

(Editores)
Rodrigo Álvarez García
Almudena Ordóñez Alonso

RECURSOS MINERALES Y MEDIOAMBIENTE: UNA HERENCIA QUE GESTIONAR Y UN FUTURO QUE CONSTRUIR

LIBRO JUBILAR
DEL PROFESOR
JORGE LOREDO



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

2020

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

HOMENAJES

Rodrigo Álvarez García
Almudena Ordóñez Alonso
(editores)

*Recursos minerales y
medioambiente: una herencia
que gestionar y un futuro
que construir*

LIBRO JUBILAR
DEL PROFESOR
JORGE LOREDO



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

2020



Reconocimiento-No Comercial-Sin Obra Derivada (by-nc-nd): No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.



Usted es libre de copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, bajo las condiciones siguientes:



Reconocimiento – Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el licenciador:

Álvarez García, Rodrigo; Ordoñez Alonso, Almudena (editores). (2020). *Recursos minerales y medioambiente: una herencia que gestionar y un futuro que construir. Libro jubilar del profesor Jorge Loredo*. Universidad de Oviedo.

La autoría de cualquier artículo o texto utilizado del libro deberá ser reconocida complementariamente.



No comercial – No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin obras derivadas – No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

© 2020 Universidad de Oviedo

© Los autores

Algunos derechos reservados. Esta obra ha sido editada bajo una licencia Reconocimiento-No comercial-Sin Obra Derivada 4.0 Internacional de Creative Commons.

Se requiere autorización expresa de los titulares de los derechos para cualquier uso no expresamente previsto en dicha licencia. La ausencia de dicha autorización puede ser constitutiva de delito y está sujeta a responsabilidad.

Consulte las condiciones de la licencia en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>



Esta Editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo

Edificio de Servicios - Campus de Humanidades

33011 Oviedo - Asturias

985 10 95 03 / 985 10 59 56

servipub@uniovi.es

www.publicaciones.uniovi.es

ISBN: 978-84-17445-95-9

DL AS 1451-2020



Jorge Loredo Pérez

Índice

PRÓLOGO	13
<i>Santiago García Granda, Rector de la Universidad de Oviedo</i>	

SEMBLANZA PERSONAL

Bosquejo a vuelapluma de Jorge Loredo Pérez, alumno, colega, colaborador y, sobre todo, amigo entrañable	17
<i>J. García-Iglesias.</i>	
Jorge Loredo: un compañero de viaje y un maestro de vida.....	21
<i>N. Roqueñí.</i>	
Casi un cuarto de siglo trabajando con Jorge: una experiencia de vida.	25
<i>A. Ordóñez.</i>	
Jorge Loredo: un gran hombre, un gran científico, un gran maestro y, ante todo, una gran persona.....	29
<i>M. I. Rucandío.</i>	

ARTÍCULOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

¿Se está gestando una nueva crisis del petróleo?.....	33
<i>I. Álvarez.</i>	
Mineralogía, textura y geoquímica de depósitos minerales y residuos mineros: una herramienta de interés en estudios de contaminación de suelos.....	45
<i>R. Álvarez, J. Álvarez-Quintana y A. Ordóñez</i>	
Drenaje ácido de minas en la Faja Pirítica Ibérica: Geoquímica, tratamiento pasivo y sus residuos en una economía circular	59
<i>C. Ayora, S. Orden, F. Macías y J. M. Nieto</i>	

