



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas

Recursos minerales para la industria española III

Franja Central, Sur y Este de
la Península Ibérica

(Andalucía, Castilla la Mancha y Murcia)

Autores:

Beatriz Yolanda Moratilla Soria / Jose Antonio Sáenz de
Santamaria Benedet / Arturo Martin Colino



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas

Recursos minerales para la industria española III

Franja Central, Sur y Este de
la Península Ibérica

(Andalucía, Castilla la Mancha y Murcia)

Autores:

Beatriz Yolanda Moratilla Soria / Jose Antonio Sáenz de
Santamaria Benedet / Arturo Martin Colino

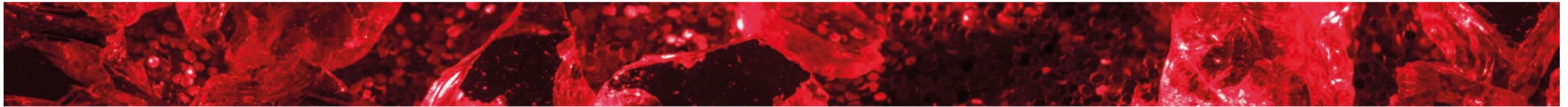
FINANCIADO POR:



ISBN: 978-84-09-79779-0
DEPÓSITO LEGAL M-25945-2025

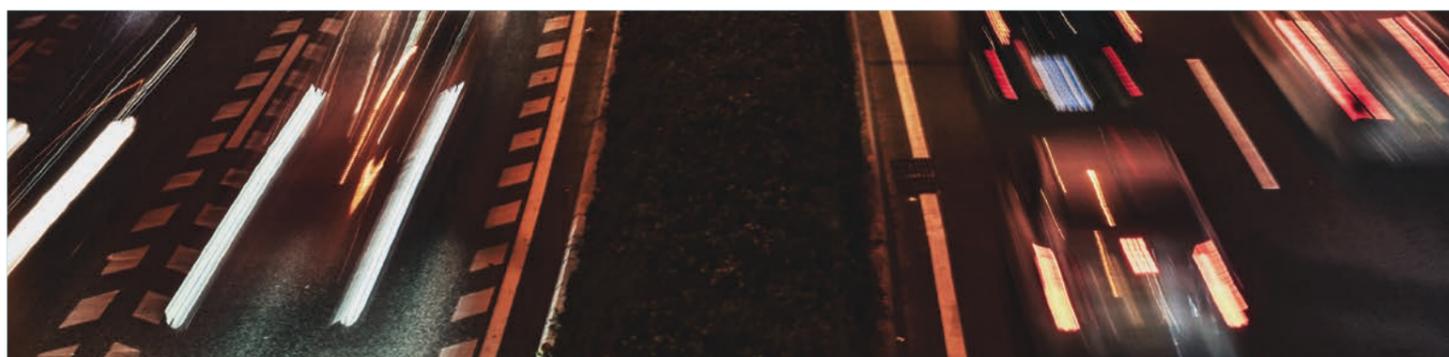
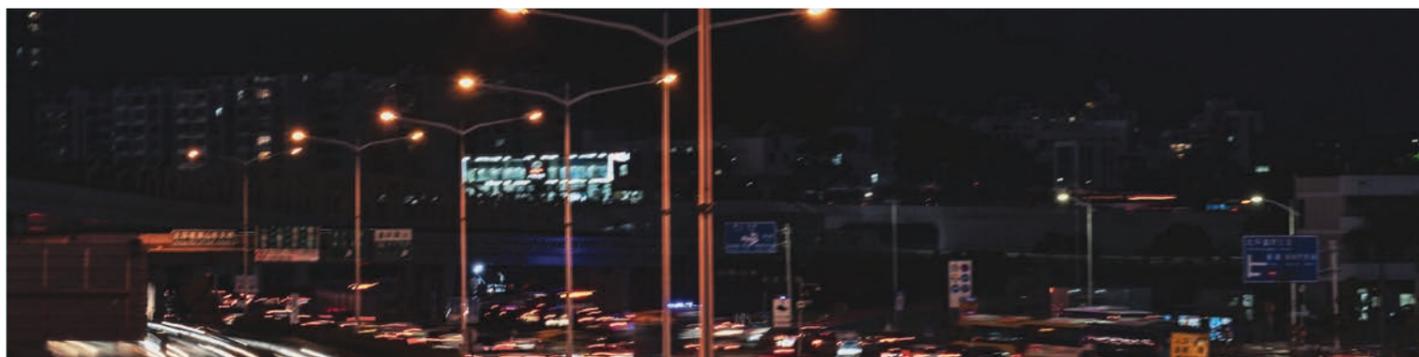
Diseño: greenhatworkers.com

Imagen de portada: Vista detallada de la mina de cobre a cielo
abierto en Río Tinto (España)



ÍNDICE

Carta de Marcos Basante (Pte. Fundación Corell) -----	p4		
1. Introducción -----	p6		
2. Materias Primas Críticas. Conceptos básicos y panorama internacional -----	p10		
3. Las Tierras Raras -----	p16		
4. Panorama industrial de las regiones estudiadas -----	p22		
4.1. Sectores industriales de Andalucía -----	p25		
4.2. Sectores industriales de Castilla – La Mancha -----	p31		
4.3. Sectores industriales de la Región de Murcia -----	p34		
5. Localización en España de los recursos minerales para la transición energética. -----	p36		
5.1. Análisis de los recursos mineros de M.P.E./c. -----	p42		
5.2. Análisis de los recursos mineros M.P.E./c. en Andalucía, Castilla – La Mancha y la Región de Murcia. -----	p45		
5.2.1. El dominio Varisco. -----	p46		
5.2.1.1. El dominio Varisco. La zona centro ibérica Andalucía y Castilla La Mancha -----	p46		
5.2.1.1.1. El distrito minero de Linares-La Carolina (Jaén) -----	p48		
5.2.1.1.2. El distrito minero de Almadén (Ciudad Real) -----	p50		
5.2.1.1.3. El valle de Alcudia (Ciudad Real) -----	p50		
5.2.1.1.4. La mina de Abenójar (Ciudad Real) -----	p52		
5.2.1.1.5. Las tierras raras de la provincia de Ciudad Real -----	p53		
5.2.1.2. El dominio Varisco. La zona de Ossa- Morena -----	p55		
5.2.1.3. El dominio Varisco. La zona Sudportuguesa -----	p57		
5.2.1.3.1. La faja pirítica ibérica y sus mineralizaciones -----	p58		
5.2.1.3.2. Las mineralizaciones de sulfuros masivos vulcanogénicos en el sector español de la faja pirítica ibérica -----	p61		
5.2.2. El dominio de las Cordilleras Béticas. Andalucía y Región de Murcia -----	p62		
5.3. El Cinturón Ibérico del W-Sn -----	p66		
5.4. La actividad minera y mineralizaciones en las Cordilleras Béticas ---	p69		
5.4.1. la minería en Andalucía meridional y oriental -----	p69		
5.4.1.1. La mina de Montevives (Granada) -----	p76		
5.4.2. La minería en la Region de Murcia -----	p77		
5.4.2.1. Sierra de Cartagena – La Unión -----	p78		
5.4.2.2. Área minera de Mazarrón -----	p80		
5.4.2.3. Mineralizaciones de Águilas -----	p81		
5.4.2.4. Distrito minero de Cehegín -----	p82		
5.4.2.5. Otras áreas de interés -----	p82		
5.5. Conclusiones de la descripción geológica y minera -----	p83		
6. Infraestructura geológica en España -----	p86		
6.1. Mapas geológicos y metalogenéticos -----	p86		
6.2 El atlas geoquímico de España -----	p88		
6.2.1. Datos de interés -----	p88		
6.2.2. Conclusiones geoquímica -----	p94		
6.3. El mapa de minerales críticos de Andalucía -----	p96		
6.4. Infraestructura geológica de España. Conclusiones -----	p97		
Anexo I -----	p102		
Mapas geoquímicos de los diferentes elementos en las zonas estudiadas			
Resumen -----	p108		
Bibliografía -----	p110		



CARTA DE MARCOS BASANTE PRESIDENTE DE LA FUNDACIÓN CORELL

Estimado lector,

La Fundación Corell tiene por objetivo fundacional promover el desarrollo del sistema de transporte público de viajeros y mercancías en un mercado libre regulado por las normativas de la Unión europea.

¿Por qué patrocinar, entonces, estudios sobre materias primas críticas como el que tiene usted en sus manos?

El patronato de la Fundación Corell tiene el convencimiento de que España tiene un potencial de desarrollo muy importante, pues aunamos en nuestro territorio talento humano de primer nivel, organizaciones empresariales de talla mundial, centros académicos de referencia y capacidad financiera suficiente para convertir a nuestro país en un referente del sector minero de primer orden. La riqueza mineral de la península ibérica proporciona, además, una base inmejorable para garantizar el desarrollo de la industria limpia y sostenible a la que aspiramos como sociedad.

La movilidad en sentido amplio y el transporte profesional en concreto son pilares imprescindibles en los que sustentar el desarrollo económico que permita a la sociedad española igualar los niveles de bienestar de los líderes mundiales.

Las mejoras tecnológicas que la descarbonización del transporte exige, demandan a su vez la utilización de recursos minerales que España tiene en abundancia. Creemos que todo proceso de reindustrialización debe ir acompañado de un programa de explotación minera definido con responsabilidad medioambiental y amplitud de miras.

La explotación responsable y sostenible de los recursos nacionales es una garantía de desarrollo social, progreso económico y protección medioambiental.

En Madrid a 18 de noviembre de 2025

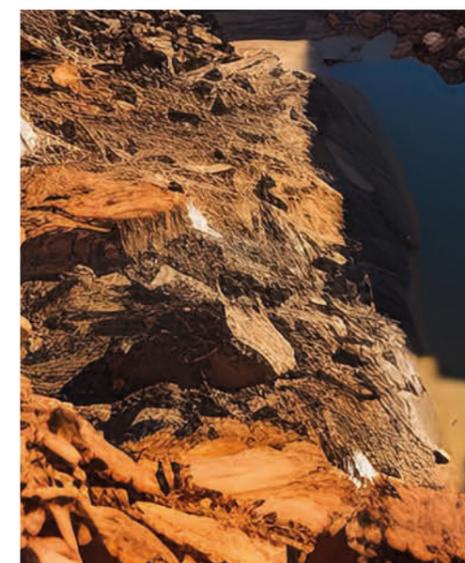
Capítulo

Introducción



Desde el año 2023, la Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas, en colaboración con la Cátedra Fundación Repsol de Transición Energética, ambas de Comillas-ICAI¹, elaboran de forma anual un estudio para la Fundación Corell² centrado en las conocidas como Materias Primas Críticas, su relevancia en el panorama nacional e internacional y sobre los indicios minerales presentes en España.

El estudio se enfoca cada año en una nueva región o conjunto de regiones, con la pretensión de ofrecer a la Industria y a los ciudadanos información precisa, actual y relevante sobre este asunto tan en



boga, donde se mezclan ramas del conocimiento tan dispares como pueden ser la Ciencia de Materiales y la Geopolítica.

Este estudio, por tanto, retoma la senda iniciada en 2023 por el informe "Recursos minerales para la industria española. Análisis de la nueva movilidad"[1] y continuada en 2024 por "Recursos minerales para la industria española II. Franja central de la frontera luso-española (Extremadura - Castilla León)"[2]. En el primero se realizó una descripción de los conceptos de Materia Prima Crítica, su relevancia en el contexto actual y sus principales aplicaciones, con especial

énfasis en la movilidad eléctrica y centrándose en los recursos y necesidades industriales de las regiones de Galicia y Portugal. En el segundo se llevó a cabo un análisis del potencial minero de Extremadura y de la región occidental de Castilla y León (León, Zamora y Salamanca), haciendo un especial énfasis en los yacimientos de litio existentes, dada su actual importancia como materia prima clave para el desarrollo de soluciones electroquímicas de almacenamiento energético (baterías), ya sean para uso estacionario o para movilidad.

El presente estudio comparte estructura y objetivos con sus predecesores, pues comienza con un repaso de los conceptos de Materia Prima Crítica, su importancia y sus aplicaciones. Se ha procurado incluir nuevos datos que ayuden a comprender la relevancia del tema tratado, como pueden ser análisis de las patentes relacionadas con estas materias primas tanto en la Unión Europea, Estados Unidos y China, así como numerosos gráficos que completan la comprensión del texto. Para continuar, se realiza una descripción del ecosistema industrial de las regiones de Andalucía, Castilla la Mancha y Murcia, objetos del presente estudio, para finalmente presentar los yacimientos existentes de las diversas materias primas críticas.

“Se realiza una descripción del ecosistema industrial de las regiones de Andalucía, Castilla la Mancha y Murcia, objetos del presente estudio, para finalmente presentar los yacimientos existentes de las diversas materias primas críticas”.



1. Las opiniones, hallazgos, conclusiones y recomendaciones expresadas en estos informes pertenecen exclusivamente a los autores y no reflejan necesariamente las posturas, políticas o la aprobación de la Universidad Pontificia Comillas, sus organismos de financiación o cualquier institución colaboradora mencionada. La Universidad Pontificia Comillas no asume responsabilidad alguna por el uso que se pueda dar a la información contenida en el presente documento.
 2. <https://fundacioncorell.es/>

Capítulo

Materias primas críticas

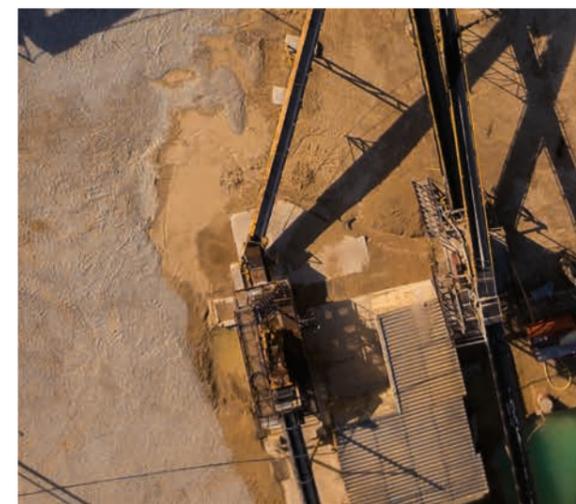
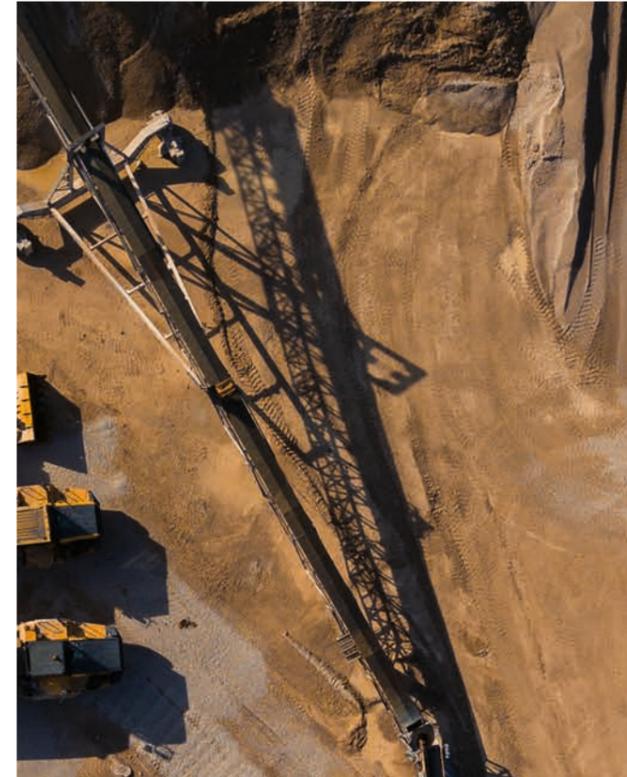
Conceptos básicos y panorama internacional

Las Materias Primas Críticas (MPC de aquí en adelante³) son un conjunto de elementos de la Tabla Periódica (pueden ser elementos individuales como el cobre o agrupaciones de elementos, como las Tierras Raras) que resultan claves para las cadenas de valor europeas y presentan riesgo en su suministro. La Unión Europea publica trianualmente desde

3. También se emplearán las siglas M.P.E/C. de Materias Primas Estratégicas y Críticas.



Recursos minerales para la industria española III
Franja Central, Sur y Este de la Península Ibérica - Andalucía, Castilla la Mancha y Murcia



2011 una lista en la que actualiza los elementos que considera MPC. La última iteración de esta lista es la correspondiente al año 2023[3], en la que definió 34 MPC, mientras que en 2011 consideró únicamente 20[4]. La metodología para llevar a cabo esta evaluación también ha ido actualizándose en las sucesivas iteraciones del informe y se detalla en la referencia [5].

Año	Nº de MPC consideradas
2011	14
2014	20
2017	27
2020	30
2023	34

Tabla 1:
Evolución del Nº de MPC en las distintas iteraciones del listado. Elaboración propia a partir de [3]

Aquellas MPC que además sean vitales para sectores estratégicos (defensa, energía, etc.) se conocen como Materias Primas Estratégicas. Debe quedar claro que toda Materia Prima Estratégica es Crítica, pero no al revés. Bradshaw[6] puntualiza que los elementos no son críticos en sí mismos, sino que lo es su situación, lo que se debe a alguna propiedad o variable que propicia ese estado (como puede ser la escasez geoquímica, etc.). Esto ayuda a entender que el concepto de MPC es dinámico y no estático: a medida que evolucione la situación geopolítica, que las tecnologías extractivas y de procesado avancen, que aparezcan nuevos yacimientos o que las necesidades industriales cambien la lista de MPC cambiará para reflejar la nueva situación. Si bien es posible a nivel teórico que el número de elementos incluidos en la lista disminuya, la experiencia demuestra

que lo más probable es que ocurra lo contrario, tal y como se puede observar en la Tabla 1[3], que muestra el número de elementos considerados MPC en las distintas iteraciones del informe. En la Figura 1 se representa gráficamente la misma información para poder apreciar de manera más intuitiva la evolución temporal del número de materias consideradas críticas.

Como se enfatizará en el apartado dedicado a las Tierras Raras, el actor geopolítico por antonomasia en lo referente a las MPC es China, que copa gran parte de la producción mundial de las mismas. Baste como ejemplo observar la Figura 2 y la Figura 3, en las que se muestran el número de patentes relacionadas con MPC desde 2011 a 2020 de la Unión Europea, Estados Unidos y China, donde se observa que China domina en un orden de magnitud a los demás actores[7].

“El actor geopolítico por antonomasia en lo referente a las MPC es China, que copa gran parte de la producción mundial de las mismas”.

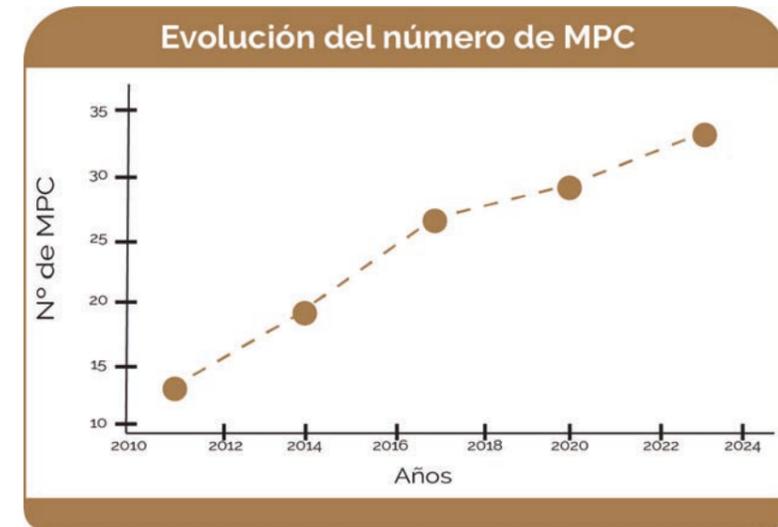


Figura 1: Representación gráfica del N° de MPC en las distintas iteraciones del listado. Elaboración propia a partir de [3]

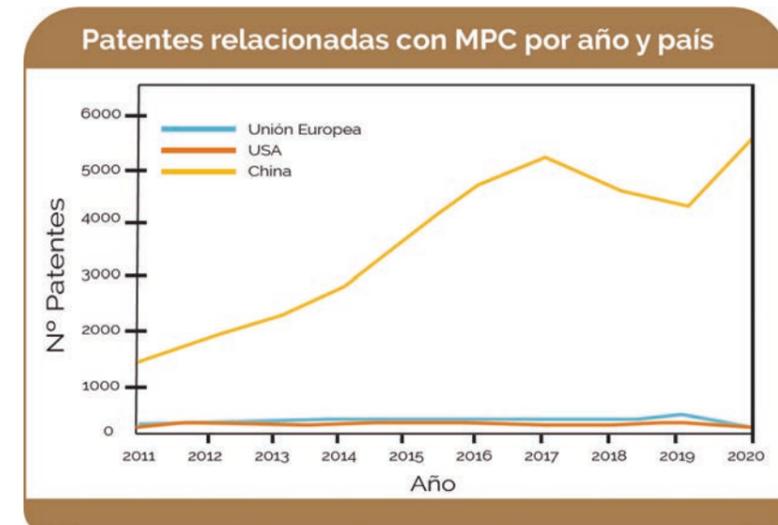


Figura 2: Número de patentes relacionadas con MPC por año y país (se considera UE como un país). Elaboración propia a partir de [7]

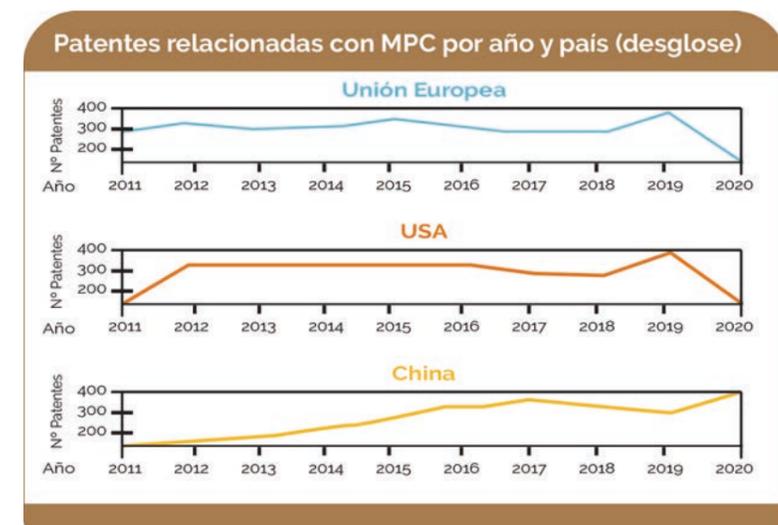


Figura 3: Desglose del número de patentes relacionadas con MPC por año y país (se considera UE como un país). Elaboración propia a partir de [7]

En la Figura 4 se muestran los principales productores de MPC a nivel mundial con datos de 2023. Se observa que China aparece como suministrador en muchas de las materias consideradas críticas, y que lo hace con altas cuotas de mercado, en muchos casos superiores al 50 % del suministro total. Este no se debe únicamente a la excepcional riqueza geoquímica china, sino también a su estrategia a largo plazo para establecer vínculos con países productores y llevar a cabo la fase del procesado de los materiales[8].

