



Aragonito

BOLETÍN INFORMATIVO COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TÉCNICOS Y GRADOS EN MINAS Y ENERGÍA DE ARAGÓN

AÑO 21

NÚMERO 32

MAYO 2022



Minas de Herrerías, caracterización de los residuos

El alabastro y sus residuos, investigación y desarrollo para nuevos usos

Minería de materiales reciclados: "Minería urbana" (1ª parte)

Entrevista: Director-Gerente de Aragón Exterior

Proyecto de Geoparque "Volcanes de Calatrava": Magma, Mercurio y Carbón



Portada:

Foto cedida por Héctor Gil Garbí

ARAGONITO N.º 32

Año 21, mayo 2022

Revista del Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos y Grados en Minas
y Energía de Aragón

EDITA

Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos
y Grados en Minas y Energía de Aragón

CONSEJO DE REDACCIÓN

Emilio Querol Monfil
Juan M. Romero Morales
Modesto Úbeda Rivera

COLABORADORES

M.ª Remedios Gil Ortega (I.T.M.)
Mónica E. Corral (I.T.M.)
Héctor Gil Garbí (Geólogo)
Ramón Tejedor Sanz (Lcdo. en Física)
José L. Gallardo Millán (Geólogo)

**REALIZACIÓN, PRODUCCIÓN
y DISTRIBUCIÓN**

Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos
y Grados en Minas
y Energía de Aragón,
Paseo M.ª Agustín, 4-6, oficina 14,
Teléfono 976 442 400
50004 Zaragoza

Servicios administrativos del Colegio:
Sra. Celina Jiménez

Página Web: www.coitma.com
E-mail: coitma@coitma.com

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

LITTERA
preimpresion@littera2.com

Cierre de contenidos del N.º 32:
30 de abril de 2022

Aragonito

ARAGONITO es propiedad del Colegio
Oficial de Ingenieros Técnicos y Grados
en Minas y Energía de Aragón.
Los artículos, informaciones
y reportajes firmados expresan
la opinión de sus autores,
con las que ARAGONITO
no se identifica necesariamente.

Depósito Legal
HU-15/2001

Sumario



Editorial	3
Información Colegial	4
Algunas noticias del sector	10
Minas de Herrerías, caracterización de los residuos	13
Nuestros compañeros: Mónica E. Corral Saldaña	18
El alabastro y sus residuos mineros, investigación y desarrollo para nuevos usos	20
Legislación	25
Minería de materiales reciclados: "Minería urbana" (1ª parte)	26
Entrevista con Ramón Tejedor Sanz (Director-Gerente de Aragón Exterior)	33
Colaboración: Proyecto de Geoparque "Volcanes de Calatrava. Ciudad Real". Magma, Mercurio y Carbón	35



El mundo necesita de la minería

Hola compañeros:

Como todos sois conscientes, y aún sin haber superado la crisis del COVID-19, la sociedad europea se ve inmersa en una profunda crisis de materias primas, especialmente de materias minerales y energéticas.

Europa está despertando de su profundo sueño en el que es mejor comprar que producir, en el que una Europa verde pasa por comprar donde otros contaminan y en donde un producto barato se compra en donde los salarios y las condiciones sociales no son humanitarias. La hipocresía europea nos ha llevado a que nuestro modo y calidad de vida dependa de otros países, de otros intereses y de otros gobernantes que no se eligen democráticamente en Europa.

Todos vosotros, como perfectos conocedores de la situación de nuestros recursos energéticos y, algunos, conocedores profundos del sistema eléctrico, adelantabais esta profunda crisis energética en la que estamos inmersos.

La transición energética que nos impusieron de una forma traumática, se focalizaba en un desarrollo desmesurado de las energías renovables que conlleva una respuesta social cada vez más creciente y con diferencias territoriales muy notables. De todos es sabido que el futuro de estas energías renovables debe de ir acompañado de un almacenamiento de la misma, de instalaciones híbridas que permitan almacenar ésta para regular el sistema eléctrico, tanto desde el punto de vista físico como económico. Actualmente solo los bombeos reversibles son la solución, si bien sus autorizaciones y construcción se alargarán mucho en el tiempo.

Todo ello nos ha llevado a un presente con una dependencia total de producción energética, mediante el gas en ciclos combinados, a fin de poder cerrar la demanda puntual que el sistema requiere. Pero la Ley 7/2021 de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, prohibía, en su Artículo 9º, la exploración, investigación y explotación de hidrocarburos. La barbaridad que supone a criterio del firmante, no sólo la no explotación, sino el no permitir la exploración e investigación de nuestros recursos energéticos para poderlos poner en explotación en caso de necesidad social, como es el caso actual y futuro que nos deparará el nuevo (des)orden mundial.

La Comisión Europea, en el mes de febrero del 22, incluyó al Gas Natural como energía verde. El Parlamento Europeo y el Consejo tienen cuatro meses (junio 22) para revisar el documento. La oposición a la propuesta ha existido por parte de asociaciones y algún

país como es España, sin embargo, con el apoyo de los países más grandes de Europa, teniendo y temiendo las consecuencias económicas de la crisis energética y con el plan de la UE para reducir su dependencia del gas ruso, es de esperar que el documento se apruebe. Si no hay objeciones, la normativa europea entraría en vigor el 1 de enero de 2023 enfrentándose formalmente a la Ley 7/2021 de transición energética, ya que considera a los hidrocarburos como "complemento puente" para la descarbonización de la energía. En nuestro caso, nadar contracorriente nos agotará económicamente como país.

Pero me gustaría aprovechar estas líneas para explicar que el Gas Natural nos proporciona algo más que energía. Mientras no se encuentre alternativa industrial, es la mayor fuente de fertilizantes nitrogenados,

tan necesarios para poder mantener unas producciones de elementos de primera necesidad como son los alimentos y los piensos para el ganado. En el mundo agrícola, igualmente son imprescindibles, como fertilizantes, otros elementos minerales como son la potasa y los fosfatos, de los cuales existe actualmente desabastecimiento en el mundo, lo que implicará que el rendimiento de los cultivos para el presente año se reduzca a la mitad. No es necesario indicar lo que esto va a suponer para los países pobres en donde por desa-

bastecimiento o por precio no lleguen estos elementos imprescindibles para su alimentación.

Son innumerables los recursos minerales que actualmente son imprescindibles en la sociedad global en la que vivimos y que, por llevar unas políticas en contra de su extracción racional, estamos abocados a sufrir de su desabastecimiento y de su encarecimiento en el mercado. Muchas industrias están ya sufriendo escasez de estas materias primas, junto con un encarecimiento brutal de su energía de proceso.

Me gustaría recalcar que España es uno de los países con mayores recursos minerales de Europa y que podría y debería ser un gran abastecedor de las necesidades europeas en materias primas.

Esperemos que finalmente nuestra sociedad, nuestros políticos y nuestra Europa se den cuenta de la importancia de los recursos minerales y energéticos para poder mantener un nivel de vida acorde con las perspectivas europeas. Que no legislen en contra de la minería, sino a favor de poner al servicio de la sociedad los recursos minerales que ésta demanda, bajo unas condiciones lo más ecológicas y humanas posibles.

Un saludo.

EMILIO QUEROL MONFIL
Decano-Presidente

Actualmente solo los bombeos reversibles son la solución, si bien sus autorizaciones y construcción se alargarán mucho en el tiempo



Información Colegial

Altas y bajas en el Colegio

Desde la aparición del número 31 de este Boletín Informativo hasta el cierre del actual se han producido los siguientes movimientos en el censo de colegiados:

ALTAS

- 443. Inés Álvarez del Campo (25-06-2021)
- 444. José C. Serrano García (08-09-2021)
- 445. María López Soto (24-11-2021)
- 446. Xabier Rafael Corres Fuentes (24-03-2022)

BAJAS

- 441. Inmaculada García Portugaleta (21-05-2021)
- 312. Juan José Mohedano González (27-05-2021)
- 150. José Antonio Vázquez Llera (31-12-2021)

I Semana Aragonesa por el Clima, Aragón Climate Week

El Colegio fue invitado a mitad de octubre a la 1ª Semana Aragonesa por el Clima, celebrada del 18 al 24 de octubre y organizada por la Dirección General de Cambio Climático y Educación Ambiental del Gobierno de Aragón.

Tenía como objetivo, movilizar a todos los sectores de la sociedad y sensibilizarlos acerca de los efectos del Cambio Climático y el grave peligro que conlleva el calentamiento global.

#Aragón
Climate
Week



Era necesaria inscripción debida a la situación sanitaria actual, con aforo limitado.

Se comunicó a todos los colegiados.

Jornada sobre "Logística de Materias Primas Minerales"

El pasado 21 de octubre, se recibe invitación de la E.T.S de Ingenieros de Minas y Energía de Madrid, sobre la jornada, para celebrarla el día 25, con el siguiente programa:

- 1º Bienvenida.
- 2º Análisis y reflexiones sobre los suministros de materias primas y combustibles para la transición energética.
- 3º El proceso logístico de Saint-Gobain para la exportación de yeso en Almería.

4º Presentación del Manual de Logística de Sustancias Minerales.

Asistencia gratuita, previa inscripción, a los presenciales y para seguirlo en Web, mediante enlace.

La Jornada se celebró en el Aula Fausto Elhuyar (edificio M1) de la E.T.S.I. Minas y Energía-UPM (Madrid).

Se comunicó a todos los colegiados.

Información variada

El Colegio ha firmado un Acuerdo de Colaboración con **WIM Spain** (Women in Mining & Industry Spain)-Mujeres en la Minería y en la Industria.

Esta Asociación creada en abril de 2020, nace de la unión de un grupo de mujeres vinculadas entre sí por el sector de la minería y la industria. Tienen como **motivación** promocionar la igualdad de oportunidades entre mujeres y hombre en este sector, poniendo de manifiesto la necesidad de fortalecer el aspecto socio-laboral de la mujer y su inclusión.

Como principal **misión** tienen: fomentar el empleo, la permanencia y el progreso de las mujeres en la minería en particular y la industria en general, fo-



mentar el estudio de carreras científico-técnicas (STEM) en las jóvenes. Teniendo como **objetivo**: defender la igualdad de oportunidades en la contratación y el desarrollo profesional; poner de manifiesto los retos y las oportunidades que las mujeres encuentran en el sector; impulsar la erradicación de la brecha salarial y los techos de cristal; proporcionar una red que favorezca el intercambio de conocimiento y el crecimiento profesional; crear observatorio de datos del sector.

Con sede en Huelva, pero de ámbito nacional.

Contacto con la Asociación en info@wimspain.com o en el teléfono 685 51 77 52.

Estando nuestro "Aragonito nº 31" en imprenta, el día 21 de mayo de 2021 se recibe en el Colegio del Senado (Comisión de Transición Ecológica), INVITACIÓN,



seguido de un debate de los distintos grupos parlamentarios. El tiempo total de la comparecencia fue de 1 hora.

para que nuestro Decano, exponga su visión sobre "los retos de una transición energética sostenible", que consolide las bases de la descarbonización de la economía española y que no comprometa los tres pilares básicos en que se tiene que fundamentar la transición energética: **seguridad de suministro, sostenibilidad económica y sostenibilidad ecológica.**

En esta ponencia del día 7 de junio, intervinieron 5 invitados, con un tiempo de exposición de 30' cada uno,

Nuestro Decano en el Senado de la Nación expuso la visión de nuestro Colegio sobre los retos de una transición energética sostenible.

La ponencia resumida ha sido recogida en la Revista nº 20 (octubre 2021) **COPA** (Colegios Profesionales de Aragón) y en la Revista nº 17 (2021) de **Energía & Minas** de nuestro Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Técnicos de Minas y Grados en Minas y Energía, se ha transcrito completa.



EXCMO. E ILMO. COLEGIO OFICIAL DE GRADUADOS SOCIALES DE ARAGÓN

A finales del mes de junio pasado, nuestro Colegio Oficial y el Colegio Oficial de Graduados Sociales, acuerdan suscribir un Convenio de colaboración y en el ámbito de nuestra Comunidad Autónoma.

En el cual el Colegio de Graduados Sociales será el que confeccione, haga su puesta en marcha y registre en su Consejo General de Colegios Oficiales de Graduados Sociales de España

del "Protocolo de Prevención y Actuación Ante el Acoso Laboral, Sexual, Por Razón de Sexo, Discriminatorio y otras conductas".

Por su parte, nuestro Colegio publicitará entre sus colegiados la obligación de tener los Protocolos de Prevención y actuación ante el acoso, y que los Graduados Sociales son los profesionales adecuados para realizarlo.

El texto completo del Convenio y del Contrato para la realización del Protocolo de Actuación frente al acoso laboral, se encuentra en nuestro Colegio.

El día 16 de julio de 2021, tuvo lugar la presentación del **Proyecto de MINA MUGA, Geocalci.**

Es un proyecto pionero en Europa, siendo la 1ª mina de Potasa del mundo que no dejará residuos en la superficie. La potasa es clave para el desarrollo sostenible del planeta y para la producción de fertilizantes, cubrirá el enorme déficit de producción que existe en España de este producto estratégico.

En el acto de presentación compartieron escenario las autoridades de Navarra y Aragón. Mina Muga está situada en el término municipal de Sangüesa (Navarra), pero las dos bocaminas esta prevista levantarlas en terrenos de Undués de Lerda (Aragón). El yacimiento surge de la solidificación del mar que hace millones de años cubrió la Cuenca Pirenaica. Será una mina convencional subterránea y su método de explotación se realizará por Cámaras y Pilares.

Mina Muga se desarrollará bajo los más altos estándares de seguridad y respeto al Medio Ambiente, siendo un proyecto minero sólido, de envergadura y



sostenible para el territorio. Ha sido sometida a rigurosos procesos de análisis y verificación por parte de las administraciones locales, regionales y también nacionales que han determinado la compatibilidad medioambiental.

La inversión rondará los 580 millones de euros, llegándose a crear 800 puestos de trabajo directos en plena producción, siendo una oportunidad de desarrollo económico e industrial para la región, que ayudará a combatir la despoblación.

En su primera fase de producción se extraerán hasta 500.000 t/año, llegando hasta el millón de t en su segunda fase. Prevé exportar por vía marítima (Puerto de Pasaia) una parte sustancial de su producción.

Colegios Profesionales de Aragón (**COPA**), celebró su Junta General el día 20 de diciembre 2021, a las 18,30 h, en Ibercaja Patio de la Infanta, de acuerdo con el Orden del día establecido.

Al finalizar la Junta, responsables de Fundación Ibercaja presentaron el Proyecto



Mobility City a los asistentes procediéndose, a continuación, al Acto formal de firma de adhesión de la Asociación de Colegios Profesionales de Aragón a dicho proyecto y, en su caso, a la firma de Adhesión individualizada de los Colegios asistentes.

El Colegio estuvo representado.



El 12 de noviembre se recibe nota de prensa del **INGITE** (Instituto de Graduados en Ingeniería e Ingenieros Técnicos de España) y de **METGEC** (Mesa de Ingeniería Técnica y de Graduados en Ingeniería de Cataluña) comunicando que el **Ayto. de Barcelona** ha dado la razón a las dos entidades y permitirá finalmente que los **Graduados en Ingeniería puedan acceder a plazas de concurso público del Grupo A1 en igualdad de derecho que los Ingenieros de 2º ciclo**. Estas dos entidades, agrupan a más de 350.000 profesionales de la ingeniería.

Se reunieron con el Ayto., el pasado mes de junio, para abordar la polémica desatada por la convocatoria de plazas de Técnico Superior en Ingeniería del Ayto; un concurso oposición publicado el 10 de marzo que inicialmente estaba abierto a todos los Graduados en Ingeniería y que fue suspendido provisionalmente a causa de las alegaciones presentadas

Con fecha 3 de febrero del presente, se recibe **INVITACIÓN** para el Acto de presentación de la **VI+1** edición de **"Una Ingeniera en cada cole"**. Dicho acto se celebró el día 17 de febrero a las 18,30 h, en el Salón de Grado del Edificio Torres Quevedo de la EINA (Escuela de Ingeniería y Arquitectura). El Acto fue retransmitido en streaming y estuvo presidido por José A. Yagüe Fabra (Director de EINA), M^a Jesús Lázaro Elorri (Presidenta de AMIT), Ana Montagud Pérez (Directora General de Planificación y Equidad del G.A) y María Goikoetxea Bernad (Directora del Instituto Aragonés de la Mujer).



Mesa presidencial



María Villarroya explicando el Proyecto

por los Colegios profesionales de Ingenieros de 2º ciclo. En esta reunión se pidió que no estaba en absoluto justificado que en las plazas ofertadas por el Ayto de la categoría del Grupo A1, se discriminara a los Ingenieros Graduados ya que, por formación y competencias, están perfectamente habilitados para desarrollar las tareas de estos puestos de trabajo.

El presidente de INGITE, valora muy positivamente el criterio del Ayuntamiento **"que no solo obedece al cumplimiento de la Ley, sino a la necesaria competitividad en las administraciones y la evolución surgida de Bolonia, manifestando que este es un gran paso"**. Por su parte, el presidente de METGEC, espera que **"esta decisión del Ayto. sea ejemplo para muchos otros Aytos y Administraciones que todavía discriminan a los Ingenieros Graduados para determinados puestos de trabajo"**.

Tras unas palabras de bienvenida por parte de todos los miembros de la mesa presidencial, las coordinadoras del proyecto, M^a Villarroya Gaudó y Laura Ruberte Sánchez, explicaron el mismo.

Se dio a conocer a todas las colegiadas. El Colegio estuvo representado.



Asistentes al acto



Laura Ruberte explicando el Proyecto

Fotos: M.U.

Con fecha 3 de marzo, se recibe **INVITACIÓN** para la Conferencia **"La Minería, motor de desarrollo social: Los minerales críticos y las nuevas tecnologías"**.

Lugar: Cámara de Comercio de Zaragoza. Sala José Luis Carreras

Día: 24-03-2022 / Hora: 18 h

Conferenciante: Pascual León Marcos (Decano en Aragón del Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Nordeste de España).

El Colegio estuvo representado por el Decano y un Vocal.



Con fecha 8 de marzo, se recibe **INVITACIÓN** del Colegio Profesional de los Ingenieros Técnicos en Informática de Aragón, para la asistencia a la **"II Edición de los Premios Aragoneses de Ingeniería Informática"**.

Lugar: Salón de Actos de la Caja Rural de Aragón (C/ Coso, nº 29)

Día: 25-03-2022 / Hora: 18 h

El colegio estuvo representado.



Foto: M.U.

Con fecha 22 de marzo, **AEMA** (Agrupación de Empresas Mineras de Aragón), **INVITAN** al Colegio a la clausura de su Asamblea General Extraordinaria y Electiva. El acto fue presidido por el Vicepresidente y Consejero de Industria, Competitividad y Desarrollo Empresarial del Gobierno de Aragón.

Día: 1 de abril / Hora: 13:30 h

Lugar: Hotel Zenit Don Yo



AEMA, ha elegido como nuevo presidente a Iñigo Barrenechea (Director General de Ibérica de Sales), que sucede en el cargo a Manuel Agenjo, que será el Vicepresidente, completando la Junta Directiva representantes de las empresas Grupo SAMCA, SEPHU, Omya Clariana, Placo Saint Gobain, Pladur Gypsum y Arcillas de Teruel.

El Colegio estuvo representado por el Decano.



Con fecha 28 de marzo, se recibe **INVITACIÓN** del Presidente de CEPYME Aragón, Aurelio López de Hita, para asistir a la entrega en la **"III Edición de los Premios CEPYME Aragón"**

Lugar: Edificio Pignatelli (Sala de la Corona)

Día: 4 de abril 2022 / Hora: 18 h

Abre el Acto el Presidente de CEPYME Aragón, dedicando unas palabras de fuerza y halagos a los homenajeados, siendo las empresas premiadas 33, más 1 Premio Especial otorgado a la Asociación de Colegios Profesionales de Aragón (COPA), que agrupa a 46 Colegios profesionales. Comentando que la Industria española está integrada mayormente por pymes y crea un importante valor añadido desde su origen.

Cierra el Acto el Presidente del Gobierno de Aragón, dando ánimo a todas las pequeñas y medianas empresas para seguir luchando en estos momentos tan convulsos.

El Colegio estuvo representado.



Premio Especial otorgado a la COPA

VI Congreso Nacional de Áridos 2022

Se celebrará en el Palacio de Exposiciones y Congresos de Oviedo los días **25, 26 y 27 de mayo** con el lema **"Contribuimos a los ODS 2030"**, y con dos lemas más, **"Áridos para la transición ecológica"** y el **"Congreso del re-encuentro"**. La organización del Congreso ha revisado el cronograma de trabajo para adaptarlo a la nueva situación y seguirá trabajando en su página web, www.congresoaridos.com y en la App del Congreso.

Tenemos el convencimiento que esta difícil decisión nos permita organizar un evento de máximo nivel y repercusión para nuestro sector. Pero ahora estamos centrando nuestro esfuerzo en lo más prioritario: apoyar en la lucha contra la pandemia y ayudar a las empresas a afrontar la compleja situación económica que tenemos ante nosotros.

El Congreso está orientado como foro de máxima actualidad dirigida a empresarios y profesionales



(científicos y técnicos) relacionados con el sector de los áridos, donde pueden resaltarse las líneas maestras de futuro para esta industria extractiva básica para la sociedad.

Sus áreas temáticas son:

- Aplicaciones de los áridos, calidad de producción y de producto.
- Explotaciones de áridos, innovación en tecnologías, procesos y modelo de gestión minera.
- Acceso a los recursos.
- Medio ambiente y neutralidad climática.
- Economía circular.
- Seguridad y Salud en el trabajo.
- Gestión económica de empresas y explotaciones de áridos.
- Relaciones en el entorno social y gobernanza sectorial.



IV Edición de Minerals&Mining Hall en Sevilla

El Salón Internacional de la Minería regresa a Sevilla este 2022. Bajo el lema “**MMH, un evento global para una minería de vanguardia**”, se celebrará en el Palacio de Exposiciones y Congresos de Sevilla entre los días **18 y 20 de octubre**. Es la IV edición de un encuentro que pone en valor la esencialidad de la minería y la industria de las Materias Primas, protagonistas indiscutibles de la transición energética y ecológica y la recuperación post-Covid.

Según ha comunicado el comisario de la muestra, se celebra este Salón “con el objetivo de consolidar a Sevilla como una capital europea de la minería y a Andalucía como una región minera de referencia mundial”. También se ha referido al carácter esencial de la minería “en este mundo en continua transfor-

mación y que, en las dos décadas próximas continuará la sustitución de las energías fósiles por renovables, la electrificación del transporte, de los hogares y la digitalización, y todos estos fenómenos están incrementando ya la demandas de metales y minerales como el **Zn, Cu, Al, Sn, Li, Ni, Co** y las denominadas **Tierras Raras**, así como los minerales industriales como el **yeso, la cal, mármol, potasa, magnetita, vidrio, cerámica, etc.**”.