Mineralogía magnética aplicada al estudio de los yacimientos; repaso sobre el magnetismo de los minerales y ejemplos de aplicación: el metasomatismo ferrífero de la dolomía encajante de las mineralizaciones Zn-Pb-Ba de La Florida e historia de los «gossans» de la Faja Pirítica Ibérica.....	71
<i>L. Barbanson y M. Essalbi</i>	
Nuevo método de cálculo de recursos y reservas minerales para cuerpos minerales de forma tabular – Aplicación al proyecto Carlés	83
<i>C. Castañón, A. Martín-Izard, I. Diego y D. Arias</i>	
Determinación de niveles de fondo y referencia de elementos traza en suelos: un enfoque metodológico avanzado	93
<i>E. Chacón, A. Callaba, P. Fernández-Canteli, F. Barrio-Parra, M. Izquierdo-Díaz y E. de Miguel</i>	
Historia de las aguas minerales y termales	105
<i>M. M. Corral, M. E. Galindo, J. Á. Díaz, C. Ontiveros y J. M. Fernández.</i>	
Mobility of Thallium and other trace elements in mine drainage waters from two carbonate-hosted Lead-Zinc ore deposits in the northeastern Italian Alps	115
<i>S. Covelli, E. Pavoni, N. Barago, F. Floreani, E. Petranich, M. Crosera, G. Adami & D. Lenaz</i>	
Comentarios heterodoxos sobre el cambio climático	129
<i>J. R. Fernández</i>	
The INCHaPA project: methodology for the study of historic quarries associated with the architectural heritage.....	141
<i>J. Fernández, E. Álvarez, J. M. Baltuille & J. Martínez</i>	
Metodologías de fraccionamiento secuencial como herramienta útil para la evaluación de la movilidad de mercurio y arsénico y su impacto en la cuenca minera de Asturias	153
<i>R. Fernández-Martínez, A. Ordóñez, R. Álvarez e I. Rucandio</i>	
Recursos geotérmicos en Asturias	167
<i>C. García de la Noceda</i>	
Análisis de la presencia de mercurio en diferentes compartimentos ambientales del estuario del río Nalón como consecuencia de la minería..	179
<i>E. García-Ordiales, N. Roqueñí, P. Cienfuegos, S. Covelli y L. Sanz-Prada</i>	
Contribución al conocimiento de la geología económica en la cuenca del río Esva.....	193
<i>S. González-Nistal, R. Álvarez y F. Ruíz</i>	

Escombreras asociadas a minería de sulfuros: pasivo ambiental y potencial activo económico desde una perspectiva de minería circular	205
<i>J. A. Grande, J. M. Dávila, J. C. Fortes, M. Santisteban, A. M. Sarmiento, F. Córdoba, M. Leiva, M. L. de la Torre, A. Jiménez, J. Díaz-Curiel, B. Biosca, A. T. Luís, N. Durães, E. A. Ferreira da Silva, M. J. Rivera, J. Aroba, B. Carro, J. Borrego y J. A. Morales.</i>	
Mercurio en Almadén – datos recientes (2000-2020) sobre su presencia en el medioambiente y sus implicaciones.....	219
<i>P. L. Higuera, J. M. Esbrí, E. García-Ordiales y J. D. Peco</i>	
Evaluación medioambiental temprana de riesgos a la salud, a la seguridad y al propio medioambiente por proyectos geo-energéticos	245
<i>A. Hurtado y S. Eguilior</i>	
European dimension of the social license to operate in mining.....	257
<i>K. Komnitsas</i>	
El cambio climático, las tecnologías limpias y la minería	265
<i>J. F. Llamas</i>	
Las aguas subterráneas y los acuíferos: su carácter estratégico en escasez y periodos de sequía.....	277
<i>J. Antonio López-Geta</i>	
Comportamiento del agua de mina en instalaciones geotérmicas: Análisis de un caso particular	297
<i>C. Loredó</i>	
Una tecnología para reducir las emisiones: el almacenamiento geológico de CO ₂	309
<i>R. Martínez Orío y P. Fernández-Canteli</i>	
Perspectivas sobre reducción de emisiones de mercurio originadas en la producción de energía	321
<i>M. R. Martínez Tarazona, M. A. López Antón y R. García</i>	
Almacenamiento de energía térmica y eléctrica en minas subterráneas cerradas: situación actual y balances de energía	333
<i>J. Menéndez</i>	
Contribución del yacimiento de Carlés a la mineralogía española	345
<i>M. Mesa</i>	
La descarbonización de las industrias minerales en el Principado de Asturias	357
<i>A. Olay</i>	