La visión a largo plazo de China puede resumirse en la afirmación en 1992 de Deng Xiaoping, entonces dirigente Chino: "Los países de Oriente Medio tienen el petróleo, nosotros tenemos las tierras raras"[9]. Como se explica en el siguiente apartado, las Tierras Raras han pasado a la preocupación pública en los últimos años, pero en China ya se pensaba en ellas desde hace más de 30 años.

"Los países de Oriente Medio tienen el petróleo, nosotros tenemos las tierras raras".

Deng Xiaoping, Presidente de la Comisión Militar Central de la República Popular China (1981-1989)

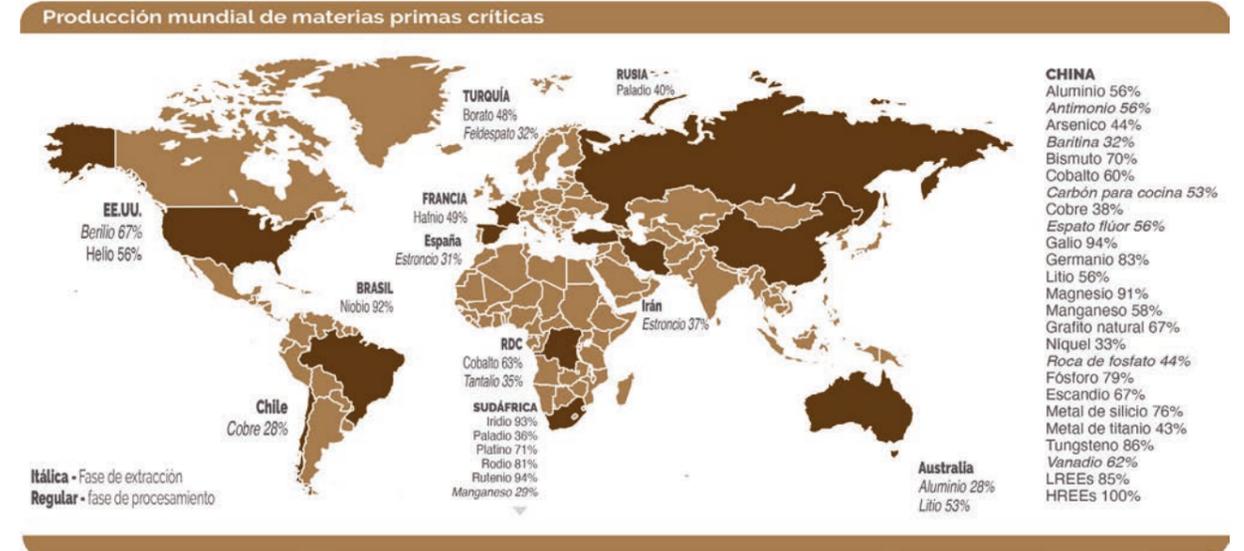
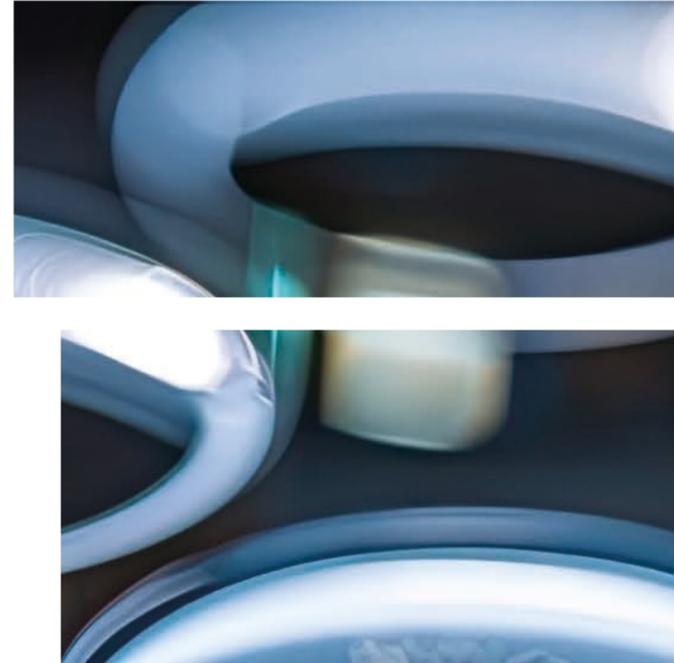
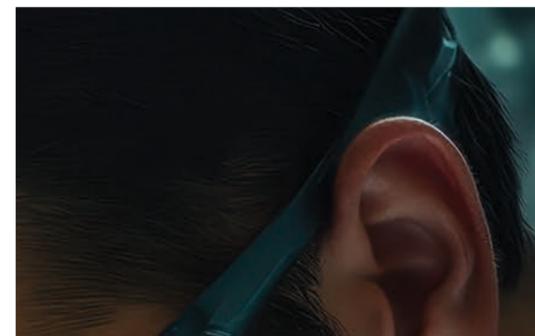


Figura 4: Principales productores de MPC en 2023 a nivel mundial. Extraído de [3]

Capítulo 3

Las Tierras Raras

En los últimos años un grupo de elementos conocidos como Tierras Raras ha ganado progresivamente atención, debido en parte a los actuales conflictos en curso como la Guerra de Ucrania [10] o las polémicas declaraciones del recientemente electo presidente de los Estados Unidos de América, Donald Trump, sobre su objetivo de anexionarse Groenlandia [11], [12].



“En los últimos años un grupo de elementos conocidos como Tierras Raras ha ganado progresivamente atención, debido en parte a los actuales conflictos en curso”.

Un denominador común de ambos eventos es el hecho de que las Tierras Raras acaban siendo mencionadas como posibles causantes de los mismos. Lo que hasta hace pocos años era un tema de discusión de expertos en política industrial y relaciones internacionales ajeno a las preocupaciones del ciudadano de a pie ha pasado a estar en boca de todos, lo que ha movido a los autores del presente Informe a dedicar un apartado a estos elementos con el objetivo de presentar unos conocimientos básicos de estos elementos y fomentar el debate informado sobre su situación.

Lo primero que hay que decir sobre las Tierras Raras es que, contrariamente a lo que sugiere su nombre, ni son tierras ni son raras[g] (entendiendo raras como sinónimo de escasas): el nombre de tierras les viene debido a que, en el momento de su descubrimiento, la palabra tierra se usaba como sinónimo de óxido metálico, lo que hoy en día ha quedado como un nombre anecdótico. El adjetivo de raras se debe a la dificultad que presentó históricamente su separación[13], y que como se verá más adelante sigue siendo una de las causas de la dificultad que su suministro supone.

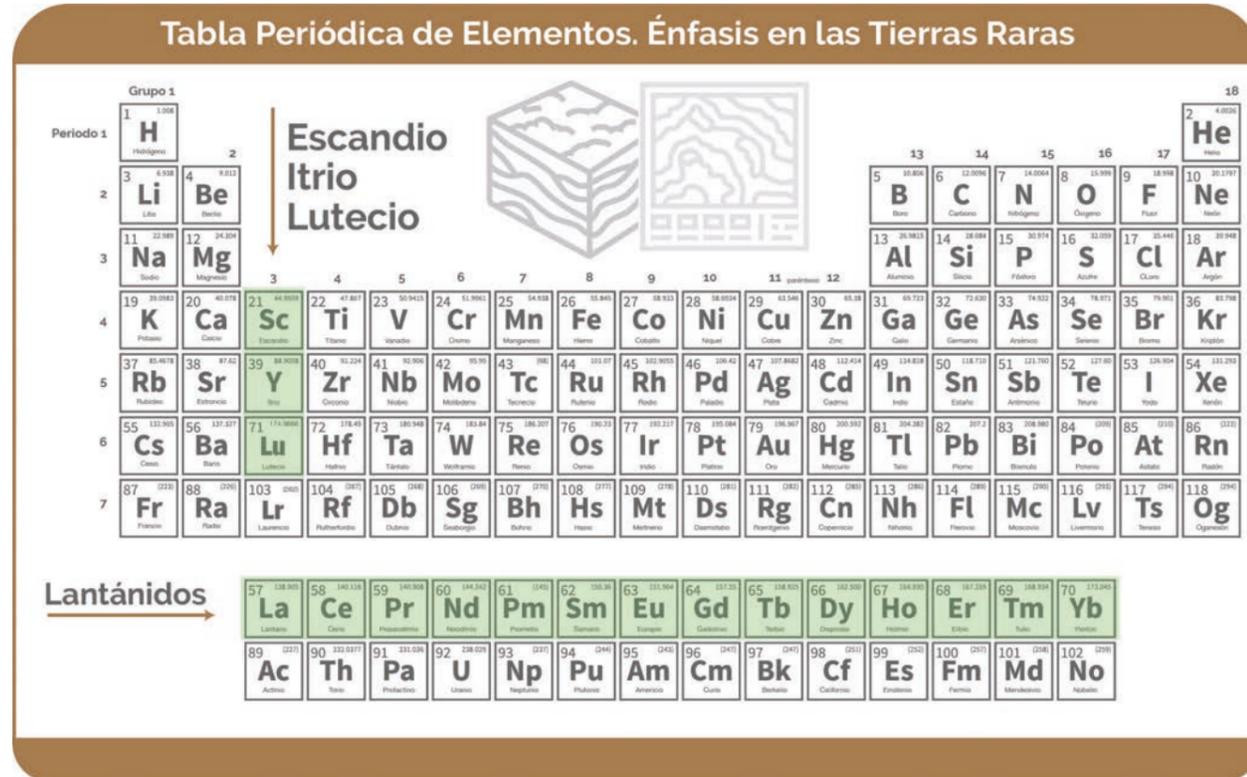


Figura 5: Tabla periódica de los elementos enfatizando las tierras raras. Elaboración propia a partir de [14]

Poniendo el foco en su descripción química, las Tierras Raras son un conjunto de 17 elementos metálicos: los 15 elementos del grupo de los lantánidos junto con el escandio y el itrio. En la Figura 5 se muestra su posición en la Tabla Periódica. Además, se suele realizar la clasificación en Tierras Raras Ligeras y Tierras Raras Pesadas, que se muestra en la Figura 6.

“El adjetivo de raras se debe a la dificultad que presentó históricamente su separación lo que sigue siendo una de las causas de la dificultad que su suministro supone”.

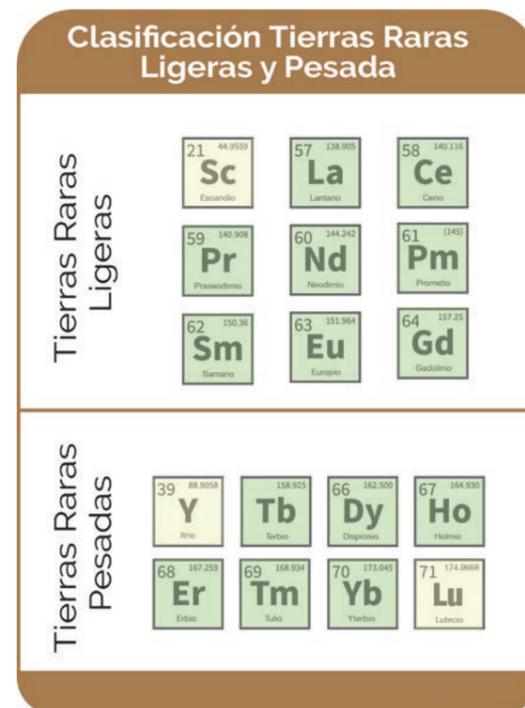
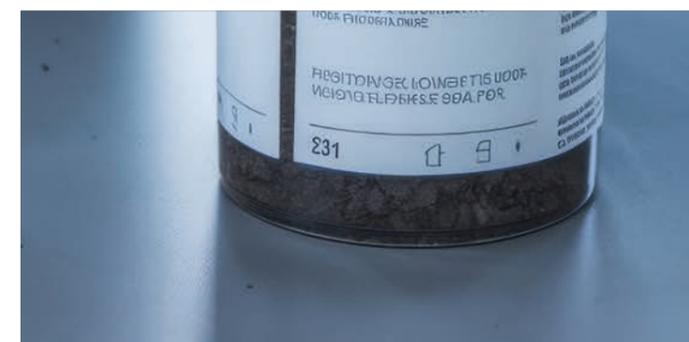


Figura 6: Clasificación de las Tierras Raras en Ligeras y Pesadas. Elaboración propia



La relevancia que este conjunto de elementos ha ganado en los últimos años ha venido motivada mayormente debido a las tensiones geopolíticas que existen en torno a ellas. Se puede considerar que el momento en el que saltaron a la fama es el conocido como Incidente de las Islas Senkaku[8], [15]. En septiembre de 2010, las autoridades japonesas encontraron un pesquero chino cerca de la Isla Senkaku, en aguas nacionales japonesas. El pesquero respondió de forma hostil a los guardacostas japoneses, que apresaron a su tripulación. China respondió con dos meses de prohibición severa de exportación de Tierras Raras a Japón más tres años de cuotas a la exportación contrarias a la Organización Mundial del Comercio (WTO, de las siglas inglesas World Trade Organization). Japón y Estados Unidos vieron estas medidas como una amenaza a su seguridad nacional y desarrollaron políticas para protegerse: Japón concedió subsidios a empresas nacionales para desarrollar I+D (Investigación + Desarrollo) relacionado con Tierras Raras y diversificó sus proveedores, mientras que Estados Unidos reabrió la mina de Mountain Pass (que volvería a cerrar en 2015) y también financió I+D relacionado con Tierras Raras.

Los motivos que han llevado a que las Tierras Raras hayan ganado su relevancia actual son, por una parte, factores geopolíticos y, por otra, la diversidad de sus aplicaciones en tecnologías tanto cotidianas (telefonía móvil, cristalería para vehículos, etc) como asociadas a los sectores de energías renovables y de defensa.

Respecto a su situación geopolítica, las Tierras Raras presentan una extrema concentración en su suministro. Tal y como se puede observar en la Figura 4, China suministra el 85 % de las Tierras

“Las Tierras Raras encuentran aplicación en componentes estructurales de altas capacidades, electrónica, aditivos para las aleaciones de las células fotovoltaicas e imanes permanentes”.

Raras Ligeras y el 100 % de las Tierras Raras Pesadas, dando lugar a un monopolio virtual en las primeras y uno de facto en las segundas. Como describe Chomón[8], esto se ve favorecido por el hecho de que el Gobierno Chino subvencione empresas dedicadas a la extracción de Tierras Raras por considerarlas estratégicas para su futuro, algo que sitúa a las empresas occidentales en inferioridad de condiciones. Además, ha de tenerse en cuenta que muchas veces las Tierras Raras no se extraen en una explotación dedicada a ello sino como subproducto de otros minerales, como el hierro, pues su extracción por sí misma puede no resultar rentable. En este sentido, la crisis inmobiliaria china puede suponer una reducción de su producción, al disminuir la construcción de nuevos edificios y, por tanto, no ser necesario tanto hierro para aleaciones estructurales.

En lo referente a sus aplicaciones, las Tierras Raras encuentran aplicación en componentes estructurales de altas capacidades, electrónica, aditivos para las aleaciones de las células fotovoltaicas e imanes permanentes (siendo los más relevantes los de Neodimio-Hierro-Boro), entre otras muchas. Estos últimos son de especial relevancia en el actual contexto de Transición Energética, pues son la base de los motores de tracción eléctrica y de los generadores que incorporan los aerogeneradores[16].

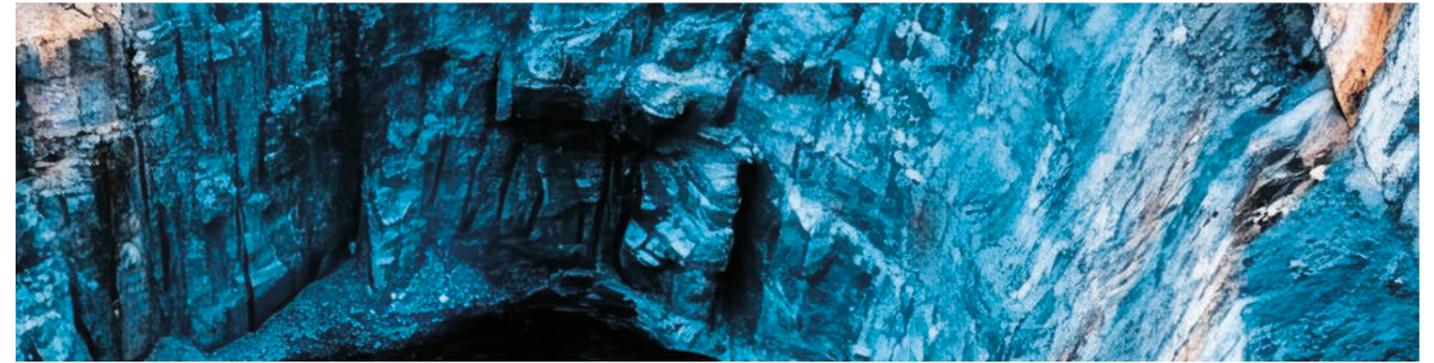


Capítulo



Panorama industrial de las regiones estudiadas

En este sentido, los autores del presente Informe consideran que resulta vital mapear los recursos y necesidades de las distintas regiones españolas, con el objetivo último de estudiar la viabilidad de constituir un Hub Ibérico de MPC, extrayendo y procesando las MPC disponibles en el territorio nacional y garantizando que la cadena de valor de los pro-



Not
In
My
Back
Yard

Figura 7: Explicación del acrónimo NIMBY. Elaboración propia

ductos que las emplean se mantenga en la medida de lo posible en las regiones en las que se extraen, para ayudar también así a paliar los conocidos como efecto NIMBY y BANANA. NIMBY es el acrónimo de Not In My Back Yard ("no en mi patio trasero") y se refiere a situaciones en las que la población local se opone a la construcción de infraestructura en las proximidades de su domicilio por las molestias que les pueda ocasionar, pero no a la infraestructura en sí. Un caso paradigmático de este efecto es el de las instalaciones nucleares[17]. En la Figura 7 se presenta de forma comprimida el acrónimo NIMBY para recordarlo de forma gráfica.

El efecto BANANA es similar, acrónimo en este caso de Build Absolutely Nothing Any where Near Anything ("No construir absolutamente nada cerca de ningún sitio"). En la Figura 8 se presenta de forma comprimida el acrónimo BANANA para recordarlo de forma gráfica.



Build
Absolutely
Nothing
Anewhere
Near
Ananything

Figura 8: Explicación del acrónimo BANANA. Elaboración propia

"Resulta vital mapear los recursos y necesidades de las distintas regiones españolas, con el objetivo último de estudiar la viabilidad de constituir un Hub Ibérico de MPC".

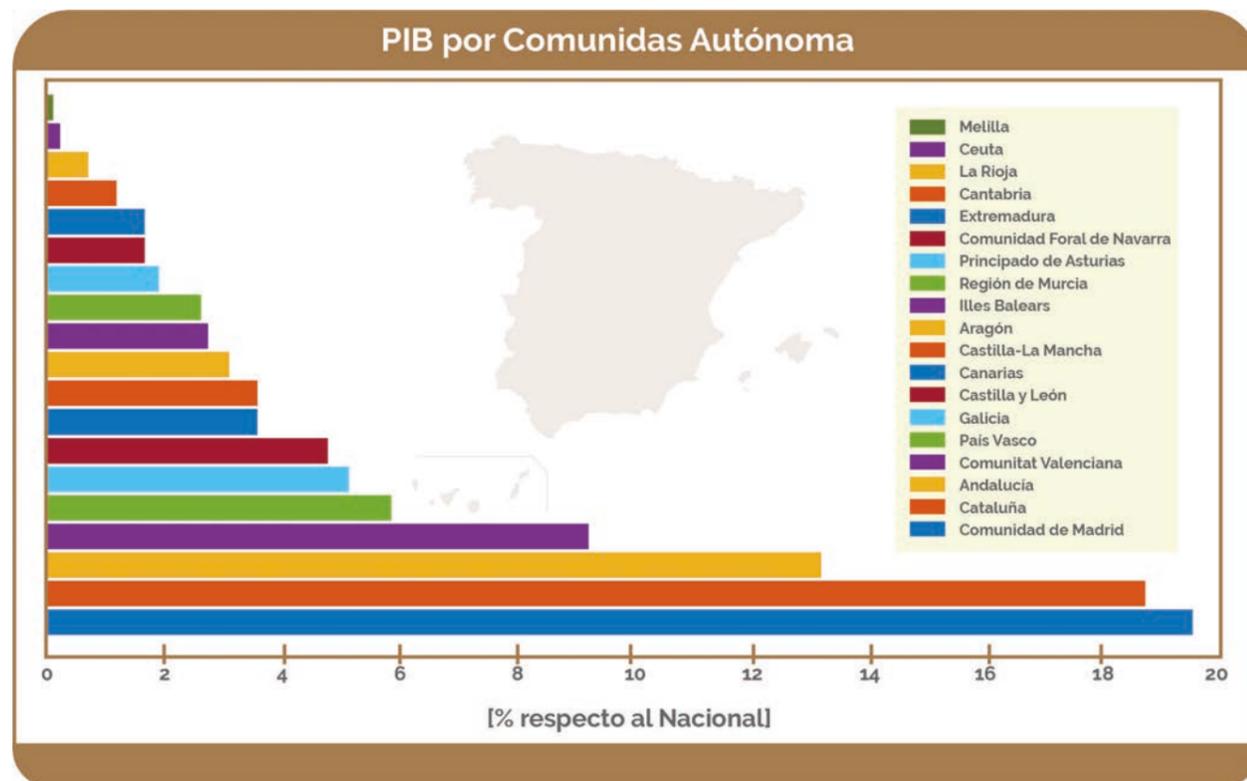


Figura 9: PIB por Comunidad Autónoma expresado en % respecto al total Nacional. Elaboración propia a partir de [18]

Con ánimo de contextualizar el peso económico relativo de las distintas Comunidades Autónomas, en la Figura 9 se muestra el PIB por Comunidad Autónoma expresado en % respecto al total Nacional. Durante los siguientes apartados se hará referencia a algunos de los datos de la Figura 9. Estos datos están referidos al año 2023 y se han obtenido de la estimación avanzada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) [18].

En relación a la composición del PIB Nacional, en la Figura 10 se muestra la composición de este desglosado en su componente agroalimentaria, industrial y resto, además de la descomposición de la componente industrial en Industria Manufacturera y resto[18]. Se observa que a nivel nacional el PIB Industrial supone un 14,7%, del cual la Industria Manufacturera supone un 74%, mientras que el



“Se observa que a nivel nacional el PIB Industrial supone un 14,7%, del cual la Industria Manufacturera supone un 74%, mientras que el agroalimentario un 2,5 %. Se ha decidido realizar este desglose debido a que el sector Industrial es el más interesado en las MPC”.