Sin las Materias Primas, los ODS de la ONU son sencillamente inalcanzables, por tanto, la transición energética y ecológica no podría llevarse a cabo.

La minería de hoy es esencial, sostenible, segura y comprometida. Organizado por AMINER y FIBES y promovido por la Junta de Andalucía.

Abierta la información pública de la Hoja de Ruta para la gestión sostenible de las materias primas minerales

El 14 de marzo, el MITECO sacó a información pública la Hoja de Ruta para la gestión sostenible de las Materias Primas Minerales (MPM), que cuenta con 46 líneas de actuación que impulsarán las autonomías.

La transición hacia una sociedad climáticamente neutra en 2050 supone aumentar el consumo de ciertas MPM. Se estima un aumento en la demanda de los minerales necesarios para las cadenas industriales hasta el 2040; por ejemplo, en el caso del **Li** se multiplicará por más de 40 y en el caso del **Grafito, Co y Ni** en torno al 20-25.

Dicha Hoja propone 4 orientaciones estratégicas que han de guiar a la política nacional de las MPM:

1º.- Se busca la eficiencia y la economía circular en las cadenas de valor del suministro de MPM, integrado y concretando para la industria extractiva los objetivos y las líneas de actuación de la Estrategia de España Circular 2030.

2º.- La Hoja de Ruta es una oportunidad para impulsar y consolidar la gestión sostenible de las MPM autóctona en la Industria Extractiva Española.

3º.- Se pone el foco en garantizar el suministro, el cumplimiento de los requisitos medioambientales,

geoestratégicos y de justicia social en la importación de las MPM.

4º.- Fomentará la industria de las MPM estratégicas para la transición energética y digital, por su empleo masivo en la implantación de energías renovables, baterías para vehículo eléctrico y almacenamiento a medio y largo plazo de energía, alineándose con las políticas europeas.

Las 46 actuaciones que propone la Hoja de Ruta se clasifican según dos variables: su naturaleza y su adecuación a alguna de las cuatro orientaciones estratégicas:

- a) Instrumentos regulatorios para un nuevo marco normativo del sector.
- b) Instrumentos sectoriales, economía circular, gestión sostenible, elaboración de listado de Materias estratégicas para la industria verde y digital.
- c) Instrumentos transversales.
- d) Impulso a la I+D+i.

El plazo para presentar alegaciones a la Hoja de Ruta finalizaba el 8 de abril.

Santa Bárbara

En Junta de Gobierno celebrada con fecha 2 de noviembre de 2021, se acuerda, la **NO** celebración de nuestra Patrona Santa Bárbara, debido y como es obvio por motivo de la COVID-19.

Se comunicó a los colegiados asistentes en Junta General del día 26 de noviembre de 2021.

Esta Junta de Gobierno os deseó a todos los colegiados y familia lo mejor para terminar el año 2021, y que en el año 2022 pudiéramos volver a celebrar nuestra Patrona y culminar su festividad con nuestro popular y consagrado Almuerzo Minero. De la misma manera lo hicieron los compañeros en Teruel.

Formación

Por medio del Consejo General se ofertaron para los colegiados los siguientes cursos, de nuevo con la Universidad Francisco de Vitoria:

1º.- Máster universitario en Prevención de Riesgos Laborales. Es el más solicitado ya que la Prevención de Riesgos Laborales continúa siendo materia imprescindible en todas las empresas. Está adaptado al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), nivel 3 del MECES y nivel 7 del EQF. Está verificado por la ANECA. Incluye las 3 especialidades: Seguridad; Higiene; Ergonomía.

Fecha inicio: 28-10-2021 / Fecha fin: junio 2022
Fecha inicio: 24-02-2022 / Fecha fin: diciembre 2022
Incluye un acceso durante un año a CISSLAB.

Para cualquier duda o aclaración dirigirse a Luis Antonio Durán (Wolters Kluwer) tel. 699 497 751 o aduran@wke.es

2º.- Curso "Como preparar un Informe Pericial y sus responsabilidades"

Fecha de inicio: 21-04-2022
Fecha fin de curso: 12-05-2022

En la actualidad, la prueba pericial ha adquirido un carácter privilegiado en los procedimientos judiciales. Para que todo dictamen pericial despliegue toda su fuerza probatoria, debe de estar desarrollado desde un triple punto de vista: formal, de contenido y de defensa en sede judicial. El objeto del curso será como proceder en la redacción y en la elaboración de un informe pericial técnico.

Curso dirigido a Ingenieros Técnicos y Arquitectos Técnicos.

Más información en <https://esinfo.wolterskluwer.com/curso-informe-pericial-ggcc>

Taller virtual: Buen Gobierno: elemento esencial para mantener la confianza institucional

Con este taller se busca generar un espacio para la reflexión y debate en torno al papel del Gobierno Corporativo ante las problemáticas actuales y las necesidades de los profesionales.

Preparado por UP y Wolters Kluwer Formación. Dirigidos a cargos de las Juntas de Gobierno de los Consejos Generales, así como a los Colegios Profesionales, colegiados, profesionales y técnicos en esta materia, que quieran profundizar en las materias propuestas.

Objetivos:

1º.- Abordar desde una perspectiva teórico-práctica el Buen Gobierno como elemento esencial de funcionamiento para la reputación e imagen.

2º.- Distinguir entre buen Gobierno, Responsabilidad Social Corporativa y Deontológica.

3º.- Profundizar sobre las pautas, reglas y conductas enfocadas a la mayor transparencia, al buen hacer y la dación de cuentas a fin de poner en valor la trascendencia de esta materia.

4º.- Abordar estrategias para elaborar un código de Buen Gobierno.

Fecha: 6 de abril 2022
Duración: 2 h / Horario: 16 h-18 h.
Modalidad: e-learning

Nota: Todos los cursos ofertados se dan a conocer a todos los colegiados a su debido tiempo.

Consejo General

El pasado 26 de junio de 2021 se celebraron elecciones en nuestro Consejo General de Ingenieros Técnicos y Grados en Minas y Energía, siendo reelegidos para un periodo de 4 años, como **Presidente, José Luis Leandro Rodríguez** (Decano del Colegio de Huelva, Sevilla, Cádiz, Badajoz, Cáceres y Canarias) y como **Tesorero, Víctor Aitor Álvarez González** (Decano del Colegio de Castilla y León, Norte y Cantabria).

La reunión del 2º semestre se celebró el 5 de noviembre de 2021.

El 15 de diciembre de 2021 tuvieron reunión conjunta los Secretarios de los Colegios y el Comité Ejecutivo del Consejo.

Nota de la Redacción

El Consejo de Redacción y la Junta de Gobierno, en nombre de todos los colegiados, le queremos hacer llegar nuestro más sentido pésame a nuestros compañeros:

Francisco López Medina, por el fallecimiento de su querida esposa (q.e.p.d.).

Félix Babiano Rodríguez, por el fallecimiento de su querida esposa (q.e.p.d.).

Antonio Jesús Gil Ortega, y a su hermana **Mª de los Remedios Gil Ortega** (colaboradora), por el fallecimiento de su querida madre (q.e.p.d.).

Francisco Solana Ruiz, por el fallecimiento de su querida madre (q.e.p.d.).



Algunas noticias del sector

Minas de Almadén recibe el sello internacional "Historical Landmark"

Resumido varios, lanzadigital.com, 15-9-2021 Laura Espinar

Como decíamos en el Aragonito nº 31, en noticias del sector, el día 15 de septiembre sería entregado de forma física el sello internacional "Historical Landmark" de la Sociedad Europea de la Química (EuChemS), tras ser suspendido en el mes de abril el acto en el primer intento de celebración debido a la pandemia. El Patrimonio minero y arquitectónico de Almadén y su musealización de la Historia y aplicaciones del Hg reciben un nuevo impulso con esta distinción de las sociedades químicas europeas y que se suma al reconocimiento de Patrimonio de la Humanidad que tuvo lugar en 2012.

Esta distinción reconoce la importancia del Hg en la historia y que su procesado fue un punto clave en el avance científico. Este reconocimiento es el 2º reconocido en Europa (el 1º a las Minas de Iterbio en 2018, Suecia), siendo el 1º reconocimiento en España.

El mundo de la química se trasladó a Almadén, junto a distintas instituciones que apoyaron en su día su candidatura. El yacimiento minero de Almadén está considerado como excepcional, por ello se ha definido como un "Giant Ore Deposit", es decir, un depósito de minerales extremadamente grande. Su interés geológico es internacional, al estar considerado por la UNESCO como un "geosite".

Todo es química, estamos hechos de átomos y moléculas y ahora sabemos que toda la materia del universo está constituida por 118 elementos, desde el H (nº atómico 1) hasta el Og (oganesón, nº atómico 118, descubierto en 2006).

Almadén, era ya un enclave muy próximo a la vía XXIX del itinerario Antonino de calzadas romanas que unía Caesaraugusta (Zaragoza) con Emérita Augusta (Mérida). También fue núcleo principal de lo que se denominó Camino Real Internacional del Imperio Español como



Autoridades tras el descubrimiento de la placa en el Parque Minero de Almadén / J. Jurado

origen del Hg utilizado para amalgamación de la Ag y el Au americanos.

En la fotografía, de izquierda a derecha: Julián Garde (Rector de UCLM), Mª Antonia Herrero (UCLM), Antonio Echevarren (Presidente de RSEQ), Floris Rutije (Presidente de EuChem), Emiliano Almansa (Presidente de Mayasa), Mª del Carmen Montes (Alcaldesa) y Nineta Harstelj (Secretaria General de EuChem).

Palabras de algunos de los intervinientes:

El Presidente de EuChem: "Las Minas de Almadén ocupan un lugar especial en la Historia de la Química y nos proporciona un completo panorama de los variados usos y utilidades".

El Presidente de RSEQ: "Queremos que cuando se estudie el Hg, pensemos en Almadén".

El Presidente de Mayasa: "Este reconocimiento supone un recorrido histórico. En la historia del Hg ahora tan denostado, la gente ha olvidado que este metal fue clave para abrir las puertas del conocimiento".

La Alcaldesa: "Festejemos este día en Almadén por valorar el Hg como lo que es, un metal estratégico. Es un reconocimiento a la labor de los mineros y sus familias".

El Presidente de la Diputación: "Almadén ha sido fundamental para el desarrollo de España. Es un reconocimiento del pasado que debemos aprovechar para impulsar el futuro".



T. Trujillo

Mina de arcilla en Estercuel

Resumido varios, 21-9-2021 y 15-2-2022 Laura Castel

La empresa PAMESA abrirá una mina de arcilla en Teruel (Estercuel, Comarca Andorra-Sierra de Arcos).

La explotación estará ubicada en un terreno cercano a la Mina de Cielo Abierto (cerrada en 2019) de la Compañía General Minera. La mina de Estercuel se suma a las que ya tiene en Seno y Galve. El arrendamiento será por 20 años prorrogable por unos 4 años más, con una superficie total de 117 ha, que podría llegar a las 194 ha.

La actividad generará unos 15 puestos de trabajo en la mina y unos 50 para el transporte de la materia prima a las fábricas de gres.

El grupo en sus planes de expansión quiere potenciar al alza y llegar al origen de las materias primas para abaratar costes, ya que, importa el 90% del material porcelá-

nico (arcilla blanca y arenas feldespáticas) y es muy probable que la mina de Estercuel permita reducir más de un 15% el volumen de la arcilla blanca importada.

El Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA), ha dado el Vº Bº a la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) a la apertura de la explotación minera denominada "Elena". Esta aprobación de la DIA impone unas medidas para asegurar la conservación del yacimiento arqueológico "Peña Rubia" y de mantener los caminos de acceso y las balsas resultantes de la explotación carbonífera de la Compañía General Minera.

Se prevé una extracción de unas 600.000 t/año para asegurar el aprovisionamiento de la materia prima para la producción de cerámica.

Proyecto Minero de explotación por interior del yacimiento Salave

Resumido varios, europapress economía, 10-9 2021 J.L. González

Exploraciones Mineras del Cantábrico (EMC), promotora del Proyecto ha anunciado que este proyecto de explotación y restauración que plantea para Salave, en **Tapia de Casariego** (Asturias), supone un planteamiento "nuevo y singular" de minería subterránea, en el que se espera obtener unos 32000 kg de ORO del concentrado que se extraiga. Se garantiza la protección de las aguas subterráneas, que incluyen la deposición en el mar exclusivamente de agua limpia a través de un emisario submarino a 800 m de la costa y a 17 m de profundidad. Este funcionará de manera similar a los de la zona, cumpliendo con la normativa autonómica, nacional y europea. El Proyecto señala como novedad la incorporación de tecnología que elimina el cianuro del proceso porque el tratamiento metalúrgico del **Au** se hará fuera de la zona, de este modo, no generará vertido y se darán todas las garantías medioambientales. La actividad en superficie se hará en naves industriales que se desmontarán al final de la vida útil de la explotación, unos 16 años, definido en el Plan de Restauración Ambiental que contempla una recuperación de los usos del suelo, reintegrando toda la morfología a la zona.

El Proyecto está sometido a EIA. En el proceso del Proyecto se generará en la zona entre 150 y 200 puestos de tra-

bajo directos y más de 1000 indirectos, con una inversión inicial de 100 millones de euros. Supondría un complemento sólido de cualquier modelo económico para la localidad que permitirá luchar contra la despoblación y el declive socioeconómico, generando empleo y revitalización.

Método de explotación: por subniveles, sin descartar otros, a la vez que se vaya conociendo el yacimiento (cámaras y pilares, corte y relleno...).

Para su Director General el proyecto es "sostenible y respetuoso con el entorno". La estructura geológica de la zona propicia un afloramiento de granodiorita, roca que alberga el **Au**.

Asturias tiene un gran bagaje en minería, además del carbón tiene minería metálica, minerales industriales, piedras preciosas, rocas ornamentales, aguas termales y minerales, y produce fluorita, caolín, arcilla, sílice, caliza... Los romanos extrajeron en su tiempo entre 2 y 6 millones de t de roca, recuperando entre 5000 y 7000 kg de **Au**. Prueba de ello son las Lagunas de Salave o los Lagos de Silva, restos de antiguas minas romanas.

Es probablemente uno de los depósitos de **Au** más importante de Europa.

España sortea la "catastrófica" escasez de magnesio

abc economía, 1-11-2021 Roberto Pérez

La industria europea da la voz de alarma mientras China restringe el suministro del preciado **óxido de magnesio**, del que nuestro país es de los pocos productores. El **Mg** mueve el mundo, es **imprescindible para los seres vivos, la división celular, la fotosíntesis, y es igualmente imprescindible para la industria del acero y para multitud de aplicaciones tecnológicas, para el sector agropecuario y para el industrial**. Las grandes patronales industriales (12) de la UE advirtieron públicamente "sobre el impacto **catastrófico**" de esta escasez de **Mg**, para el sector automovilístico y sus componentes, la del acero y la del aluminio. Dicha escasez está disparando el precio.



Mg granulado (wikipedia)

El **Mg**, además de ser inerte, no contamina, actúa como purificador de aguas residuales y gases, y es el elemento químico que, como tal, no tiene sustituto. La compañía Magna, explota 2 de las 3 minas que hay en España, la situada en Eugui (Navarra) y la de Borobia (Soria), la tercera en Lugo (Magnesita de Rubián).

España concentra aproximadamente el 3% de la producción mundial. En Europa hay el 6% de las reservas mundiales que además de España están en, Austria, Grecia y Eslovaquia y, a nivel mundial China, Corea del Norte y Rusia, concentran el 66% de las reservas mundiales.

Anualmente se produce 13 millones de t de óxido de **Mg** (5 millones para alimentación animal y fertilizante y los 8 restantes para productos refractarios). España aporta 350.000 t (250.000 Magna y 100.000 Magnesita de Rubián).

La industria extractiva, correctamente gestionada, lejos de ser una amenaza es una oportunidad para la biodiversidad.

El MITECO y Aragón firman convenio

Resumido, miteco.gob.es, 27-12-2021

El MITECO y Aragón han firmado un Convenio para la restauración ambiental de zonas afectadas por minas de carbón cerradas. Los trabajos durarán año y medio y cuenta con una dotación de 6 millones de euros, que permitirán rehabilitar 38 ha de terreno en el término municipal de Mequinenza. Además se habilitará un Centro de Interpretación de la minería para potenciar el turismo y senderos para comunicar los yacimientos arqueológicos de la

zona, considerando que la GR-99 "Camino Natural del Ebro", discurre de Noroeste a Sureste entre el embalse de Ribarroja y las escombreras del Grupo Virgen del Pilar.

Se crearán 12 puestos de trabajo hasta 2023, empleando personal minero excedente y población local.

El Convenio está incluido en el Componente 10 del Plan de Restauración, Transferencia y Resiliencia (PRTR) dedicado a la transición justa.



Sin minería, no habrá transición energética

Resumido varios, larazon.es - blogs.elconfidencial.com - sicreesinnovas.com, 9-11-2021 Juan Ramón Rallo

La transición energética requerirá de una fortísima intensificación de la extracción de ciertos minerales como el **Co**, **Li**, **Cu**, **Ni** o el **Zn**. Y es que la reconversión de todo el sistema eléctrico en centrales renovables, o la reconversión de todo el parque automovilístico en vehículos eléctricos, o el uso más generalizado de baterías, requerirá de mucha más extracción de recursos minerales.

Según la Agencia Internacional de la Energía (**AIE**), una central eólica requiere de 10 veces más minerales que una central de gas o de carbón. Tal va a ser la demanda de minerales durante las dos décadas próximas de transición que, según el Fondo Monetario Internacional (**FMI**) consumiremos tres veces más **Cu**, ocho veces más de **Ni**, 20 veces más de **Co** y 100 veces más **Li** que durante los últimos 20 años.

También el **FMI** apunta que el **Co**, **Cu**, **Li** y **Ni**, podrían duplicar su precio hasta el final de la década. Estos minerales utilizados para la fabricación de baterías son los com-

ponentes clave de los sistemas para las energías renovables. Un aumento de costes, a medio plazo puede poner en jaque la transición energética.

Estos minerales son clave para construir las estructuras que generan y almacenan la electricidad derivada de las energías renovables.

El camino hacia un mundo de emisiones cero, como se había discutido en la Cumbre Climática de Glasgow (**COP 26**), estimulará una demanda nunca vista de estos minerales.

No podemos tener simultáneamente progreso económico, luchar contra el cambio climático y conservacionismo ambiental porque se requeriría de una fuerte actividad minera, que hoy por hoy en España no existe.

Aquellos que prometen abandonar los combustibles fósiles y poner límites a la actividad minera, solo defienden una transición muy cara e incompleta.



Cobalto



Litio



Cobre



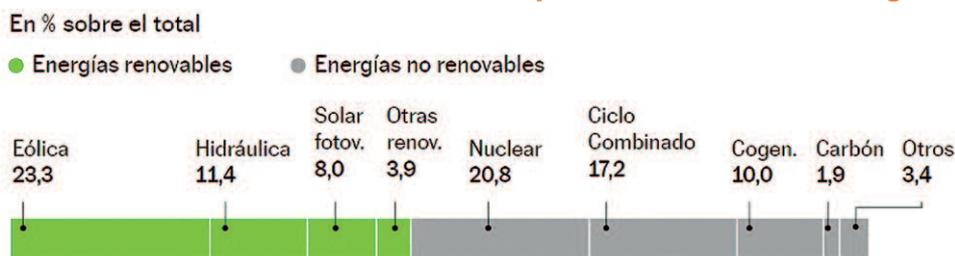
Níquel



Zinc (wikipedia)

Generación de la electricidad en 2021

El país economía, 6-01-2022 Ignacio Fariza



Yacimiento Oropesa de Fuente Obejuna, sin fecha de apertura

Resumido varios, ABCandalucia.com - eldiariodecordoba.com - elconfidencial.com, 2-4-2022

La empresa Minas de Estaño de España (filial de la canadiense Stannico), planea explotar el **Sn** del Yacimiento Oropesa-La Grana, ubicado en el término municipal de Fuente Obejuna (Comarca del Alto Guadiato), mediante, minería de transferencia, de una Corta alargada a Cielo Abierto, que irá restaurando de forma simultánea y con una elevada integración ambiental. Se estima una inversión de 65 millones de euros y la creación de 714 puestos de trabajo.

En 2010 se hizo público el hallazgo, considerándose entonces que la mineralización tenía 1,5 km y se llegaron a identificar hasta 12 yacimientos. Este proyecto forma parte de las 7 iniciativas de carácter minero cuya tramitación acelerará la Junta de Andalucía mediante la iniciativa de la llamada Unidad Aceleradora de Proyectos.

Posiblemente sea el yacimiento más importante de España y uno de los más grandes de Europa. El **Sn** es en la

actualidad uno de los minerales más codiciados por su uso en la electrónica, fundamentalmente en la fabricación de la telefonía móvil o de los componentes para los vehículos eléctricos, y su demanda ha multiplicado el precio.

Además, el proyecto recoge la inclusión de una "planta de concentración de **Sn** con lo que se incrementará el aprovechamiento del mineral". En 2018 se iniciaron los trámites para la explotación de la mina a Cielo Abierto.

La alcaldesa de Fuente Obejuna, ha deseado "que vayan bien las cosas y que se solucione cuanto antes los trámites para la apertura de la mina".

Según previsiones se estima una producción casi de 5 millones de t de mineral, de las cuales cerca de 27000 t serían de **Sn** y su duración abarcaría entre 12 y 14 años.

También se han detectado otros minerales como **Cu**, **Pb**, **W**, **Zn**, **Au**, **Ag** y **Bi**.

Minas de Herrerías, caracterización de los residuos



**MARÍA DE LOS REMEDIOS
GIL ORTEGA**

(Ver currículum Aragonito nº 30)

Introducción

El sector de la industria extractiva, presenta grandes problemas relacionados con el medio ambiente y la contaminación, debido al elevado volumen de residuos sólidos y efluentes líquidos que genera.

Los residuos procedentes de actividades mineras en la Faja Pirítica Ibérica (FPI), son ricos en sulfuros. Estos, pueden oxidarse al ser expuestos a la atmósfera y generar aguas ácidas, liberando sulfatos y metales pesados al medio.

La desaparición gradual de la minería, sin medidas preventivas y/o correctoras, provocó el abandono sin control de las instalaciones mineras, provocando un espacio degradado y generando una fuente de contaminación para las aguas subterráneas y superficiales, debido a los drenajes ácidos que genera este tipo de entorno minero.