Notas sobre liderazgo	367
<i>J. C. Rodríguez-Ovejero</i>	
Viabilidad económica ambiental para la recuperación o reducción del consumo de agua de plantas de procesamiento de oro	377
<i>J. Soto, J. Melendez y P. Cienfuegos</i>	
La explotación minera del karst fósil en la sierra del Aramo: del Calcolítico al siglo xx	391
<i>M. Suárez</i>	

LA DESCARBONIZACIÓN DE LAS INDUSTRIAS MINERALES EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS

Andrés Olay Sánchez

Consultor, ejercicio libre de la profesión, Oviedo, España

RESUMEN

La Unión Europea ha fijado el objetivo de neutralidad climática para 2050. Bajo esta premisa, la mayor parte de los sectores de actividad abordarán el abatimiento de sus emisiones mediante la implantación de energías renovables y medidas de eficiencia energética, en un progresivo escenario de electrificación de la economía. Sin embargo, determinadas actividades con emisiones inherentes a la materia prima utilizada en el proceso productivo, como es el caso de las industrias minerales (Epígrafe 3 de la Ley IPPC), que cuentan con un peso específico significativo en el perfil emisor del sector industrial del Principado de Asturias, deben encontrar alternativas adicionales para reducir su huella de carbono. A este respecto, en este artículo se apuesta por los beneficios de la economía circular, intensificando los niveles de coprocesado de combustibles y materias primas alternativas, junto a la compensación de las emisiones químicamente irreducibles mediante el fomento de los sumideros forestales de carbono en la región.

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de los compromisos de la Unión Europea en materia de lucha contra el cambio climático, España debe hacer frente a un rápido proceso de descarbonización que va a afectar a todos los sectores de la economía. Este ajuste tendrá especial relevancia en Asturias, caracterizada por un perfil emisor en el que la contribución de los sectores incluidos en el régimen europeo de comercio de derechos de emisión (RCDE UE) de gases de efecto invernadero (GEI) es, con un 74% del total de las emisiones regionales en 2018, muy superior al de las denominadas emisiones difusas.

Dichas emisiones reguladas, de carácter industrial, se pueden subdividir en emisiones de combustión y emisiones de proceso. Las emisiones de combustión se derivan del empleo de combustibles fósiles en fuentes estaciona-

rias, fundamentalmente destinadas a la producción de vapor y al calentamiento de corrientes diversas. Alternativamente, las emisiones de proceso se producen como resultado de reacciones entre sustancias, o de su transformación, incluyendo la reducción química o electrolítica de minerales metálicos, la descomposición térmica de sustancias y su síntesis para ser utilizadas como productos o materias primas (Reglamento de Ejecución (UE) 2018/2066 sobre el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero).

Al contrario de lo que ocurre con las emisiones de combustión, cuya disminución puede ser progresivamente abordada mediante diferentes enfoques de carácter tecnológico y sistémico bien conocidos, como puede ser la sustitución de energías fósiles por energías renovables o la mejora de la eficiencia energética en los dispositivos, las emisiones de proceso tienen un potencial de reducción muy limitado por su carácter inherente, es decir, vinculado a la descomposición química de las materias primas empleadas.

En consecuencia, teniendo en consideración los planteamientos de reducción de la asignación gratuita de derechos de emisión previstos para la cuarta fase del RCDE UE, que dará comienzo en 2021, se hace imprescindible que actividades especialmente intensivas en emisiones de proceso, como es el caso de las industrias minerales, que en 2017 ocuparon en Asturias a 2309 trabajadores, alcanzando una cifra de negocio de 567 millones de euros (INE, 2020), dispongan de una estrategia de reducción de emisiones que limite su exposición al riesgo de fugas de carbono en los próximos años.

2. LAS EMISIONES GEI DE LAS INDUSTRIAS MINERALES EN EL PRINCIPADO ASTURIAS

Confrontando los datos regionalizados de la edición 2020 del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, correspondiente a la serie 1990-2018 (MITECO, 2020), y los datos de emisiones verificadas de las instalaciones afectadas por el régimen de comercio de derechos de emisión de la Unión Europea en el Principado de Asturias, disponibles desde su entrada en vigor en 2005, se pone de manifiesto, en la Fig. 1, la relevancia de los sectores regulados en el perfil emisor de la comunidad autónoma.