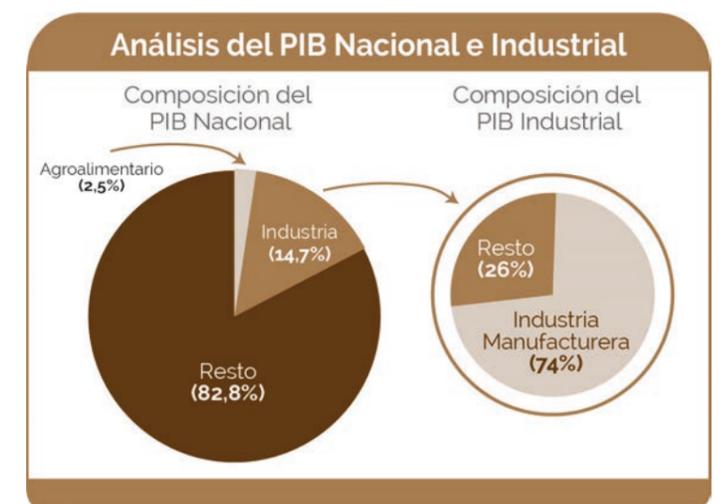


Figura 10: Análisis del PIB Nacional e Industrial. Elaboración propia a partir de [18]

4.1. Sectores industriales de Andalucía

Andalucía, con un 13,35% del PIB nacional, constituye la tercera Comunidad Autónoma en PIB después de Madrid (19,56%) y Cataluña (18,81%). El sector agrícola constituye un 5,91% del PIB de Andalucía y el sector Industrial un 10,76%, del cual la Industria Manufacturera supone el 62,46%, tal y como se puede observar en la Figura 11[18].

4. ICEX España Exportación e Inversiones es un organismo público español cuya misión es atraer inversión extranjera en España y fomentar la internacionalización del país[45]. Los datos sobre los sectores industriales relevantes se toman de la información proporcionada, entre otros, por este organismo

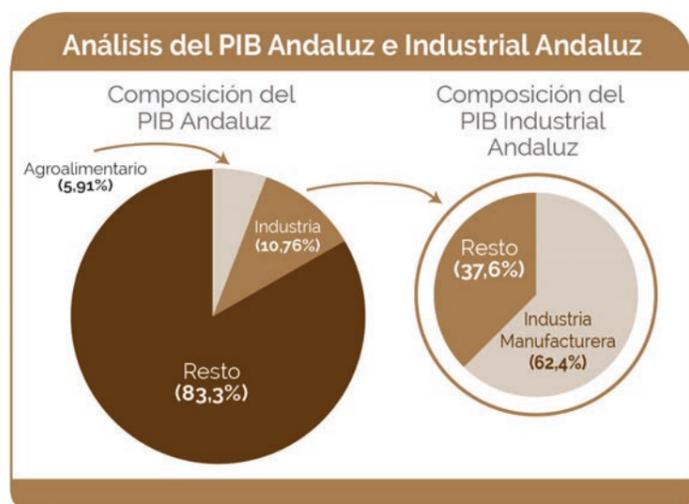


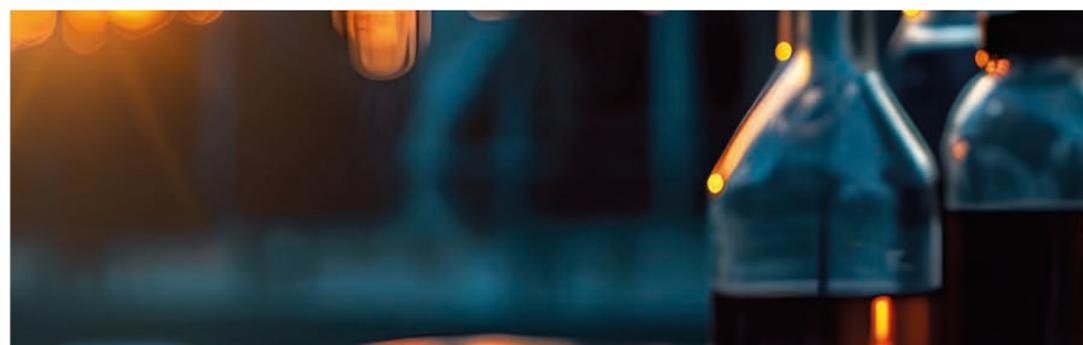
Figura 11: Análisis del PIB Andaluz e Industrial Andaluz. Elaboración propia a partir de [18]

Los sectores industriales más destacados según ICEX España Exportación e Inversiones⁴ son [20], [21]:

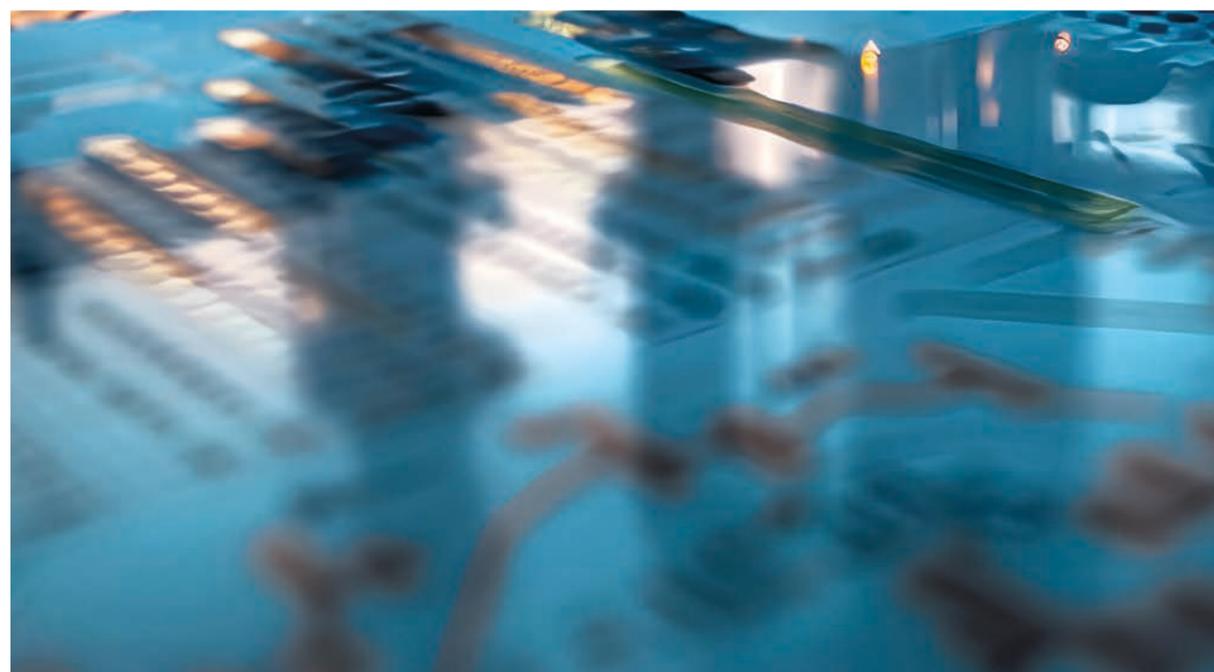
Industria Aeroespacial:

Industria centenaria en la región [22], que comienza con la apertura de una fábrica de Construcciones Aeronáuticas SA (empresa absorbida en 1999 por la actual Airbus) en 1927. En 1986 se desarrolla la industria auxiliar, en 2006 se elige Sevilla como sede de la Línea de Montaje Final (FAL, del inglés Final Assembly Line) del Airbus A400M Atlas (una de las 3 cadenas de montaje que Airbus tiene en Europa [23]) y en 2017 se crea el clúster Andalucía Aerospace [24], una asociación privada que representa las empresas del sector.

La industria está conformada por alrededor de 140 empresas, de las cuales el 68% son PYMES (Pequeñas Y Medianas Empresas), que en 2022 daban trabajo a 13136 empleados directos (y más de 80000 entre directos e indirectos actualmente). La facturación del sector en 2023 fue de 2300 millones de



5. En el siguiente enlace puede encontrarse una conferencia impartida por los responsables del proyecto en la Cátedra Rafael Mariño de Nuevas Tecnologías Energéticas (Comillas - ICAI) explican el mismo en detalle [46]: https://tv.comillas.edu/media/Del+sol+la+cerveza%3A+descarbonizaci%C3%B3n+a+trav%C3%A9s+de+autoconsumo+termosolar+en+la+planta+de+Heineken+en+Sevilla.+28+02+2024/1_gkpg2lax/65902121



euros. Además, las exportaciones aeroespaciales del sector representan un 39% de las nacionales. Se trata, por tanto, de una industria madura que sigue en continuo desarrollo y para la que es clave contar con un suministro seguro de MPC, habida cuenta de las importantes necesidades del sector [8].

Sector Agroalimentario:

Sector de gran importancia a nivel tanto nacional como internacional, líder en exportaciones agroalimentarias de España. Destaca como líder mundial en la producción de aceite de oliva y líder europeo en frutas y verduras. Pese a que pudiese pensarse que este sector no presenta especiales necesidades de MPC, debe recordarse que los fosfatos se emplean como fertilizante y resultan poco sustituibles para esta función. Lo mismo ocurre con alguna de las Tierras Raras [8], y que la digitalización en la que está inmerso el sector requerirá importantes cantidades de MPC para el desarrollo de sensores, riegos automatizados, drones para monitorizar los campos, etc. [1]. Se trata además de un sector con una clara apuesta por la innovación y el I+D+i, como demuestra el hecho de que en 2023 Heineken y ENGIE inaugurasen la mayor planta termosolar de uso industrial de Europa [25]⁵.

Industria Química y Petroquímica:

Andalucía es la segunda región española en importancia en este sector, que además es el que mayor crecimiento ha registrado en la región desde 2007. Hay que destacar las posibles sinergias que pueden encontrarse con otros sectores claves de la

economía andaluza relacionados con las MPC, como el agroalimentario, pues dentro del sector químico andaluz hay diversas empresas dedicadas a los fertilizantes. Andalucía es líder en la transformación de metales no ferrosos, por lo que existe infraestructura y know-how para trabajar con MPC, además de ser el segundo polo petrolífero de España. Aquí hay que recordar que varias de las MPC deben su demanda a sus usos en el refinado de petróleo, por lo que es clave que estas industrias cuenten con un suministro fiable.

Industria del Transporte y la Logística:

En un mundo cada vez más conectado, el Transporte y la Logística juegan un papel cada vez más relevante. Si bien es cierto que no es un sector que demande por sí mismo cantidades importantes de MPC, sí lo hacen sus sectores auxiliares como pueden ser la fabricación de vehículos, automatización de los procesos, etc. Además, la región acoge el RailwayInnovationHubSpain (RIH)[26], un clúster de empresas dedicadas al ferrocarril con énfasis en la innovación, actividad para la cual son claves las MPC.

Industria de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC):

Andalucía ocupa el tercer puesto nacional en este sector industrial. Si bien es cierto que la mayoría de las empresas se dedican a soluciones de software, que son poco dependientes de MPC, existen proyectos como el Smart City Cluster[27] asociados a las ciudades e industria inteligente, donde todas las



tecnologías relacionadas con la electrónica y la digitalización juegan un papel importante y sí presentan necesidades de MPC.

Industria de la Metalurgia:

Industria auxiliar que se ha desarrollado en los últimos años para dar apoyo a la Industria Naval (muy asociada a Navantia), la industria del ferrocarril o de la automoción. Es un sector con una clara apuesta por la digitalización (véase punto anterior) y que requiere de MPC para desarrollarse, siendo además clave mantener su competitividad pues en ella se apoyan industrias muy importantes para la región como la Aeroespacial, explicada anteriormente.

Industria de la Energía:

Sector muy ligado a las energías renovables, en especial la fotovoltaica (FV), debido a la climatología de la región. Andalucía es la segunda Comunidad Autónoma en potencia renovable instalada con 13613 MW (habida cuenta de que el total de potencia instalada es de 21459 MW, la potencia renovable supone el 63,5 % del total andaluz)[28]. Si bien es cierto que las MPC son una pieza esencial en la manufactura de estas tecnologías, a día de hoy su construcción se encuentra fuera de España.

Industria de la Minería:

Objeto central de este estudio, la Industria Minera en Andalucía supone el 25 % de la Minería Nacional y cuenta con una enorme tradición: no en vano, la Cuenca Minera de Riotinto es la zona con actividad minera continuada más longeva del mundo[29].

Cuenta con más de 469 empresas (entre ellas, alguna que proporciona más de mil empleos directos como puede ser Atlantic Cooper [30]). Además, como se insistirá durante todo el estudio, es una industria que suministra a las demás industrias (metalurgia, aeroespacial, etc.) y que ha propiciado el desarrollo de alguna otra, como la de Transporte. A este respecto, la Figura 12 muestra el desglose por sectores del valor generado por la minería en Andalucía en 2014.

“La Industria Minera en Andalucía supone el 25 % de la Minería Nacional y cuenta con una enorme tradición”.



Industria de la Farmacia y Biotecnología:

Industria muy centrada en actividades de I+D+i que se cuenta entre las más vanguardistas del mundo. Una de sus principales ventajas es el acceso a parques tecnológicos de primer nivel, que manejan equipos que son y cada vez serán más dependientes de MPC.

4.2. Sectores industriales de Castilla – La Mancha

Castilla – La Mancha constituye la novena Comunidad Autónoma en PIB de España. El PIB que procede de actividades agroalimentarias constituye el 7,44 % de la región, mientras que el PIB Industrial supone un 22,7 %, del cual el 62,9% se debe a la Industria Manufacturera. Se trata esta por tanto de una Comunidad en la que los sectores Agroalimentario e Industrial tienen un mayor peso relativo en el PIB de lo que tienen a nivel Nacional. Juntos constituyen algo menos (30,14 %) de un tercio del PIB de la Comunidad[18]. Asimismo, la Industria Manufacturera posee un peso relativamente superior al que tiene a nivel nacional agregado. Por tanto, para Castilla – La Mancha resulta de especial importancia desarrollar un conocimiento profundo de las MPC con el fin de mantener y desarrollar su actividad Industrial. En la **Figura 13** se representan de forma gráfica los distintos porcentajes anteriormente referidos.

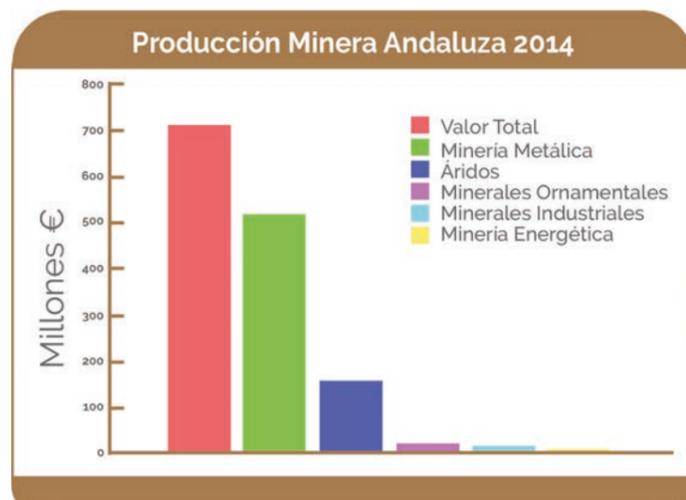


Figura 12: Desglose del valor de la minería andaluza por rama minera. Elaboración propia a partir de [31]



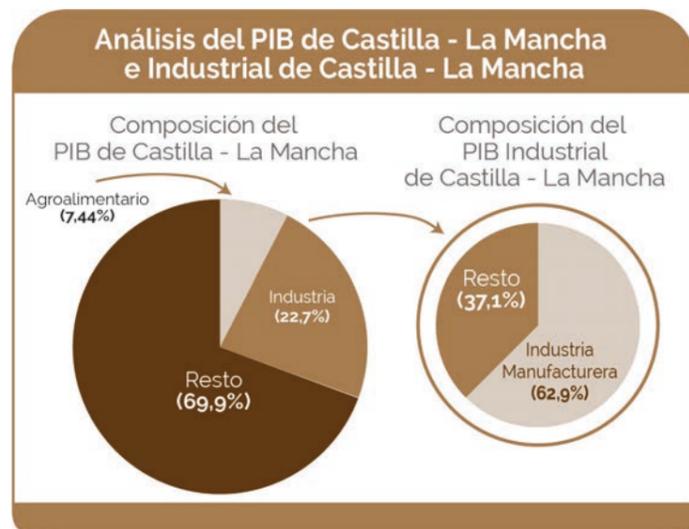


Figura 13: Análisis del PIB de Castilla - La Mancha e Industrial de Castilla - La Mancha. Elaboración propia a partir de [18]

Los sectores industriales que más destacan son [32], [33]:

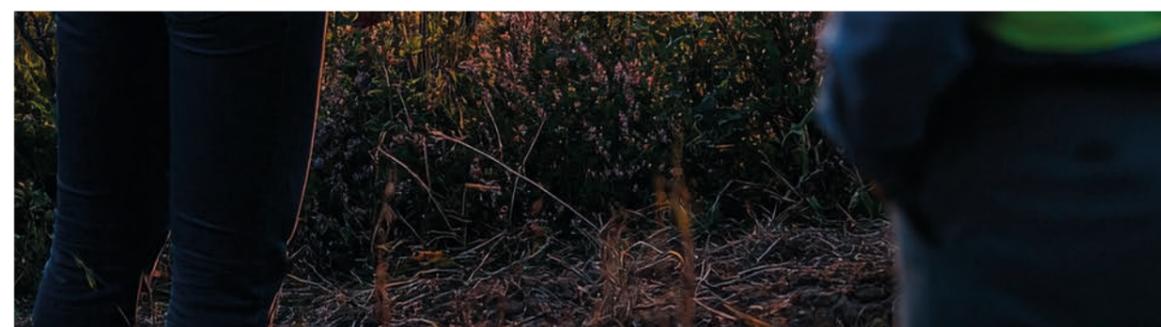
Industria de la Energía:

Al igual que en Andalucía, el sector se encuentra muy ligado a las energías renovables, si bien en este caso Castilla - La Mancha es la primera región en cuota de penetración renovable, con un 84,9 % del total [28]. Hay que mencionar que en Castilla - La Mancha se encuentra la que en su momento fue la mayor planta de producción de hidrógeno verde⁶, concretamente en Puertollano [34], con 20 MW instalados de electrolizadores y capacidad para producir anualmente 300 toneladas de hidrógeno verde, que posteriormente se emplean en la fábrica de fertilizantes de Fertiberia. Parece oportuno resaltar la elevada interdependencia entre los distintos sectores industriales, lo que hace que las vulnerabilidades de suministro de MPC de un sector se difundan a otros sectores. En este caso, los electrolizadores emplean MPC como níquel, metales del grupo platino, etc. (existen diferentes tecnologías de electrolizadores y cada una presenta distintos requisitos [35]).

“Castilla - La Mancha es la primera región en cuota de penetración renovable, con un 84,9 % del total”.



6. El término Hidrógeno Verde se refiere a aquel hidrógeno producido mediante energías renovables [44]. Habitualmente suele identificarse unívocamente con el hidrógeno producido por medio de electrólisis (ruptura de la molécula de agua por acción de una corriente eléctrica) a partir de fuentes renovables, pero no es la única alternativa [44]. Se considera un vector energético prometedor para la Transición Energética.



Sector Agroalimentario:

El Sector Agroalimentario en Castilla - La Mancha ocupa un lugar privilegiado en España, liderando la producción de vino (con la mitad de los viñedos nacionales) y sectores tales como el del aceite de oliva, la fruta y verdura y los productos lácteos. Como se ha explicado en apartados anteriores, las MPC se emplean como fertilizantes, ya sea directamente como el caso de los fosfatos o de forma indirecta, como el caso anteriormente mencionado de la producción de fertilizantes sostenibles a partir de hidrógeno verde.

Industria de las TIC:

Muy centrado en la vertiente de software, no tan dependiente de MPC, pero en cualquier caso consumidor indirecto de las mismas.

Industria Aeronáutica:

Sector que en los últimos años ha experimentado un gran crecimiento, convirtiendo a Castilla - La Mancha en la tercera región en importancia de este sector en España. Destaca por una parte que el 70 % de las ventas sean exportaciones, lo que muestra la gran relevancia internacional de este sector, así como el hecho de que Castilla - La Mancha es reconocida internacionalmente por el desarrollo de estructuras aeronáuticas de materiales compuestos, ámbito en el que las MPC juegan un papel clave. De la misma manera, las empresas dedicadas al desmantelamiento de aeronaves pueden beneficiarse de las oportunidades asociadas al reciclaje y recuperación de MPC.

4.3. Sectores industriales de la Región de Murcia

La Región de Murcia constituye la decimosegunda región en PIB de España. Como puede observarse en la Figura 14, el PIB está compuesto en un 4,16 % del sector Agroalimentario y en un 20,7 % del sector Industrial, que a su vez está formado en un 75,2 %

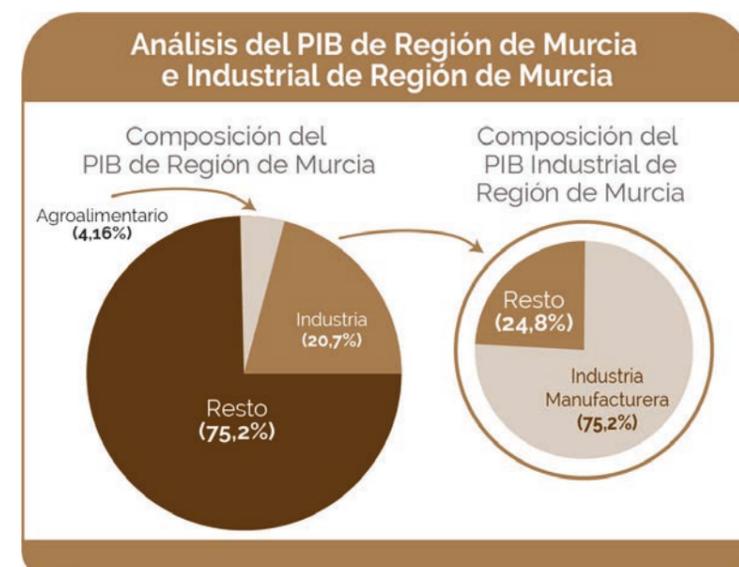


Figura 14: Análisis del PIB de Región de Murcia e Industrial de Región de Murcia. Elaboración propia a partir de [18]

por Industria Manufacturera[18]. Vuelve a darse la circunstancia, como ocurría en Castilla – La Mancha, de una comunidad en la que la componente Industrial (no así la Agroalimentaria) presenta un mayor peso relativo de lo que lo hace a nivel Nacional, por lo que resulta de especial interés los conocimientos que se deriven de este estudio.

Los sectores industriales que más destacan[36], [37]:



Sector Agroalimentario:

Emplea a cerca de un tercio (32,5 %) de la fuerza laboral de la región y, en el caso de las frutas y verduras, representa el 20 % de las exportaciones de España. Destaca por su apuesta por la agricultura ecológica y la presencia en la región de todas las etapas de la cadena de valor.

Industria de los Plásticos y los Cauchos:

Sector con larga tradición en la región y con gran importancia nacional: España es el cuarto consumidor de productos plásticos y cauchos de la Unión Europea (detrás de Alemania, Francia e Italia) y un 80% de su consumo proviene de fabricación nacional propia. Por tanto, este sector es un claro ejemplo de una cadena de valor integrada, completa y que genera sinergias con las demás industrias locales, puesto que es un gran suministrador de embalaje para productos agroalimentarios, maquinaria, etc. El sector consta de 170 empresas que manejan

una cifra de negocio de 800 millones de euros y emplean a 2800 personas de forma directa.

Industria Química:

Tercera en importancia dentro de la Industria Química Nacional. Se ve muy favorecida por el puerto de Cartagena y las posibilidades logísticas asociadas al mismo; prueba de ello es el Valle de Escombreras (Cartagena), donde existe una agrupación de empresas químicas y petroquímicas punteras.