El objeto de este artículo es caracterizar los residuos que se encuentra en Mina Herrerías en el término municipal de La Puebla de Guzmán (Huelva), en el paraje conocido como Cumbres de las Herrerías o Dehesa e indicaremos posibilidades para frenar la degradación ambiental de esta zona minera y así poder preservar el medio hídrico, evitando vertidos contaminantes por parte de las escombreras, cortas e instalaciones abandonadas.

Situación geográfica

La zona de Las Herrerías se sitúa dentro del término municipal de Puebla de Guzmán a unos cuatro kilóme-



Fotografía 1. Vista aérea de Minas Herrerías

tros de distancia al Oeste del referido pueblo. Está formada por el antiguo poblado minero de Minas de Herrerías, ahora denominado Las Herrerías y la zona de las minas. La delimitación corresponde con el actual núcleo urbano de Las Herrerías y la zona de las dos Cortas Guadiana y Santa Bárbara, las escombreras y zona de cementación, los edificios que las componen y los tres diques denominados; Fabiana, Enmedio y Pedrianes.

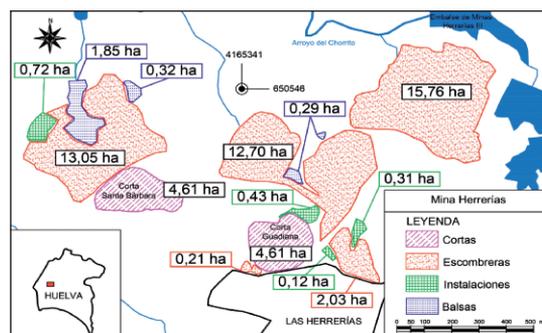
Se localiza en la hoja 958-II (Puebla de Guzmán) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000.

Las coordenadas UTM son las siguientes:

- Para explotación Guadiana:
X = 121110 Y = 4171930 Huso 30.
- Para explotación Santa Bárbara:
X = 120582 Y = 4172323 Huso 30.

Estructuras mineras existentes: Cortas, escombreras, instalaciones y balsas

Tenemos en minas Herrerías dos cortas, varias zonas de escombreras, instalaciones y balsas.



Fotografía 2. Cartografía de Estructuras Minera. José Antonio Grande Gil y Eva Pérez Ostalé

La excavación de un hueco minero, conlleva la necesidad de extraer agua para evitar su inundación. Esta extracción de agua simultánea a la excavación produce una continua depresión del nivel piezométrico en torno al hueco minero. Al finalizar la actividad minera cesan las labores de bombeo y extracción de agua, se recupera el nivel piezométrico, y las labores mineras comienzan a inundarse. El progresivo llenado de las cortas incrementará en los próximos años, el volumen de agua ácida almacenada en el hueco minero.

Corta Guadiana

Ya fue tratada en el Aragonito nº 29, en el Artículo Técnico denominado: "Una experiencia minera: La desgasificación de la Corta Guadiana con alta presión de CO₂ disuelto", págs. 16, 17 y 18.

En este Aragonito nº 32, trataré de la Corta Santa Bárbara.



Corta Santa Bárbara

Las pizarras cobrizas que se han explotado en este yacimiento fueron reconocidas en el siglo XIX. Se trata de una mineralización secundaria de carbonatos de cobre, cuprita, y en ocasiones cobre nativo, en rocas volcánicas y pizarras totalmente alteradas. El cobre procede de la meteorización y erosión casi total de una masa de pirita en cantidades importantes en esta mineralización, hace que presente una hidroquímica singular el lago de la corta, en el contexto de la Faja Pirítica Ibérica. La excavación de la corta se inicia en 1950 y se detiene en 1957, permaneciendo parada a principio de la década de 1960. En 1986 las reservas totales de este yacimiento se cifran en unas 10000 t de cobre metal. La ley media del todo-uno es del orden del 1,5 por 100 y la producción anual de 600 t de cobre metal (Junta de Andalucía, 1986). El lago tiene una profundidad de 13 m y unas dimensiones en superficie de 230 m por 90 m.



Fotografía 3. Castilletes de los pozos Guadiana y San Carlos, este último con el edificio de la máquina de extracción

La Corta Santa Bárbara está parcialmente inundada y es la única cuya agua tiene un pH regulado por la precipitación de minerales de aluminio. A diferencia del resto de las cortas inundadas de la faja pirítica que son de coloración tinta, sus aguas tienen una coloración blanquecina-azulada-verdosa. Al llevar 4 décadas abandonada, podemos pensar que está en equilibrio hidrológico o hidroquímico.

Como se explotaron unas pizarras cupríferas, con minerales de cobre secundarios. No hay ninguna masa de pirita, como ocurre en la mayoría de las minas de la Faja Pirítica, ni siquiera está presente diseminada con cierta abundancia. Esta puede ser la razón de la escasa acidez del agua que inunda la corta.



Fotografía 4. Escombreras de Corta Santa Bárbara



Fotografía 5. Detalle de las Balsas de la zona de cementación

Temperatura, humedad, viento y precipitación

Si nos apoyamos en los datos de la Estación Meteorológica de La Puebla de Guzmán, disponibles en la web del Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica de la Conserjería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, y observamos las temperaturas máximas y mínimas, la humedad, dirección del viento y precipitación, podemos decir al estudiar los datos que:

- Las **temperaturas** son suaves y con ausencia de heladas, por tanto, no es muy desfavorable.
- La **pluviosidad** total es baja, y favorable para la estabilidad e impacto ambiental de las estructuras mineras, no lo es en absoluto la distribución de la misma a lo largo del tiempo, pudiendo decirse que se concentra torrencialmente en pocos momentos, constituyendo este factor un aspecto negativo en las escombreras mineras, produciendo erosiones y arrastres peligrosos para la estabilidad y contaminación de acuíferos superficiales.
- Con respecto al **viento**, podemos decir que las circunstancias más negativas se producirán en aquellos casos en que existan construcciones mineras próximas y a favor de la dirección predominante del viento, a estructuras con predominio de finos (algunas escombreras).

Hidrología

La cuenca hidrológica del Guadiana ocupa una superficie de 66.890 km². Dentro de la cuenca podemos distinguir las sub-cuencas del Chanza, la del Cobica y la de Malagón.



Fotografía 6. Dique I de Pedrianes

Los dos embalses más importantes son la presa del Andévalo y el embalse del Chanza. También existen otros menos importantes como son el embalse Lagunazo y el embalse Herrerías. En el embalse Herrerías fueron construidos dos diques artificiales que produjeron la subdivisión de este en tres: el propio embalse Herrerías, y los embalses Dique I de Pedrianes y Dique II de Enmedio.



Fotografía 7. Dique I Pedrianes a la derecha y Dique II Enmedio a la izquierda

La presa del Andévalo, está ubicada en la confluencia de los ríos Malagón y Cobica, ambos afluentes del Chanza. Con una longitud de muro de 1.862 metros y una altura máxima de 76 metros sobre cimientos.



Fotografía 8. Arroyo Cobica en Minas de Herrerías

La presa se nutre de aguas del río Malagón como cauce principal, con una cuenca vertiente de 405 km² y una diferencia de cotas, entre nacimiento y desembocadura, de 190 metros a lo largo de un recorrido próximo a 50 km, recibiendo como afluentes principales, antes de la presa, al Arroyo Albahacar por su margen derecha y a los arroyos Cobica y Viguera por la izquierda. El régimen de caudales en el entorno aparece asociado directamente a las precipitaciones, ante la naturaleza impermeable de las rocas aflorantes en la cuenca, lo que le confiere características prácticamente torrenciales con grandes crecidas en invierno y caudal casi nulo en épocas de estiaje (Grande et al., 2010).

La presa del Chanza, situada aguas debajo de la anterior, fue construida en el año 1989 para fines de riego y abastecimiento urbano, ocupando sus aguas una superficie máxima de 2239 ha y permitiendo una capacidad máxima de almacenamiento de 341 hm³. En relación con el tipo de embalse, nos encontramos ante una presa de gravedad que recoge los excedentes de la presa de Andévalo, al tiempo que se nutre de las escorrentías procedentes de la cuenca vertiente del río Chanza, por encima de la unión con el Cobica. El prin-

cipal foco contaminante en la parte española se debe al arroyo Trimpancho, que transporta aguas ácidas procedentes de cuatro explotaciones mineras de mediana entidad, pero que provoca una intensa afección sobre el arroyo de referencia. La unión de ambos cauces tiene lugar en el paso fronterizo conocido como vado de Volta Falsa (Portugal), en el carril que une las localidades de Paymogo con Corte Pino.

Muestreo de parámetros

Con el fin de evaluar las características hidroquímica, se proyectó una recogida en 15 puntos. Estos puntos fueron tomados de manera regular a lo largo del cauce del AMD (**Drenaje de ácido minero**) desde su origen hasta su confluencia con el río no contaminado. Después suele aparecer un grupo de 2 y 2 medidas que corresponde a la hidroquímica del río receptor del AMD antes y después de la mezcla con el AMD.

Tenemos que tener en cuenta que:

- Los puntos en color amarillo en las tablas, corresponde con efluente AMD (desde su salida de la escombrera hasta alcanzar al Arroyo Chorríto).
- Los puntos en color azul en las tablas corresponden de Chorríto después de la confluencia con el lixiviado.
- Los puntos en color verde en las tablas de Chorríto corresponden antes de de la confluencia con el lixiviado (antes de contaminarse por ese lixiviado).

Para evaluar las características de las aguas contaminadas por procesos AMD, las mediciones realizadas "in situ" fueron: **pH**, **Conductividad eléctrica (CE)**, **Sólidos disueltos totales (TSD)**, **Temperatura (T^o)** y **Potencial redox (Eh)**, como indicadores de las características físicas de las aguas. Estas mediciones nos aportan una idea general de la afección que el drenaje ácido de mina produce en cada punto.

Para evaluar la carga metálica de las aguas contaminadas por procesos AMD, las mediciones realizadas en laboratorio fueron:

- Concentraciones de Al, Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Ni, Co, As, Sr, por tratarse de elementos de gran toxicidad a partir de ciertos límites y que se encuentran asociados a la contaminación por AMD, ya que son elementos que conforman la mayor parte de las formas minerales presentes en los sulfuros masivos de la Faja Piritica Ibérica.
- Sulfatos como uno de los principales productos generados en los procesos AMD.

Resultados de parámetros físicos

En la tabla 1, se puede observar:

Si nos fijamos en los valores de **pH**, desde su salida de la escombrera hasta alcanzar el Arroyo Chorríto y desde chorríto después de la confluencia con el lixiviado, esas aguas son ácidas y en cambio desde Chorríto antes de la confluencia con el lixiviado, esas aguas son alcalinas. El valor 2,98 es el valor más extremo de acidez que se alcanza.

Con respecto a la **conductividad** tiende a subir progresivamente desde el punto 1 hasta el punto 4, donde el valor es máximo. Luego los valores van aumentando y disminuyendo alternativamente hasta el punto 11, donde empiezan a disminuir los valores de conductivi-



Tabla 1

Puntos	pH	Cond. (µS/cm)	TSD (mg/L)	T° (°C)	Eh (mV)
1	3,46	2745	1804	18	362
2	3,43	2810	1806	18	360
3	3,16	2910	2020	17	412
4	3,11	2980	2140	18	422
5	3,05	1850	1027	19	473
6	3,03	1865	1013	20	499
7	3,00	1851	987	20	507
8	2,98	1832	992	21	508
9	2,98	1885	1008	21	502
10	3,10	1855	995	20	486
11	3,10	1911	1031	20	468
12	6,18	342	219	21	262
13	6,32	302	193	21	211
14	7,28	300	192	21	120
15	7,12	301	193	21	112

dad progresivamente, hasta llegar al mínimo de la muestra en el punto 15.

En cuanto a los **sólidos disueltos totales** (TDS), obtiene la muestra del punto 4 el máximo valor y la muestra del punto 14 el mínimo valor.

La **temperatura** se mantiene más o menos estable a lo largo del cauce, y el **potencial redox** (Eh) aumenta hasta el punto 8, que tiene su valor máximo y a partir de ese punto disminuye progresivamente.

Resultados de análisis químicos

En la tabla 2 se relacionan los resultados obtenidos de carga metálica y los resultados de sulfatos obtenidos en laboratorio en las unidades mg/L.

Con respecto a los sulfatos, se diferencian diferentes valores según las zonas. Los valores más altos están en la salida de la escombrera hasta alcanzar el Arroyo Chorrillo, en el cauce desde Chorrillo después de la confluencia con el lixiviado, los valores bajan bastante y desde Chorrillo antes de la confluencia con el lixiviado, los valores vuelven a bajar más aún. El valor más extremo es 1868 mg/L.

Las concentraciones medias de los metales analizados varían según el siguiente orden: Al > Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Cd > Sr > Pb > As

Las muestras 14 y 15 tienen los valores mínimos de concentración de metales.

Conclusiones sobre los resultados obtenidos

Se puede decir que al enriquecerse el medio en oxígeno, el Fe² se oxida a Fe³ liberando hidrogeniones al medio y disminuye el pH, aumenta la concentración de sulfatos y por lo tanto la conductividad eléctrica.

Se observa que existe una ligera tendencia al alza en los valores de **TSD, CE, SO₄⁼, pH, Fe, Mn, As y Sr** y al contrario que el **Eh, Al, Cu, Zn, Ni, Co, Pb y Cd** disminuyen. Esto puede ser explicado por la confluencia de algún pequeño drenaje que intercepte al cauce AMD y que le aporte aguas con otras características físico-químicas.

En los últimos puntos se produce un aumento drástico del **pH** y por tanto la precipitación de gran parte de la carga metálica junto con la disminución de casi la totalidad de sulfatos, **sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica**.

Propuestas de actuación

La remediación de los lugares mineros, sobrepasa la capacidad financiera de casi todas las corporaciones, por tanto, necesitamos encontrar métodos que sean más económicos. Por este motivo, una opción son los tratamientos pasivos. Además buscamos unas series de características, como que sea reactivo, permeable, accesible, barato, que dure en el tiempo, que tenga poco mantenimiento, inocuo para el medio ambiente y que aproveche la atenuación natural.

Por tanto, se propone para Mina Herrerías las siguientes actuaciones:

Revegetar los terrenos para conseguir la compactación de los materiales y reducción de espacios vacíos, así se evita el ingreso y la circulación de agua y oxígeno a través de los residuos que contienen sulfuros.

El **recubrimiento** es ideal para reducir la infiltración del agua y, así las cubiertas del suelo son adecuadas para la restauración de los terrenos. El oxígeno es evacua-

Tabla 2

Pto	SO ₄ ²⁻	Al	Cu	Fe	Mn	Sr	Zn	Ni	As	Cd	Pb	Co
1	1564	95,04	10,53	756,56	20,01	0,12	36,31	0,152	0,006	0,138	0,112	1,387
2	1628	99,50	10,10	748,22	20,76	0,12	35,84	0,156	0,007	0,134	0,035	1,383
3	1742	108,04	11,90	798,08	21,72	0,12	37,23	0,162	0,007	0,142	0,036	1,550
4	1868	118,68	12,07	943,37	23,79	0,13	41,34	0,166	0,013	0,152	0,064	1,588
5	755	48,33	3,62	210,36	4,38	0,07	6,47	0,038	0,002	0,022	0,016	0,451
6	612	46,11	3,50	108,68	4,24	0,09	6,11	0,033	0,003	0,019	0,015	0,409
7	610	45,79	3,57	102,95	4,31	0,08	5,95	0,033	0,003	0,019	0,015	0,400
8	635	44,70	3,39	95,69	4,21	0,09	5,90	0,033	0,003	0,019	0,015	0,400
9	685	45,03	3,17	94,81	4,02	0,08	5,88	0,034	0,003	0,019	0,015	0,407
10	725	40,78	2,87	84,06	4,56	0,09	5,31	0,030	0,004	0,015	0,013	0,364
11	700	40,30	2,81	80,70	4,51	0,09	5,31	0,027	0,004	0,014	0,013	0,341
12	97	1,08	2,08	4,12	0,46	0,06	0,51	0,004	0,001	0,002	0,000	0,040
13	56	0,93	2,55	4,24	0,17	0,06	0,11	0,001	0,001	0,001	0,000	0,011
14	34	0,85	0,00	1,11	0,00	0,05	0,00	0,002	0,005	0,003	0,002	0,002
15	36	0,85	0,00	1,11	0,00	0,06	0,00	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000

do por las raíces de las plantas, la respiración microbiana y la descomposición de la materia orgánica.

Para las escombreras, podemos actuar con las siguientes medidas:

- **Drenaje** como medida fundamental de estabilidad y reductor de la contaminación por lixiviación de los minerales marginales por el agua de lluvia.
- Se podría hacer una desviación del agua de escombrería alejándola de la fuente de acidez. Para ello se pueden construir **canales perimetrales** o diques de interceptación que impiden la entrada del agua con los estériles de las escombreras y así nos permite hacer una gestión de las aguas en función de su calidad.
- Utilización de las capas más alterables de pizarras como recubrimiento de las escombreras abandonadas, para su recuperación, al menos, forestal.
- Aplicar la **economía circular** en la minería, aprovechamiento del potencial económico de los metales presentes en la escombrera, con la introducción en un ciclo productivo de una explotación en activo cercana.
- Uso de **arcillas o carbonatos** para minimizar o evitar su potencial contaminante.

También podemos aplicar el tratamiento pasivo de drenajes ácidos patentado por la Universidad de Huelva en las cortas (proyecto Life ETAD), donde el líquido contaminante, se convierte en agua sin metales peligrosos, para la naturaleza y el consumo humano y que, consiste en la depuración de las aguas mediante su conducción por un sistema que incluye tanques reactivos y piscinas decantadoras conectadas en serie.

El agua ácida se dirige a una balsa de pre-tratamiento, en la que se estanca y se oxida. La oxidación del hierro es importante para el funcionamiento de la planta.

Posteriormente va pasando por tres juegos de reactor y balsa de decantación a la salida de cada uno de ellos, estos reactores se rellenan con lo que denominamos **DAS** (Dispersed Alkaline Substrate).

El DAS es una mezcla de virutas de madera con un reactivo alcalino como son la Calcita, la Magnesita o el Carbonato de Bario (Witherita¹). Según van pasando las aguas por los diferentes reactores, va subiendo el pH del agua provocando la precipitación de los metales pesados divalentes y trivalentes en los propios reactores y en las balsas de decantación que se sitúan a la salida de cada uno de ellos. Finalmente, en el último reactor se produce la eliminación de los sulfatos, quedando el agua a la salida de la planta apta por ejemplo para riego.



Fotografía 9. Balsas de pre-tratamiento natural



Fotografía 10. Balsa decantadora con typha²



Fotografía 11. Tanque reactivo DAS-calizas y balsas decantadora con typha

Referencias bibliográficas

- Joaquín Gonzalo y Tarín. *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España. Tomo 2. Tercera parte de la memoria*. Imprenta y fundición de Manuel Tello. Madrid 1888.
- José Antonio Grande Gil. *Drenaje ácido de mina en la Faja Pirítica Ibérica*. Universidad de Huelva. Huelva 2016.
- Isidro Pinedo Vara. *Piritas de Huelva. Su historia, minería y aprovechamiento*. Ediciones Consulcom. Huelva 2011.
- Iván Carrasco. *El ferrocarril minero del Guadiana. Historia de un tren olvidado*. Asociación Herrerías. Huelva 2016.
- Roberto Rodríguez y Ángel García Cortes. *Los residuos mineros metalúrgicos en el medio ambiente. Serie Medio Ambiente nº 11*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid 2006.
- María Santiseban Fernández. *Incidencia de procesos AMD en la hidroquímica de embalses afectados en la Faja Pirítica Ibérica*. Huelva 2015.
- Enrique López, Javier Sánchez, Marta Díez, Esther Santofimia y Jesús Reyes. *Cortas mineras inundadas en la Faja Pirítica*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid 2008.
- Página web del Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica de la Conserjería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.
- J. Doetsch. *Esbozo geoquímico y mineralogénico del criadero de piritas Las Herrerías Puebla de Guzmán*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 1957.
- Proyecto Life-Etad. Página web de la Junta de Andalucía: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset_publisher/zx2ouZa4r1Rf/content/life-etad.-ecological-treatment-of-acid-drainage.-life12-c2-a0env-es-000250/20151

1. Witherita = CO₃ Ba

2. Typha es una planta fitoacumuladora de metales pesados-Bioremediación



Nuestros compañeros



**MÓNICA E.
CORRAL
SALDAÑA**

¿Dónde y cuándo naciste?

Nacida en Barcelona, el 10 de abril de 1974.

¿Dónde estudiaste minas y por qué escogiste esta carrera? ¿Crees que fue acertada esta decisión?

Cursé los estudios de Ingeniería Técnica de Minas en la Escuela Politécnica de Almadén, donde cursé la especialidad de Perforaciones y Sondeos y posteriormente en la Escuela de Manresa cursé la especialidad de Explosivos.

Escogí la carrera por tradición familiar, supongo, ya que mi padre también era Ingeniero Técnico de Minas.

En respuesta a la pregunta si la decisión fue acertada o no, tengo que afirmarte que por supuesto que sí, por las satisfacciones profesionales que hasta ahora he tenido, y no puedo comparar con otra carrera que no he tenido.

¿Has realizado otros estudios? ¿Cuáles?

Tengo estudios complementarios como Máster en Prevención de Riesgos Laborales, Auditor de Calidad, Máster en Evaluación de Impacto Ambiental, Coordinador de Seguridad y Salud, etc. Creo que en esta profesión, al igual que en el resto, es importante no dejar nunca de reciclarse y formarse de manera continua.

¿Tienes antecedentes familiares mineros?

Si, por supuesto. Mi abuelo era minero en las Minas de Almadén y mi padre además de trabajar en la Mina, cursó los estudios de Ingeniero Técnico de Minas y ejerció la profesión durante toda su vida.

Una vez terminados tus estudios ¿encontraste trabajo pronto?

En mi caso la incorporación a la vida laboral fue de manera inmediata, debido a la circunstancia que mi padre estaba en activo en aquel momento.

Háblanos de tu carrera profesional.

Desde que finalicé los estudios me incorporé como profesional libre dentro de TECMINA, realizando tareas múltiples y diversas, todas ellas orientadas a dar servicio a la empresa minera e industrial. Desde trabajos topográficos hasta direcciones facultativas, trabajos de formación, legalizaciones de pozos, trámites para aperturas de explotaciones mineras, autorización de explosivos, y un largo etcétera, así como trabajos complementarios desde un servicio de prevención de riesgos laborales al cual también pertenezco.