En este sentido, la evolución de las emisiones globales de GEI en Asturias está principalmente determinada por las variaciones en la producción de energía termoeléctrica que, a su vez, se correlacionan con el ciclo económico y la hidraulicidad. Dentro de este contexto, las emisiones de GEI de las industrias minerales han venido suponiendo, desde 2005 hasta 2018, entre el 5 y 6% de las emisiones totales de la comunidad autónoma, si bien esta cuota tenderá a incrementarse a medida que se reduzca la correspondiente a la generación de energía eléctrica mediante combustibles fósiles.

Respecto a la distribución entre emisiones de combustión y emisiones de proceso en las industrias minerales en Asturias, la Fig. 2 (en la se recogen datos agregados extraídos de los informes verificados de las instalaciones incardinadas en los epígrafes: 10. Producción de cemento, 11. Producción de cal o calcinación de dolomita o magnesita, 12. Producción de vidrio y 13. Fabricación de productos cerámicos del Anexo I de la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de

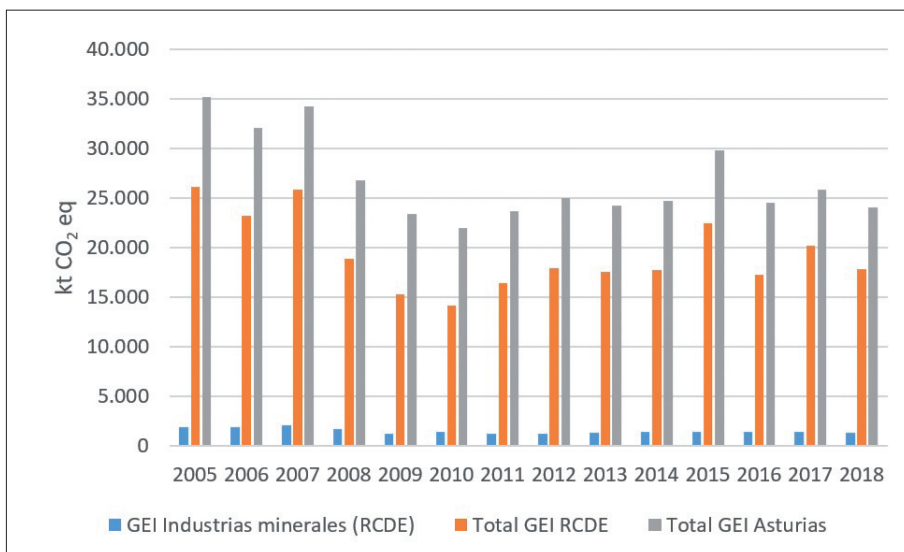


Fig. 1. Emisiones GEI de las industrias minerales frente a las emisiones totales del RCDE UE y del inventario nacional de emisiones en Asturias. Periodo 2005-2018 (elaboración propia, 2020)