Industria Metalúrgica:

Sector que ha experimentado un importante auge durante los últimos años como proveedor de productos y servicios auxiliares a las demás industrias de la región. Existen 995 empresas murcianas dedicadas a la producción de hierro, aleaciones de acero y productos metálicos, que se dividen en 40 fundiciones (~ 4,1 %) y las 955 restantes (~ 95,9 %) centros de fabricación. Constituye un 16 % de la industria local. Sector con clara apuesta por la innovación y la extracción limpia de recursos minerales.

Capítulo

Localización en España de los recursos minerales para la transición energética



En este capítulo se recogen muchas de las ideas ya expresadas en el primer y segundo informes realizados para la Fundación Corell en el que se concretaban algunos aspectos geológicos, mineros e industriales relativos a las regiones españolas de Galicia y Asturias (informe Corell nº 1[1]) y las provincias españolas ligadas a la Ruta de la Plata y la frontera hispano portuguesa (León, Zamora, Salamanca, Cáceres y Badajoz; informe Corell nº 2 [2]). Desde la entrega de aquellos informes (Octubre de 2023 y Octubre de 2024) algunas cosas, sin embargo, han variado desde el punto de vista de la documentación disponible y los datos existentes. Se expondrán a continuación para las comunidades autónomas de Andalucía, Castilla La Mancha y Murcia.



Debemos citar, en primer lugar, la aprobación definitiva por el Parlamento Europeo de la "RAW MATERIALS ACT[38] que, aunque pequeño, es un buen primer paso en la dirección correcta para fomentar y expandir la minería de estas sustancias en el interior de la Unión Europea y conseguir, siquiera sea parcialmente, una producción y un abastecimiento interior de las sustancias recogidas en la Tabla de Materias Primas Estratégicas y Críticas que edita la Comisión regularmente. De este aspecto ya se han hecho algunos comentarios en apartados anteriores por lo que no se insistirá en ellos. Los autores desean, no obstante, expresar su deseo de que

Listado actual de materias primas críticas (2024)

Antimonio	Arsénico	Bauxita
Barita	Berilio	Bismuto
Boro	Cobalto	Carbón de coque
Cobre	Feldespatos	Fluorita
Galio	Germanio	Hafnio
Helio	Tierras raras pesadas	Tierras raras ligeras
Litio	Magnesio	Manganeso
Grafito natural	Níquel (calidad de batería)	Niobio
Fosforita	Fósforo	Metales grupo platino
Escandio	Silicio metálico	Estroncio
Tántalo	Metal de titanio	Wolframio
Vanadio		

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Europea.

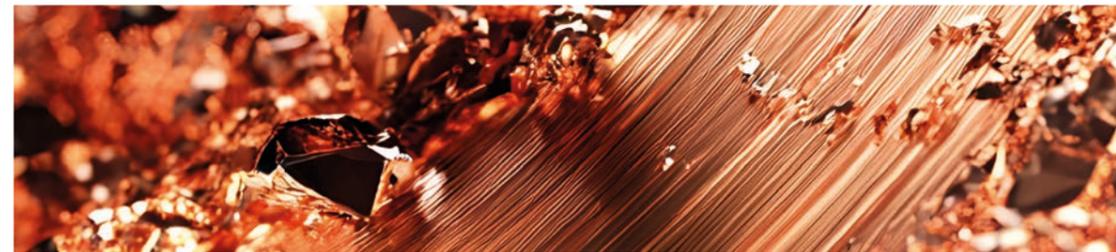
este Reglamento Europeo sea pronto transpuesto a nuestra legislación y permita ahorrar trámites administrativos y de otro tipo a los proyectos mineros de interés estratégico reduciendo los plazos tanto para la obtención de los permisos de exploración como para las concesiones de explotación. En el momento actual la tramitación administrativa de un proyecto minero en España no dura menos de 15 años.

A continuación, se recoge nuevamente la tabla de materias consideradas críticas por la U.E. en la última actualización de 2024 (Tabla 2).

Desde la actualización anterior han entrado en este listado el cobre y el níquel que, siendo elementos relativamente abundantes producidos a partir de numerosos tipos de sulfuros y con yacimientos importantes alrededor del mundo, empiezan a ser estratégicos debido al incremento de su demanda.

Así, la previsión de una intensa electrificación futura de la economía mundial hace que, en el caso del cobre, desde una producción mundial actual de unos 10 millones de toneladas por año se estime

Tabla 2: Elementos estratégicos /críticos considerados por la Comisión Europea. Actualización de 2024



Requerimientos de minerales desde 2020 a 2050

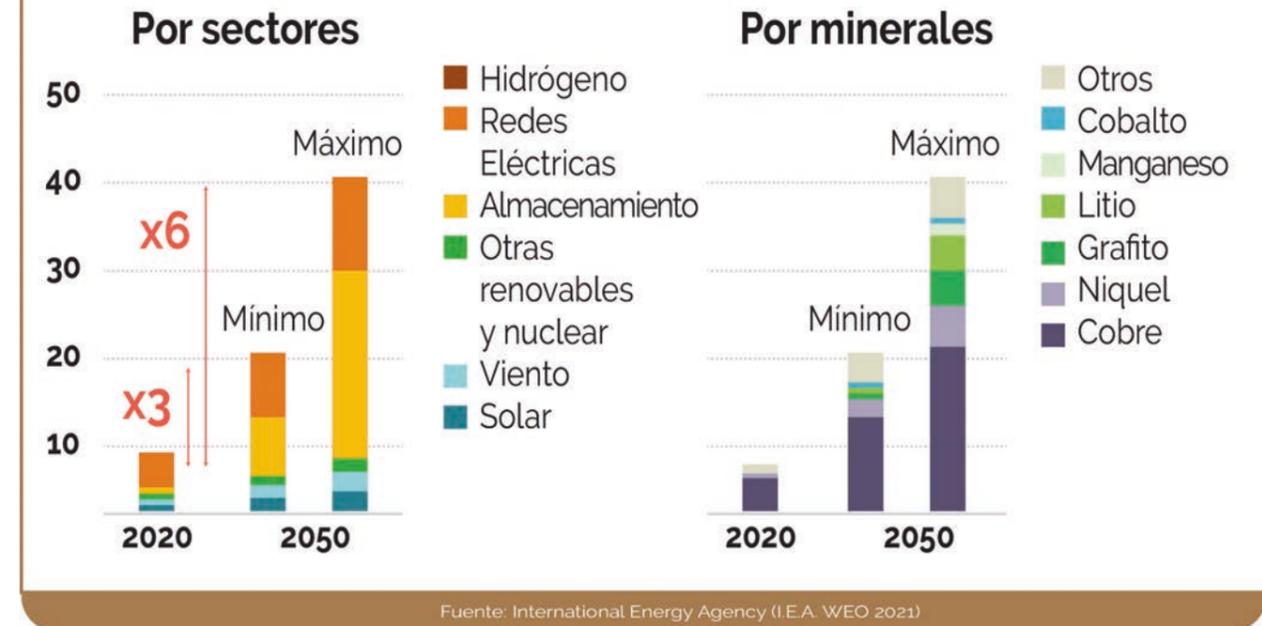


Figura 15: Previsión acerca del requerimiento de minerales desde 2020 a 2050 por tipos de mineral y por sectores industriales.

que, en 2040, se deberán producir unos 40 millones de toneladas de cobre metal por año. Este incremento se debe a la construcción de millones de motores y generadores eléctricos, la necesidad de nuevas líneas de transporte de energía eléctrica, etc.

De gran importancia industrial es también el níquel por razones similares. En la Figura 15 se recogen estos aspectos. En ella se observa como la demanda de minerales se multiplicará entre 3 y 6 veces en función de los diversos sectores industriales. De este incremento de demanda una gran parte será de cobre, níquel, grafito y litio.

Así mismo, en este tiempo, se ha abierto la primera convocatoria de proyectos mineros estratégicos por parte de la Unión Europea. Se han seleccionado 47 proyectos mineros estratégicos para asegurar el suministro de materias primas críticas, incluyendo siete en España, para reducir la dependencia de terceros países en la transición energética

Proyectos de explotación de materiales críticos propuestos en España por la UE



y digital. Estos proyectos, que abarcan la extracción, procesamiento y reciclaje de minerales como litio, níquel y wolframio, se beneficiarán de procesos de permisos simplificados y financiación.

El objetivo principal es reducir la dependencia de la UE de las importaciones de materias primas críticas, como el litio, el níquel, el grafito y el cobalto, para la producción de baterías y la industria de defensa y fortalecer la autonomía de la industria europea para asegurar el suministro de materiales esenciales para la transición energética y la innovación tecnológica.

En España se han considerado 8 Proyectos que, por región y promotor (Figura 16), son:

- En Extremadura, Las Navas (Lithium Iberia) para la extracción de litio para baterías; P6 Metals (Iberian Resources Spain) para la extracción y tratamiento de wolframio; Agua-

Figura 16: Proyectos mineros estratégicos españoles aprobados por la Unión Europea en su primera convocatoria (2025) a partir de la RAW MINERALS ACT aprobada en 2024. Fuente: Comisión Europea. Grafico Henar de Pedro.



blanca (Río Narcea Recursos) para la extracción de cobalto, cobre, níquel y metales del grupo del platino.

- En Andalucía, CirCular (Atlantic Copper) que pretende el reciclaje de cobre y metales del grupo del platino; Polymetallic Primary Sulphite Project (Cobre Las Cruces) para la extracción de cobalto, metales del grupo del platino, níquel y cobre.
- En Galicia se sitúa el Proyecto Mina Doade (Recursos Minerales de Galicia) para la extracción de litio.
- Por último, en Castilla-La Mancha se aprueba el proyecto Mining Project El Moto (Abenójar Tungsten) para la extracción de wolframio.

Los beneficios para los proyectos seleccionados están en la obtención de Permisos simplificados con procesos de aprobación más cortos, en el acceso a una financiación favorable con ayudas y garantías públicas para atraer inversión privada de bancos y el Banco Europeo de Inversiones.

Como ya se señaló en el 2º Informe Corell[2], hemos podido acceder a información geológica y geoquímica relevante de carácter general en España

de la que no se dispuso durante la confección del informe anterior. Se trata del Atlas Geoquímico de España (2013)[39] editado por el Instituto Geológico y Minero de España y el Ministerio de Economía y Hacienda. Sobre esta infraestructura se hablará más adelante. Es altamente interesante ver las características geoquímicas de la zona estudiada.

5.1. Análisis de los recursos mineros de M.P.E./c.

Desde el punto de vista de las M.P.E./c., como ya se señaló en nuestros anteriores informes, España es uno de los países de la Unión Europea con mayores posibilidades de exploración y explotación de este tipo de sustancias minerales y de los elementos metálicos de interés contenidos en ellas (litio, cobalto, niobio, tántalo, etc.).

Como se puede observar en el plano de la Figura 17, los puntos más favorables a la presencia de estas sustancias minerales en la Unión Europea están todos relacionados con los terrenos más antiguos de edad precámbrica o paleozoica.

Así, el escudo báltico, de edad precámbrica, que se extiende por la mayor parte de Suecia y Finlandia es un área muy favorable a la presencia de estos materiales. De hecho, en enero de 2023, la compañía minera sueca LKAB anunció el hallazgo de un yacimiento de tierras raras al que denominaron "Per Geijer". Gracias a este descubrimiento, la Unión Europea ha empezado a dar un giro en sus políticas mineras intentando caminar hacia una situación menos adversa en relación a las M.P.E./c. En la actualidad son varios los descubrimientos de interés en

“España es uno de los países de la Unión Europea con mayores posibilidades de exploración y explotación de este tipo de sustancias minerales y de los elementos metálicos de interés contenidos en ellas (litio, cobalto, niobio, tántalo, etc)”.

Potencial de extracción de materia primas fundamentales en la UE

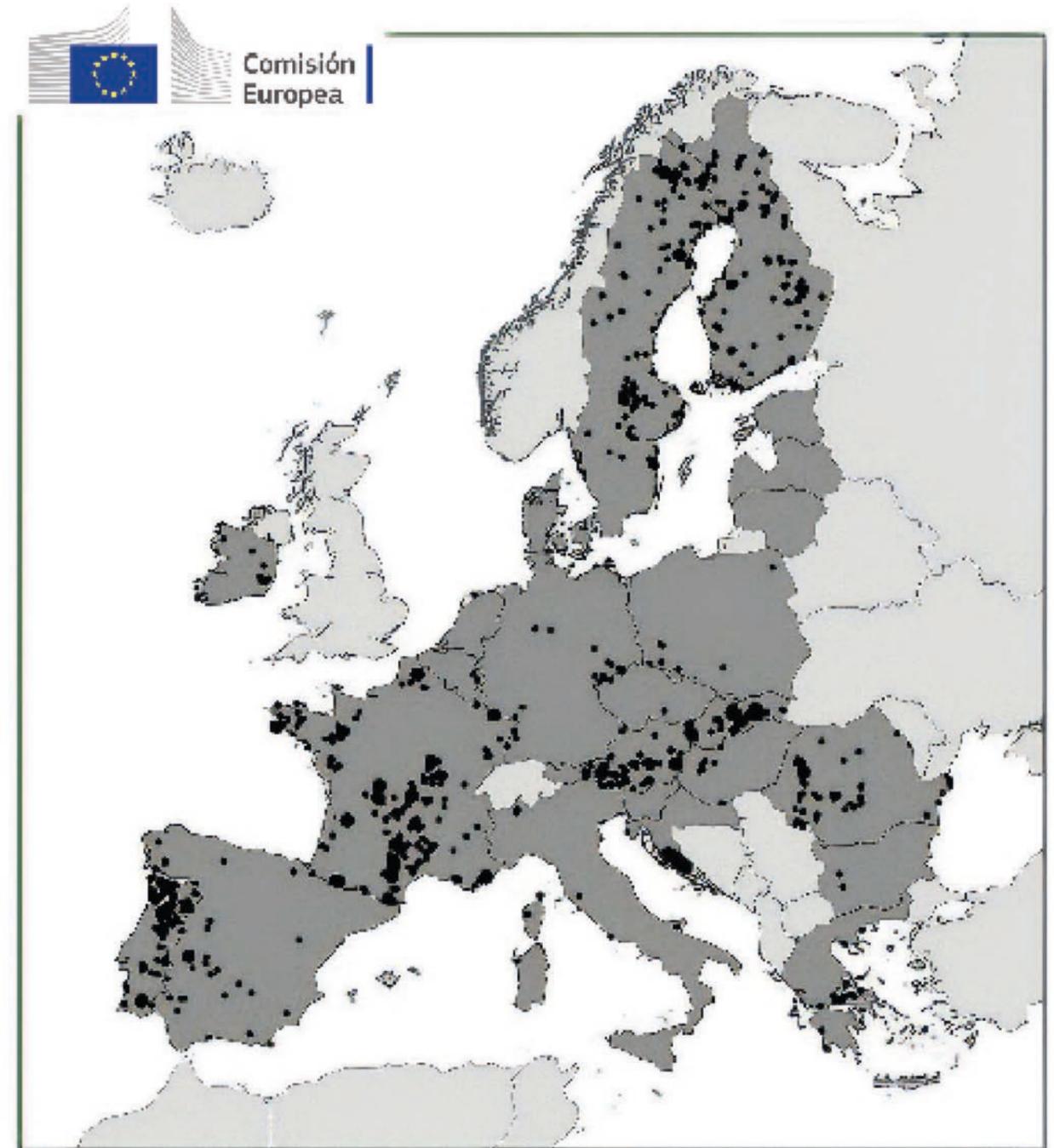


Figura 17: Puntos favorables en la Unión Europea para la exploración y explotación de M.P.E./c.

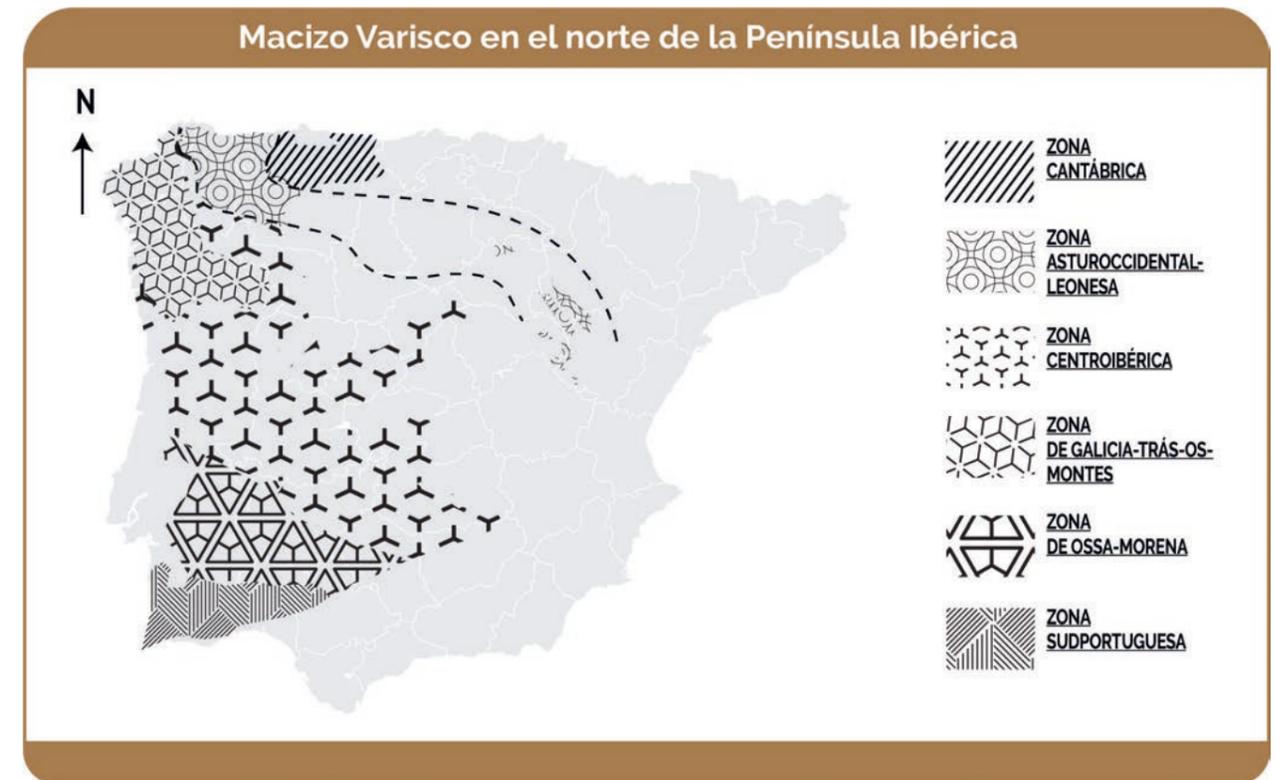
Europa que afirman el cambio en las políticas de la Unión respecto a la industria minera y su importancia estratégica y crítica.

Así, por ejemplo, recientemente Suecia ha levantado la prohibición de la minería y extracción de uranio en el país. A partir del 1 de Enero de 2026 se podrá investigar y producir el uranio para reducir la dependencia de importaciones y apoyar su política energética que fomenta la energía nuclear. La prohibición entró en vigor en 2018 pero ha sido revocada por una decisión gubernamental estratégica para expandir la generación de electricidad. Esta decisión marcará un cambio significativo en la política energética sueca, apostando por la energía nuclear como componente clave para alcanzar una electricidad libre de combustibles fósiles.

Como es sabido y según informes de la Comisión, los países de la Unión cubren su demanda de minerales estratégicos y críticos con importaciones del exterior procedentes de países conflictivos por diversas causas cuando no directamente adversarios. En especial, la U.E. cubre el consumo de tierras raras con suministros procedentes de China en alrededor del 98%. China no es sólo el productor más importante de tierras raras, sino que también es el refinador de las producidas en otras zonas del mundo.

Otra zona muy favorable, desde antiguo, a la presencia de M.P.E./c. es el macizo hercínico, de edad paleozoica, que aflora en la actualidad en el Oeste y Noroeste de la Península Ibérica (España y Portugal), en el Sistema Central español, en el macizo armoricano de Francia (Normandía, etc.) y en el Macizo central francés. Todas estas zonas originadas durante la Orogenia Varisca (de edad Paleozoica media a final) están hoy día expuestas por diferentes causas geológicas y presentan numerosos indicios minerales y minas en explotación y abandonadas de elementos de interés. El Pirineo Central, donde también aflora un núcleo de estas rocas paleozoicas, también es una zona de notable interés.

Figura 18: Esquema simplificado de la división en zonas del Macizo Varisco en el NO de la Península Ibérica. Basado en Lotze (1945), Julivert et al. (1972) y Farias et al. (1987).



Por último, la orogenia alpina, ocurrida hace 30 millones de años por el empuje hacia el Norte de la placa africana sobre la euroasiática, ha producido la elevación de las cadenas europeas de los Alpes, los Apeninos y los Cárpatos que presentan, en sus núcleos internos más deformados, zonas de interés minero desde el punto de vista de las M.P.E./c. En nuestro país, de esta misma edad y origen son las cordilleras béticas del Sur y Sureste español cuyas características desde el punto de vista geológico y minero se describen más adelante.

5.2. Análisis de los recursos minerales M.P.E./c. en Andalucía, Castilla

- La Mancha y la Región de Murcia

Geológicamente se estudian en este tercer informe Corell mineralizaciones que corresponden a varios ámbitos o dominios geológicos distintos.

Las mineralizaciones de interés presentes en Castilla - La Mancha pertenecen a las Zonas Centro - Ibérica del Macizo Ibérico del Orógeno Varisco en el sentido clásico dado por Lotze (1945)[40][41], Julivert et al. (1972)[42] y Farias et al. (1987)[43] como se recoge en la Figura 18.

En cuanto a Andalucía, existen dos dominios geológicos de interés, muy diferentes. Por un lado, en la zona Norte y Oeste de la región (pro-

vincias de Huelva, Sevilla, Córdoba y Jaén) existen mineralizaciones pertenecientes a las zonas de Ossa-Morena y Sudportuguesa también de acuerdo con lo descrito en Figura 18. Dentro de la Zona Sudportuguesa existe un dominio mineral y minero muy especial que se ha denominado, desde antiguo, como "Faja Pirítica". Se trata, en su parte española, de una serie de yacimientos de sulfuros masivos polimetálicos productores de cobre, plata, etc. de gran interés. A continuación se describe, someramente, la geología de estas zonas.

Por otro lado, en Andalucía Oriental y Meridional, al Sur de la Depresión del Guadalquivir se emplazan las Cordilleras Béticas, un orógeno distinto del Varisco con evolución propia tanto geológica como tectónica y, evidentemente, metalogénica.

La Región de Murcia en su totalidad se encuadra en el entorno geológico de las Cordilleras Béticas orientales.

5.2.1. El Dominio Varisco

5.2.1.1. El Dominio Varisco. La zona centro Ibérica. Andalucía y Castilla La Mancha

Ocupa la parte occidental de Galicia, el oeste de Castilla y León, parte de Extremadura y se extiende por el Sistema Central. Y por la zona occidental de Castilla - La Mancha (provincias de Toledo y Ciudad Real).

Geológicamente limita al noreste con la Zona Astur-Occidental-Leonesa y el cabalgamiento de Ferreira de Zêzere, y al sur con el batolito de los Pedroches.