¿A qué te gusta dedicar tu tiempo libre?

En la actualidad tengo poco tiempo libre debido a mis obligaciones familiares ocupan mi tiempo libre, como es lógico. El poco del que dispongo me gusta dedicarlo a leer y correr.

¿Cómo ves el futuro de la profesión?

Me arriesgo a vaticinar un exitoso y buen futuro a nuestra profesión, debido a que de las universidades salen profesionales altamente preparados y cualificados para poner a disposición de nuestra sociedad todos sus conocimientos para la obtención de materias primas minerales, necesarias para el desarrollo y progreso.

¿Qué destacarías de tu vida profesional?

La diversidad de temas que se tratan, tenemos un amplio espectro, desde legalizaciones, topografías, asistencia a voladuras, expediente de marcado CE, etc. En el ámbito profesional en el que me he desarrollado, cada día es diferente al siguiente.

De no ser Ingeniero Técnico de Minas, ¿qué te hubiera gustado ser?

Me resulta muy difícil imaginarme con otra profesión distinta a la que elegí, pero como alternativa escogería otros estudios relacionados con las ciencias naturales, quizá Ciencias Medioambientales.

¿Qué destacarías de positivo y de negativo en nuestro Colegio Profesional?

El Colegio Profesional es una institución que debe servir que punto de encuentro entre profesionales y que les sirva a éstos como referencia para diversas formaciones, defensa de los intereses de la profesión, etc., al margen de las obligaciones legales que muchos compañeros necesitan a través del visado.

En la actualidad creo que muchos profesionales no cuentan lo suficiente con nuestro Colegio, manteniéndose muy al margen de las actividades propuestas por éste, tanto en asistencias a Juntas, formaciones, celebraciones, etc., y eso es muy poco beneficioso para todos, porque por todos es sabido que "la unión hace la fuerza"

¿Y de nuestra profesión?

Como positivo en nuestra profesión destacaría la gran variedad de sectores en los que podemos desarrollarnos y las múltiples posibilidades de ocupación que tiene. Como aspecto negativo destacaría la poca visibilidad que tenemos y el poco reconocimiento social con el que en estos momentos contamos. Sólo hace falta ver el escaso alumnado que decide estudiar Ingeniería Técnica de Minas actualmente. Imagino que, como en el resto de las carreras universitarias, estas situaciones se dan de manera cíclica y espero que lleguen tiempos mejores para la nuestra.

¿Qué opinión te merece el nuevo plan de estudios?

No puedo opinar al respecto, no tengo un conocimiento profundo como para establecer

comparativas con respecto al plan de estudios anterior.

¿Qué consejo de los que te hayan dado has seguido con éxito?

La honestidad. Creo que es un valor fundamental para entablar relaciones basadas en la confianza, sinceridad y respeto mutuo.

¿Quieres transmitir alguna propuesta a la Junta de Gobierno y, en especial, para nuestro Boletín Aragonito?

Como integrante de la Junta de Gobierno que soy en la actualidad y desde hace tiempo, soy consciente del esfuerzo y trabajo que se realiza de manera continua en COITMA. Así mismo, soy consciente también que todo el trabajo llevado a cabo no ha sido el suficiente para conseguir atraer y acercar a los colegiados a nuestra querida institución. Por ello aprovecho esta oportunidad para pedir a todos los integrantes de nuestro COITMA un acercamiento al mismo, y que sea éste un referente para la defensa de sus derechos profesionales y un apoyo en su vida profesional.

Muchas gracias, Mónica. Agradecemos que, a través de esta entrevista, hayas hecho un breve recorrido de tu vida profesional. Esperamos que la entrevista haya sido el inicio para que recibamos de tu experiencia y de tu buen hacer algún otro artículo.

Un afectuoso saludo.

El Consejo de Redacción

Publicidad

Estimados compañeros y simpatizantes, os animamos que anunciéis vuestras empresas en nuestra revista "Aragonito"

"Aragonito" quiere ser tu espacio publicitario

Tarifas (precios sin IVA)



Opción A, B y C



Opción D



Opción D



Opción E

Página completa:

Opción A: Contraportada, 300 €

Opción B: En interior contraportada, 240 €

Opción C: En interior revista, 220 €

Media página interior:

Opción D: Horizontal o vertical, 160 €

Un cuarto de página interior:

Opción E: 100 €

- La confección del anuncio corre a cargo del anunciante.
- El anuncio se entregará en soporte digital, en formato tif, jpg o eps.



El alabastro y sus residuos mineros, investigación y desarrollo para nuevos usos

HÉCTOR GIL GARBÍ



CURRÍCULUM

Nació en Castellón en 1986

Titulación académica:

- Licenciado en Geología por la Universidad de Zaragoza
- Máster en Iniciación a la Investigación en Geología
- Doctor en Geología desde 2017 por la Universidad de Zaragoza

Trayectoria profesional:

- Actualmente, Responsable de I+D en "Exportadora Turoense S.L"
- Prácticas en "Cementos el Molino" (Sta. Eulalia del Campo, Teruel) y en "Cantera La Torreta" (Castellón)
- Ha participado en: 11 Artículos y Capítulos en libros; 14 Comunicaciones en Congresos y en un Grupo de Investigación
- En 2019, obtuvo Premio al mejor Proyecto Spin-Off
- En 2020, Premio al mejor Proyecto de emprendimiento del Campus "Emprende", del Campus Iberus-CHL

¿Qué es el alabastro? (características, origen, yacimiento)

El alabastro es una roca constituida por cristales de yeso microcristalino; las características microtexturales de esta roca y su composición mineralógica le confieren sus singulares cualidades de translucidez, (capacidad de transmitir la luz) y facilidad de esculpido. La presencia de minerales accesorios y materia orgánica puede dotar a esta roca de diferentes tonalidades, igualmente, las variaciones microtexturales en ésta roca pueden dotarla de unos atractivos veteados y juego de texturas; esta combinación de tonalidades, veteados y texturas da lugar a una amplia diversidad de distintas variedades comercializadas ("alabastro transparente", "buñuelo", "ágata", "bardillo"...)

Todos estos elementos hacen del alabastro una roca ornamental de primer nivel que, además, gracias a sus propiedades de translucidez, permiten la elaboración de piezas exclusivas para el mercado de la iluminación y el diseño de interiores con juegos de retroiluminación.

Se estima que Aragón puede concentrar el **80% de las reservas de alabastro, consiguiéndose el 75-80% de la producción mundial**, con yacimientos en la Cuenca de Calatayud; gran parte de estos se concentran en la zona central de la Cuenca del Ebro, coincidiendo con las comarcas de la Ribera Baja del Ebro, Bajo Martín y Bajo Aragón.

Esta distribución de los yacimientos está directamente relacionada con las características y evolución geológica de la zona. Así, durante el Oligoceno y Mioceno (en torno a 21 millones de años), se instauró en ésta un enorme lago que se situaba en el centro de la gran cuenca endorreica, que recibe el nombre de Cuenca del Ebro, ésta tenía una forma trapezoidal y unos 62.000 km² de superficie, estaba delimitada por las cadenas montañosas cercanas (los Pirineos al N, la cordillera Costera Catalana al E y la Cordillera Ibérica al

S y SE). Este lago se alimentaba fundamentalmente de los cursos fluviales que procedían de estas cadenas montañosas (Fig. 1).

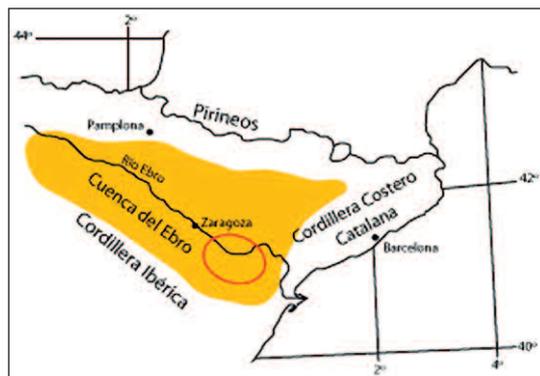


Figura 1. Situación de la cuenca del Ebro y zona productora de alabastro

Las características climáticas en la zona central de este lago (seco y con una gran evapotranspiración), así como, la alta concentración de sales disueltas en estas aguas (principalmente sulfatos), crearon las condiciones ideales para que en esta zona, no solo se acumularan materiales detríticos, como arcillas o arenas, sino que también se produjera una sedimentación de tipo químico, produciéndose la precipitación y sedimentación de cristales de yeso, típico de un medio sedimentario de tipo "playa-lago" (Mandado, 1987). La continua precipitación química de yeso, produjo la acumulación de niveles de gran espesor de este mineral.

El acopio de sedimentos y el paulatino enterramiento de este yeso, hizo que progresivamente aumentase la presión y la temperatura en las capas constituidas por el mismo, de precipitación química ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$), perdiendo sus moléculas de agua y transformándose en anhidrita (CaSO_4). Gracias a la po-

ca actividad tectónica de esta zona central de la Cuenca del Ebro, las rocas que se formaron a partir de los sedimentos de aquel antiguo lago, quedaron dispuestas de forma horizontal (Quirantes, 1978).

La posterior apertura de la Cuenca del Ebro al Mediterráneo (hace 5,3 millones de años), hizo que ésta pasara de ser un gran lago a verse sometida a la acción erosiva de ríos y arroyos, eliminándose parte del relleno de la cuenca, desenterrando parte de estos niveles de anhidrita y situando estas capas cerca de la superficie. Esta circunstancia posibilitó la rehidratación "rápida" de este mineral y su nueva transformación a yeso, dando lugar a niveles de roca formados por yeso microcristalino al que llamamos **alabastro** (Ortí, 1977; Mandado, 1987).

Este mineral aparece hoy en día en las comarcas centrales de Aragón como niveles nodulares, donde es extraído en forma de grandes nódulos de tamaño métrico, denominados por los mineros como "**bolos**". Su morfología de estos niveles es debida a las transformaciones mineralógicas que han dado lugar al mismo (del yeso a anhidrita y su nueva transformación a yeso), que han provocado cambios significativos del volumen de estas capas, produciendo el aspecto nodular de los niveles (Fig. 2).



Figura 2. Niveles de alabastro (flecha amarilla) mostrando su aspecto nodular en las inmediaciones de la localidad de Fuentes de Ebro (Zaragoza)

¿Cómo se explota el alabastro? Características y eficiencia de la producción

El alabastro se lleva explotando en la zona central de la cuenca del Ebro desde tiempos inmemoriales; se ha constatado su explotación desde tiempo de los romanos, aunque probablemente se remonte siglos atrás.

Su explotación en la zona (tanto histórica como actual), viene determinada, evidentemente, por la calidad y abundancia de esta roca, pero también influye su facilidad de explotación.

Como se ha adelantado en la introducción, el conjunto de los materiales geológicos de esta zona aparece en niveles subhorizontales; esta configuración no solo determina el relieve (formando muelas, cerros alomados), sino que también determina que los niveles productivos de alabastro afloren, generalmente, en la ladera de estas muelas y cerros.

Con esta configuración geológica las labores mineras se realizan, en su práctica totalidad, a través de ex-

plotaciones a cielo abierto. La forma de extracción es sencilla, una vez localizados los indicios de alabastro (generalmente expuestos en laderas), se inicia la excavación de la ladera, profundizándose hacia el interior de la muela o del cerro, buscando la continuidad de los niveles productivos de esta roca. Este sistema de explotación se suele denominar, en minería, como un sistema de **cantera en ladera a cielo abierto**.

Con este procedimiento, a medida que se profundiza hacia el interior del relieve, aumenta paulatinamente el volumen de sobrecapa que es necesario eliminar para llegar al nivel del alabastro; lógicamente, esta situación reduce la rentabilidad de las labores a medida que es necesario excavar más y más. Cuando el volumen de sobrecapa es demasiado para hacer viable la explotación en ese frente, las explotaciones se extienden lateralmente en la ladera, ocupando gradualmente una superficie cada vez mayor (Fig. 3).



Figura 3. Frente de cantera aprovechando la ladera de un cerro. Mediante la flecha amarilla destacamos el nivel explotable de alabastro

Una vez se deja al descubierto el nivel productivo, se seleccionan los "**bolos**" de alabastro que se encuentran ubicados entre niveles de yeso o arcilla. En la propia cantera estos bolos se "pican" con un martillo neumático liberándolos de restos de estos yesos o arcillas (Fig. 4).



Figura 4. Picado de "bolos" de alabastro en cantera

Esta roca, ya limpia, se traslada, mediante camión, a una planta de serrado, donde se terminan de "limpiar" y se cortan en diversos formatos a demanda del cliente (placas, cilindros, grandes piezas tabulares...). Como se puede apreciar, esta forma de explotación y selección de la roca, es muy artesanal (aunque se utilicen excavadoras, buldóceros y camiones de gran tonelaje).

Aunque el diseño de una explotación de roca ornamental depende de un gran número de variables (geología del yacimiento, distribución de las reservas, topografía, acceso a vías de comunicación...), se encuentra alejada de las formas de explotaciones más "habituales" de otros tipos de roca ornamental (como el mármol o granito) cuyas explotaciones se llevan a cabo por el método de extracción en "**banqueo**".



En este tipo de extracción por “banqueo”, se definen grandes bloques de paralelepípedos dentro de un lugar concreto del macizo rocoso, ajustando sus dimensiones a la tecnología de corte a utilizar (corte con hilo de diamante, corte con rozadoras de brazo, corte con disco...). Este método acaba definiendo en la cantera diferentes bancos de explotación de dimensiones más o menos similares, y donde la extracción de bloques se realiza con una mínima excavación de sobrecapa.

Contra poniendo estas dos formas de explotación queda claro que la del alabastro (Fig. 5), es mucho menos “eficiente” que la de otros tipos de rocas ornamentales, como el mármol o el granito.

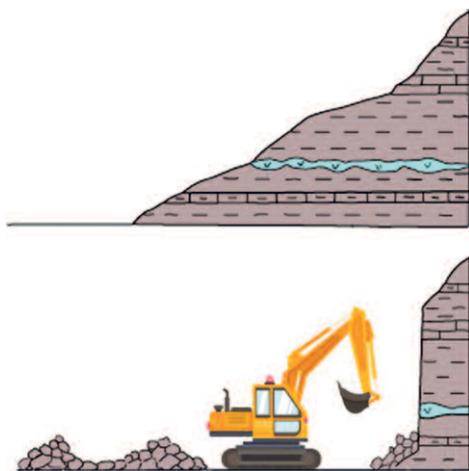


Figura 5. Esquema mostrando el modo de explotación del alabastro

Generalmente, es necesario mover y eliminar un gran volumen de sobrecapa para llegar al nivel productivo, donde el mineral se presenta en capas nodulares que pueden llegar a espesores de no más de 1,5 m. Así, queda claro que la eficiencia de explotación del alabastro es realmente baja y, aunque depende mucho de la situación del nivel explotable en relación con la topografía, a menudo, es necesario mover del orden de 10 m³ para la obtención de 1 m³ de alabastro, es decir, solo alrededor del 10% del material retirado en cantera es alabastro.

Este rendimiento contrasta con la metodología de extracción en “banqueo” que se aplica en el mármol o el granito, donde hay canteras que llegan a eficiencias del 80% del volumen total de roca procesada.

Pero las mermas en la explotación del alabastro no solo se producen en su extracción de la cantera, tal y como hemos adelantado en líneas anteriores; los “bolos” extraídos son seleccionados y procesados en la propia cantera limpiando los restos de arcilla adheridos. Esta roca “seleccionada” es trasladada al aserradero donde, mediante discos de corte circular y martillos neumáticos de pequeño tamaño, se termina de “limpiar” de restos de arcilla, fracturas o líneas de debilidad de la roca. Igualmente, en este aserradero se corta la roca al formato demandado por el cliente. Todo este procesado es necesario para asegurar la calidad, y hace que sólo aproximadamente un 10% de la roca de alabastro extraída en cantera, se transforme finalmente en piezas de alabastro susceptibles de ser comercializadas como roca ornamental.

Es decir, en el mejor de los casos, aproximadamente, solo el 1% del volumen de roca movilizad en cantera acaba vendiéndose como alabastro ornamental.

Todas estas mermas, tanto en la explotación como en su procesado, generan un alto coste en su beneficio, con ratios de aprovechamiento de esta roca muy bajos.

Igualmente, la forma de explotación puede llegar a producir un gran impacto ambiental y paisajístico, afectando a grandes superficies. Las escombreras y acopios de alabastro inservible para su uso ornamental (especialmente en explotaciones antiguas y abandonadas), contribuyen significativamente a estos impactos ambientales y paisajísticos negativos

Afortunadamente, la exigente legislación ambiental actual y la obligatoriedad de restauración de los frentes mineros han puesto coto a la degradación del medio natural y ha reducido significativamente los impactos producidos por esta minería.

Investigación y desarrollo con el alabastro

En busca de una mayor eficiencia en su explotación y manufactura de alabastro, durante los últimos años, se está apostando por la investigación y desarrollo, centrando esta labor en las nuevas posibilidades y usos de esta roca ornamental.

Dentro de esta apuesta por la investigación y desarrollo, Exportadora Turolense S.L. (una de las empresas punteras en la explotación del alabastro), está desarrollando, desde el 2014, diversos proyectos de investigación con el grupo de investigación, Arbotante, de la Universidad de Zaragoza, grupo especializado en materiales pétreos y dirigido por D. Josep Gisbert Aguilar.

Además, desde el año 2020, esta empresa ha creado un departamento de I+D propio, que ha permitido seguir investigando con el alabastro y sus residuos mineros.

Algunas de estas investigaciones han dado ya sus frutos, permitiendo comercializar alguna de estas variedades de alabastro para diferentes usos industriales, agrícolas y ganaderos.

Igualmente, éstas investigaciones nos están permitiendo conocer más acerca de las características y propiedades de estos materiales, profundizando en sus posibles usos ambientales (depuración de aguas, purines, remediación de suelos contaminados...)

A continuación, realizamos un pequeño resumen de las investigaciones llevadas a cabo en la caracterización de las **nuevas propiedades del alabastro**, y algunos de sus nuevos usos en la **depuración y remediación ambiental, sus aplicaciones en ganadería**, así como su valoración para la obtención de **cementos y morteros de calidad**.

Nuevas propiedades del alabastro:

Los proyectos de investigación focalizados en la roca de alabastro se dirigieron, desde sus inicios, a calificar las características y propiedades de la roca en sus diversas variedades litológicas. Posteriormente, y atendiendo a estas propiedades, se trabajó en buscar un aprovechamiento alternativo en sus distintas variedades litológicas, buscando encaje en diversos procesos y

utilidades de una amplia variedad de sectores económicos (industria, remediación ambiental, agricultura...).

Estos proyectos iniciales, dirigidos por D. Josep Gisbert Aguilar, concluyeron que algunas de las variedades litológicas de alabastro presentaban una gran **superficie específica**; esta propiedad, inherente a los sólidos, establece una relación entre el área superficial total y la masa del sólido. Un ejemplo claro de sólidos con una gran capacidad específica, es el carbono activado; algunos de estos carbonos llegan a superficies específicas de hasta 2500 m²/g, (a modo de comparación, una cancha de tenis tiene cerca de 260 m²). Se descubrió que muestras de ciertas variedades de alabastro, arrojaban cifras similares a la superficie específica de un carbono activado "medio" con superficies específicas en torno a 500 m²/g. Las imágenes obtenidas mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) sugieren que la alta superficie específica puede deberse a la presencia de microfracturas en la superficie de estas variedades (Fig. 6).

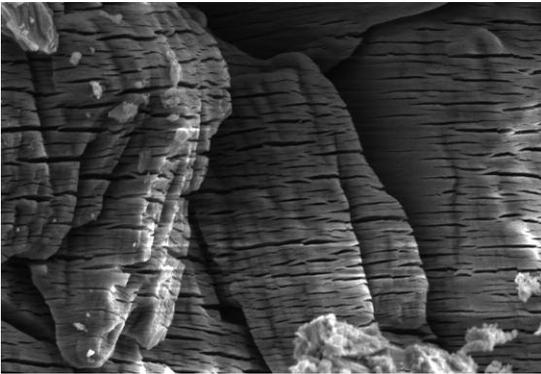


Figura 6. Imagen obtenida con microscopio electrónico de barrido (SEM) de las microfracturas superficiales de algunas variedades de alabastro

La característica "alta superficie específica", dota a estas variedades de otras propiedades muy interesantes, así, éstas pueden presentar altas capacidades de adsorción. La adsorción es la capacidad de adhesión de átomos, iones o moléculas de un gas o líquido (adsorbato) a una superficie (adsorbente), es decir, es la capacidad que tienen ciertos materiales de atrapar ciertos átomos o compuestos en su superficie, de forma similar a como una pelota de tenis es atrapada por un velcro.

Estas características y propiedades sitúan a las variedades de alabastro roca como un material muy interesante y de bajo coste que podría competir con adsorbentes tradicionales como el carbono activado, zeolitas, alúminas o fibras vegetales modificadas.

Nuevos usos: depuración y remediación ambiental

Su capacidad de adsorción sugería que este material podía ser introducido en sistemas de depuración de aguas residuales y de diversos efluentes industriales y ganaderos contaminantes (aceites, compuestos orgánicos, purines...).

Las investigaciones para este uso fueron más allá del marco teórico. Así, y dado el gran potencial que tenían estas variedades de alabastro, con una alta capacidad de adsorción, se determinó realizar diversos ensayos analíticos que demostraron la valía de este

material para atrapar diversos compuestos, reduciéndose su concentración en aguas residuales y efluentes contaminantes.

Concretamente, estos ensayos se focalizaron en efluentes tan peligrosos como aguas residuales contaminadas por lindano. Los ensayos llevados a cabo por D. Josep Gisbert dieron como resultado reducciones de las concentraciones de lindano muy significativas, que llegaron en algunos casos al 90%.

Este tipo de ensayos continuó gracias a la realización de diversos proyectos donde se testearon efluentes ganaderos (purines). En estos experimentos se constató una rebaja significativa de la carga contaminante de purines procedentes del porcino, con una reducción importante en su concentración de nitrógeno total, fósforo, cloruros, amonio, compuestos orgánicos... todos ellos, elementos capaces de producir una contaminación grave y persistente de las masas de agua y suelos.

Las investigaciones sobre la capacidad de adsorción y la capacidad de depuración de este material no han hecho más que empezar y queda por testear la capacidad de adsorción y retención de una amplísima variedad de compuestos e iones.