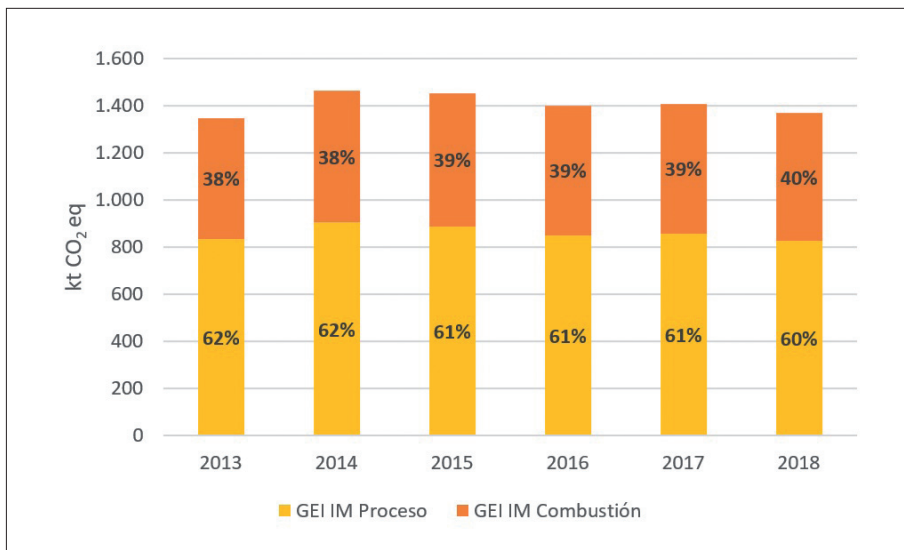


Fig. 2. Emisiones de combustión y proceso de las industrias minerales en Asturias durante la fase 3 del RCDE UE (elaboración propia, 2020)

gases de efecto invernadero), muestra que alrededor de un 60% de las emisiones aportadas anualmente por las industrias minerales en Asturias son emisiones de proceso, inherentes a la descarbonación de las materias primas utilizadas.

3. ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES GEI EN LAS INDUSTRIAS MINERALES

El Acuerdo de París establece una meta a largo plazo en consonancia con el objetivo de mantener el aumento de la temperatura mundial muy por debajo de los 2 °C sobre los niveles preindustriales y de proseguir los esfuerzos para que permanezca en 1,5 °C por encima de esos niveles.

La Unión Europea (UE) ha establecido como objetivo general la descarbonización sistemática de la economía de sus Estados miembros para alcanzar la neutralidad en carbono en el año 2050. Dentro de esta senda, la UE ha adquirido el compromiso vinculante de reducir los gases de efecto invernadero (GEI), para 2030, en un 40% con respecto a los niveles del año 1990. Para lograrlo, los sectores incluidos en el RCDE UE tienen que afrontar una disminución de emisiones conjunta del 43% en 2030 en relación con los niveles de 2005. Así, la reducción anual de emisiones pasa del 1,74% durante la fase 3 (2013-2020) al 2,2% en la fase 4 (2021-2030).

Dentro de este marco de reducción de emisiones GEI, las industrias minerales disponen de diferentes alternativas tecnológicas, que según el estudio bibliográfico realizado por Gerres *et. al.* (2019) se encuentran ordenadas de mayor a menor número de menciones en la Tabla 1.

Tabla 1. Alternativas tecnológicas de reducción de emisiones de las industrias minerales (modificado de Gerres et. al., 2009)

	CEMENTO	CERÁMICA	VIDRIO
1. Más mencionada	Materia prima alternativa	Hornos	Hornos
2.	Residuos de base biológica y biomasa	Recuperación de calor	Recuperación de calor
3.	Captura y almacenamiento de carbono	Cogeneración	Precalentador
4.	Hornos	Residuos de base biológica y biomasa	Oxcombustión
5. Menos mencionada	Recuperación de calor	Materia prima alternativa	Materiales primarios reciclados

4. ECONOMÍA CIRCULAR Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE PROCESO EN ASTURIAS

Asturias es una región altamente industrializada que dispone de una singular concentración de actividades de extracción y transformación de materias primas metálicas y minerales, así como de industria química. Dichas actividades generan importantes volúmenes de subproductos y residuos con diferente potencial para ser reintroducidos en nuevas cadenas de valor o en otras preexistentes, de acuerdo con los principios de la economía circular.

Adicionalmente, el Vertedero Central de Asturias, en el que se eliminan de forma controlada todos los residuos domésticos y comerciales mezclados de la región, se encuentra al final de su vida útil, después de sucesivas ampliaciones de capacidad. A este respecto, el Plan Estratégico de Residuos del Principado de Asturias 2017-2024 (Gobierno del Principado de Asturias, 2018) define un nuevo modelo de gestión de los RSU, conducente a la obtención de un Combustible Sólido Recuperado (CSR) que, aunque tendrá la valorización por vía química como destino preferente, podría ser objeto de valorización energética «en instalaciones de combustión para la generación de energía eléctrica u otras instalaciones industriales».