En lo referente a nuestro informe Corell, se corresponde con las provincias de Toledo y Ciudad Real (Castilla - La Mancha) en las que se incluyen los



Montes de Toledo y la zona sur de los mismos hasta el entorno de la gran mina de sulfuros de mercurio de Almadén, yacimiento único en el mundo, y el conjunto de Sierra Morena.

En cuanto a Andalucía, pertenecen a esta zona la parte Norte de Córdoba (Sierra Morena, hasta el límite con el gran granito de Los Pedroches) y la zona Norte de Jaén donde se encuentra el distrito minero de Linares y La Carolina de gran tradición en la explotación de plomo, zinc y cobre (en menor medida).

La zona Centroibérica es una parte fundamental del Macizo Ibérico que se caracteriza por la predominancia de rocas ígneas y metamórficas, reflejo de la orogenia Varisca. Su geología incluye pizarras y cuarcitas del Paleozoico transformadas durante la orogenia Varisca y deformadas en pliegues, pliegues fallados, fallas. Por último, estas rocas han sufrido un fuerte metamorfismo regional dado la profundidad alcanzada por estos materiales y la presión y temperatura sufridas por los mismos durante la colisión continental a finales del Carbonífero. En la zona están presentes, siendo esto una característica destacada, numerosos batolitos graníticos, algunos de gran extensión, (ej.: batolito de Los Pedroches) que afloran desde Galicia hasta el Sistema Central con su cortejo de actividad filoniana e hidrotermal y metamorfismo de contacto. Las intrusiones graníticas constituyen las estructuras geológicas más importantes de la zona.

Por último, también se observan rocas preordovícicas e incluso afloramientos precámbricos y existen materiales menos metamorizados que conservan sus características sedimentarias y su contenido en fósiles de edad paleozoica.

yacimientos y evaluar su viabilidad para la extracción de minerales como el rutilo (fuente de Titanio), el circón y las tierras raras.

5.2.1.1.2. El distrito minero de Almadén (Ciudad Real)

Desde el punto de vista geológico, el distrito minero de Almadén se caracteriza por su gran yacimiento de cinabrio (sulfuro de mercurio), que constituye la mayor concentración de este mineral a nivel mundial y da origen a las ricas vetas de cinabrio (Sulfuro de mercurio, Hg S) que contienen, incluso, mercurio metálico.

Los depósitos se encuentran en rocas cuarcíticas y pizarrosas de origen sedimentarios y de edad paleozoica temprana que han sufrido procesos de transformación y cizallamiento que concentraron el cinabrio.

La formación de los yacimientos está ligada a procesos de fracturación y deformación tectónica que facilitaron la entrada de fluidos en la roca encajante y el depósito del mercurio en las fracturas y zonas de debilidad. Almadén alberga el yacimiento de cinabrio más importante del mundo, que dio lugar a una producción de aproximadamente 400.000 toneladas de mercurio a lo largo de una historia minera de miles de años, con una explotación continua y profunda que ha permitido extraer un tercio del mercurio producido a nivel mundial.

5.2.1.1.3. El valle de Alcudia (Ciudad Real)

En los alrededores de Almadén se encuentra el Valle de Alcudia. La geología del valle está dominada por el Anticlinal de Alcudia que es una estructura hercínica (varisca) que contiene materiales (pizarras, grauvacas y cuarcitas) cuya edad va desde el pre-cámbrico hasta el Paleozoico inferior (Ordovícico)

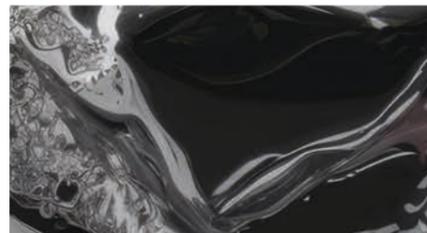
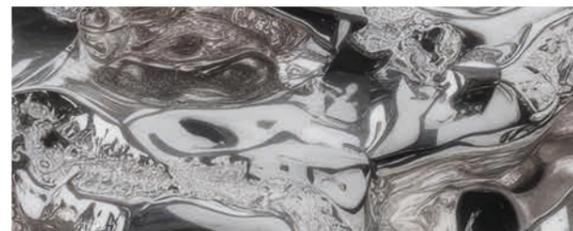
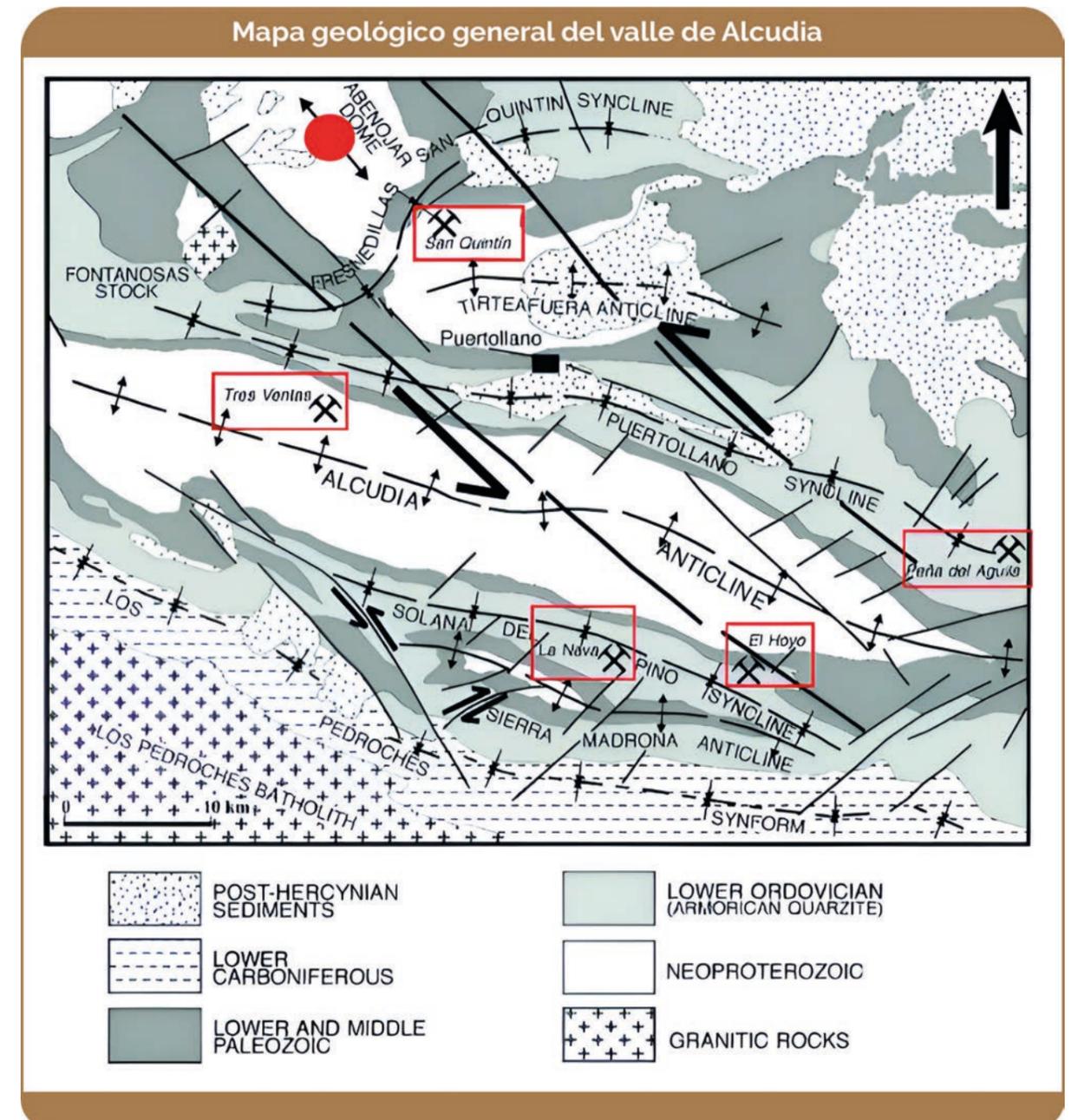


Figura 20: Mapa geológico general del valle de Alcudia con sus mayores estructuras tectónicas y localización de los principales modelos de yacimientos: Tipo A: Peña del Águila; Tipo B: El Hoyo; Tipo C: La Nava; Tipo D: Tres Ventas; Tipo E: San Quintín. Obsérvese también la posición del yacimiento de W y Au de Abenójar citado en el texto (círculo rojo).
 Fuente: [44]

(Figura 20). En el valle se encuentran pizarras y cuarcitas paleozoicas, junto con depósitos sedimentarios terciarios y cuaternarios (como las rañas rañas), y un vulcanismo neógeno y cuaternario muy visible en el vecino Campo de Calatrava. La zona destaca también por sus mineralizaciones de plomo y zinc asociadas a fracturas.



El valle de Alcudia es conocido por sus mineralizaciones de plomo y zinc, asociadas a fallas y fracturas. Estas fracturas se desarrollaron durante la fase compresiva principal de la Orogenia Hercínica. Existen varios modelos de yacimientos en el valle de Alcudia pero todos ellos se caracterizan, además de los minerales principales de plomo (galena) y zinc (blenda) por la presencia en sus paragénesis de porcentajes de otros minerales de sustancias críticas como cobre, cadmio, plata, antimonio y cobalto (trazas principales) y manganeso, germanio, galio, indio, arsénico y estaño como trazas secundarias.

5.2.1.1.4. La mina de Abenójar (Ciudad Real)

A escasa distancia de Almadén y dentro de lo que fueron sus concesiones mineras se encuentra la población de Abenójar. Debe hacerse mención especial aquí al proyecto El Moto (compañía explotadora, Abtungsten) es un yacimiento de wolframio y oro que ha sido declarado estratégico por la Comisión Europea y admitido en la Alianza Europea de Materias Primas (ERMA), debido a su riqueza mineral y su importancia para el suministro europeo de materiales críticos. El yacimiento, descubierto por la empresa estatal española Minas de Almadén y Arrayanes (Mayasa), es un recurso único en Europa. La característica principal de este nuevo yacimiento es que se sitúa sobre una estructura granítica no aflorante en cuyos alrededores se encajan los filones ricos en minerales de W. La explotación será subterránea. Se calculan unas reservas iniciales en el yacimiento de 91 millones de toneladas de wolframio acompañadas por medio gramo de oro por tonelada.

El yacimiento de "El Moto" es un depósito porfídico en el que se incluyen los minerales Ferberita [Fe (WO₄)] y Scheelita [Ca (WO₄)] que aparecen como cristales euhedrales de grano fino en vetas de cuarzo y como diseminaciones en las rocas intrusivas.



Figura 21: Ejemplos de monacita gris con sus correspondientes contenidos de óxido de torio (ThO₂). Ejemplares de monacita nodular gris de origen diagenético o de metamorfismo de grado muy bajo, procedente de los permisos conocidos como Matamulas (Ciudad Real). Nótese la forma elipsoidal o subsférica y el picoteado superficial debido al transporte de los nódulos. Cuadrícula: 1 mm. Fuente: [45]



El wolframio es la mena principal mientras que el oro es un subproducto con evidente interés económico. Así mismo, dentro de la paragénesis del yacimiento se han observado metales asociados como el bismuto, el galio y elementos de Tierras Raras que se producen en concentraciones geoquímicamente anómalas. El cuerpo intrusivo granodiorítico ha sufrido una fuerte alteración hidrotermal. Los patrones de alteración son similares a los de los pórfidos de cobre. Se trata de una alteración potásica profunda con halos propiliticos, alteración filica poco profunda con greisen y alteración arcilica ligada a las vetas epitermales. Las grauwakas precámbricas del Complejo Esquisto-Grauwaquico en los que se encaja la roca intrusiva han sufrido un metamorfismo de contacto de alta temperatura llevándolas a las facies del granate y la andalucita.

La paragénesis mineral de la mina de Abenójar es un ejemplo de lo que puede suceder en el resto del cinturón ibérico del W-Sn donde no se conocen bien las paragénesis completas por lo que muchas de las minas inactivas podrían contener elementos estratégicos y críticos como es el presente caso.

5.2.1.1.5. Las tierras raras de la provincia de Ciudad Real

Dentro de la Zona Centro Ibérica, en la provincia de Ciudad Real, se ha detectado la presencia de minerales portadores de elementos químicos del grupo conocido como Tierras Raras. En concreto, se trata del mineral denominado Monacita gris que yace, originalmente, en las pizarras de edad ordovícica en forma de nódulos Figura 21. Estos nódulos se forman durante la cristalización de rocas ígneas y por el metamorfismo regional de bajo grado de rocas sedimentarias. Son muy resistentes a la meteorización.

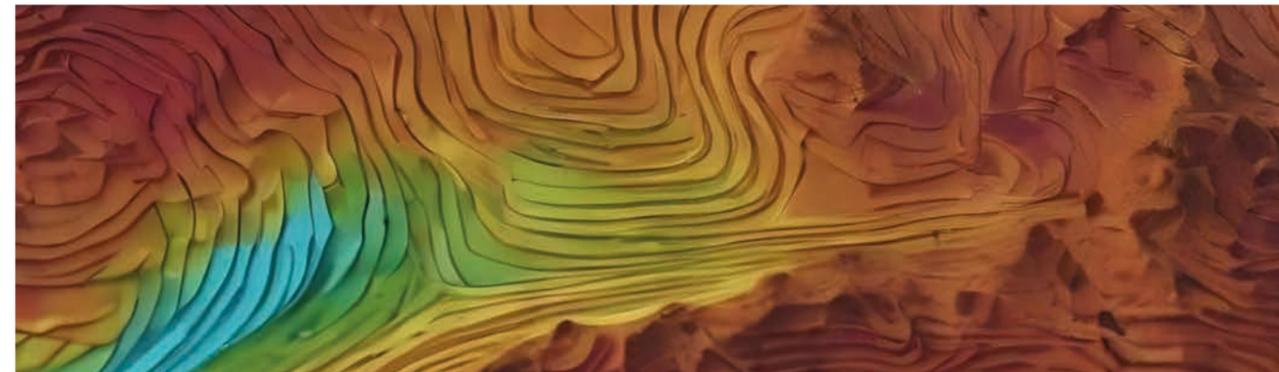
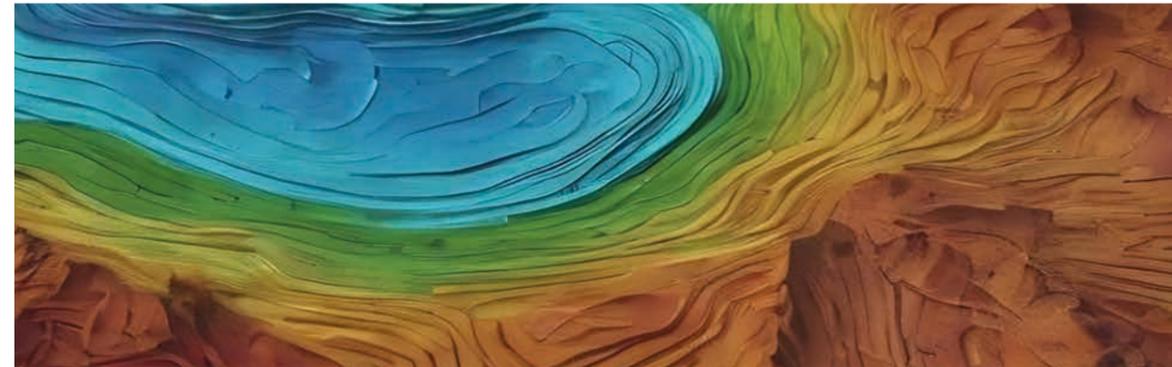
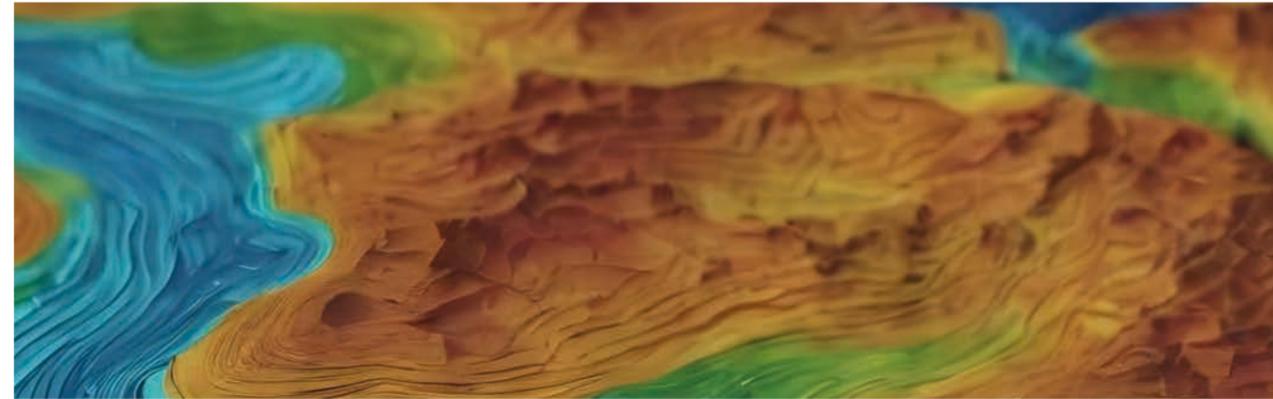
Esta cualidad hace que, durante la meteorización física y la alteración química de las rocas pizarrosas, los nódulos puedan haber sido concentrados mecánicamente y conservados en suelos y aluviones cuaternarios recientes que derivan de la erosión y alteración "in situ" de estas pizarras. La Monacita gris es un fosfato que contiene en su estructura cristalina átomos de diferentes elementos de tierras raras.

Las pizarras con nódulos se corresponden con la denominada Formación Pizarras de Luarca. Estas pizarras se datan en el Silúrico (piso Llandovery, entre 470 y 485 millones de años de antigüedad). Se extienden por toda la geografía del Oeste y Noroeste español (zonas Centro Ibérica, Astur Leonesa y Cantábrica, Figura 18). Su potencial desde el punto de vista de la investigación geológica y minera en el hercínico español es muy grande.

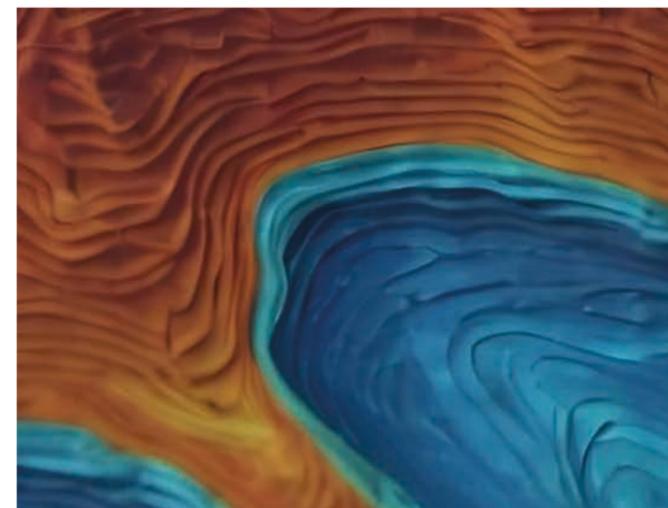
La monacita gris es un mineral de tierras raras, principalmente cerio, lantano y neodimio, crucial para tecnologías de vehículos eléctricos y drones. Se encuentra en la región de Campo de Montiel (Ciudad Real) y, posiblemente, en otras áreas de España. Es un mineral muy estable y no soluble en agua, lo que minimiza su potencial de contaminación ambiental.

La monacita gris es una mena principal de tierras raras y contiene del 20 al 30% de Ce_2O_3 , 30 - 40% de $(La,Nd)_2O_3$, hasta 12% de Th_2O_3 , 30% de P_2O_3 y hasta un 5% de Yb_2O_3 . La fórmula química general de la monacita es $(Ce, La, Nd, Th)(PO_4, SiO_4)$, indicando que el Cerio (Ce), Lantano (La), Neodimio (Nd) y Torio (Th) son los elementos metálicos comunes, y el grupo fosfato (PO_4) o silicato (SiO_4) es el anión principal.

Sin embargo, existen variaciones según el miembro específico del grupo de la monacita, como la Monacita-(Ce), cuya fórmula es (Ce,La,Nd)



"La monacita gris es un mineral de tierras raras, principalmente cerio, lantano y neodimio, crucial para tecnologías de vehículos eléctricos y drones".

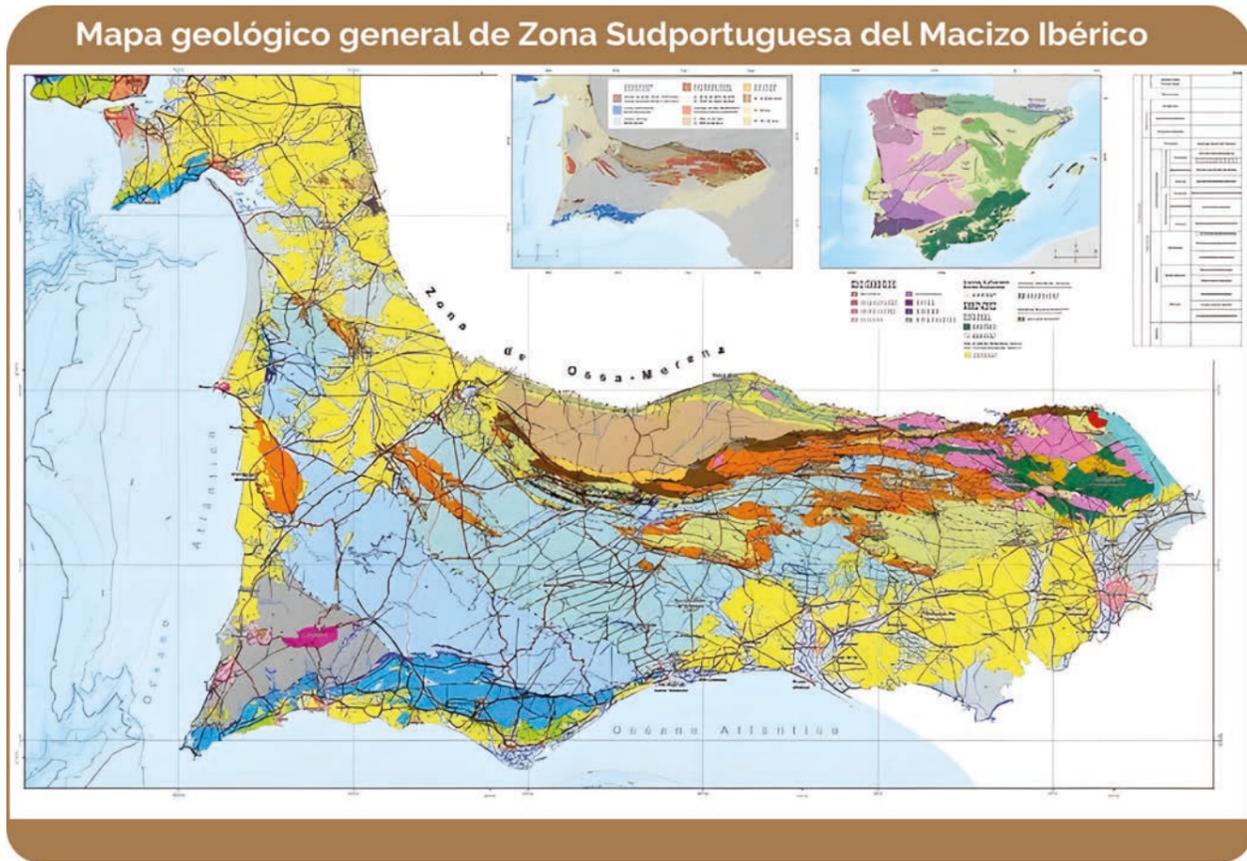


(PO_4). Los elementos Ce, La, Nd (tierras raras) y el Th pueden sustituirse entre sí en la estructura del mineral. Los grupos PO_4 constituyen el anión principal característico de la monacita. El grupo SiO_4 es menos común, pero puede estar presente en algunas variedades de Monacita.