Igualmente, las investigaciones realizadas hasta la fecha sugieren que la alta superficie específica y capacidad de adsorción no es el único factor que interviene en los procesos de depuración con estas variedades de alabastro. Queda por determinar qué papel pueden jugar otros procesos fisicoquímicos que se dan en mezclas de estas variedades y aguas-efluentes contaminantes. De la misma forma, hay que concretar qué papel tienen los microorganismos y los procesos biológicos que se desarrollan en sistemas de depuración con esta roca, (procesos que parecen ser muy relevantes en aguas residuales y efluentes ricos en materia orgánica).

Nuevos usos: Aplicación en ganadería

La utilización de estas variedades de alabastro, no solo es interesante en el ámbito de remediación ambiental y depuración de aguas residuales. En ensayos realizados en explotaciones ganaderas se ha demostrado que su utilización como árido fino (polvo-arena) en la cama de ganado, genera superficies con una gran capacidad de absorción de la humedad dando lugar a superficies secas y salubres; también reduce significativamente los olores y gases desprendidos en el cubículo ganadero, generando un mayor confort animal. Este material presenta una baja conductividad térmica facilitando el aislamiento del animal del suelo.

La reducción de humedad, reducción de olores y gases y mejor aislamiento del suelo, no solo producen un mayor bienestar animal, sino que, además, previene la aparición de enfermedades. Así, todos estos factores evitan e inhiben el crecimiento bacteriano evitando la aparición de enfermedades infecciosas, como la mamitis, en el ganado vacuno.

Al tratarse de un producto mineral y no tóxico, constituido básicamente por sulfato cálcico, es químicamente inerte y puede utilizarse de forma combinada con otros productos utilizados habitualmente en la elaboración de camas de ganado, como paja, cascarilla de arroz o arena.

Las investigaciones en este ámbito ganadero han conseguido comercializar este polvo-arena de alabas-



tro como cama de ganado y es comercializado bajo la marca *Clean Gyp* (Fig.7).



Figura 7. Ejemplo de la aplicación ganadero del alabastro como cama de ganado vacuno.

Nuevos usos: Cementos y morteros de calidad

Aparte de las propiedades de adsorción de algunas de estas variedades, la composición química y mineralógica del alabastro (constituido fundamentalmente por yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)), hace de esta roca una materia prima fundamental para la elaboración de cementos y morteros de calidad.

En cementos, la mezcla del Clinker con este yeso alabastrino permite regular los tiempos de fraguado del cemento, ralentizando su solidificación y generando una estructura cristalina densa, constituida por calcio-aluminio-hidrato, estringita y monosulfato, que le confieren su dureza. La baja concentración en óxidos de hierro, por debajo del 0,15%, aporta al alabastro unas características ideales para la fabricación de cementos blancos, ya que la ausencia de estos óxidos evita la coloración del producto final.

La utilización del alabastro como precursor de yeso cocido hemihidrato consigue obtener morteros de yeso con una blancura inigualable. Igualmente, su carácter microcristalino permite reacciones de fraguado uniformes y utilizar una menor cantidad de agua para su amasado. Estas características dan como resultado morteros más densos y duros, aumentando su dureza en torno a un 10%

Las investigaciones y ensayos ya nos han permitido comercializar variedades muy puras de alabastro para la elaboración de cementos blancos y morteros de yeso, estas variedades se comercializan bajo la marca Alabaster Clink.

Investigación y desarrollo con los residuos mineros del alabastro

Como hemos adelantado anteriormente, la explotación de éste, implica el desmonte y movimiento de un importante volumen de sobrecapa constituido fundamentalmente por arcillas, calizas y margo-calizas. Estas litologías constituyen también materiales interesantes y podrían tener otro destino fuera de su utilización como materiales de relleno de hueco de cantera, buscando un aprovechamiento económico para estos.

Dentro de esta idea, se está desarrollando una línea de investigación con tal de llevar a cabo una completa caracterización de estas litologías, paso fundamental an-

tes de establecer un producto como tal, susceptible de hacerse hueco en diversos sectores económicos.

Las litologías caracterizadas afloran en canteras de alabastro del entorno de la localidad de Azaila (Teruel).

A continuación, resumimos los rasgos más importantes de las arcillas presentes en estas canteras. Esta litología es, con diferencia, la más abundante y una de las mejores caracterizadas hasta la fecha.

Se han determinados diversos niveles de arcillas que en cantera mostraban características diferentes (principalmente color). Estas arcillas se han caracterizado tanto atendiendo a su mineralogía como a sus propiedades físicas.

- **Caracterización mineralógica:** Los análisis mineralógicos se realizaron mediante difracción de rayos x (DRX). Los difractogramas se obtuvieron de muestra total, realizándose una estimación semi-cuantitativa de los minerales presentes en la muestra. Los resultados obtenidos mostraron que los minerales filosilicatos más abundantes corresponde a illita y esmectita (por encima del 75%), pudiéndose presentar también clorita y caolinita; como minerales ocasionales aparecen talco y sepiolita. Como minerales no filosilicatos se presentan el cuarzo, calcita, dolomita y, en menor medida, el yeso.
- **Caracterización física:** Esta caracterización se ha centrado en estudiar diversos parámetros, como su color, absorción de agua, plasticidad... Como resumen, las muestras estudiadas presentan una gran variabilidad cromática con colores rojos, beige, verdes, grises... Absorciones de agua que van del 70 al 85% respecto a su peso e índices de plasticidad que permiten clasificar a estas arcillas dentro del gráfico de Casagrande como arcillas inorgánicas de baja plasticidad.

Aunque todavía quedan por realizar ensayos de diversa naturaleza (adsorción, expansión, cocción, resistencia) y a tenor de las características observadas hasta la fecha, estas arcillas podrían ser útiles para la elaboración de productos de arcilla cocida (ladrillos, tejas...). Igualmente, la mineralogía de las muestras, así como sus propiedades de absorción, indicaría que estas arcillas podrían formar parte de fórmulas industriales para su utilización como absorbentes.

El conocimiento adquirido en el conjunto de proyectos, investigaciones y ensayos, constituye una sólida base para seguir investigando y desarrollando nuevos productos. Esto permite al sector del **alabastro** conquistar nuevos mercados (fuera del habitual ligado a la escultura, construcción e iluminación). De la misma forma, estos nuevos productos, permitirán producir un aumento significativo de las ratios de aprovechamiento de esta roca, dando lugar a una mayor eficiencia de las explotaciones y a un mayor aprovechamiento económico.

Bibliografía

- Mandado, J. (1987). Litofacies yesíferas del Sector Aragonés de la Cuenca Terciaria del Ebro. Petrogénesis y Geoquímica. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 443 p.
- Ortí, F. (1977). Aproximación al estudio petrográfico de las microestructuras de las rocas de yeso secundario y a su origen. Inst. Inves. Geol. Dip. Prov. Barcelona, 32, 87-152.
- Quirantes, J. (1978). Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros. Inst. "Fernando El Católico", CSIC, Zaragoza, 207 págs.

Legislación

B.O.A.	FECHA	EMITIDO	EXTRACTO DEL CONTENIDO
218	22-10-2021	Presidencia	Ley 7/2021, de 7 de octubre , por la que se modifican el Texto Refundido de las Tasas de C.A de Aragón, aprobado por Decreto Legislativo 1/2004, de 27 de julio, del Gobierno de Aragón, y la Ley 5/2006, de 22 de junio, de tasas y precios públicos de la CCAA de Aragón.
244	12-11-2021	Dpto. Economía Planificación y Empleo	Orden EPE/1598/2021, de 29 de noviembre , por la que se resuelve la convocatoria de ayudas para realizar en Aragón proyectos empresariales que incluyan desarrollo experimental y/o investigación industrial en economía circular.
30	14-02-2022	Dpto. Verteb. del Territorio, Movilidad y Vivienda	Orden VMV/48/2022, de 2 de febrero , por la que se publica el Acuerdo adoptado por el Gobierno de Aragón, en su reunión celebrada el 26 de enero de 2022, por el que se aprueba las modificaciones del Nomenclátor Geográfico de Aragón.
62	30-03-2022	Dpto. Hacienda y Administración Pública	Resolución de 23 marzo de 2022 , del Director General de la Función Pública y Calidad de los Servicios, por la que se aprueba la lista definitiva de candidatos admitidos y excluidos a las pruebas selectivas para la estabilización de empleo temporal para ingreso en el Cuerpo de Funcionarios Técnicos de la Administración de la Comunidad Autónoma de Aragón, Escala Técnica Facultativa, Ingenieros Técnicos de Minas, y se señala fecha y lugares de celebración del 1º ejercicio.
70	31-03-2021	Departamento de Presidencia y Relaciones Institucionales	Orden PRI/252/2021, de 9 de febrero , por la que se dispone la publicación del Gobierno de Aragón, el Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Nordeste y el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Minas y Grados de Minas y Energía de Aragón, para la elaboración de un estudio que analice las posibilidades de implantación de un centro tecnológico de la minería a ubicar en uno de los municipios afectados por el cierre de la actividad minero-energética del carbón en la provincia de Teruel.
B.O.E.	FECHA	EMITIDO	EXTRACTO DEL CONTENIDO
121	21-05-2021	Jefatura del Estado	Ley 7/2021 de 20 de mayo , de Cambio Climático y Transición Energética.
143	16-06-2021	Ministerio Presidencia	RD 427/2021, de 15 de junio , por el que se modifica el RD 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
163	09-07-2021	Min. Transición Ecológica y Reto Demográfico	Orden TED/723/2021, de 1 de julio , por la que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria 02.0.02 "Protección de los trabajadores contra el Riesgo por inhalación de polvo y sílice cristalina respirable" del RGNBSM.
268	08-11-2021	"	RD 951/2021, de 2 de noviembre , por el que se regula la concesión directa de una subvención a la C. A de Aragón para la ejecución de trabajos de control y vigilancia de la contaminación de suelos derivada de la antigua producción de Lindano en Sabiñánigo (Huesca)
268	08-11-2021	Jefatura del Estado	RD-Ley 25/2021, de 8 de noviembre , de medidas en materia de Seguridad Social y otras medidas fiscales de apoyo social.
274	16-11-2021	Min. Transición Ecológica y Reto Demográfico	Extracto de la Resolución de 10 de noviembre , de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se aprueba la convocatoria para la concesión de ayudas en 2022 a la prevención de riesgos y seguridad minera en el ámbito de una minería autóctona sostenible.
278	20-11-2021	Ministerio de Inclusión S.S y Migración	Orden ISM/1270/2021, de 11 de noviembre , por la que se fijan para el ejercicio 2021 las bases normalizadas de cotización a la Seguridad Social, por contingencias comunes, en el Régimen Especial de la Seguridad Social para la Minería del Carbón.
293	08-12-2021	Min. Presidencia, Rel. Cortes y Mem. Democrática	RD 1076/2021, de 7 de diciembre , por el que se modifica el RD 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
17	20-01-2022	"	RD 47/2022, de 18 de enero , sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.
196	25-03-2022		Código de la Minería . Última actualización el 28 de marzo de 2022 https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/abrir_pdf.php?fich=196_Codigo_de_la_Mineria_.pdf
78	01-04-2022	Ministerio Presidencia	RD 208/2022, de 22 de marzo , sobre las garantías financieras en materia de residuos.
85	09-04-2022	Jefatura del Estado	Ley 7/2022, de 8 de abril , de residuos y suelos contaminados para una economía circular.



Minería de materiales reciclados: "Minería urbana" (1ª parte)



MODESTO ÚBEDA RIVERA

Vocal y Colegiado nº 148

El término **Minería Urbana** (en adelante MU) es un concepto que hace referencia a una fuente de recursos que no provienen de una mina natural. Lo introdujo el profesor Hideo Nanjyo de la Universidad de Tohoku (Sendai), en Japón, en la década de 1980, sin embargo, ahora, ha cobrado una mayor relevancia debido al incremento del uso de las nuevas tecnologías en nuestro día a día.

La MU es la actividad productiva que puede ser técnicamente sustentable y económicamente viable en la recuperación de minerales y metales contenidos en los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), sobre todo provenientes de los Residuos de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (en adelante RAEE), de los Residuos de pilas y acumuladores (en adelante RPA), lámparas, vidrios, latas...

El Parlamento Europeo y el Consejo, en la Directiva 2008/98/CE, en su artículo 2.1, define **residuo** como "... cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprende..." y se amplían los conceptos en tipos o clases de residuos (peligrosos, no peligrosos, municipales, de construcción y demolición, alimenticios, biodegradables, etc.)

La MU es una fuente renovable consistente en la obtención de las materias primas (MP) de los desechos, que puedan sustituir en parte a los metales que provienen de la minería primaria o de importaciones de MP, logrando un menor costo a igual calidad y, de esta manera, minimizar las cantidades de desechos.

El día 25 de marzo de 2010 se celebró el I Congreso Técnico de MU en Iserlohn, Alemania, (Renania del Norte-Westfalia). Esta minería permite, a su vez, avanzar en el concepto de **economía circular*** (nombre utilizado por 1ª vez en 1980 y basada en la propia naturaleza) y viene a ser una práctica económica que ayudará a paliar la disminución de los recursos obtenidos en la actividad minera primaria para poder recuperar una fracción de los metales y minerales que serían descartados en los residuos urbanos (RU). La VI edición del Simposio sobre MU y Economía Circular, SUM 2022, se ha celebrado en Capri durante los días 18 al 20 de mayo; cuenta con el apoyo de prestigiosas universidades como la de Viena, Southampton, Padua, Tsinghua (Corea del Norte), Hong-Kong, Dinamarca, Hamburgo...

La economía circular, potenciada por la UE, no es una moda pasajera ni está en contra de la prosperidad económica, sino que la fomenta mediante un modelo económico definido, un orden ético a favor de las personas y nos ayudará a conservar nuestro Medio-Ambiente (día mundial el 5 de junio). A todos nos compete solucionar el problema de los residuos desde un espíritu riguroso,

constructivo, abierto y colaborativo. Es un reto tan ineludible como formidable.

La UNESCO proclamó el 17 de mayo como "día mundial del reciclaje" para concienciar a la población sobre la importancia de tratar los residuos como corresponde, como **recursos**, con el fin de proteger el Medio Ambiente. Este día mundial del reciclaje se celebra desde el 2005 y su origen se remonta a 1970. Siendo el reciclaje indispensable para una sociedad sostenible es, además, un atractivo mercado de gran expansión a escala mundial. La iniciativa de las **3R (reduce, reutiliza, recicla)** de la ecología surgió en Japón en el 2002 y difundida en la cumbre del G-8 en su sesión nº 30 celebrada en Savannah (Georgia-EE.UU.) del 8 al 10 de junio de 2004.

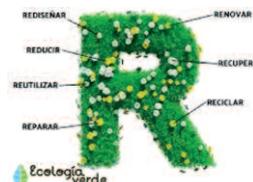
La MU utiliza "la **reducción, reutilización, reciclaje y recuperación**" (**4R**) de recursos, residuos y subproductos a partir de materiales finitos cerrando el círculo productivo, en contraposición a los dictados de la **economía lineal** hasta ahora basada en extraer, producir, consumir y desear. Bea Johnson (escritora y conferencista), comenta que, hay que **rechazar** lo que no necesites, **reducir** lo que necesites, **reutilizar** lo que consumas y **reciclar** lo que no puedas rechazar, reducir o reutilizar. Pero sucesivamente se ha pasado a las (**5Rs**), **reduce, reutiliza, recicla, repara, y recupera**, a las (**7Rs**), **reducir, reutilizar, reciclar, reparar, recuperar, rediseñar y renovar**.



Fuente: Wikipedia

R.EDUCIR R.ECICLAR
R.ECHAZAR R.UTILIZAR
R.OT (COMPOSTAR)

Fuente: ceroresiduo.com



Fuente: Ecologieverde.com

Y hoy en día podemos mostrar las **9Rs** de la economía circular (**9 Rs**).



sostenibleosustentable.com

Fuente: <https://sostenibleosustentable.com/es/economia-verde/9r-de-la-economia-circular/>

La naturaleza de los residuos es amplia y heterogénea, siendo el 37% el mayor porcentaje de residuos orgánicos; envases comerciales, el 19%; restos de plástico y metal el 13%; envases de vidrio, el 7%; textil, el 6%; celulosas, el 4%; maderas y escombros, el 3% y otros, el 3%. Los pensadores del siglo XIX no fueron capaces de conce-

bir ni la reutilización, ni el reciclaje, ni tampoco la valorización de los residuos. Una de las Organizaciones de referencia en el pensamiento global "The Ellen MacArthur Foundation", dice que "una **economía circular** es aquella que es restaurativa y regenerativa a propósito, y que trata de que los productos, componentes y MP mantengan su utilidad y valor máximo en todo momento, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos".

La separación de envases es el gesto cotidiano que da inicio al ciclo del "reciclaje" este gesto colectivo ha evitado la emisión de 1,67 millones de t de CO₂ a la atmósfera, con lo que se ha ahorrado 20,29 millones de m³ de agua y 6,37 millones de MWh de energía, según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE).

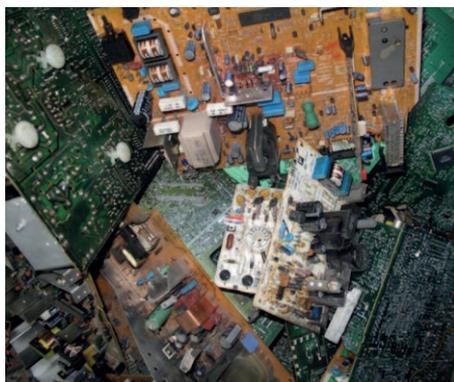
La MU es una solución cada vez más presente para avanzar hacia un modelo de **economía circular**. Genera valor, permite reducir el volumen, la contaminación en los vertederos y, los impactos de la minería tradicional; implica menos costos que quemar y enterrar sustancias contaminantes que impactarían en la salud y bienestar de las personas que viven próximas a estos depósitos.

En esta minería, como en todo proyecto minero, se requieren inversiones, pero éstas no son tan costosas como en la minería tradicional. Las crecientes restricciones en la oferta de la minería primaria, irán impulsando el desarrollo de la MU, que es una de las principales fuentes de metales y minerales de las industrias de la llamada 3ª Revolución Tecnológica (Era Electrónica Digital), iniciada en los años 70, cuyo origen pudiera estar con la aparición del primer transistor el 23 de diciembre de 1947 y que fue seguido por las planchas, lavadoras...

Entre los residuos o desechos que vamos a tratar en este artículo como fuente de MP de metales están: los **aparatos eléctricos y electrónicos (AEE)**, que es material imprescindible para la economía circular. En un próximo artículo trataré de otros tipos de desechos, también fuente de MP de metales y minerales como: **lámparas y luminarias, el vidrio, las latas, pilas y acumuladores, tetra-brik, desechos de la construcción y demoliciones (RCD), vehículos fuera de uso (VFU), neumáticos fuera de uso (NFU), palas de aerogeneradores, paneles solares (PS), baterías ión-Li...**

El conjunto de todos estos residuos constituye una auténtica riqueza y complejidad variable, dispersa, pero a la vez de valor intrínseco y de explotación viable.

Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), en inglés (E-Waste)



Son todos los aparatos eléctricos y electrónicos, sus materiales, componentes, consumibles y subconjunto que

forman parte de los mismos, que su poseedor desecha o tenga la obligación legal de hacerlo. La Directiva **2012/19/UE** para la Gestión de RAEE, que tuvo su última revisión el 24/07/2019, comenzó a regir desde el 15/08/2019.

Cuando hablamos de dispositivos electrónicos, el abanico es muy amplio, y es que, desde agosto de 2018, los cartuchos de tinta (RD 553/2020 de 2 junio, Art. n.º 6) y tóner usados han pasado a considerarse como residuos electrónicos y tienen que ser gestionados como RAEE y lo mismo sucede con enchufes, sensores, relés, interruptores de emergencia, las iluminaciones domesticas o los aparatos de generación, transformación, acumulación y medidores de energía.

Según estudios de varias agencias de la ONU, el mundo generó las siguientes millones de t (MT) de residuos eléctricos y electrónicos; en **2010**, 33,8 MT; en **2011**, 35,5; en **2012**, 37,8; en **2013**, 39,8; en **2014**, 41,8; en **2015**, 43,8; en **2016**, 45,7; en **2017**, 47,7; en **2018**, 49,8 MT; en **2019**, 53,6 MT (ver grafica adjunta) y, en el **2021** se generaron 57,4 MT. Son los llamados "desechos electrónicos", "basura tecnológica" o "chatarra electrónica" y, de todo esto, sólo se reciclan correctamente +/- el 20%. Esta cantidad de residuos posiblemente se vea duplicada para el 2050.

RECICLAJE DE LA BASURA ELECTRÓNICA EN 2019



Fuente: Global E-waste Monitor 2020

Estos desechos electrónicos del presente no sólo provienen de usos actuales, todavía hay muchos productos del pasado que no han sido procesados, como tubos de rayos catódicos de televisores y monitores antiguos, cintas VHS, reproductores de DVD... que encierran sustancias tóxicas.

La UE estableció en 2003 la Directiva **RoHS (Restriction of Hazardous Substances)**, sobre restricciones del uso de ciertas sustancias peligrosas y tóxicas en la fabricación de AEE; también se denominó como la Directiva sin "Pb", pero en realidad limitaba el uso de 6 sustancias: **Pb** (0,1%) en tubos de rayos catódicos, soldaduras y baterías; **Hg** (0,1%) en interruptores, cubiertas, pantallas LCD; **Cd** (0,01%) en tarjetas de circuitos y semiconductores, baterías, pantallas de ordenador; **Cr hexavalente** (0,1%) en protección anticorrosiva, durabilidad y dureza; **PBB** (0,1% Polibromobifenilos) en retardadores de inflamabilidad, en carcasa de plásticos de TV y **PBDE** (0,1% Polibromodifenilésteres) en retardadores de llamas en plásticos y espumas. En el 2011 se publicó la Directiva **RoHS 2**. La Directiva **RoHS 3**, se conoce también como Directiva delegada 2015/863 de la Comisión de 31 de marzo, que entró en vigor el 22 de julio de 2019, que aumenta en 4 sustancias más las restricciones: **DEHP** (0,1% Ftalatos de bis(2-etilhexilo) en los plásticos para hacerlos más flexibles; **BBP** (0,1% Ftalato de bencilo y butilo); **DBP** (0,1% Ftalato de dibutilo) en plastificantes y **DIBP** (0,1% Ftalato de diisobutilo) en plastificantes para mantener los plásticos en estado blando. Estos porcentajes son los valores máximos permitidos. Los productos AEE que contienen el logo RoHS cumplen con los niveles autorizados de las sustancias descritas.

