7 Evolución Interanual del efecto Actividad (MWh) por Comunidad Autónoma

COMUNIDADES	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
ANDALUCÍA	9807	3876	-26691	-46030	-60501	-81506	-272496	-216045	22167	38866	-54623	74799	72987	19622
ARAGÓN	2945	1237	-9969	-11301	-11728	-10888	-12068	-11771	2424	3630	-4297	4871	4561	952
ASTURIAS	18543	6611	-49150	-60657	-58431	-57396	-91483	-46799	7501	16310	-17990	21087	20001	4341
BALEARES	1013	378	-3034	-3930	-2586	-1730	-2670	-1536	291	697	-735	759	818	1340
CANARIAS	1134	384	-2693	-4685	-3796	-2169	-3539	-1665	244	580	-640	791	704	131
CANTABRIA	2046	766	-6307	-7302	-5904	-5741	-8850	-4359	729	1624	-1760	1941	1717	430
CASTILLA Y LEÓN	16559	6681	-55881	-63811	-45984	-48562	-85183	-38192	5018	8191	-9963	23036	25339	4057
CASTILLA-LA MANCHA	4889	2102	-19953	-22441	-15649	-13802	-23072	-12904	1709	4036	-5729	6762	7047	1984
CATALUÑA	11955	4732	-41692	-57781	-44617	-35955	-66452	-37699	7302	20185	-37506	46702	32454	7474
EXTREMADURA	3050	1483	-13918	-19376	-16290	-6983	-9336	-11058	2555	4956	-5166	9515	4314	758
GALICIA	11957	4115	-26291	-26993	-22704	-20407	-29729	-14618	2356	4740	-5400	7082	7198	1826
LA RIOJA	281	114	-979	-1218	-841	-676	-1037	-457	88	258	-308	396	877	124
MADRID	6953	2782	-23177	-26920	-18873	-16351	-29359	-16805	2715	5920	-6947	8733	8893	2142
MURCIA	3681	1604	-24600	-28394	-9672	-8730	-13115	-6426	1050	2423	-2908	3694	3592	802
NAVARRA	2140	884	-8421	-11401	-11273	-12876	-20177	-9344	1416	3042	-3483	4347	4441	1079
PAIS VASCO	2462	950	-9188	-10663	-7892	-10131	-12602	-4768	698	1517	-1665	1826	1739	405
VALENCIA	6357	2625	-22763	-23839	-15081	-18907	-35776	-13013	1811	3363	-6007	7431	7078	2430
TOTAL	105773	41322	-344707	-426745	-351821	-352810	-716943	-447458	60075	120340	-165127	223772	203760	49896

Fuente: Elaboración propia