En España se han encontrado importantes yacimientos de monacita gris de los que los situados en la provincia de Ciudad Real son los más avanzados en conocimiento geológico y minero y estarían próximos al desarrollo de proyectos mineros. Las monacitas de estas zonas son muy ricas en Neodimio. Las zonas en investigación se centran en el Campo de Montiel y otras localidades como Torrenueva y Torre de Juan Abad. El yacimiento es uno de los pocos existentes en Europa para estos elementos. Los yacimientos en estudio son muy superficiales. Las monacitas se encuentran encapsuladas en forma de nódulos sueltos dentro de una matriz de sedimentos compuesta por arcillas, arenas y gravas sueltas de edad cuaternaria y espesores de sedimentos de 5 o 6 m.

5.2.1.2. El Dominio Varisco. La zona de Ossa-Morena

Es una franja que se extiende desde el batolito de los Pedroches y su prolongación por Badajoz, hasta una línea definida por la sierra N de Sevilla y la sierra de Aracena. Engloba materiales desde el Proterozoico hasta el Carbonífero con distintas litologías que están afectados, en general, por metamorfismo de bajo o muy bajo grado, incluyendo depósitos de carbón en cuencas estrechas y alargadas (Cuenca de Peñarroya). Tectónicamente representa una zona muy activa con abundantes cabalgamientos y mantos con vergencia al SO.



La zona presenta una estructura compleja con deformación, metamorfismo y plutonismo intensos, con formaciones que incluyen rocas volcánicas, sedimentarias y un cuerpo intrusivo máfico relacionado con el manto en la corteza media. Existe también un volumen importante de rocas ígneas, tanto intrusivas como extrusivas, y se han registrado grandes eventos magmáticos asociados a los ciclos orogénicos. El conjunto de rocas ígneas ha controlado la formación de mineralizaciones. Incluye formaciones como la vulcanosedimentaria de Malcocinado y el Complejo Bodonal-Cala, con rocas volcánicas andesíticas y riolíticas intercaladas con materiales sedimentarios y carbonatados.

Figura 22: Mapa geológico general de Zona Sudportuguesa del Macizo Ibérico. Fuente: [46]

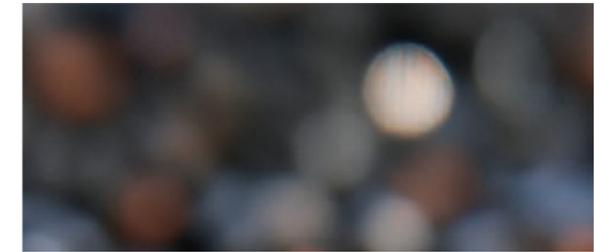
5.2.1.3. El Dominio varisco. La zona sudportuguesa

Geográficamente, se extiende desde el suroeste de Portugal y la zona oeste de Andalucía (provincia de Huelva y Sierra norte de Sevilla) de acuerdo con el plano geológico adjunto (Figura 22).

La Zona Sudportuguesa es una región geológica del suroeste de la península Ibérica de acuerdo con la división geológica mostrada en la Figura 18. Se caracteriza por situarse en una zona externa del Orógeno Varisco y por la presencia de depósitos marinos, y también rocas volcánicas y volcanodetríticas, de edad Devónico Medio a Carbonífero Superior y algunos depósitos posteriores a la orogenia de edad pérmica (Cuenca pérmica del Viar). Los materiales son de tipo flysch con estratificación rítmica en ciclos de pizarras, grauwacas y conglomerados. También se encuentran rocas volcánicas y restos o cuñas de la parte inferior de placas oceánicas (ofiolitas) transportados a la superficie por los cabalgamientos variscos. Por último, se observan diferentes afloramientos graníticos.

Los materiales han sufrido un metamorfismo de bajo grado y una foliación tectónica importante. Se observa también, en esta zona, la presencia de abundante magmatismo que es el causante de las numerosas mineralizaciones presentes, en especial, los grandes yacimientos de sulfuros polimetálicos masivos de la Faja Piritica Ibérica que se describirá más adelante.

Desde el punto de vista de la tectónica, la Zona Sudportuguesa presenta una estructura muy compleja, resultado de la orogenia Varisca. Al norte limita con la Zona de Ossa-Morena mediante un contacto tectónico complejo, la falla de



Mapa geológico de la Faja Piritica Ibérica dentro de la Zona Sudportuguesa del Macizo Varisco

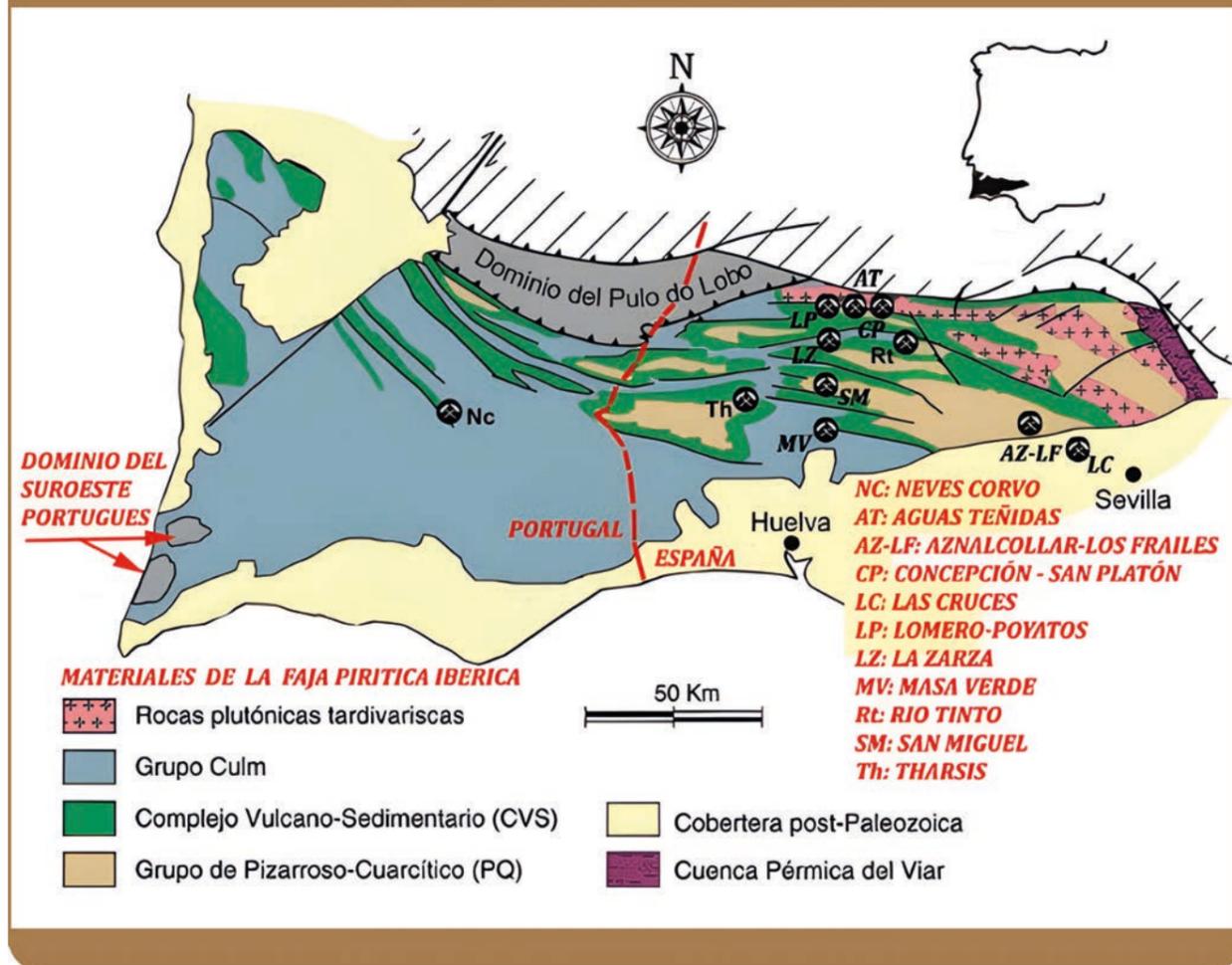


Figura 23: Mapa geológico de la Faja Piritica Ibérica dentro de la Zona Sudportuguesa del Macizo Varisco indicando la posición de las principales minas en el sector español. Fuente: Modificado a partir de Tornos, Fernando et al. (2008) [47] y González, Felipe; Moreno, Carmen y Sáez, Reinaldo (2019) [48]

ción WNW-ESE que se extiende, a lo largo de 230 km y con una anchura media de 35 km, desde la costa atlántica en Portugal, en las proximidades de Setúbal, hasta el valle del Guadalquivir, en España.

Es posiblemente, la más importante provincia metalogénica de sulfuros masivos polimetálicos del mundo, con más de 90 depósitos de sulfuros masivos bien conocidos, algunos de ellos de importancia mundial como Neves-Corvo, Aljustrel, Río Tinto, Tharsis y Aznalcóllar-Los Frailes. Figura 23.

En la Faja Piritica se han concentrado algo más de 1.700 Mt de sulfuros masivos que representan una acumulación de 14,6 Mt de Cu, 13 Mt de Pb, 34,9 Mt de Zn, 5.590 t de Ag y 596 t de Au de acuerdo con Leistel et al., 1998 [49].

En ella hay también otras mineralizaciones representadas por óxidos de hierro y manganeso (estructuras estratiformes y filonianas) y vetas de Cu, Pb-Ba y Sb, de génesis filoniana e hidrotermal. La actividad extractiva en la FPI se remonta a la Edad del Cobre (Pinedo Vara, 1963) [50].

En el Imperio Romano, las minas principales fueron las de Vipasca (Aljustrel) en el actual Portugal y Río Tinto y Tharsis en España (Domergue, 1990, [51]). La minería moderna empieza en la segunda mitad del siglo XIX y supuso la apertura de explotaciones a cielo abierto en Aljustrel y Río Tinto. Actualmente, la actividad extractiva en la Faja es combinada entre explotaciones a cielo abierto (Río Tinto) y explotaciones subterráneas, a profundidades superiores a 1.000 m de profundidad (Neves-Corvo) y 500 m (Aljustrel).

El potencial minero de la FPI ha provocado desde la década de los 60 del siglo XX, una fuerte inversión en campañas de investigación para el conocimiento y la descripción de las mineralizaciones existiendo

“La minería moderna empieza en la segunda mitad del siglo XIX y supuso la apertura de explotaciones a cielo abierto en Aljustrel y Río Tinto”.

Ficalho-Almonaster. Al sur, se encuentra bordeada por los materiales más recientes de la cuenca del Guadalquivir.

5.2.1.3.1. La faja piritica Ibérica y sus mineralizaciones

En este apartado se realiza una descripción de las mineralizaciones presentes en el Dominio Geológico de la Zona Sudportuguesa (ZSP) y la Faja Piritica Ibérica (FPI) que es considerada una de las principales provincias metalogénicas de Europa según numerosos autores. La FPI ocupa una gran parte de la ZSP, formando un cinturón con orienta-



Antiguo complejo de la estación de Enmedio, o Río Tinto-Estación

mucha menor medida, a las secuencias superiores del Grupo Pizarro-Cuarcítico (PQ). Se distribuyen prácticamente en la totalidad de la FPI aunque su aparición es menos frecuente en el sector S y SE. Existen más de 90 yacimientos de sulfuros masivos vulcanogénicos. (Figura 24).

5.2.2. El Dominio de las Cordilleras Béticas. Andalucía y Región de Murcia

Por otro lado, Andalucía oriental y meridional y la región de Murcia están jalonadas de actividad minera dentro del dominio geológico conocido como cordilleras Béticas (Figura 25). Se trata de un edificio orogénico muy distinto del Orógeno Varisco del que ya se han realizado descripciones en los informes Corell anteriores.

La geología de las Cordilleras Béticas se caracteriza por la convergencia de las placas Africana y Euroasiática durante la Orogenia Alpina, que plegó y fracturó materiales mesozoicos y cenozoicos depositados en el antiguo Mar de Thetis. Las características litológicas de estas formaciones dan lugar a tres dominios principales en esta cordillera: las Zonas Internas, las Zonas Externas y el Bloque de Alborán, donde las rocas sufrieron una intensa deformación.

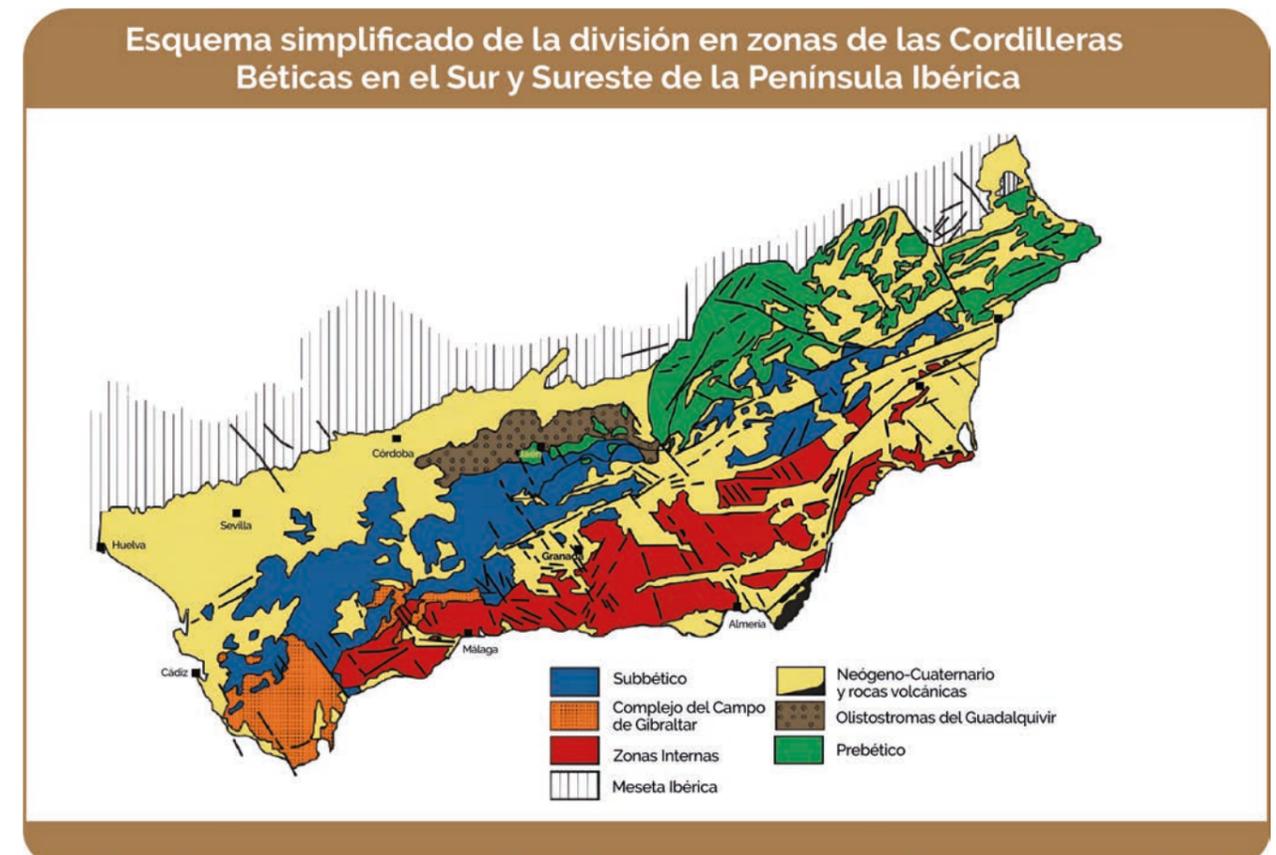
El contexto tectónico de las Béticas se caracteriza, en primer lugar, por la convergencia entre las placas de África e Iberia. Se trata del resultado de un proceso de colisión que comenzó en el Terciario y aún sigue activo. En la zona existe mucha neotéctica cuaternaria y muchas fallas activas en la actualidad (falla de Alhama de Murcia y paralelas). De hecho, todo el Sureste español es una zona de sismicidad alta, muy superior a la existente en el resto del país.



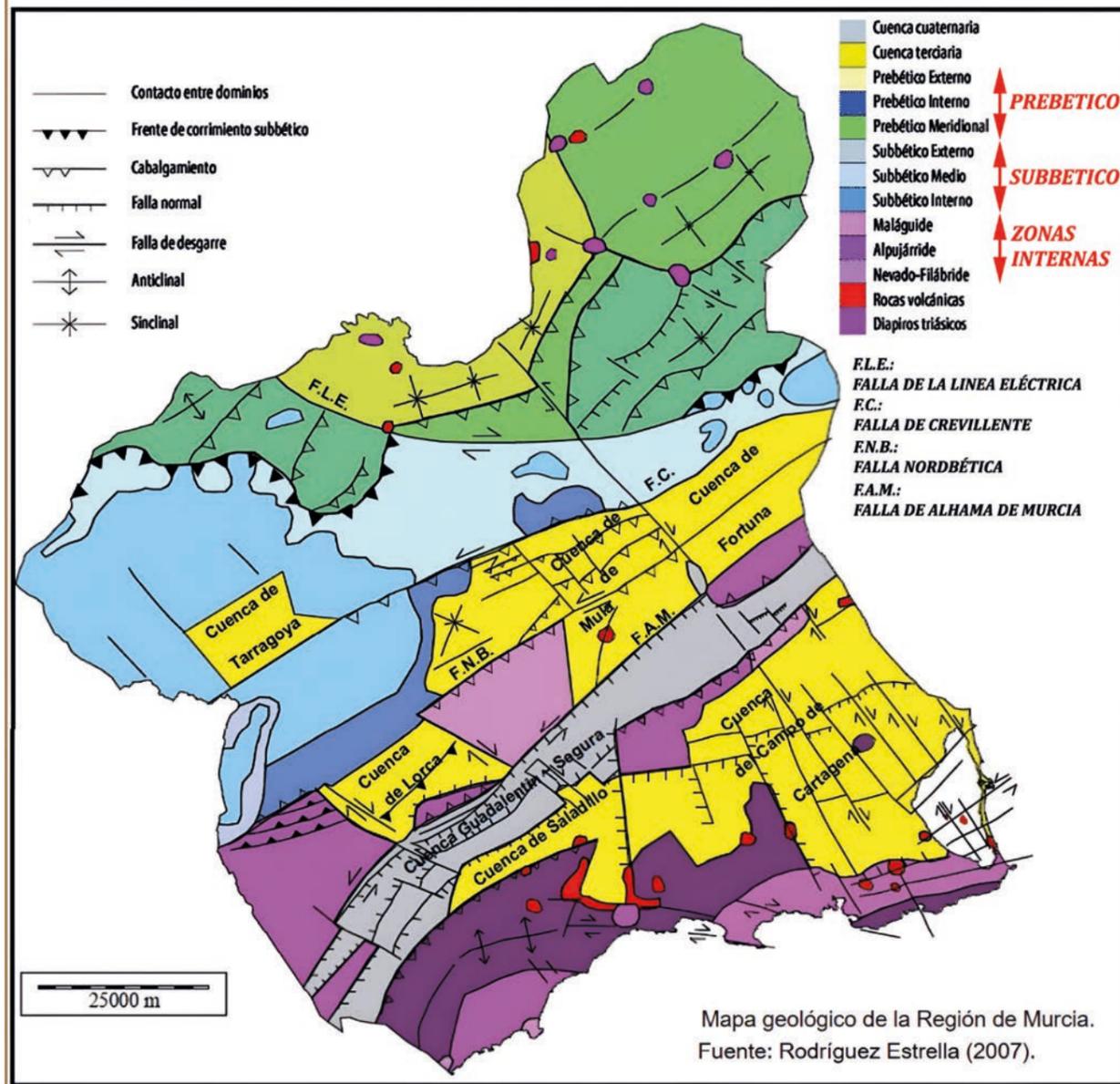
En segundo lugar, se debe citar Bloque de Alborán. Se trata de una microplaca que se ha visto intensamente deformada por la convergencia entre las placas principales, situada en el núcleo de la cadena, entre las ramas norte y sur de la misma. La rama sur de las cadenas Béticas son las cordilleras paralelas a la costa africana mediterránea de la región marroquí del Rif.

En la estructura geológica de las Cordilleras Béticas se pueden destacar tres dominios princi-

Figura 25: Esquema simplificado de la división en zonas de las Cordilleras Béticas en el Sur y Sureste de la Península Ibérica:
 Fuente: Modificado a partir de [57]



Esquema simplificado de la división en zonas de las Cordilleras Béticas en el Sur y Sureste de la Península Ibérica.



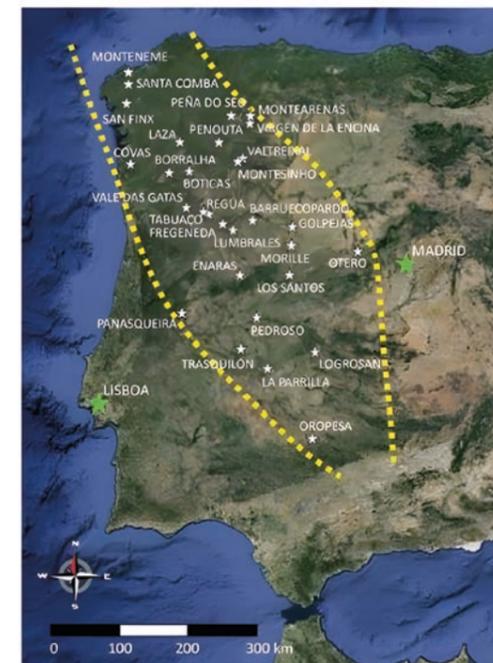
pales. El Dominio de Alborán forma parte de las Zonas Internas de la cadena y constituye parte de su zócalo. Contiene materiales del Paleozoico que sufrieron una fuerte deformación y metamorfismo. Las Zonas Externas están formadas por la cobertura sedimentaria que se depositó en el borde de la placa Ibérica. Son, principalmente, rocas y materiales

Figura 26: Esquema simplificado de la división en zonas de las Cordilleras Béticas en el Sur y Sureste de la Península Ibérica. Región de Murcia. Fuente: Modificado a partir de Rodríguez Estrella (2007)[58].

calizos mesozoicos y cenozoicos que se encuentran plegados y, como toda zona orogénica externa, no han sufrido metamorfismo o éste es de muy bajo grado. Dentro de las zonas externas existen dos subdivisiones en zona Subbética y zona Prebética que se recogen en la Figura 25.