Los AEE también tienen otras sustancias tóxicas como el **As** (led), **Ba** (bujías, lámparas fluorescentes, recubrimiento



de los monitores de rayos catódicos), **Be** (máquinas de Rayos X), **Se** (tarjetas de circuitos), **Co** (dureza y magnetismo en el acero), retardantes de llama (**BFR**), cloruros de polivinilo (**PVC**), clorofluorocarbonos (**CFC**) producción de frío, producción de solventes y propelentes, hidroclorofluorocarbonos (**HCFC**) refrigerantes, **amoníaco** (NH_3), **tetrabromo bisfenol A** (**TBBA**), **deca bromo difenil éter** (**deca BDE**) retardantes de llama en plásticos y textiles. Éstas contaminan la atmósfera, el agua e incluso las cadenas de suministro de alimentos. La peligrosidad de estos residuos requiere regulaciones y mecanismos de control por parte de los gobiernos, para minimizar el impacto que puedan tener sobre la población. En España se da cumplimiento a tales prerrogativas a través del RD 27/2021, de 19 de enero, por el que se modifica el RD 110/2015, de 20 de febrero, sobre RAEE.

Como curiosidad, el fósforo rojo contenido en la pantalla de una TV contiene elementos de Tierras Raras (en adelante **TR**) como son el **Eu** y el **Y**, que pueden contaminar hasta 80.000 l de agua. Un frigorífico mal reciclado emite a la atmósfera G.E.I. (Gases de Efecto Invernadero) equivalente a la emisión de un coche en un recorrido de 15.000 km.

Muchos de los RAEE producidos en países desarrollados son enviados a países pobres de manera legal o ilegal, para ser procesados de forma incontrolada por un sector que incluye a mujeres (su día Internacional el 8 de marzo) y niños (su día Internacional el 20 de noviembre), en contra de los artículos 10, 12 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC) y de los artículos 6 y 24 de la Convención de los Derechos del Niño (CDN) respectivamente.



Fuente: Flujo mundial de RAEE. OIT / The global impact of e-waste: Addressing the challenge

Estos RAEE están compuestos de:

- Metales básicos como el **Cu** (20-50%), **Fe** (8-20%), **Ni** (2-5%), **Sn** (4-5%), **Al** (2-5%), **Zn** (1-3%), **Pb** (2%).
- Metales preciosos como el **Au** (0,1%), la **Ag** (0,2%), **Pd** (0,005%), **Pt**, **Ra**, **Ru**, **Os**, **Ir**.
- Metales pesados como el **As**, **Cd**, **Co**, **Cr**, **Hg**, **Se**.
- Materiales inertes como, vidrios y plásticos (HIPS, PC, ABS, PP, PS, Acrílicos).

La UE es líder mundial en el reciclaje de RAEE, alcanzan el 35%, mientras que en el resto del planeta el promedio es menor del 20%. En EEUU y Alemania, más del 70% del **acero**, más del 35% de **Cu** y casi el 40% de **Al** provienen de

la chatarra. El reciclaje consigue reducir el consumo energético un 95% para el **Al**, el 85% para el **Cu**, el 74% para el **Fe** y el **acero**, el 60% para el **Zn** y un 65% para el **Pb**. En la MU el **acero** tiene un crecimiento anual del 8%, el **Al** el 3%, el **Cu** el 2,9%, el **Pb** el 1,1%, el **Au** el 4,3%, en comparación con los mismos metales provenientes de la minería tradicional.

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, aprueba en el 2015, el RD 110/2015, de 20 de febrero, el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (**PEMAR 2016-2022**), plan centrado en la consecución de los objetivos del reciclado, ya que obliga a los fabricantes de AEE a ocuparse de la recogida y reciclaje apropiado del mismo, una vez desechado. Este servicio de recogida y reciclaje no lo pagan los fabricantes, sino que lo abonamos los propios consumidores en el momento de la compra, con un coste de entre 5 y 30 euros de media. Este Plan PEMAR recoge según el RD todos los flujos de residuos, entre ellos, envases, RAEE, vehículos final de su vida, neumáticos fuera de uso, pilas, baterías, aceites usados, residuos de construcción y demolición, lodos, agrarios, de industrias extractivas, buques, sanitarios, etc (tabla nº 1).

Con el propósito de gestionar los RAEE, la UNU (Universidad de Naciones Unidas) de la ONU, la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU., Universidades del mundo y empresas como Dell, Microsoft, HP, Philips... crearon la iniciativa "**Solucionar el problema de la basura electrónica**" con el fin de que los componentes valiosos fueran recuperados. Una de las principales compañías dedicada a esta actividad está en Hong-Kong, cuyos aparatos eléctricos y electrónicos pasan por un desmontaje manual, seleccionando los componentes que aún pueden seguir utilizándose en la fabricación de nuevos productos. Actualmente existen empresas, que son líderes mundiales, en Bélgica (Umicore), Alemania (Aurubis), Suecia (Boliden), Canadá (Xstrata Copper), China, EE.UU., Singapur..., que reciben los remanentes de los aparatos electrónicos procedentes de cualquier parte del mundo para reciclar; cuentan con altas innovaciones en procesos de fundición a gran escala, tienen un poder de procesamiento entre 60.000 y 250.000 t/año de chatarra electrónica (tabla nº 2).

El responsable de la planta de Umicore, Bélgica, comenta que en una t de material de **Au** extraído de una mina se consigue 5 g de **Au** y en una t de tarjetas electrónicas de ordenador se obtiene 150 g de **Au**.

Aurubis, en Alemania, recuperó en 2019, 34.050 t de **Cu** para nuevos usos industriales. Es la empresa más grande de reciclaje de Europa con la mayor producción de **Cu**.

Boliden, en Suecia, en el 2019 recuperó 201 t de **Cu**, 33 t de **Zn**, 26 t de **Pb**, 384 t de **Ag** y 12 t de **Au**. Es líder mundial en reciclaje de RAEE.

Para el reciclado de todos estos materiales se emplean diferentes procesos, entre ellos: procesos **físicos** (clasificar y separar metales no férricos, cristalización, filtración, destilación, evaporación); **mecánicos** (molienda, cribado, separación); **químicos** (neutralización, precipitación, oxidación-reducción,

Tabla 1. Objetivos por años de recogida obligatoria desde la publicación del RD

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020-
Objetivo mínimo de recogida a nivel estatal	Cuatro kilos de RAEE domésticos por habitante (datos población INE disponible)	45% de la media del peso de AEE introducidos en el mercado español en 2013, 2014 y 2015	50% de la media del peso de AEE introducidos en el mercado español en 2014, 2015 y 2016	55% de la media del peso de AEE introducidos en el mercado español en 2015, 2016 y 2017	65% de la media del peso de AEE introducidos en el mercado español en 2016, 2017 y 2018	65% de la media del peso de AEE introducidos en el mercado español en los tres años anteriores

Tabla 2. Recuperación de metales no férreos

Técnica	Metales recuperados	Carácter del proceso	Resultados obtenidos
Proceso Noranda, Quebec, Canadá Xstrata Copper (Ahora)	Cu, Au, Ag, Pt, Pd, Se, Te, Ni	Fundición de Cu, concentrado Cu, convertidor, horno de fundición y electrorefinación del metal	Altos índices de recuperación de Cu, y metales preciosos
Fundición Boliden, Ronnskar. Basado en arco plasma, Suecia	Cu, Au, Ag, Pt, Pd, Zn, Pb, Ni	Reactor para concentrados. Capacidad de 100.000 T/año, convertidor, refinación de metales preciosos	Excelentes resultados en recuperación de Cu, Zn, y metales preciosos
Unicore, Hoboken, Bélgica. Bangkok	Metales preciosos, Se, Te y metales bases	Molido fino el material. Lixiviación de Cu. Electro-refinación para metales preciosos. Horno de fundición de arco plasma con control de emisiones de gases. Plástico en sustitución de Coke	Recuperación de metales preciosos Sb, Bi, Se, Te, In
Patente de Dunns para refinación de Au	Au	Reacción de chatarra con cloro a 300-700°C. Disolución de impurezas en ClH. Disolución de Ag con ácido nítrico e hidróxido de amonio, recuperación de Au	Recuperación de Au con 99% de pureza a partir de chatarra en ensayos de pequeña escala
Patente de Days para recuperación de metales de la chatarra electrónica	Metales preciosos, Pt, Pd	Chatarra cargada en horno de arco-plasma a Tª de 1400°C, se recuperan metales preciosos y Cu. La cerámica queda en la escoria	Recuperación de Pt y Pd con eficiencia de 80,3 y 94,2% respectivamente
Patente de Aleksandrovichs para recuperación de metales del grupo Pt y Au a partir de chatarra electrónica	Metales del grupo Pt y Au	Fundición de metales mediante reducción con carbón	Niveles aceptables de recuperación de Au y Pt

estabilización-solidificación...; **hidrometalúrgicos** (lixiviación ácida, separación con disolventes, precipitación, intercambios iónicos, purificación y/o concentración, electrolisis), empleando temperatura menor a 150° C; **electrostáticos**; **electroquímicos** o combinación de ambos; **pirometalúrgicos** (calcinación, tostación, fusión, volatilización, electrolisis ignea o de sales fundidas, metalotermia), en los que la temperatura empleada es mayor a 500° C; **biometalúrgicos** (es un proceso de bio-oxidación de compuestos minerales que forman sustratos de microorganismos a fin de permitir su separación), como el más prometedor y experimental, utilizando ciertas bacterias (acidófilas, autótrofas, aeróbicas y mesófilas) y hongos para la extracción de los metales; es una técnica más lenta pero mucho más barata y con un impacto ambiental mínimo.

Esta basura está creciendo entre el 16 y el 28% cada 5 años y está compuesta de plásticos (30%), cerámicos (30%), y metales (40%). Según la UNU sólo alrededor de un 20% de los RAEE se recicla y, el otro 80% termina en los vertederos, **por desconocimiento de la sociedad o por comodidad de los ciudadanos** (causantes de la aparición de un kg de RAEE/habitante en la basura doméstica), y porque grandes cantidades de estos residuos son gestionados por chatarreros. El no aprovechar los materiales recuperables de estos RAEE se puede llegar a perder hasta 55.000 millones de euros/año (ver tabla nº 4).

La composición de materiales presentes en los RAEE viene dado en la tabla nº 3, en %.

Tabla nº 3

Material	Gran Electro.	Peq. Electro.	TIC y Eqpo. consu.	Lámparas
Fe	43	29	36	
Al	14	9,3	5	14
Cu	12	17	4	0,22
Pb	1,6	0,57	0,29	
Cd	0,0014	0,0068	0,018	
Hg	0,000038	0,000018	0,00007	0,02
Au	0,0000067	0,0000061	0,00024	
Ag	0,0000077	0,000007	0,0012	

Fuente EMPA

España, en el tratamiento de RAEE (según el Plan Nacional Integrado de Residuos), es uno de los países europeos que más chatarra electrónica genera, después de Noruega (28,3 kg/persona), Suiza (26,3), Islandia (25,9), Dinamarca (23,9) y Reino Unido (23,4). Durante el 2021, a nivel mundial, se generaron 57,4 millones de t (7,3 kg/persona) llegándose a perder 57.000 millones de dólares y posiblemente en el 2023 se generará aproximadamente 74 millones de t y se pronostica que en 2030 llegaremos a más de 75 millones de t, siendo su valoración aproximada más de 63.000 millones de dólares. La OIT ha emitido una alerta teniendo en cuenta este panorama y ha pedido una acción urgente para mejorar la gestión de este “flujo tóxico” y convertirlo en una fuente valiosa de trabajo. Se han firmado tratados internacionales como el **Convenio de Basilea** (1989, entró en vigor el 5 de mayo de 1992) sobre movimientos fronterizos de residuos peligrosos y su eliminación; el de **Estocolmo** (entró en vigor el 17 mayo 2004) sobre contaminantes orgánicos persistentes (COPs), para hacer frente a la desmedida movilización de los residuos del mundo y fue adoptado por más de 150 países.

El factor detonante de este flujo de RAEE es su contenido en metales preciosos, y su problemática puede considerarse por su crecimiento exponencial, por su necesidad de extracción de más MP, por necesitar una mega-minería, por la caída de reservas de metales preciosos, por su afectación a los ecosistemas. Estos problemas llevan consigo perjuicio para el agua, suelo, flora, fauna, tala de bosques, cultivos y Medio Ambiente. Siendo el agua y el aire elementos esenciales para la vida, hoy en día, se han convertido en grandes bolsas de basura.

Los RAEE no son biodegradables y, a la falta de un buen reciclaje, se le suma que cada vez los dispositivos son más pequeños y complejos, haciendo de la recuperación de sus materiales un proceso más costoso. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UTI) comunica que en una t de teléfonos móviles hay 300 veces más **Au** que en una t de mineral de **Au** y 6,5 veces más **Ag** que en una t de mineral de **Ag**. Por cada t de teléfonos móviles (según Martínez, Cuevas y Osuna 2019), se pueden obtener los siguientes metales: 400 gr de **Au**, 700 g de **Ag**, 300 g de **Pt**, 17 g de **Pd**, 80 kg de **Fe**, 120 kg de **Cu**, 9 kg de **Ni**, 3,5 kg de **bronce**, 8 kg de **Sn**, 4 kg de **Al**, 2,5 kg de **Zn**, Li (batería). Pero también contienen



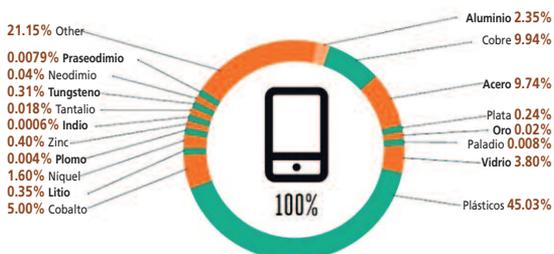
Tabla 4. Categorías y clasificación de los RAEE según RD110/2015, de 20 de febrero. Desde el 15 de agosto 2018

Categorías	AEE
FR 1.- Aparatos de intercambio de Temperatura 	Frigoríficos, congeladores, aire acondicionado, bombas de calor, radiadores de aceite, equipos de deshumidificación y otros que utilicen fluidos diferentes al agua. Durante el 2019 se han recogido 87.686,76 t, equivalente al 78%.
FR 2.- Monitores, pantallas y aparatos con pantalla superior a 100 cm² 	Pantallas, televisores, marcos digitales para fotos con tecnología LCD, monitores, computadores portátiles, incluidos los de tipo notebook y tabletas. Durante el 2019 se han recogido 28.596,46 t, equivalente al 73%.
FR 3.- Lámparas 	Lámparas fluorescentes rectas, compactas, de descarga de alta intensidad, incluidas las de Na de presión y las de baja presión haluros metálicos y de LED. Durante el 2019 se han recogido 3.523,21 t, equivalente al 89%.
FR 4.- Grandes aparatos > de 50 cm 	Lavadoras, secadoras, lavavajillas, cocinas, hornos eléctricos, placas de calor eléctricas, luminarias, aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música, máquinas de hacer punto y tejer, grandes ordenadores, grandes impresoras, máquinas tragamonedas, cajeros automáticos, grandes instrumentos de vigilancia y control, grandes aparatos que suministran productos. Durante el 2019 se han recogido 181.802,21 t, equivalente al 79%.
FR 5.- Pequeños aparatos < de 50 cm 	Aspiradoras, máquinas de coser, luminarias, microondas, ventiladores, planchas, tostadoras, cuchillos eléctricos, hervidores eléctricos, relojes, maquinillas de afeitar eléctricas, básculas, corta pelos, calculadoras, aparatos de radio, videocámaras, aparatos de grabación de video, cadenas de alta fidelidad, instrumentos musicales, aparatos de reproducción de sonido o imagen, juguetes E y EE, artículos deportivos (ciclismo, submarinismo, carreras, remos, etc., detectores de humo, termostatos, herramientas E y EE, productos sanitarios, instrumentos de vigilancia y control. Durante el 2019 se han recogido 53.380,27 t, equivalente al 90%
FR 6.- Aparatos de informática y de Telecomunicaciones pequeños 	Teléfonos móviles, GPS, calculadoras de bolsillo, ordenadores personales, impresoras, teléfonos. Durante el 2019 se han recogido 16.055,18 t, equivalente al 74%.
FR 7.- Paneles fotovoltaicos grandes > de 50 cm. 	Durante el 2019 se han recogido 371.270,24 T, equivalente al 46%.

Fuente: Parlamento E y Consejo. Adaptación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. www.raeeandalucia.es

elementos de TR como el itrio (Y), lantano (La), terbio (Tb), neodimio (Nd), gadolinio (Gd) y praseodimio (Pr). El reciclaje de móviles en España evita la emisión de 60.000 t de CO₂ a la atmósfera y supone un ahorro de 24 millones de litros de agua cada año.

En el siguiente gráfico se puede visualizar la composición simplificada de un teléfono móvil.



Fuente: gsm-unu-ewaste2015-spa.pdf (tabla 3, 1ª parte)

Según un estudio del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y el Instituto Suizo de Materiales, un teléfono móvil de 169 g de peso contiene: 60,75 g de plásticos de

ingeniería, 7,06 g de resina epoxi de las plaquetas del tño., 0,04 g de Au, 13,43 g de Al, 4,87 g de fibra de vidrio, 4,74 g de cristal líquido, 4,16 g de Fe, 19,06 g de Cu, 0,24 g de Ag, 0,87 g de Si, 1,17 g de Li, 9,93 g de Mn, 1,17 g de Ni, 9,34 g de grafito, 11,68 g de electrolitos, 20,48 g de otros elementos incluyendo las TR. Por cada millón de teléfonos que no se reciclan se pierde la posibilidad de recuperar 16 t de Cu, 350 kg de Ag, 24 kg de Au y 14 kg de Pd. Cada móvil tiene metales por valor aproximado de 1,5 euros.

En España se desechan al año 20 millones de teléfonos, y como curiosidad, con 88 teléfonos móviles se puede fabricar un anillo.

También hay que decir que cada vez surgen más ONGs dedicadas a recoger teléfonos todavía operativos pero algo pasados de moda o con algún defecto visual que, previa revisión y formateado, son enviados, para su venta, a países en vías de desarrollo.

Los RAEE son, para la MU, la columna vertebral y la puesta en valor de una manera segura y rentable; es posiblemente su mayor desafío, a menudo se suele discutir sobre la capacidad de la minería tradicional, si es o puede llegar a ser sostenible y, en realidad, es sostenible porque

cubre “las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para sus propias necesidades”, de acuerdo con los principios de Desarrollo Sostenible de la ONU, con sus 4 pilares: satisface la demanda social de MP; compatibiliza con el Medio Ambiente durante y después de la explotación; se compromete con la Seguridad y Salud de sus trabajadores y favorece el desarrollo social y económico.

Cuando cualquier RAEE acaba en la calle o en la basura doméstica, se exponen a la llamada “canibalización” (Lucía Herrera, gerente técnica de WEEE Fórum), o desmontaje



Foto: M.U

“a las bravas” es decir, la separación de piezas más valiosas; en unas horas les falta el motor, cables, rejillas u otras piezas de valor que las venden y esto hace que se pierda su pista. Fig. adjunta.

En el reciclaje de los RAEE, se está investigando el tratamiento de las denominadas TR o “Au verde”, materiales como el **lantano** y el **samario**, que son difíciles de encontrar en su forma pura y que forman parte de los teléfonos móviles o tv.

La mayor parte de los RAEE se quedan en Europa ya que la UE inició proyectos como la Plataforma de MU en el programa de investigación e innovación de la UE, Horizonte 2020, entre ellos: “NANOPYME, RECYVAL-NANO, REMANENCE, EURARE, REPRoMAG (2015-2017), PROSUM (2015-2018), REMAGHIC (2015-2018), REE4EU (2015-2019), MORECOVERY (2019-2021), BIORECOVER (2019-2023), SUSMAGPRO (2019-2023), REVAMP (2020-2023), COLABAST, PACOCO (2021-2025)...”. A continuación se describen algunos.

El Proyecto **NANOPYME** (2012-2015) tuvo como objetivo sustituir los imanes permanentes de TR. Llevado a cabo en colaboración entre España y Alemania que abordaron el diseño y desarrollo de imanes permanentes, sin TR (**Nd**), (**Dy**), y constituidos por metales (**Mn Al**, **Mn**, **Bi**, **Fe**, **Ni**) y óxidos de ferritas. Estos imanes permanentes sin TR garantizan un uso en un amplio espectro de aplicaciones tecnológicas, son fundamentales porque permiten que las industrias tecnológicas de la UE sean competitivas en el mercado mundial. Estamos rodeados de imanes permanentes aunque estos pasen desapercibidos; cada vez que subimos a un coche, nos movemos gracias a unos 400 imanes permanentes que tiene su mecánica e incluso en un frigorífico hay hasta 70 imanes permanentes...



Nd mineral

Imán de Nd metal

Dy mineral

El Proyecto **RECYVAL-NANO** (2012-2016) tuvo como objetivo la recuperación y reutilización de metales críticos como el **indio**, **ytrio** y **neodimio**, de las pantallas planas de tv, ordenadores, móviles, cámaras digitales. El **In**, se recupera de los conductores transparentes, el **Y**, de los diodos emisores de luz y el **Nd** de los imanes permanentes.

El Proyecto **REMANENCE** (2013-2016) tuvo como objetivo la recuperación de **Neodimio-Hierro-Boro (NdFeB)** de los imanes permanentes, de una forma que puedan volver a integrarse fácilmente en la cadena de producción para la fabricación de imanes permanentes.

Proyecto **EURARE** (2013-2017). Objetivo, investigar depósitos de **TR** europeos, se tienen datos de más de 76 yacimientos. Colaboraron: Suecia (depósito de Norra Karr), Groenlandia (Kringlerne y Kvanerfjed), Noruega (Rodberg), Grecia, Alemania (Storkwitz) y España (el depósito de **Galiñeiro** (Pontevedra)), con minerales ricos en TR entre ellos la Aeschynita = **(Y,Ca,Fe,Th) (Ti,Nb)₂ (O,OH)₆**, Xenotimia **(Y,Tb...)** **PO₄**, Monacita **(Ce,La,Th) PO₄**, Allanita **Ca (Ce,La,Y) (Al₂Fe) (O,OH,SiO₄/Si₂O₇)...** Podría producir hasta 3000 t/año, es el yacimiento más rico de España. El de **Domo del Tormes** (Salamanca) con existencia de **La, Lu, Ce, Gd, Eu**. El de **Campo de Montiel** (Ciudad Real) con existencia de **Nd, Pr, Eu**.

Estos proyectos eran necesarios para que Europa minimizara la dependencia de otros países y pudieran aumentar su competitividad y reducir las consecuencias ambientales derivadas de no llevarlos a vertederos.