Por tanto, en el caso particular de las industrias minerales en Asturias, son dos los ámbitos en los que la economía circular puede contribuir eficazmente a minimizar la huella de carbono recuperando energía y materiales a partir de residuos y subproductos: por una parte, reducir las emisiones de combustión mediante el uso de combustibles alternativos a los fósiles primarios; por otra, la introducción de materias primas sustitutivas, lo que también permite disminuir las emisiones de proceso.

A) Empleo de combustibles alternativos

La sustitución de combustibles fósiles convencionales constituye una de las principales palancas de reducción de emisiones GEI en las industrias minerales. A este respecto, el empleo de combustibles alternativos, compuestos total o parcialmente por biomasa residual, incrementa aún más este potencial de reducción.

En 2017, la fabricación de cemento valorizó energéticamente 819248 toneladas de residuos en las instalaciones españolas. Estas cantidades supusieron un 27% de sustitución en energía respecto al consumo total de combustibles en cementeras, registrándose un incremento respecto a los niveles alcanzados en 2016 (25,2%). Los residuos con mayores niveles de consumo en 2017 fueron el CDR (Combustible preparado a partir de rechazo de plantas de tratamiento de residuos municipales e industriales), los neumáticos fuera de uso y las harinas animales (Fundación Cema, 2017).

No obstante, a pesar de que esta sustitución energética lleva varios años implementándose en la fabricación del cemento, en Asturias su penetración es muy limitada si se compara con los porcentajes alcanzados por la mayoría de las comunidades autónomas en las que se practica (Fig. 3).

B) Introducción de materias primas sustitutivas

La fabricación de clínker, cemento y cal admite el consumo de residuos inorgánicos (principalmente procedentes de procesos térmicos, como escorias de acería y cenizas volantes de centrales térmicas de carbón) y orgánicos (procedentes de la fabricación de pasta de papel o determinadas fracciones de RSU) (IDEPA, 2017).

El consumo de materias primas alternativas en industria cementera en España, durante el periodo 2004-2017, ascendió a 44,7 millones de toneladas (Fundación Cema, 2019). En el conjunto del periodo mencionado, Asturias fue la segunda comunidad autónoma donde se produjeron mayores consumos

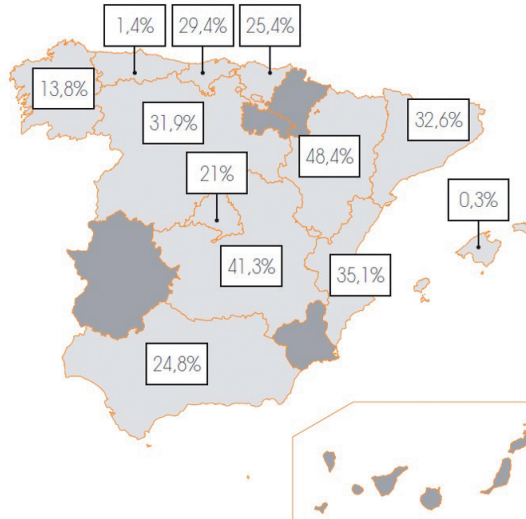


Fig. 3. Porcentaje de sustitución energética de combustibles alternativos por comunidades autónomas (Fundación Cema, 2019)

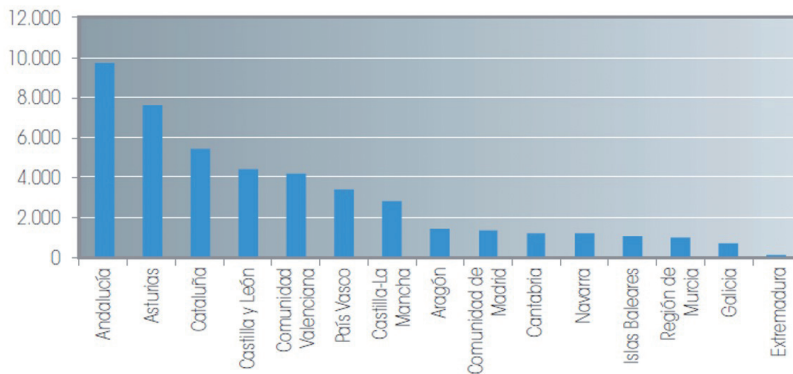


Fig. 4 Consumos totales de materias primas alternativas por comunidades autónomas durante el periodo 2004-2017 (Fundación Cema, 2019)

(Fig. 4). Sin embargo, es preciso indicar que la mayor parte de este consumo está localizado en los años 2004-2009, vinculado al gran desarrollo del sector de la construcción en dicho intervalo temporal.