Entre las zonas externas e internas de la cordillera se sitúa la Unidad del Campo de Gibraltar que es una unidad con entidad propia. Ésta unidad también denominada Unidad de los Flyschs del Campo de Gibraltar, es un conjunto de formaciones geológicas formadas por materiales turbidíticos (una sucesión de sedimentos areniscosos y arcillosos de origen marino profundo) depositados en un surco durante el Cretácico y el Paleógeno. Estos materiales fueron arrastrados y desplazados hacia el oeste durante el proceso de colisión continental, dando lugar a los afloramientos característicos que se encuentran en el sur de la provincia de Cádiz (en las sierras del Aljibe, Bujéo y Retín estas areniscas forman relieves importantes).

Figura 27: Cinturón Ibérico del Wolframio y Estaño. Principales minas en explotación. Fuente: [52]



Por último, en las Cordilleras Béticas se pueden considerar también tres zonas principales, que tienen distintas características tectónicas diferentes. Así, en la Zona Oriental predomina la compresión y abundan las fallas de cizalla o desgarre; en la Zona Central se observan sistemas de fallas normales y fallas de desgarre (en general levógiro) y en la Zona Occidental se observan predominantemente fallas inversas y de desgarre.

En cuanto a la geología de la Región de Murcia, no es más que la continuidad hacia el Nordeste de la ya descrita de las Cordilleras Béticas. En la Figura 26 se incluye un mapa esquemático de la geología de esta región en la que destacan, sobre todo, la neotectónica y las fallas activas que caracterizan esta región (p.ej.: terremoto de Lorca 2015, etc.).

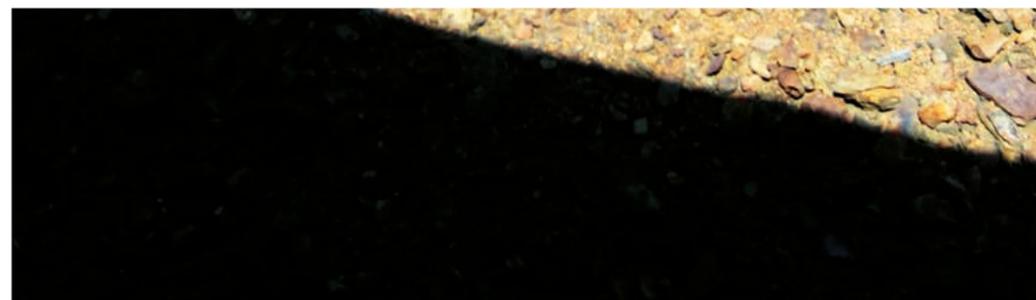
5.3. El Cinturón Ibérico del W-Sn

En los dos informes Corell anteriores se ha descrito con amplitud el cinturón ibérico del W-Sn como una provincia metalogenética de gran interés (Figura 27). Dentro de la provincia se han observado numerosos indicios de mineralizaciones de todo tipo.

Pues bien, las mineralizaciones metálicas presentes en Castilla – La Mancha y la zona norte de Córdoba y Jaén pertenecen a este dominio metalogenético.

Como ya se ha dicho en anteriores informes esta provincia minera alberga una gran variedad de tipologías de yacimientos minerales, aunque siempre vinculadas genéticamente a la intrusión de diferentes cuerpos graníticos de naturalezas petrológica y petroquímica muy variadas y edades muy diferentes que varían desde los plutones pre y sintectónicos a los tardíos post tectónicos. Otros yacimientos en esta zona están ligados al importante metamorfismo regional de alto grado ("high grade metamorphism") presente en todo el Oeste peninsular. Aunque la gran mayoría de las mineralizaciones son de tamaño medio o pequeño, existen algunos ejemplos de yacimientos muy representativos que han tenido y aún tienen actualmente una intensa y dilatada historia minera.

Las tipologías de yacimientos son diversas y en todas las ocasiones las mineralizaciones son portadoras de W-Sn y sus metales asociados (Nb, Ta, Be, Bi, etc.), si bien la distribución de estos últimos no es homogénea en las diferentes paragénesis existentes. Como ya se ha descrito y recordamos aquí, la solución sólida de los óxidos de los elementos niobio



y tántalo es lo que se conoce habitualmente como coltán, mineral muy apreciado junto con el litio en este momento.

Los yacimientos más habituales son de naturaleza filoniana bien encajando en filones de cuarzo o asociados a diques aplíticos, pegmatíticos o mixtos. Se trata de filones yacentes en el interior de los cuerpos plutónicos (intrabatolíticos) o situados en el exterior de los mismos, en las rocas encajantes (exobatolíticos). Éstas son siempre metasedimentosareniscosos y pizarrosos mayoritariamente de edades infraordovícicas.

En toda la zona estudiada existen diferentes tipos de mineralizaciones como yacimientos filonianos con wolframita, yacimientos filonianos con scheelita, depósitos filonianos mixtos con wolframita-scheelita, mineralizaciones de wolframita-casiterita, filones con scheelita-wolframita-casiterita, yacimientos ligados a diques cuarzopegmatoides y estructuras filonianas con casiterita.

Un ejemplo representativo de este último tipo de mineralización es la mina de Oropesa. La mineralización, ubicada en Fuente Obejuna (Córdoba) es un yacimiento filoniano de estaño y es considerado como una de las mayores reservas de Europa. En la paragénesis del yacimiento, junto al estaño, están presentes metales críticos como tierras raras y otros metales como el bismuto, antimonio y wolframio. Este proyecto minero, que se espera que se ponga en marcha en una fecha no anterior a 2027, está actualmente en fase de reconfiguración integral de su plan original.

Otro grupo de yacimientos aglutina a todos aquellos que están ligados directamente a los cuerpos ígneos, es decir aquellas mineralizaciones encajadas directamente en cúpulas de plutones no aflorantes.

Se trata de cúpulas aplíticas y/o pegmatíticas o bien de estructuras brechoides ("stockworks") localizados en la corteza de greisen que orlan dichas cúpulas plutónicas. Un caso de este tipo de yacimiento es la futura mina "El Moto" en Abenójar (Ciudad Real) que yuso se ha comentado.

La zona minera se encuentra encajada en grauvacas del Precámbrico que forman el Complejo Esquisto-Grauváquico, las cuales sufrieron un metamorfismo de contacto de alta temperatura por una intrusión granítica no aflorante en superficie. Se trata de un importante yacimiento de wolframio-oro del tipo pórfido asociado a una granodiorita intensamente alterada. El yacimiento contiene wolframio que es el metal principal de interés económico. Secundariamente existe un contenido de oro que será un subproducto potencialmente rentable. Los minerales principales son la Ferberita [wolframato de hierro (II), $Fe(WO)_4$] y Scheelita [wolframato cálcico, $Ca(WO)_4$], presentes en vetas de cuarzo y diseminadas en la roca granítica intrusivas.



Sobre las posibilidades mineras de todo el Noroeste y Oeste peninsular se ha hecho una revisión completa en los anteriores informes Corell basándose en el trabajo de Fadon, et al (2020)[52] en él se realiza una síntesis muy completa del Cinturón Ibérico. Nos remitimos a esa información ya recogida en los anteriores informes.

Por otro lado, se debe señalar que en muchas de estas minas inactivas se observan masas de escombros abandonadas, a veces de importante volumen donde, a día de hoy, se podrían explotar minerales de interés que, en su día, se rechazaron pues las menas buscadas eran los minerales de Wolframio y Estaño. Así mismo, nuestras minas en activo más importantes se sitúan en esta zona junto con las existente en la faja pirítica de las provincias de Huelva y Sevilla.

5.4. La actividad minera y mineralizaciones en las Cordilleras Béticas

5.4.1. La minería en Andalucía Meridional y Oriental

La minería en las Cordilleras Béticas se ha centrado históricamente en los minerales de plomo, plata, cobre y hierro, con una intensa explotación desde la antigüedad. Estos minerales se encuentran en diferentes zonas de la cordillera, como la Sierra Almagrera y las Alpujarras granadinas. Durante el siglo XIX y el siglo XX, la actividad minera transformó el paisaje de muchas zonas como, por ejemplo, la Sierra Almagrera, que se llenó de fundiciones y se

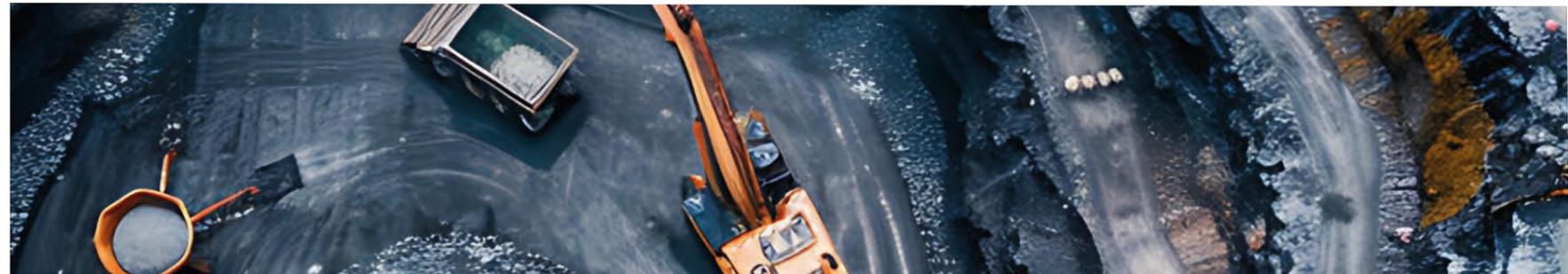
conectó con el ferrocarril minero hasta el puerto de Almería. A finales del siglo XIX, el agotamiento de los mejores yacimientos y la falta de tecnología llevaron a un periodo de declive.

Como en el caso del Cinturón Ibérico del W-Sn, son muchas las minas inactivas y las escombreras existentes en numerosas zonas de las Cordilleras Béticas. Nuevamente es de gran importancia un estudio detallado de las paragénesis de las minas abandonadas pues podrían contener, en sus gangas, minerales estratégicos y críticos. El potencial de aprovechamiento minero vuelve a ser aquí importante.

De acuerdo con [53], las Cordilleras Béticas se caracterizan por la abundancia de depósitos e indicios minerales ligados a dos épocas metalogénicas principales: la primera, iniciada en el Paleozoico superior, alcanza su apogeo durante el Triásico, mientras que la segunda, se desarrolla a partir del Mioceno medio. Sánchez-Valverde et al.[53] esquematizan los tipos de mineralizaciones metálicas presentes en las diversas unidades de las Cordilleras Béticas, en Andalucía. En base al estudio realizado sobre más de 1.600 indicios mineros, se han delimitado las zonas de potencialidad minera.

Las Cordilleras Béticas contienen numerosas y variadas mineralizaciones que le confieren un indudable interés y potencialidad minera. Da fe de esta importancia minera la existencia de grandes explotaciones que, en algún caso, han estado activas hasta finales del S. XX. (por ejemplo: minas de plomo y fluorita de Lújar) y otras en proceso de reapertura inminente (p.ej.: minas de hierro de Alquife o del Marquesado).

Tomando como base la descripción de las mineralizaciones en la Cordillera Bética (Fernández-Leyva



et al., 2011a; Sánchez Valverde et al., 2011[53]) y la tipología y aspectos genéticos de las mismas (Fernández Leyva et al., 2011b), destacan dos épocas metalogénicas principales. La primera, se inicia en el Paleozoico Superior y se desarrolla en mayor medida durante el Triásico: ha generado mineralizaciones estrato ligadas sinsedimentarias y sindiagenéticas alojadas en series carbonatadas (predominantemente) y metapelíticas, sobre todo de las Zonas Internas y en menor medida de las Zonas Externas. La segunda se desarrolla a partir del Terciario Superior (Mioceno Medio) y genera también mineralizaciones estrato ligadas sinsedimentarias, aunque es más característica la actuación de procesos epigenéticos y epitermales que proporcionan nuevas mineralizaciones filonianas, ya sea en materiales neógeno-cuaternarios y en relación con el vulcanismo neógeno, ya sea en series más antiguas por concentración de elementos dispersos o removilización de mineralizaciones de la primera época. En esta segunda etapa también aparecen mineralizaciones tipo placer en relación con depósitos detríticos pliocuaternarios y con aluviales actuales.



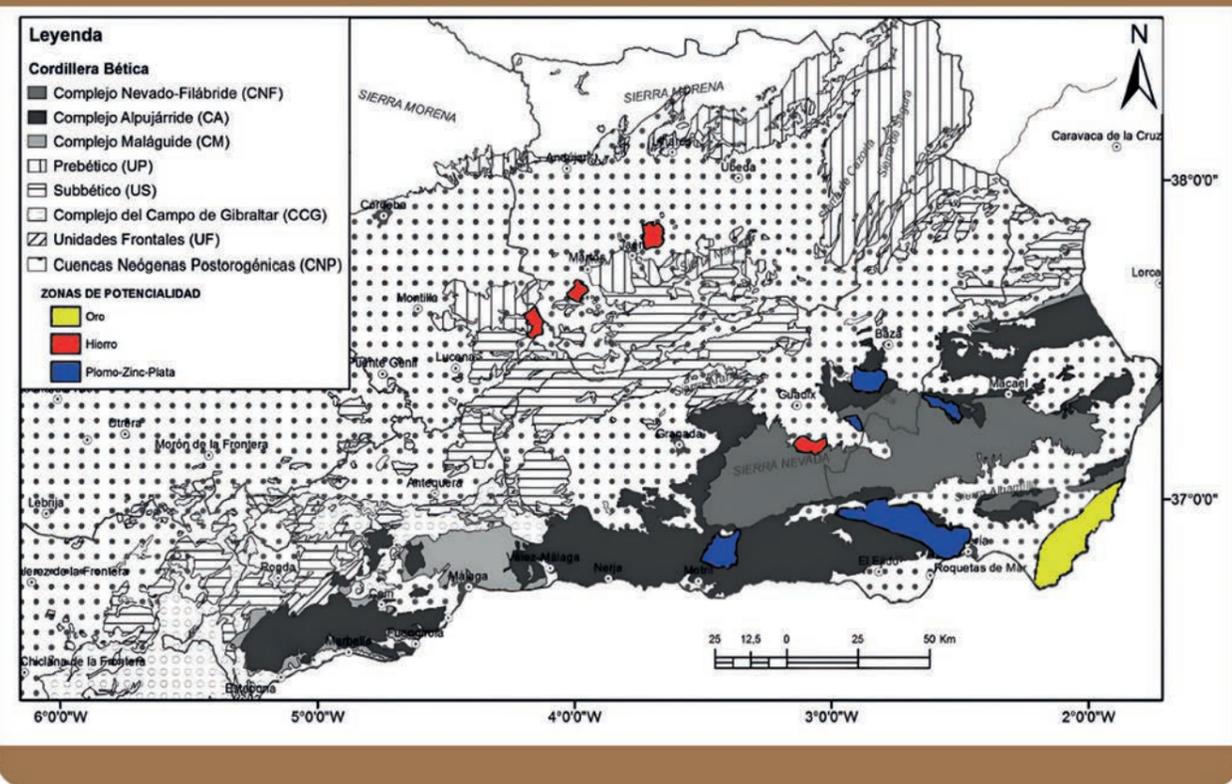
En las series metapelíticas paleozoicas y permotriásicas hay mineralizaciones estratiformes de hierro, más relevantes en el Complejo Nevado Filábride (CNF) que en el Complejo Alpujárride (CA). Parte del hierro puede haber sido aportado por procesos vulcano-sedimentarios. También los depósitos de sulfuros de metales base, del tipo capas rojas, son relativamente importantes en materiales permotriásicos del Complejo Maláguide (CM), en tanto que lo son menos en CNF y CA. Los depósitos de hierro más importantes se localizan, no obstante, en la base de los mármoles triásicos del CNF; pero también están representados en el CA, en el tránsito de la formación metapelítica a la carbonatada, y en el seno de esta última. La formación de las mineralizaciones de hierro parece ser el resultado tanto de procesos exhalativos-sedimentarios como de reemplazamiento metasomático a partir de fluidos hidrotermales crustales calientes y enriquecidos en hierro originalmente que circularon a lo largo de fallas extensionales.

Es en el CA donde alcanzan su máximo desarrollo las formaciones carbonatadas triásicas, en las que se encuentran mineralizaciones de flúor-plomo-(zinc-bario) de tipo alpino y otras de cobre, a veces con cobalto, níquel y mercurio. Se trata de mineralizaciones estratiformes de paragénesis simple (galena, fluorita, esfalerita y barita). Los materiales del Triásico de las Zonas Externas, incluyen, junto a depósitos detríticos, evaporíticos y carbonatados, episodios volcánicos/subvolcánicos, que dan lugar a mineralizaciones estrato ligadas de hierro (relacionadas en parte con estos episodios de vulcanismo), de cobre y de plomo-flúor. Apenas hay actividad metalogénica entre el Jurásico y el Mioceno Inferior. A partir del Mioceno Medio, los procesos epigenéticos y epitermales son los que toman el relevo a los sedimentarios y diagenéticos, favorecidos por la tectónica distensiva reciente.

Se generan nuevas mineralizaciones epitermales en materiales diversos de diferentes unidades y edades y que son producto de la acción de soluciones hidrotermales de baja temperatura, ligadas o no a la actividad volcánica. Es el caso de las mineralizaciones filonianas de hierro con sulfuros de cobre, plomo, mercurio, antimonio y bismuto, plata y oro, que son particularmente numerosas en el CNF. También se encuentran filones con minerales de cobre en materiales del CA y del CM. En muchas de las mineralizaciones estratoligadas en rocas carbonatadas alpujárrides o nevadofilábrides es más reconocible la huella de los procesos epigenéticos que la de los singenéticos, e incluso algunos depósitos son exclusivamente epigenéticos.

En la zona del Cabo de Gata principalmente, y derivado de la importante actividad volcánica, se forman un importante cortejo de yacimientos epiter-

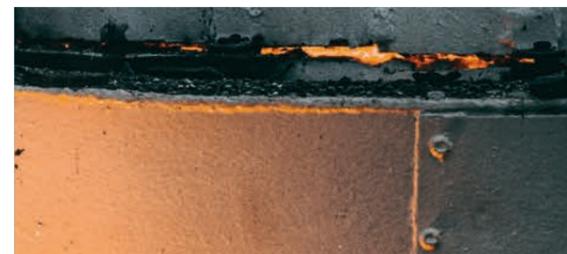
Principales Unidades de las Cordilleras Béticas en Andalucía y Zonas de potencialidad minera



males de alunita, oro, filonianos de plomo-zinc-cobre (antimonio-manganeso), estratoligados de hierro-plomo-(plata) y otros muchos de interés industrial. En el Cuaternario se acumularon algunas concentraciones locales de oro (placeros) en depósitos aluviales.

En el momento actual, dada la importancia de los elementos metálicos estratégicos y críticos, se han realizado estudios previos sobre más de 1.600 indicios mineros en las Cordilleras Béticas. Como se observa en la Figura 28 es posible delimitar zonas de potencialidad minera que deberán ser estudiadas en profundidad desde el punto de vista geológico y minero. Estas áreas grosso modo corresponden con metalotectos litológicos y estructurales, y se consideran zonas a priori favorables para la existencia de

Figura 28: Principales Unidades de las Cordilleras Béticas en Andalucía y Zonas de potencialidad minera. Fuente: Modificado de [54]



yacimientos económicamente explotables de cada una de las sustancias consideradas.

Para la determinación de estas zonas se ha tenido en cuenta no sólo la densidad de yacimientos y/o indicios minerales por sustancias relacionadas con una determinada litología, sino también otras consideraciones (orientación de las mineralizaciones, grado de fracturación, factores económicos, etc.).

Los recursos que podrían presentar más importancia y que se han destacado en este apartado son el hierro, el plomo-zinc (plata) y el oro. Para el hierro las dos áreas de mayor interés se localizan en la comarca del Marquesado, en Granada y en la zona de Las Piletas, en Fiñana (Almería), pertenecientes al CNF. Otra zona de interés para el hierro es la zona de Serón-Vacares, en la Sierra de los Filabres, también en el CNF.

También merece la pena mencionar la banda comprendida entre Priego de Córdoba (Córdoba) y Jaén, en la que se localizan numerosos yacimientos e indicios de interés, en olistolitos aislados dentro de la Unidad Olistostrómica de las Cuencas Neógenas postorogénicas (CNP).

En lo referente a la paragénesis plomo-zinc, destaca la Sierra de Lújar, en explotación intermitente tanto para plomo como para fluorita. También presentan interés los yacimientos de la Sierra de Gádor y de la Sierra de Baza, todos ellos dentro del CA, además de los sulfuros de Pb-Zn de la zona de Cabo de Gata.

En lo que respecta al oro, destacan los yacimientos de la caldera de Rodalquilar en el campo volcánico del Cabo de Gata (CNP), que aparece junto con otras muchas mineralizaciones de sulfuros de plomo-zinc (plata cobre-oro), manganeso, antimonio.

En resumen, las mineralizaciones de hierro son,

junto con las de plomo-zinc, las más abundantes y las que han tenido mayor importancia económica dentro las Cordilleras Béticas, en especial en las Zonas Internas, y dentro de estas, en los Complejos Nevado Filábride (depósitos de hierro en el distrito minero del Marquesado y en el de Serón Vacares) y Alpujárride (yacimientos de sulfuros de flúor-(plomo-zinc-bario) de la Sierra de Gádor, Sierra de Lújar y Sierra de Baza.

En las Zonas Externas hay que destacar como zonas con gran potencial minero las mineralizaciones de hierro relacionadas con el Triásico subbético, localizadas principalmente al suroeste de Jaén y sur de Córdoba. En las Cuencas Neógenas destaca la región del Cabo de Gata, al sureste de Almería, con importantes mineralizaciones metálicas de oro (de importante interés económico) y sulfuros de plomo-zinc (plata-cobre-oro). A pesar del declive de la minería metálica en Andalucía, las conclusiones obtenidas permiten esperar que un estudio detallado de las paragénesis minerales de los distintos yacimientos permita encontrar indicios de minerales estratégicos y críticos no considerados en el pasado.

5.4.1.1. La mina de Montevives (Granada)

No se puede terminar la descripción de indicios minerales de Andalucía sin hacer una mención especial a la mina de Estroncio del cerro de Montevives. Situada en Granada, constituye la mayor reserva de Europa de este elemento que es crítico según la clasificación de la Unión Europea recogida como Tabla 2 de este informe. El yacimiento (municipios de Las Gabias, La Malahá y Alhendín, Granada) es del mineral denominado Celestina (sulfato de estroncio, Sr SO₄) que yace en estratos de calizas.

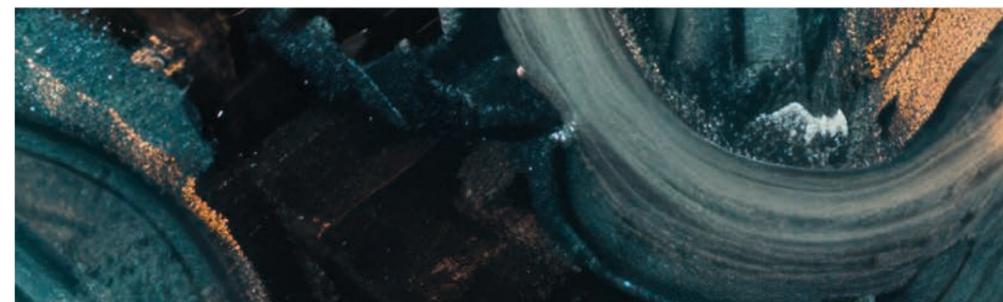
La mineralización es de carácter estratiforme y relacionada con yesos (sulfato de calcio, Ca SO₄), se



Mina de Montevives

Capaz de cubrir las necesidades de la Unión Europea de Estroncio (Sr)

100%



da en una banda discontinua al sur de la localidad de Escúzar. La celestina de este yacimiento es un mineral de estroncio de gran pureza, explotado a cielo abierto y procesado localmente para obtener un concentrado de alta calidad que se destina a la fabricación de carbonato de estroncio (Sr CO₃). La mineralización se atribuye a un proceso que sustituyó metasomáticamente las rocas carbonatadas, con origen hidrotermal. La mina de Montevives produce el 100% de las necesidades de la Unión Europea de este elemento crítico (Estroncio, Sr).