Un reciente estudio ha concluido que recuperar metales, a partir de RAEE, sale 13 veces más barato que extraerlos de yacimientos naturales. La cantidad de RAEE generada depende de gran medida del grado de desarrollo del país, situándose a España como un país intermedio, generando una media de 20,1 kg/persona, pudiendo llegar a generar, en 2025, hasta 25 kg/persona de basura electrónica. A nivel mundial para el 2030 generaremos aproximadamente 74,7 millones de t de esta basura.

Para el 2035, más del 20% del **Li** y el 65% de **Co** que ahora se necesita para fabricar una nueva batería, podrán ser de origen reciclado.

En España tenemos más de **20 plantas de tratamientos de RAEE** situadas en: Barcelona, Madrid, Valencia, Sevilla, Palencia, Toledo, Valladolid, Santa Cruz de Tenerife, Murcia. Estamos a la cabeza de Europa en plantas certificadas para el tratamiento RAEE con la etiqueta de excelencia WEEE-LABEX.

En 2021 Aragón gestionó, 4.197,4 t de RAEE que supuso casi un 8% más que en 2020.

En los JJ.OO. celebrados en Tokio durante 2021, las medallas entregadas a los ganadores, fueron fabricadas a partir de RAEE recopilados desde 2017 en más de 1600 municipios. Se extrajeron 32 kg de **Au**, 3492 kg de **Ag** y 2200 kg de **bronce** y, con estos metales, se crearon las casi 5000 medallas que se repartieron hasta el 8 de agosto; fue el resultado de reciclar aproximadamente 80 t de pequeños aparatos electrónicos. Este proceso también se llevó a cabo en los JJ.OO. de Río en 2016, el 30% de la **Ag** para fabricar medallas se obtuvo a partir de materiales reciclados. De cara a los JJ.OO. de París, para el 2024, hay esperanzas de que siga el precedente de Río y de Tokio.

Día Internacional de los RAEE es el 14 de octubre, cuyo logo del año 2021 fue



La situación de los RAEE por continente en el 2019 ha sido (ver tabla nº 5).



Tabla 5. Situación de los RAEE por continente en 2019

Continente	Residuos generados	Per cápita	% Tasa de recogida
África	2,9 Mt	2,5 kg/p	0,90
América	13,1 Mt	13,3 "	9,40
Asia	24,9 Mt	5,6 "	11,70
Europa	12,3 Mt	16,6 "	42,50
Oceanía	0,7 Mt	17,3 "	8,80

Los niveles de recogida en Europa se han alcanzado gracias a la Directiva 2012/19/UE y del Consejo de 4 de julio de 2012.

Tanto científicos chinos como australianos, concluyen, que la MU no sólo es complementaria y más barata que la extracción de los recursos vírgenes, sino que su precio disminuye año tras año como consecuencia de la evolución de la industria, pero **en ningún caso, puede ser reemplazada por la minería tradicional**. Esta minería tradicional aplica hoy en día los últimos avances en la extracción y explotación, con el objetivo último de que esta actividad sea sostenible en línea con los ODS. Gracias a ello, nuestra minería es una actividad segura, responsable, comprometida con el medio ambiente, respetuosa con la biodiversidad y los recursos minerales naturales.

Es correcto decir que seguiremos dependiendo de las explotaciones mineras, pero que debemos agregar a la provisión de MP a chatarreros, refinadores y mineros urbanos para poder seguir siendo competitivos y sostenibles.

Tenemos que ser consciente de que, separando los RAEE del resto de los residuos y llevándolos a un punto limpio, acometemos un acto tan heroico como evitar la tala de Amazonas o la matanza de focas.

Industrias, ecologistas, organismos oficiales... todos apuestan, de cara a un futuro no muy lejano, por que aumentará la demanda de la MU, es decir, el reciclaje. La mayor mina de **coltan (Col, Ta)**, **Li** y **TR** se encuentra en nuestras casas, almacenes y vertederos. Apenas se reciclan el 4% de TR. Estos minerales raros, son un arma comercial y un activo muy codiciado en Bolsa.

Todas las actividades humanas dejan su huella y generan ciertos impactos ambientales, estos pueden ser a corto o a largo plazo, reversibles e irreversibles, puntuales, zonales, regionales o globales, directos o indirectos; de la misma manera lo hará la MU con su correcta o incorrecta gestión de sus residuos y podría llegar a ser un mercado multimillonario.

No podemos seguir perdiendo recursos y debemos transformar algunos de nuestros desechos en MP, a fin de adaptarnos al nuevo medio de recursos y fuentes de energía limitados, al cambio climático, a una mayor población, consumo creciente y a menos espacios para enterrar nuestros desechos.

Recuperar los materiales existentes y darles una nueva vida es uno de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS 12) de producción y consumo promovidos por la ONU.



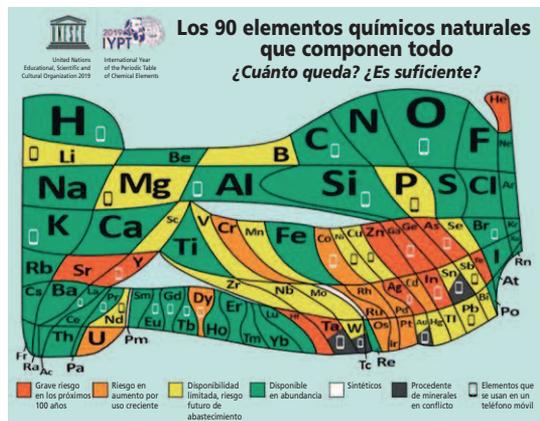
El reciclar no es una moda verde, más bien, es el camino para hacer más sostenible la economía, generar valor, eficiencia productiva y tener otro acceso a los recursos y no debe ser considerada como una meta en sí misma, sino como parte integrante del sistema de gestión integral de residuos. Para lograr un desarrollo sostenible hay que planificar nuestro progreso y tratar de mitigar su impacto para hacerlo sostenible e inclusivo y que, con ello, podamos mitigar la pobreza, la marginación y la degradación ambiental.

La transición hacia un mundo más digital, el avance científico, tecnológico e industrial de la sociedad nos brin-

da comodidad y seguridad, pero también lleva consigo un crecimiento exponencial de los desechos, debido al aumento del consumo de ellos, por la sustitución, renovación o por el polémico tema de la "obsolescencia programada", para cuya lucha, ha nacido la fundación **FENISS** (Fundación Energía e Innovación sin Obsolescencia Programada) que ha creado el sello **ISSOP** (Innovación Sostenible sin Obsolescencia Programada) indicando que los productos no tienen obsolescencia.



Desearía que el lector observara la siguiente tabla periódica publicada en 2019 por la UNESCO para celebrar su Año Internacional, y llegase a la conclusión, por la lectura de sus colores (verde, amarillo, naranja, rojo), del más o menos tiempo de la existencia de estos elementos del que disponemos, que como dice su encabezamiento, lo componen todo, para abastecer la demanda creciente.



Si en la tecnología actual no estuvieran presentes las TR retrocederíamos a los años 60 del siglo XX.

En definitiva, los RAEE pueden considerarse como la mayor amenaza actual de nuestro planeta, con un crecimiento exponencial y, por lo tanto, no podemos obviar su reutilización como fuente de MP.

"La era de las materias primas baratas y fáciles de extraer toca a su fin"

Fundación Ellen MacArthur

Fuentes

Hidalgo Aguilera, Luis. *La basura electrónica y la contaminación ambiental*.
 Fdez. Protomastro, Gustavo. *Minería urbana y la gestión de los residuos electrónicos*.
 Directiva 2008/98 CE.
 Ecoembes.es.
 Directiva 2012/19/UE y del Consejo de 4 de julio.
 RD/553/2020, de 2 de junio (Art 6), regula el traslado de residuos en el interior de España.
 Directiva delegada 2015/863 o RoHS3.
 RD/27/2021, de 19 de enero por el que se modifica el RD/110/2015, de 20 de febrero, sobre RAEE
 García Roba, Marcos. *Minería urbana como herramienta para la economía circular en la gestión de los residuos*. TFG.
 Gómez Aguilera, José L. *Minería urbana: recuperación de metales y elementos estratégicos de ciclos urbanos* (TFG 2018). Barcelona.
 CIEL (Center for International Environmental Law). *Los residuos electrónicos y su impacto en los derechos Humanos*.
 Ecolec.es/información-y-recursos/sobre-los-raee/.
<https://www.retema.es/noticia/mineria-urbana-realidad-leyenda-VLV6n>.
 Wikipedia.



CURRÍCULUM

Nació en Zaragoza en 1955.

Formación académica:

- Licenciado en Física
- Diplomado en Ingeniería Ambiental
- Diplomado en Administración de Empresas
- Diplomado en Historia de la Ciencia
- Supervisor de Instalaciones radiactivas

RAMÓN TEJEDOR SANZ

Director-Gerente de Aragón Exterior

Trayectoria profesional:

- Diputado en las Cortes de Aragón
- Consejero de la Presidencia
- Presidente del Gobierno de Aragón
- Director-Gerente del ITA
- Vicepresidente del Consejo Social de UNIZAR
- Secretario General de Relaciones en las Cortes de Aragón
- Director General de la Corporación Aragonesa de Radio y TV
- Director-Gerente del IAF
- Director-Gerente de Aragón Exterior desde el 2019.

¿Qué objetivos se marcó, como prioridad, en su cargo?

Aragón Exterior tiene una trayectoria consolidada en internacionalización y captación de inversiones extranjeras. Hemos continuado en esa dirección tomando en consideración los cambios que la nueva coyuntura tecnológica implica. Estamos inmersos en la llamada **cuarta revolución industrial** y eso implica trabajar para que nuestro sector productivo no pierda el tren de la competitividad y capacidad exportadora y que Aragón sea un foco relevante para la atracción de inversiones.

¿Le ha ayudado a tener una mejor visión de su cargo el haber desempeñado otros diferentes en la Administración?

Obviamente tras una dilatada trayectoria en puestos de responsabilidad en la Administración pública aragonesa puedo manifestar que conozco los antecedentes y evolución del tejido productivo aragonés y de los agentes sociales e Instituciones involucrados en su fortalecimiento.

¿Qué impacto ha supuesto la COVID-19 en las relaciones comerciales entre Europa, Asia y Aragón?

En 2021 se han recuperado los niveles previos a la pandemia en la mayoría de destinos de nuestras exportaciones. Tenemos cifras récord pero en cómputo global, la COVID ha supuesto una **ralentización del crecimiento** (es verdad que se crece con respecto a las cifras de 2019 pero a menor ritmo que en años precedentes). Esto es válido tanto para Europa como para Asia.

¿Cómo describiría usted el momento actual y cómo lo están viviendo desde Aragón Exterior?¹

Es un momento muy complejo. Las exportaciones crecen y no sólo en el marco estable de los países de la Unión Europea, que son nuestro principal mercado. No obstante, las empresas se están enfrentando a obstáculos inesperados (aranceles en EE.UU. en la era Trump, pandemia, guerra de Rusia, inflación, suministros y logística). La interconexión económica es cada vez mayor pero hay grandes incertidumbres. La globalización en el sentido amplio, tal como la concebíamos, se va a reformular para que la Unión Europea pueda fabricar componentes y productos estratégicos.

1. Esto se respondió antes de la guerra de Ucrania

¿Cuáles son los mercados prioritarios?

Para las empresas aragonesas, los **mercados europeos** siguen siendo los destinos preferidos: Francia, Alemania e Italia, en ese orden. Si descontamos los grandes exportadores (Inditex, Stellantis, BSH, sector cárnico) aparecen curiosidades como que **China es menos relevante que Marruecos o Polonia** para nuestras Pymes. La economía aragonesa está muy diversificada y conviven productos que buscan mercados de alto valor como Suiza, Países nórdicos o Reino Unido con un creciente interés en África o en Asia.

¿Es Aragón una Comunidad innovadora?

En Aragón contamos con un **ecosistema formidable en materia de I+D+i**, con centros e institutos de investigación punteros, Universidades con grados formativos adecuados en esa apuesta por la innovación y con instrumentos muy consolidados para que se establezcan conexiones y transferencias entre ese tejido innovador y el económico-productivo. Hay talento indudable en las formaciones STEM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas)

¿Cómo apoya Aragón Exterior a las empresas innovadoras?

Tenemos **dos programas** específicos, uno para **start ups**, en colaboración con el CEEI Aragón en el que orientamos y ayudamos a encontrar financiación internacional y otro para **obtener financiación de programas europeos** (el llamado Programa Horizonte empresa).

¿Sobre qué sectores trabaja más Aragón Exterior? y cuál es el primordial?

El **agroalimentario** es un sector clave, donde tenemos buen producto con amplio recorrido exportador que tendrá lugar en los próximos años conforme cada vez más empresas vayan profesionalizando su actividad internacional.

Las empresas industriales tienen una gran oportunidad. Se están produciendo cambios en las cadenas de suministro y es muy probable que en los próximos años haya más actividad productiva en la Unión Europea. No es probable que se abandonen totalmente los países de bajo coste pero ante la incertidumbre y problemas de suministro como los vividos recientemente tenemos que replantearnos el modelo industrial a desarrollar en Europa. Como ya he comentado



anteriormente, una redefinición del concepto globalización tal como era entendido hasta ahora.

Los servicios también tienen un potencial muy alto de expansión internacional. Y vamos a trabajar en sectores novedosos como el de las industrias culturales y creativas para que puedan articular un canal exportador nuevo para ellas.

¿Qué importancia tienen los Clúster en nuestra Comunidad Autónoma?

Son fundamentales. Un Clúster es un foro de debate y colaboración donde las empresas marcan sus líneas de trabajo en innovación y también en internacionalización. Para nosotros son un actor clave como voz de cada sector. Aragón Exterior forma parte de todos los Clústeres calificados como Agrupaciones Empresariales Innovadoras (AEI).

El tejido industrial de pymes en Aragón es amplio, ¿qué ayudas necesitan las Pymes para crecer y no quedarse estancadas?

En primer lugar, un entorno apropiado para hacer negocios, estable, predecible y lógico. Estamos viviendo una época con unas incertidumbres geopolíticas que pensábamos superadas. La flexibilidad interna es clave.

En segundo lugar, información de calidad para tomar decisiones. Ahí es donde entran en juegos nuestros servicios para facilitar la generación de oportunidades de negocio en el exterior.

Y por último, promoción. Tenemos buenos productos y profesionales pero el marketing es fundamental para el crecimiento de las ventas. Es clave la alianza entre las empresas y el sector público representado por AREX para promocionar los productos clave de la región.

¿Cómo ve el escenario socio-económico tras la crisis de la COVID-19?

Complejo. Se han generado nuevas oportunidades al ser conscientes de la necesidad de cambios en la cadena de suministros, ampliando la soberanía productiva sobre ciertos sectores estratégicos. No obstante, el problema es que no solo no se han disipado los problemas geopolíticos que arrastrábamos sino que el terrible escenario bélico ruso-ucraniano abre horizontes preocupantes que condicionarán la economía europea en el futuro.

¿Cuál es la mayor fortaleza de Aragón Exterior?

Nuestra red exterior. Ofrecemos información y servicios de calidad sobre el terreno a través de especialistas que hablan el lenguaje de las empresas, contando con una red amplia de delegados en 100 países.

¿Está trabajando Aragón para conseguir la fábrica de baterías que hace tiempo propuso?

Obviamente el Gobierno de Aragón es plenamente consciente de la evolución del sector automovilístico hacia la llamada movilidad eléctrica. Contamos con una red de especialistas en los diferentes Departamentos de la Administración Autonómica y una red colaborativa con organismos de la Administración estatal para poner de relieve la ubicación geoestratégica de primer nivel de nuestra Comunidad Autónoma, las infraestructuras, la apuesta por la innovación y el talento con el que contamos para ese sector productivo de las baterías eléctricas

Desde su Dirección ¿qué problemas detecta en las exportaciones?

El principal reto es aumentar el valor de nuestras exportaciones, la tecnología incorporada y su valor añadido.

Si descendemos a los productos, la mitad de las exportaciones corresponde a cuatro grandes bloques (moda-Inditex, vehículos-Stellantis, electrodomésticos-BSH y carnes frescas y congeladas) y su comportamiento está sujeto a los avatares de la economía internacional. Ya hemos visto el efecto de la peste porcina china, del Brexit o de la transición al vehículo eléctrico. Hay que estar permanentemente analizando cada coyuntura sobrevenida y redefiniendo estrategias.

¿Qué materia prima mineral es la que más se exporta y adonde?

Si sólo analizamos productos exportados sin ninguna transformación industrial, el principal capítulo es el de extracción de gravas, arcilla y caolín, con 15 millones de euros exportados en 2021 (Francia, Italia y Portugal). Por detrás están las piedras ornamentales para la construcción, con un volumen de 4,5 millones de euros en exportaciones (China, Portugal y Francia).

Si atendemos a productos con alguna transformación, nos encontramos con una exportación de aluminio en bruto de 32 millones de euros (Italia, Francia y Portugal) y de sulfatos por 27 millones (Argelia, Egipto y Brasil).

¿En qué punto se encuentra el proyecto "Corredor Cantábrico-Mediterráneo" del que Aragón sería muy beneficioso por su situación geográfica?

Hay un trabajo, a mi juicio fructífero, entre los Gobiernos de Aragón y de España que se traduce en primer lugar en tener claro el valor estratégico de esta infraestructura y en segundo lugar, como consecuencia de ello, en el avance paulatino en las dotaciones económicas correspondientes cada año en los Presupuestos Generales del Estado. Es verdad que nos gustaría avanzar más deprisa pero el objetivo está ahí permanentemente.

¿Cree que tele-trabajar puede ser tendencia en un futuro próximo y que muchas empresas implantarán el teletrabajo tras esta crisis?

Dependiendo del sector productivo a considerar el teletrabajo puede consolidarse. Creo que se acabará apostando por un modelo híbrido lo que, a mi juicio, es más razonable. El trabajo presencial debe ocupar su lugar para fomentar las relaciones personales entre los trabajadores y para fortalecer el sentimiento colectivo de pertenencia a una empresa.

¿Qué aconsejaría a nuestros colegiados (grandes conocedores de las Materias Primas Minerales de nuestra Comunidad) en sus inicios como emprendedores?

Resiliencia ante los cambios científico-tecnológicos en los que se desarrollará su futuro profesional y actitud positiva ante un horizonte que va a exigir una formación permanente cada vez más cualificada con el esfuerzo subsiguiente requerido. En Aragón contamos con eficientes herramientas públicas para ayudar a los emprendedores a materializar sus iniciativas.

Para finalizar, como le gustaría completar la frase: cuando dentro de un tiempo deje el cargo, estaría satisfecho si..."

...el ritmo exportador de nuestras empresas se ha ampliado y diversificado y si alguna empresa referente en el contexto internacional se ha instalado en Aragón con gran impacto económico-laboral e innovador.

Muchas gracias

Proyecto de Geoparque “Volcanes de Calatrava. Ciudad Real” Magma, Mercurio y Carbón



CURRÍCULUM

Nacido en Almadén en 1961

Titulación académica:

Ingeniero Técnico de Minas: Laboreo y Explosivos, Sondeos y Prospecciones Mineras por EUPA
Licenciado en Geología, por la UCM, doctorándose en 2005

Trayectoria profesional:

Comenzó a trabajar en Minas de Almadén y Arrayanes S.A. (MAYASA). Dpto. de Geología 1982-1984

Participó en el Proyecto Hespérica de Investigación en MAYASA (Madrid), 1984-1989

Profesor Titular de la Universidad de Castilla-La Mancha. Dpto. Ingeniería Geológica y Minera en la EUPA

JOSÉ LUIS GALLARDO MILLÁN

1. Introducción

Los Geoparques reconocidos por la UNESCO en el territorio español hasta hoy son quince (Figura 1). Actualmente, existen varios proyectos que esperan el reconocimiento por tal institución, entre los que está el proyecto localizado en la provincia de Ciudad Real y que lleva el nombre del título de este artículo.

En la actualidad hay una gran sensibilidad para aumentar la superficie del territorio protegido, y aunque la figura de Geoparque Global de la UNESCO no es una figura de protección propiamente dicha, estos lugares si son áreas geográficas únicas y unificadas donde los lugares de importancia geológica internacional, se gestionan con un concepto holístico de protección, educación y desarrollo sostenible. Este reconocimiento debe partir desde la base, las comunidades locales, hacia estamentos superiores.

El objetivo principal de un Geoparque es combinar la conservación con el desarrollo sostenible involucrando a las comunidades locales, hecho que se está volviendo cada vez más popular. A su vez se pretende investigar, promover y fomentar el conocimiento de las Ciencias de la Tierra y del Patrimonio

Geológico en el territorio, así como difundir la importancia medioambiental de los recursos geológicos.

En la actualidad, hay 161 geoparques mundiales de la UNESCO en 44 países.

El proyecto que está en marcha en la provincia de Ciudad Real aspira a este reconocimiento en cuanto pueda presentar su candidatura dentro del Programa Internacional de Ciencias de la Tierra y Geoparques (PICGG). Este nuevo programa comprende el antiguo Programa Internacional de Ciencias de la Tierra (PICG) y los Geoparques mundiales de la UNESCO, con lugares de interés geológico de relevancia internacional y que promueven el desarrollo local sostenible.

Este proyecto, aunque pudiera asociarse su nombre, con la zona que es geológicamente conocida por el volcanismo reciente del Campo de Calatrava, ésta es mucho más amplia, como el subtítulo aclara, e involucra también a un importante volcanismo varisco que, en la zona de Almadén, está directamente relacionado con la génesis de los yacimientos de cinabrio. También incluye al volcanismo ocurrido durante el relleno de la cuenca Estefaniense de Puertollano. Y por último, al volcanismo neógeno que es el que comienza en el Mioceno y abarca hasta el Pleistoceno, aunque sus póstumos efectos aún dejan evidentes procesos.

El nombre escogido es fruto de la conjunción que incluye: el territorio histórico que fue dominio de la Orden de Calatrava, junto con los **volcanes como proceso geológico** recurrente a lo largo de su historia geológica, que son claves en la formación de recursos mineros, como los **yacimientos de Mercurio** de Almadén y las **capas de carbón** en Puertollano, de transcendental importancia económica y social en la zona.



Figura 1. Situación de los 15 Geoparques reconocidos actualmente por UNESCO en el territorio español.

Imagen del blog: <https://pisandorocas.com/geoparques/>



2. Situación del Proyecto Geoparque Volcanes de Calatrava

El Proyecto se localiza en la zona centro y occidental de la provincia de Ciudad Real y ocupa un área de más de 4000 km² (Figura 2). Este territorio incluye **40 municipios**, con Ciudad Real y Puertollano como principales ciudades y reúne a **cuatro comarcas** naturales que son: **Entreparques, Campo de Calatrava, Valle de Alcudia-Sierra Madrona y Montes Sur**.