También los fabricantes de materiales refractarios son potenciales usuarios de residuos, especialmente los procedentes de procesos térmicos, en sustitución de materias primas naturales. Por ejemplo, la utilización de materias pri-

mas secundarias, provenientes de la recuperación y limpieza de los propios refractarios con los que estaban revestidos los diferentes hornos industriales ha sido una práctica muy extendida entre los fabricantes de refractarios en las últimas décadas en Asturias (IDEPA, 2017).

5. LA COMPENSACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE PROYECTOS FORESTALES DE ABSORCIÓN DE CARBONO

La regulación climática está intrínsecamente ligada a los bosques, siendo estos un eslabón fundamental en el ciclo del carbono. A través de la fotosíntesis, durante su crecimiento, los árboles incorporan dióxido de carbono de la atmósfera en forma de biomasa forestal, actuando como sumideros de carbono. Este hecho confiere a los bosques un singular valor para contribuir a la mitigación del cambio climático; en particular, en el año 2017, la absorción neta de GEI correspondiente a tierras forestales (descontadas las emisiones) supuso, en España, el 10% de las emisiones brutas anuales del país (Enríquez-de Salamanca, 2019).

En Asturias, la forma de vida ligada a la actividad minera desarrolló, durante décadas, una cultura basada en la actividad industrial y un abandono de un medio rural que es mayoritariamente forestal y no agrícola (Gorgoso, 2019). A este respecto, continúa Gorgoso Varela (2019), la pérdida de actividad derivada del cierre de las explotaciones mineras exige cambiar el modelo productivo de la región, incrementando las producciones derivadas del medio natural y la generación de nuevos empleos.

Con relación a este planteamiento, el Principado de Asturias cuenta con 770479 ha de superficie forestal (MAPAMA, 2020), lo que supone un 73% del territorio de la comunidad autónoma. De ese total de superficie forestal, 316 762 ha (41%), corresponden a superficie desarbolada, presentando un elevado potencial para su desarrollo como sumidero de carbono en el caso de disponer de un marco regulatorio y de incentivos adecuado.

Por tanto, la absorción de carbono mediante proyectos forestales de ámbito local puede constituirse en una alternativa válida para la compensación de aquellas emisiones de procesos industriales, entre ellos los de las industrias minerales, que no puedan ser abatidas mediante otro tipo de enfoques.

Adicionalmente, este instrumento de mitigación de las causas del cambio climático también tiene valor en el campo de la adaptación a sus efectos, tanto en cuanto los bosques proporcionan servicios ecosistémicos de importancia vital en materia de conservación de la biodiversidad, regulación del ciclo hidrológico y protección de los suelos frente a la erosión (Blanco, 2017).

6. CONCLUSIONES

El compromiso de la UE de alcanzar la neutralidad climática en 2050 supone un reto de gran magnitud para la economía española y, en particular, para el sector industrial, que no solo tendrá que minimizar las emisiones asociadas al consumo de combustibles fósiles, sino que también deberá hacer frente al abatimiento de las emisiones de proceso, inherentes a las materias primas utilizadas, y que, en la actualidad, cuentan con escaso margen tecnológico para su reducción.

En Asturias, las emisiones de GEI de las industrias minerales suponen entre el 5 y el 6% del total de las emisiones regionales y entre un 7 y un 10% de las emisiones reguladas, proporciones que tenderán a incrementarse a medida que se reduzca la relevante cuota aportada por la generación termoeléctrica, cuya presencia se prevé residual al final de esta década. Asimismo, alrededor de un 60% de las emisiones del sector corresponden a emisiones de proceso, siendo el 40% restante atribuible a emisiones de combustión.

Teniendo en consideración las características del tejido industrial de la región, es necesario establecer una hoja de ruta conjunta para que las industrias minerales consigan minimizar sus emisiones de GEI, mejorando tanto su desempeño ambiental como su competitividad en un mercado cada vez más globalizado. A este objeto, además de apostar por la investigación en tecnologías de fabricación cuyos procesos sean menos intensivos en carbono, se debe estimular la simbiosis entre sectores industriales, utilizando residuos y subproductos como materias primas, e incrementando el consumo de combustibles alternativos siempre que sea compatible con el resto de condicionantes técnicos y ambientales establecidos.

No obstante, para aquellos casos en los que las emisiones de proceso impidan llegar a un balance neto nulo en carbono, Asturias cuenta con gran potencial para el desarrollo de proyectos forestales de absorción de carbono que, además de contribuir a compensar el exceso de emisiones GEI, podrían constituirse en dinamizadores de la actividad socioeconómica del medio rural.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración de Dña. Elsa Gutiérrez San Millán, técnico del Servicio de Cambio Climático, Información y Participación Ambiental de la Dirección General Calidad Ambiental de la Consejería de Infraestructuras, Organización del Territorio y Medioambiente del Gobierno del Principado de Asturias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blanco, J. A., 2017. Bosques, suelo y agua: explorando sus interacciones. *Ecosistemas*, 26(2): 1-9.
- Comisión Europea, 2018. Reglamento de Ejecución (UE) 2018/2066 DE LA COMISIÓN de 19 de diciembre de 2018 sobre el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero en aplicación de la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y por el que se modifica el Reglamento (UE) n.º 601/2012 de la Comisión. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L, 334/1. Disponible online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R2066&from=EN>
- Enríquez-de Salamanca, Á., 2016. La absorción de CO₂ en tierras forestales. *Foresta*, 74: 11.
- Fundación Cema, 2019. Reciclado y Valorización de Residuos en la Industria Cementera en España. (Actualización año 2017). *Cema Cuaderno Técnico*, 66 p. Disponible online: <https://www.fundacioncema.org/wp-content/uploads/2019/06/CT-Act-RecVal2019.pdf>.

- Gerres, T., Chaves, J. P., Linares, P., Gómez, T., 2019. A review of cross-sector decarbonisation potentials in the European energy intensive industry. *Journal of Cleaner Production*, 210: 585-601.
- Gobierno de España, 2005. Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. *Boletín Oficial del Estado*, Legislación Consolidada. Disponible online: <https://www.boe.es/eli/es/l/2005/03/09/1/con>.
- Gobierno del Principado de Asturias, 2018. Plan Estratégico de Residuos del Principado de Asturias 2017-2024 (Revisión del Plan Estratégico de Residuos del Principado de Asturias 2014-2024), 263 p. Disponible online: <https://www.asturias.es/medioambiente/articulos/ficheros/PERPA-2017-2024.pdf>
- Gorgoso, J. J., 2019. La situación del sector forestal en Asturias y sus potencialidades. *Foresta*, 75: 66-75.
- Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias (IDEPA), 2017. *Hoja de Ruta de Materiales Sostenibles @AsturiasRIS3*, 15 p. Disponible online: https://www.idepa.es/documents/20147/185584/Hoja_Ruta_MAT_SOST_ASTRIS3.pdf/1a775197-7f0a-395b-d747-106fd8632014.
- Instituto Nacional de Estadística (INE), 2020. *23 Fabricación de otros productos minerales no metálicos*. Magnitudes regionalizadas según comunidades y ciudades autónomas y actividad principal (CNAE-2009 a 1 y 2 dígitos). Estadística Estructural de Empresas: Sector Industrial.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPAMA), 2020. *Avance del Anuario de Estadística 2019*. Secretaría General Técnica. Madrid: Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado NIPO: 003-19-200-0.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), 2020. *Tablas CRF Asturias del Inventario Nacional de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos*. Madrid.