Geológicamente, el proyecto se sitúa en la zona meridional de la Zona Centroibérica del Macizo Ibérico, más concretamente en su extremo suroccidental hasta donde los materiales terciarios y cuaternarios recubren el basamento varisco.

El estudio de la importancia geológica de esta zona se inició a mediados del siglo XVIII, sobre todo desde el punto de vista minero, pero es a partir del siglo XIX cuando se intensificará en otras disciplinas.

La riqueza geológica que posee ha sido señalada en el Proyecto *Global Geosite* en donde se han indicado **doce Geosites** de varios de los Contextos Geológicos de Relevancia Internacional. **Nueve** de ellos corresponden al contexto de "Mineralizaciones de mercurio de la región de Almadén", y los tres restantes son respectivamente: el yacimiento paleontológico Plioceno de "Las Higuieruelas", en el contexto "Yacimientos de vertebrados del Plioceno y Pleistoceno español", y dos *Geosites* más que corresponden al contexto "Vulcanismo neógeno y cuaternario de la Península Ibérica"; que son el Volcán neógeno del Morrón de Villamayor y el "maar", y su registro sedimentario lacustre, de La Posadilla o Fuentillejo, (García-Cortés, et al., 2000; Palero y Lorenzo, 2008; Vegas et al., 2013)

Además de estos destacados *Geosites*, el proyecto quiere destacar la gran geodiversidad de la zona, que además supone un importante Patrimonio Geológico. Para ello, a través del comité científico creado para su estudio, se han seleccionado más de ciento treinta lugares o "Geositos" que se han descrito. En cada uno de ellos, además de su interés geológico, se destacan por su valor cultural, histórico, didáctico, etc.

3. Larga historia geológica

Posiblemente, el rasgo más importante que diferencia este proyecto de otros Geoparques existentes en el territorio español es el gran intervalo de edad que aquí aparece representado, de más de 600 Ma. (Millones de años). Los diversos lugares de interés geológico o "geositos" que se han seleccionado recogen diversos acontecimientos que justifican esta larga historia geológica (Figura 3).

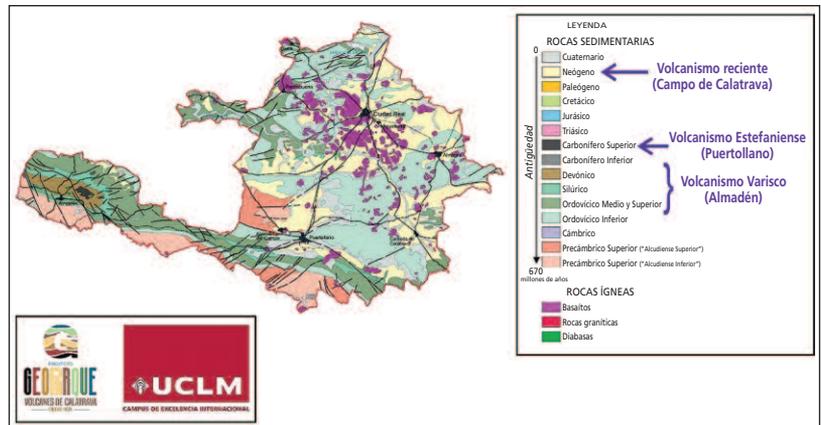


Figura 3. Mapa de síntesis geológico del proyecto Geoparque Volcanes de Calatrava. Ciudad Real. Se indican en color los periodos representados, y además se han señalado en la leyenda las principales etapas volcánicas. Extraído del Mapa geológico de la provincia de Ciudad Real

Esta historia comienza a narrarse cuando se sedimentan los materiales precámbricos que aparecen principalmente en el núcleo del Anticlinal de Alcudia. Posteriormente, han quedado representados en la zona procesos sedimentarios, tectónicos, petrológicos, metalogenéticos y geomorfológicos sucedidos hasta nuestros días; (Almela, et al., 1962, García-Sansegundo, et al., 1987, Palero, 1993, Gutiérrez-Marco, et al., 2008; Martín-Serrano y Nozal, 2008; Martínez-Catalán, et al., 2008; Portero y Dabrio, 1988; Palero, 1993, Pierrén, 2009).

Cabe destacar que el vulcanismo aparece repetidamente en esta prolongada historia. Prueba de ello, son los sucesos registrados desde el Ordovícico superior, aunque es sobre todo durante el Silúrico y Devónico cuando tuvo mayor relevancia.

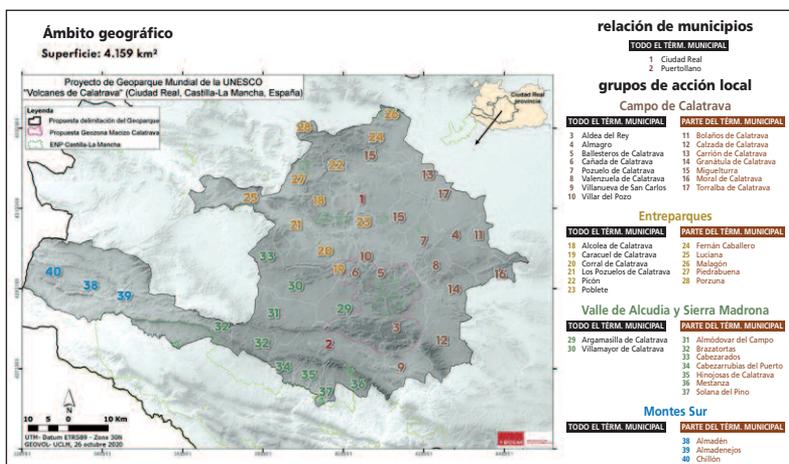


Figura 2. Mapa del territorio de Proyecto Geoparque Volcanes de Calatrava. Ciudad Real

Este volcanismo paleozoico es muy variado en la zona y va desde volcanismo sin-sedimentario, que originó la mineralización primaria de Almadén. En este caso fue un caso de erupción *surtseyana*, cuyos efectos reconocemos en la brecha formada que, en el argot minero, se denomina "roca frailesca" (Almela y Febrel, 1960), (Figura 4). Se supone que su origen es profundo, posiblemente del Manto superior. En otras el volcanismo emitió coladas y tobas que localmente se encuentran intercaladas con la sedimentación y otras veces forman sills y diques. También se reconocen productos de emisiones subaéreas, que forman domos en los que, a veces, se reconocen discretas disyunciones columnares.

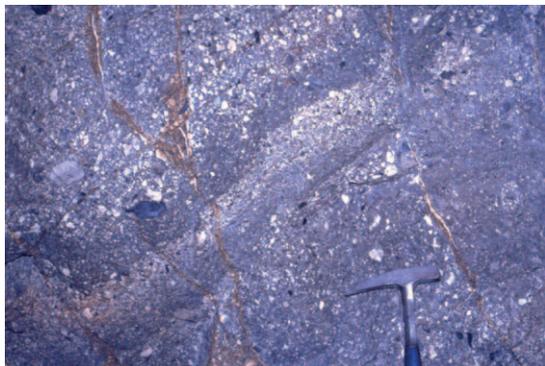


Figura 4. Imagen que presenta la roca "Frailesca" en el interior de la mina de Almadén con textura brechoide con fragmentos angulosos volcánicos y los arrancados a la roca encajante. (Foto de Palero, 1995).

Son importantes en esta larga historia lo efectos tectónicos producidos por las fases de deformación de la Orogenia Varisca que sucedió a continuación. Este rasgo es el que identifica a esta zona geológica de España, que le da una configuración particularmente interesante por los plegamientos, fracturaciones e intrusiones plutónicas ocurridas.

Tras la elevación del Orógeno Varisco ocurrida durante el Carbonífero, inmediatamente después, se abrió la cuenca sucesora carbonífera de Puertollano. Su relleno, de unos 475 m, fue eminentemente de tipo lacustre con influencia marina (Soler y Díaz, 2018), también aparece el volcanismo intercalado entre los sedimentos, tanto en la base, como entre las diferentes capas de carbón (Wagner, 1985) (Figura 5).



Figura 5. Muestra de cineritas volcánicas del techo de la capa 3ª en la mina Emma. Colección de ENCASUR, que se encuentra en la Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén

Con posterioridad, y tras un largo periodo, esta zona quedó expuesta a una intensa erosión y de nuevo fue reactivada por la Orogenia Alpina, que actúa rejugando fracturas preexistentes, a favor de las cuales se producen retoques del relieve, lo que facilitó las vías de ascenso del magma del periodo volcánico más reciente, que comienza hace 7,5 Ma. Inicialmente solo surge en un punto central de la zona, Morrón de Villamayor, que es de composición ultra potásica, (Ancochea, 1982; Cebriá y López-Ruiz, 1995; Ancochea y Huertas, 2021). Este volcán está compuesto de una litología de Leucititas olivínicas que se dan, casi exclusivamente, aquí en casi toda Europa (Figura 6).

Tras una breve interrupción, el volcanismo se reanuda desde unos 5 Ma., hasta 0,35 Ma. (Vegas, 2013), ya de composición alcalina y en el que predominan la erupciones hidromagmáticas que originan "maares", tanto en rocas blandas, que son más aplanados, como en rocas duras que dan cráteres más esbeltos, como es el *maar* de la Posadilla o Fuentillejo, en cuyo cráter quedó instalado una laguna que logró acumular un espectacular relleno de sedimentos de hasta 142 m.

En otras ocasiones también se originan conos volcánicos de tipo estrombolianos formados por la acumulación de piroclastos y emisiones efusivas de coladas de longitudes variables. Aún en nuestros días queda una latente actividad asociada al volcanismo reciente que se aprecia en las emanaciones de anhídrido carbónico a favor de fisuras y que, cuando aparecen en lugares encharcados, burbujan dando los denominados "hervideros", y que cuando además son aprovechadas como fuentes de aguas ferruginosas, son las llamadas "fuentes agrías".



Figura 6. Imagen de las Leucititas olivínicas del volcán neógeno del Morrón de Villamayor. Importante Geosite (VU011) del contexto de relevancia internacional: 14. Vulcanismo neógeno y cuaternario de la Península Ibérica

Intercalado entre este volcanismo reciente, la región nos cuenta, además, que en los periodos ya más recientes, aproximadamente hace 3 Ma., mientras se estaba desarrollando este volcanismo, se produjeron zonas encharcadas en los cráteres volcánicos, que se fueron rellenando de carbonatos. Fue en una de estas lagunas, a la que acudía la fauna existente en esos momentos, en la que se ha encontrado el yacimiento fosilífero de Las Higue-



ruelas, que conservó una muestra de esa fauna (Alberdi, et al., 1986) (Figura 7).

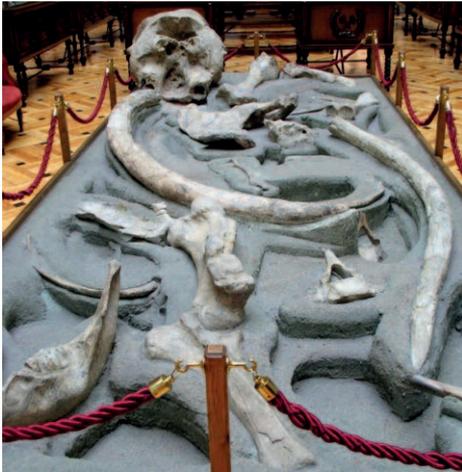


Figura 7. Reconstrucción del Yacimiento de Las Higuieruelas con los restos del *Anancus arvernensis*, que se encuentra en el Museo Geominero en el IGME de Madrid

Hoy en día el paisaje de la región nos permite contemplar esta larga historia que ha sido retocada finalmente por los procesos erosivos recientes, en ocasiones matizado por la sedimentación de materiales continentales recientes, como por ejemplo es la “raña” y de cómo el encajamiento de la red fluvial actual es el que le da su morfología. Esto es primordialmente destacable en el Valle de Alcudia, en las inmediaciones del embalse del río Montoro, y es, de forma casual, en este punto, donde se unen el comienzo y final de esta larga historia geológica.

An advertisement for Data Security Asesores. The background is a blurred image of server racks. At the top left, there is a red banner with the text 'RGPD' and a red padlock icon with 'PA' inside. To the right of this banner, the text 'DATA SECURITY' and 'ASESORES' is displayed. In the center, the words 'PROTECCIÓN DE DATOS' are written in large, bold, white capital letters. Below this, it says 'PARA EMPRESAS Y AUTÓNOMOS' and 'OFERTA ESPECIAL PARA COLEGIADOS'. At the bottom, there is a row of several padlock icons, with one in the center being highlighted in red. Below the padlocks, the website 'www.pydatasecurity.com' is listed, along with phone numbers 'Teléfonos: 959045386 / 622222593' and an email address 'Email: info@pydatasecurity.com'.

4. ¿Cómo se pueden apreciar todos estos procesos en el Geoparque?

Para obtener un mejor aprovechamiento del territorio del proyecto del Geoparque Volcanes de Calatrava, Ciudad Real, se han seleccionado más de ciento treinta geositos por su relevancia y significado geológico, y en los que, además de su interés geológico se hace también mención de las propuestas de uso, basadas en interés científico (geológico), ambiental, cultural, didáctico y turístico. Para la difusión y arranque de este proyecto se ha proyectado diseñar una serie de murales explicativos en cada uno de estos lugares en los que se expongan los principales valores. También está previsto que, en cada una de las principales localidades, se ubiquen centros de difusión, museos, áreas temáticas, en los que se expongan los lugares del proyecto geoparque relacionados.

En el diseño de actividades para fomentar el conocimiento y difusión de la riqueza patrimonial ya se han establecido una serie de rutas que enlazan diversos geositos y en las que se aprovecha la actividad en la naturaleza, como la difusión de las Ciencias de la Tierra, fomentando el desarrollo sostenible con el Geoturismo. Para ello se han realizado actividades de formación de guías y, a su vez, se ha contactado con empresas turísticas ya establecidas, para potenciar esta riqueza natural. En definitiva, se pretende dar a conocer y destacar otros lugares de interés medioambiental, histórico-artístico, arqueológico, etnográfico, etc.

También se han marcado “geozonas” en las que se agrupan, por su temática, una serie de geositos, como son los del Macizo de Calatrava, los taludes de las cortas del carbonífero de Puertollano, entre otros, que están en fase de localización y definición.

Al amparo de la legislación medioambiental en Castilla-La Mancha, Ley 9/1999, de 26 de mayo, de Conservación de la Naturaleza, se han protegido algunos de estos geositos bajo la forma de Monumento Natural por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. En este sentido, algunos están ya en fase de estudio para ampliar su protección, sobre todo aquellos de los que están en la lista de los contextos geológicos de relevancia internacional.

En otro orden de cosas, hay que mencionar el Parque Minero de Almadén, que fue una labor de preservación del rico patrimonio minero de la Mina de Almadén. Fue éste un logro de la propia empresa estatal de Minas de Almadén y Arrayanes S.A. (MAYASA), que consiguió acondicionar y reconverter algunas instalaciones ligadas a la actividad minera. En colaboración con el Ayuntamiento y la Universidad de Castilla-La Mancha se han podido restaurar los principales monumentos de Almadén como son: La Plaza de Toros hexagonal, el Hospital de San Rafael, la Casa Academia o los restos de la Real Cárcel de Forzados, como los más destacados. Estos lugares fueron incluidos en la candidatura que en junio de 2012 logró su inscripción en la lista de lugares Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO

con el nombre de **Patrimonio del Mercurio. Almadén e Idrija**. Hoy en día el patrimonio geológico e industrial contenido en este reconocimiento constituye uno de los pilares más potentes del proyecto Geoparque (Figura 8).



Figura 8. Vista de la Entrada del Parque Minero de Almadén con el castillete y sala de máquinas del pozo de S. Aquilino al fondo

5. Conclusiones

En estos momentos se está preparando un dossier para presentar la candidatura a Geoparque mundial de la UNESCO antes del 30 de abril, que deberá ser estudiado y evaluado sobre el terreno por el Consejo de los Geoparques Mundiales de la UNESCO. Estos propondrán su decisión a la Dirección General de la UNESCO, que en sesión del Consejo Ejecutivo emitirá una decisión definitiva positiva sobre la candidatura presentada.

Todos los grupos que participan en el proyecto tienen una gran esperanza en sacar este proyecto adelante. Son los Comités socioeconómico, institucional, científico, así como el conjunto de la sociedad, entidades y empresas colaboradoras, turísticas, de alojamiento-restauración, de productos agroalimentarios, de artesanía, etc.

6. Bibliografía

Alberdi, M. T.; Jiménez, E; Mazo, A. V.; Morales, J. Sesé, C; & Soria, D. (1986): Paleontología y bioestratigrafía de los yacimientos Villafranquienses de Las Higueruelas y Valverde de Calatrava II (Campo de Calatrava, Ciudad Real). *Actas de Castilla-La Mancha. Espacio y Sociedad*, 3: 255-277.

Almela, A. y Febrel, T. (1960). La roca fraileasca de Almadén: un episodio tobáceo en una formación basáltica del Siluriano superior. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 59, 41-72.

Almela, A.; Alvarado, M.; Coma, J.; Felgueroso, C. y Quintero, I. (1962): Estudio geológico de la Región de Almadén. *Bol. Inst. Geol. y Min. de España*. Tomo 71: 193-327.

Ancochea, E. (1982): Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España Central. PhD Thesis Universidad Complutense, Madrid. p. 675.

Ancochea, E. y Huertas, M.J. Radiometric ages and time-space distribution of volcanism in the Campo de Calatrava Volcanic Field (Iberian Peninsula). *J. Iber Geol* 47, 209-223 (2021).

Cebriá, J. M., & Lopez Ruiz, J. (1995): Alkali basalts and leucitites in an extensional intracontinental plate setting: The late Cenozoic Calatrava Volcanic Province (Central Spain). *Lithos*, 35, 27-46.

García-Cortés, A., Rábano, I., Locutura, J., Bellido, F., Fernández-Gianotti, J., Martín-Serrano, A., Quesada, C., Barnolas, A. y Durán, J. J. (2000): Contextos geológicos españoles de relevancia internacional: establecimiento, descripción y justificación según la metodología del proyecto Global Geosites de la IUGS. *Boletín Geológico y Minero*. Vol. 111-6, 5-38.

García Sansegundo, J., Lorenzo Álvarez, S. y Ortega Giro-nés, E. 1987. *Memoria del Mapa Geológico de España. Hoja 808. Almadén*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Gutiérrez-Marco, J.C.; Rábano, I. Liñán, E. Gozalo, R.; Fernández Martínez, E.; Arbizu, M. Méndez-Bedia, I.; Pieren Piral, A. y Sarmiento, G.N. (2008): Las sucesiones estratigráficas del Paleozoico inferior y medio. En: A. García-Cortés (ed.). *Contextos Geológicos Españoles*. IGME: 31-43.

Martín-Serrano, A. y Nozal Martín, F. (2008): Red Fluvial y relieves apalachianos del Macizo Ibérico. En: A. García-Cortés (ed). *Contextos Geológicos Españoles*. IGME: 184-191.

Martínez Catalán, J.R.; Aller, J.; Alonso, J.L. y Bastida, F. (2008): El Orógeno Varisco Ibérico. En: A. García-Cortés (ed). *Contextos Geológicos Españoles*. IGME: 13-30.

Palero, F.J. (1993). "Tectónica pre-hercínica de las series infraordovícicas del anticlinal de Alcudia y la discordancia intraprecámbrica en su parte oriental (Sector meridional de la Zona Centrobérica)". *Boletín Geológico y Minero*, vol 104-(3), pp. 227-242.

Palero, F. y Lorenzo, S. (2008): Mineralizaciones de Mercurio en la región de Almadén. En: A. García-Cortés (ed). *Contextos Geológicos Españoles*. IGME: 65-71.

Pieren, A. P. (2009): Rasgos geológicos de la comarca de Puertollano y del valle de Alcudia (Ciudad Real, España). En: Margarita Costa, Agustín Pieren, José Luis Viejo (eds.). *Historia Natural de Puertollano y el Campo de Calatrava*. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Pp: Memoria 2ª ép., 6: 95-125.

Portero-García, J.M. y Dabrio González, C. (1988): Evolución tectonosedimentaria del Ordovícico y Silúrico de los Montes de Toledo meridionales y Campo de Calatrava. II Congreso Geol. De España, Granada, I: 161-164.

Soler Gijón, R. y Díez Ruiz, A. (2018). Informe para la protección del Carbonífero de Puertollano. 113 pp. En: <http://www.jccm.es/sede/participación-pública-para-la-declaración-del-monumento-natural-carbonífero-de-puertollano>.

Vegas, J., Pardo-Igúzquiza, E., Galán, L. y García-Cortés, A. 2013. Ciclicidad en el registro sedimentario de la laguna del maar de Fuentillejo: historia climática de los últimos 47000 años cal BP. *Boletín Geológico y Minero*, 124 (2): 221-238.

Wagner, R. H. (1985). Upper Stephanian Stratigraphy and Palaeontology of the Puertollano Basin, Ciudad Real, Spain. In: Lemos de Sousa, M. J. & Wagner, R. H. (eds.), *Papers on the Carboniferous of the Iberian Peninsula (Sedimentology, Stratigraphy, Palaeontology, Tectonics and Geochronology)*. An. Fac. Ciên., Univ. Porto, Supplement to Volume 64: 171-231.

<https://areasprotegidas.castillalamancha.es/>
<https://areasprotegidas.castillalamancha.es/rap/espacios-naturales-protegidos/enp-monumento-natural/monumento-natural-carbonifero-de-puertollano#:~:text=La%20cuena%20carbon%C3%ADfera%20de%20Puertollano,de%20sierras%20cuarc%C3%ADticas%20del%20Ordov%C3%ADlico.>



MINERÍA Y RECURSOS NATURALES



INSTALACIONES INDUSTRIALES



GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA



GESTIÓN DE RESIDUOS



MEDIO AMBIENTE



TOPOGRAFÍA - VUELOS CON DRON



**SEGUIMIENTO RESTAURACIÓN
GARANTÍAS AMBIENTALES**

Ámbito: España y Portugal

Río Tinto

Cobre
SanRafael

matsa
TRAFIGURA | MINING GROUP

BERKELEYminera
ESPAÑA S.L.

CLC
Cobre Las Cruces, S.A.

ENERGÍAS RENOVABLES



CURSOS DE FORMACIÓN MINERA



TODOS NUESTROS CURSOS
SON BONIFICABLES

Fundación Estatal
www.laopinion.es/efo