5.4.2. La minería en la región de Murcia

En lo referente a la Región de Murcia, los orígenes de la minería de esta región están vinculados a la minería metálica, que se ubica, en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión, Cerro de San Cristóbal (Mazarrón) y Cehegín explotando yacimientos de plomo, plata, cinc, hierro y azufre desde la época romana hasta finales del siglo XIX. En este momento comienza la expansión minera más importante de la zona, puesto que las explotaciones no sólo se centran en el área minera de Cartagena-La Unión y Mazarrón, sino que se extienden a Águilas, Lorca, Cehegín y zona del NE. A principios del siglo XX se vive la época de mayor esplendor. La actividad minera

estuvo en declive durante años pero, recientemente, las actividades mineras se han reactivado gracias al descubrimiento de filones de plata y las nuevas demandas del mercado mundial.

Dado el pasado minero de la región de Murcia y como ya se ha señalado para otras áreas, es necesaria una revisión de las paragénesis minerales de las labores abandonadas (minas inactivas y escombreras) con objeto de buscar en ellas la presencia de minerales estratégicos y críticos que, en la actualidad, podrían revalorizar la actividad minera.

En cuanto a la minería metálica de la región de Murcia, se pueden distinguir varios distritos mineros de interés que se describen a continuación.

5.4.2.1. Sierra de Cartagena - La Unión

Constituyó uno de los distritos mineros más importantes de España y el más representativo de la Región de Murcia por sus yacimientos de Zn-Fe-Pb (asociación BPG, blenda o esfalerita, pirita, galena), de especial interés minero. Entre la larga serie de minerales identificados se encuentran, además de las menas metálicas beneficiables (hay que señalar que industrialmente se han beneficiado a lo largo de las diversas épocas menas de Fe, Pb, Zn, Ag, Mn, Ba, Sn y Cu), otras muchas especies mineralógicas.

Geológicamente, la Sierra se encuentra enclavada en materiales del complejo Nevado Filábride (CNF) y Alpujárride (CA) de la Zona Bética y en terrenos neógenos y cuaternarios. Ligadas a ellos hay una serie de rocas volcánicas y subvolcánicas. Todo el edificio estratigráfico se ve afectado por dos importantes sistemas de fracturas; el primero de dirección NNW-SSE, y el segundo de dirección NNE-SSW que han compartimentado la sierra. Las mineralizaciones de este distrito minero, como el famoso "manto de silicatos" o "manto de los azules" con su minerali-



Murcia +200 MT

La cuantía de los depósitos minerales en sus diversos tipos en estado bruto.



zación de greenalita, constituyen unos ejemplos prácticamente únicos en el mundo. La greenalita es un silicato de hierro, perteneciente al grupo de la caolinita-serpentina, con una composición química $[(Fe, Fe)_{2-3} Si_2 O_5 (OH)_4]$.

Hay que mencionar también la extraordinaria variedad de las estructuras filonianas, y en especial el filón de "La Raja", en el Cabezo Rajao, con sus grandes dimensiones y su riqueza en plata. Otros elementos clave de la sierra son las monteras (crestones de hierro, gossan o chapeau de fer), resultantes de la alteración de primitivas masas de sulfuros; las mineralizaciones de estaño asociadas a domos subvolcánicos y las mineralizaciones de manganeso (Cabezo de San Ginés de la Jara, entre otras).

La zona minera, repartida entre los municipios de Cartagena y La Unión, ocupa una superficie rectangular, alargada en dirección Noreste-Suroeste, de unos 50 km², encerrando una de las mayores acumulaciones metálicas de la Península Ibérica.

Según algunas estimaciones, la cuantía original de estos depósitos minerales en sus diversos tipos,

estratiformes o mantos, filones, diseminaciones y stockworks, monteras o gossans, superaría los 200 millones de toneladas de mineral bruto, con un contenido en metales del orden de 64 millones de toneladas (Mt.) de Fe, 3,2 Mt. de Pb, 3,8 Mt. de Zn, y 4.000 toneladas de Ag, cifras que destacan a esta zona sobre otros distritos mineros.

5.4.2.2. Área minera de Mazarrón

Las mineralizaciones en este distrito son principalmente de tipo filoniano, con sulfuros metálicos formando, al igual que en La Unión-Cartagena, la asociación: esfalerita, pirita, galena (asociación BPG), y marcasita. Como especies minerales menos abundantes hay que citar también: calcopirita, arsenopirita, cobres grises, estibina y berthierita ($FeSb_2S_4$).

La ganga que acompaña a las menas metálicas en los filones está formada por calcita, siderita, barita, dolomita, cuarzo y yeso. Entre los minerales secundarios se encuentran cerusita, anglesita, smithsonita, malaquita y azurita. En superficie la mineralización aparece en forma de óxidos, hidróxidos y sulfatos.

Geológicamente, es muy semejante a la Sierra de Cartagena-La Unión. Afloran materiales del Nevado Filábride, Alpujárride, Maláguide, un Neógeno sedimentario y rocas volcánicas inyectadas en todo el conjunto. El área se ve afectada por dos sistemas de fracturas: uno principal NNW-SSE y otro secundario WNW-ESE, gracias a los cuales se han inyectado las rocas volcánicas calcoalcalinas de la zona.

Los yacimientos minerales de Mazarrón aparecen asociados a estructuras subvolcánicas traquiandesíticas que han sufrido una fuerte alteración hidrotermal a finales del Mioceno, principios del Plioceno. Este es el modelo que se repite en las diversas zonas mineras



de este distrito: Coto Fortuna, Pedreras Viejas, Cabezo San Cristóbal y Cabezo de Los Perules.

Los filones, bien individualizados en profundidad, hacia la superficie se ramifican en diferentes direcciones, para finalmente resolverse en una densa trama de vetas entrecruzadas, constituyendo "stockworks".

El Cabezo de San Cristóbal es un ejemplo insuperable de esta morfología mineral. Los ejemplos más importantes de estructuras filonianas en la zona son el famoso filón Prodigio y el filón San José, ambos en el citado Cabezo de San Cristóbal.

Hay que destacar, aparte de las mineralizaciones de menas metálicas, la alunitización que afecta a la roca volcánica. La alunita, sulfato aluminico potásico, se forma como resultado de la circulación de aguas termales ácidas a través de las traquiandesitas, que provoca la reacción entre el sulfato de hierro disuelto y los feldespatos potásicos de la roca ígnea. La alunita es la base de la minería de los alumbres.

En el cabezo de San Cristóbal destacan las balsas de estériles o depósitos de residuos del lavado de los minerales, con sus abigarrados colores, debidos a la alteración química de los minerales. Mineralógicamente son de enorme interés por la gran variedad y rareza de especies minerales que allí aparecen por alteración de los sulfuros. Un estudio de las paragénesis podría dar lugar a algún descubrimiento de interés desde el punto de vista de los minerales estratégicos y críticos.

5.4.2.3. Mineralización de Águilas

Al E y W de la ciudad se explotaron por minería subterránea mineralizaciones BPG similares a las de Cartagena y Mazarrón aunque de menor relevancia. Destacan las mineralizaciones filonianas en esquis-



tos y cuarcitas paleozoicas del Alpujárride del Lomo de Bas y las de tipo stockwork en materiales similares de la Sierra del Aguilón.

5.4.2.4. Distrito minero de Cehegín

El distrito (coto) minero de Cehegín, situado al W de dicha localidad, tuvo gran importancia por sus yacimientos de hierro (magnetita), explotados en minería subterránea y a cielo abierto. Geológicamente, la zona está en materiales del Trías medio, asociada a rocas subvolcánicas (ofitas).

En la actualidad todas las explotaciones mineras en esta área, como Mina María, Mina Edison, Coloso San Antonio y Teresa Panza, se han paralizado. Una revisión de sus paragénesis se hace imprescindible.

5.4.2.5. Otras áreas de interés

En este grupo se pueden incluir, las zonas que aun no teniendo la importancia y el peso específico de las descritas anteriormente, sí tienen sus características propias. Así, por ejemplo, se conocen las explotaciones de plomo-hierro de la Sierra de Carrasco y, que se encuentran en materiales carbonatados alpujárrides ligados a metabasitas (ofitas) y que se explotaron por minería subterránea.

Las de cobre aurífero en las proximidades de Santomera, también enclavadas en contacto de materiales pelíticos con carbonatados alpujárrides y que se explotaron por minería subterránea.



Las de hierro (hematites) y esparraguina o "crisolita de España", (variedad de apatito) en relación con rellenos filonianos en las "jumillitas" (rocas ultrapotásicas) de La Celia (Jumilla), encajadas en rocas carbonatadas del Prebético.

Y, por último, las explotaciones subterráneas de magnetita del Cabezo Gordo (Torre Pacheco) en materiales del Nevado Filábride.

5.5. Conclusiones de la descripción geológica y minera

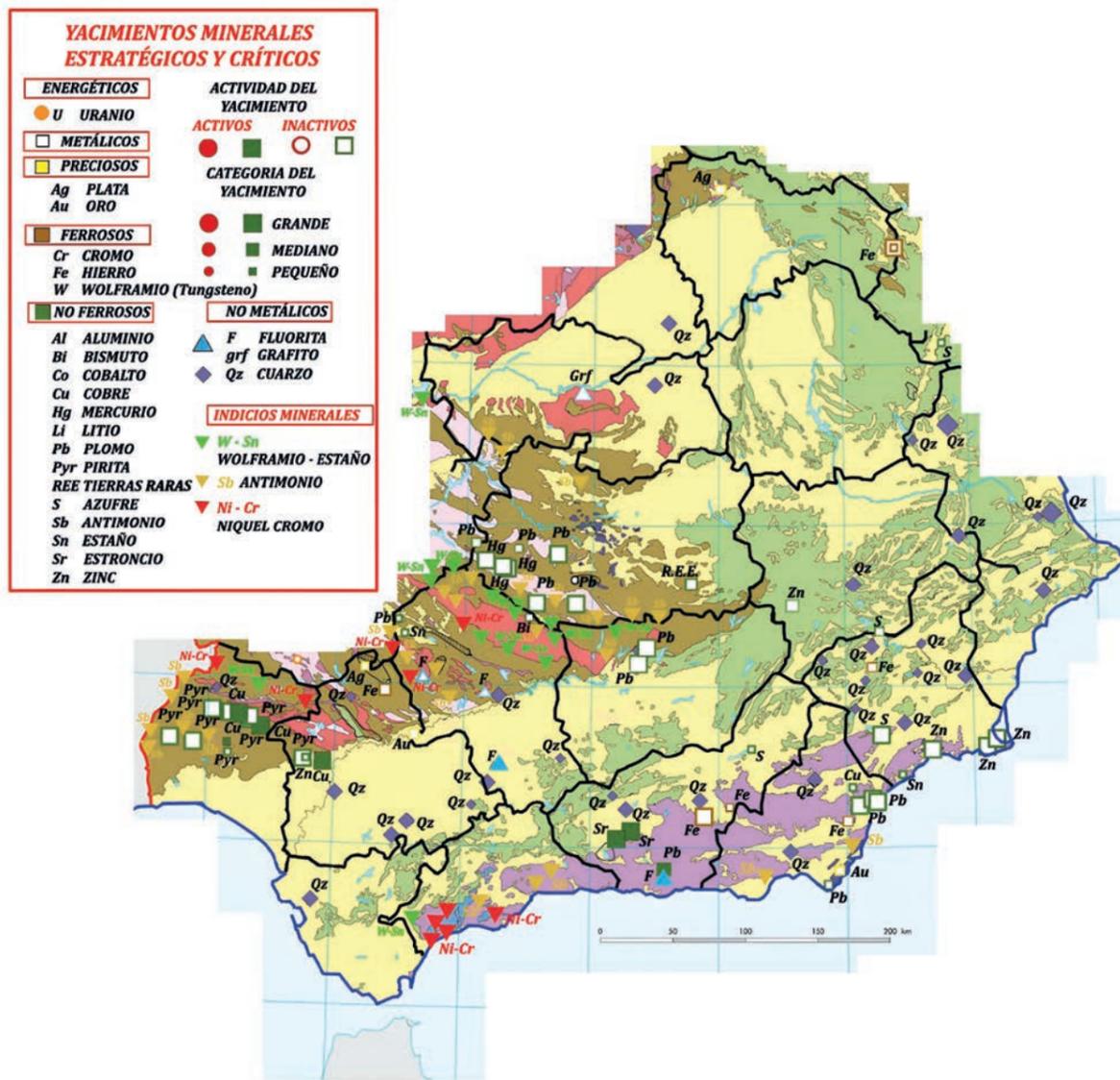
En los dos informes Corell anteriores se ha descrito con amplitud el cinturón ibérico del W-Sn como una provincia metalogenética de gran interés (Figura 27). Dentro de la provincia se han observado numerosos indicios de mineralizaciones metálicas de todo tipo.

En este tercer informe Corell, una parte del Cinturón ibérico del W y Sn aflora en las provincias de Toledo y Ciudad Real (Castilla - La Mancha) y en el Norte de Córdoba y Jaén donde existe una tradición minera muy importante.

Se ha resaltado también la minería de la zona Sudportuguesa en general y de la Faja Pirítica en particular que se extiende por la provincia de Huelva y mitad norte de la provincia de Sevilla con una minería muy importante tanto activa como pasada.

Por último, se han descrito varios distritos mineros tanto de Andalucía meridional y oriental como de la Región de Murcia en el ámbito de las Cordilleras Béticas que es un dominio geológico muy diferente del resto de nuestro país y que presenta una intensa

Distribución geográfica de minas, minas abandonadas e indicios minerales



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS / FUNDACIÓN CORELL / FUNDACIÓN REPSOL

Figura 29: Distribución geográfica de minas, minas abandonadas e indicios minerales de distintos elementos estratégicos y críticos en Castilla - La Mancha, Andalucía y Murcia. Fuente: [55], [62].



actividad fundamentalmente pasada sobre numerosos minerales de interés.

De todo lo anterior, se deduce la gran importancia de todas las zonas descritas desde el punto de vista de la Materias Primas Estratégicas/críticas definidas por la Unión Europea. En resumen, en el Oeste, centro y sur de la Península ibérica se cuentan con varios miles de indicios de estos minerales y elementos denominados hoy en día M.P.E./c., pero el grado de conocimiento de los mismos es bajo o muy bajo, salvo en las minas que han tenido y tienen historia minera. En éstas se conocen las cantidades residuales existentes de los minerales y metales beneficiados (principalmente Estaño y Wolframio, cobre, plata, plomo, etc.) pero no los recursos existentes sobre aquellos minerales y metales que, presentes en sus gangas, en su día, fueron considerados como sin interés. Esta por investigar en detalle este aspecto mineralógico que es de gran interés actualmente.

A continuación, se recoge en una única figura (Figura 29) un resumen de la distribución de diferentes indicios minerales, minas activas y minas abandonadas dentro de la zona estudiada. Es un plano similar a los ya expuestos en los anteriores informes Corell. Como en los casos anteriores, hemos optado por superponer los indicios minerales de los diferentes elementos estudiados sobre una base geológica constituida por el Mapa Geológico de España y Portugal (escala 1:1.000.000) del Instituto Geológico y Minero de España. Esto permite entender mejor la situación de los indicios respecto a las rocas del sustrato y su posible origen genético.

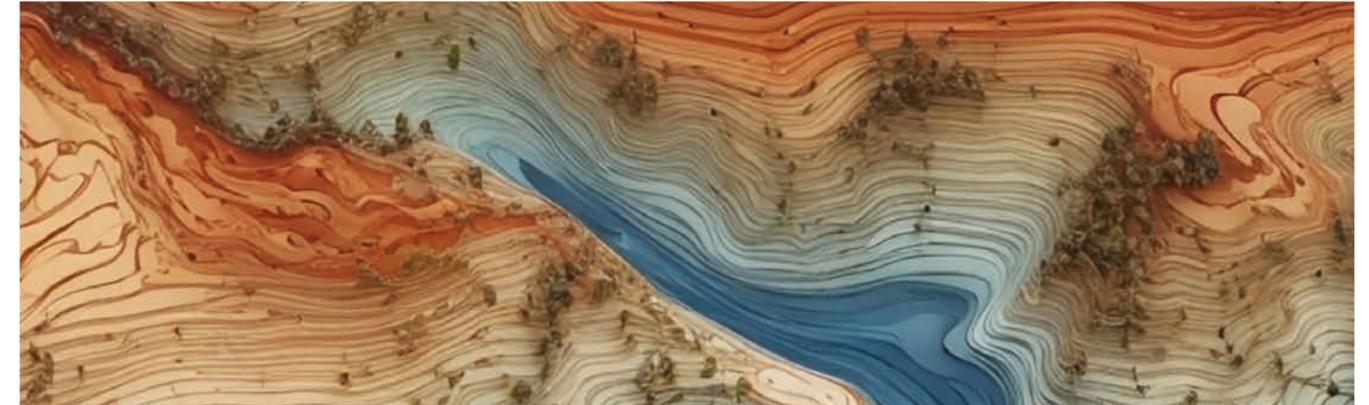
Capítulo



Infraestructura geológica en España

6.1. Mapas geológicos y metalogenéticos

Acerca de la infraestructura geológica y minera de nuestro país se habló en nuestros anteriores informes Corell por lo que no se va a incidir aquí en



este tema. El lector puede hacerse una idea precisa de la calidad de los datos de partida en el esfuerzo por desarrollar en España la minería de minerales estratégicos y críticos revisando aquellos informes.

España es, junto con Portugal, uno de los países del mundo que atesora un mayor conocimiento geológico básico de su territorio, conseguido a lo largo de más de 50 años de trabajo cartográfico intensivo durante la segunda mitad del siglo XX, aunque los primeros estudios y mapas geológicos del país datan de mediados del siglo XIX y, desde entonces, del esfuerzo de investigación geológica se ha mantenido.

Existe un último y moderno Mapa Geológico Nacional, escala 1:50.000 (denominado en su día como Proyecto Magna) que recoge de una forma muy precisa todos los terrenos que conforman la geología nacional. Se trata de unas 1.100 hojas que contienen toda la información geológica, estratigráfica, hidrogeológica, geotécnica, etc. reproducible a esa escala y que sirve de base para multitud de estudios de todo tipo basados en las características del terreno. Tan importante como la imagen cartográfica es la memoria descriptiva de cada hoja que contiene numerosos datos obtenidos en el campo y a partir de muestras guardadas en el Instituto Geológico y

Minero de España que es la Institución pública encargada de realizar este tipo de trabajos. A partir de este trabajo se ha editado el Mapa Geológico Nacional de España y Portugal 1:1.000.000.

A partir de la información geológica contenida en estos mapas se ha realizado también, por el Instituto Geológico y Minero de España, un detallado inventario de los indicios minerales y minas activas y cerradas presentes en nuestra geografía. De ese trabajo surge el Mapa Metalogenético de España 1:200.000 que incluye todos los indicios minerales registrados hasta la fecha en nuestro país junto con una breve descripción de los mismos. Este mapa es básico para los intereses de la industria minera y para el desarrollo de la exploración geológica y la minería de M.P.E./c.

Como el anterior, el mapa se divide en una serie de hojas cargadas de datos técnicos de tipo geológico y minero. Mediante símbolos, se recoge la información de los diferentes indicios (tamaño, composición, estructura, origen genético, etc.).

6.2. El atlas geoquímico de España

6.2.1. Datos de interés

En nuestro segundo informe Corell se incluyó un nuevo estudio general al que no tuvimos acceso en el informe de 2023. Este estudio es el ATLAS GEOQUÍMICO DE ESPAÑA. Editado por el Instituto Geológico y Minero de España y el Ministerio de Economía y Hacienda, este Atlas Nacional es una herramienta



ATLAS GEOQUÍMICO DE ESPAÑA

600
páginas

63
elementos inorgánicos

36.000
muestras de sedimentos

de primer orden para conocer la distribución en nuestro suelo de los minerales estratégicos y críticos y orientar la investigación geológica y minera de los mismos.

Su edición data de 2013. Se trata de un texto de 600 páginas que resume los trabajos realizados durante cinco años de investigación de campo y laboratorio. La inversión superó los cinco millones de euros y, como se ha dicho, tiene como objetivo conocer los rasgos geoquímicos de los materiales superficiales del territorio español.

En concreto, se trabajó en la preparación de una base de datos geoquímicos de materiales superficiales del territorio español que, de forma esencialmente cartográfica, plasma las distribuciones espaciales de 63 elementos inorgánicos en más de 36.000 muestras de sedimentos cuaternarios de corrientes fluviales, suelos y depósitos de llanuras de inundación. El Atlas Geoquímico de España permite comprender y abordar la investigación geológica y minera de sustancias de interés, afrontar problemas acerca del medioambiente y conocer los valores de fondo geológico de las diferentes sustancias como paso previo a valorar cómo afecta la prospección de recursos minerales y la explotación minera a la agricultura, a la ganadería, a las aguas superficiales y freáticas, etc.

Hay que señalar que la utilización de la geoquímica como primera estación de la investigación geológica de sustancias minerales no es nueva. Las legiones romanas en su avance por el territorio empleaban este método para establecer zonas de interés minero en Oro, Plata, Cobre, Estaño y otros minerales de interés para el imperio. De hecho, con las legiones y encuadrados en ellas viajaba un personaje muy respetado conocido como "prospec-

Elementos estratégicos/críticos

Antimonio	Arsénico	Bauxita
Barita	Berilio	Bismuto
Boro	Cobalto	Carbón de coque
Cobre	Feldespatos	Fluorita
Galio	Germanio	Hafnio
Helio	Tierras raras pesadas	Tierras raras ligeras
Litio	Magnesio	Manganeso
Grafito natural	Níquel (calidad de batería)	Niobio
Fosforita	Fósforo	Metales grupo platino
Escandio	Silicio metálico	Estroncio
Tántalo	Metal de titanio	Wolframio
Vanadio		

tor" que hacía geoquímica de metales y minerales pesados en ríos y arroyos.

En este tercer informe Corell se han podido extraer datos para 21 de los elementos citados como materias primas estratégicas y críticas en las tablas de la Comisión Europea (Tabla 2). En el Anexo 1 se recogen planos geoquímicos generales de España para los elementos que se recogen en la Tabla 3.

En la Tabla 3 se han marcado con un color gris aquellos elementos de los que no se han podido obtener datos geoquímicos. Entre ellos destacan las Tierras Raras y los metales del grupo del platino.

Como ejemplo de lo recogido en el Anexo 1, se incluye la figura 30 que es la distribución geoquímica del elemento Antimonio. Esta figura puede compararse con la Figura 29 que representa la distribución de indicios de minerales de Antimonio en el Oeste y Sur peninsular.

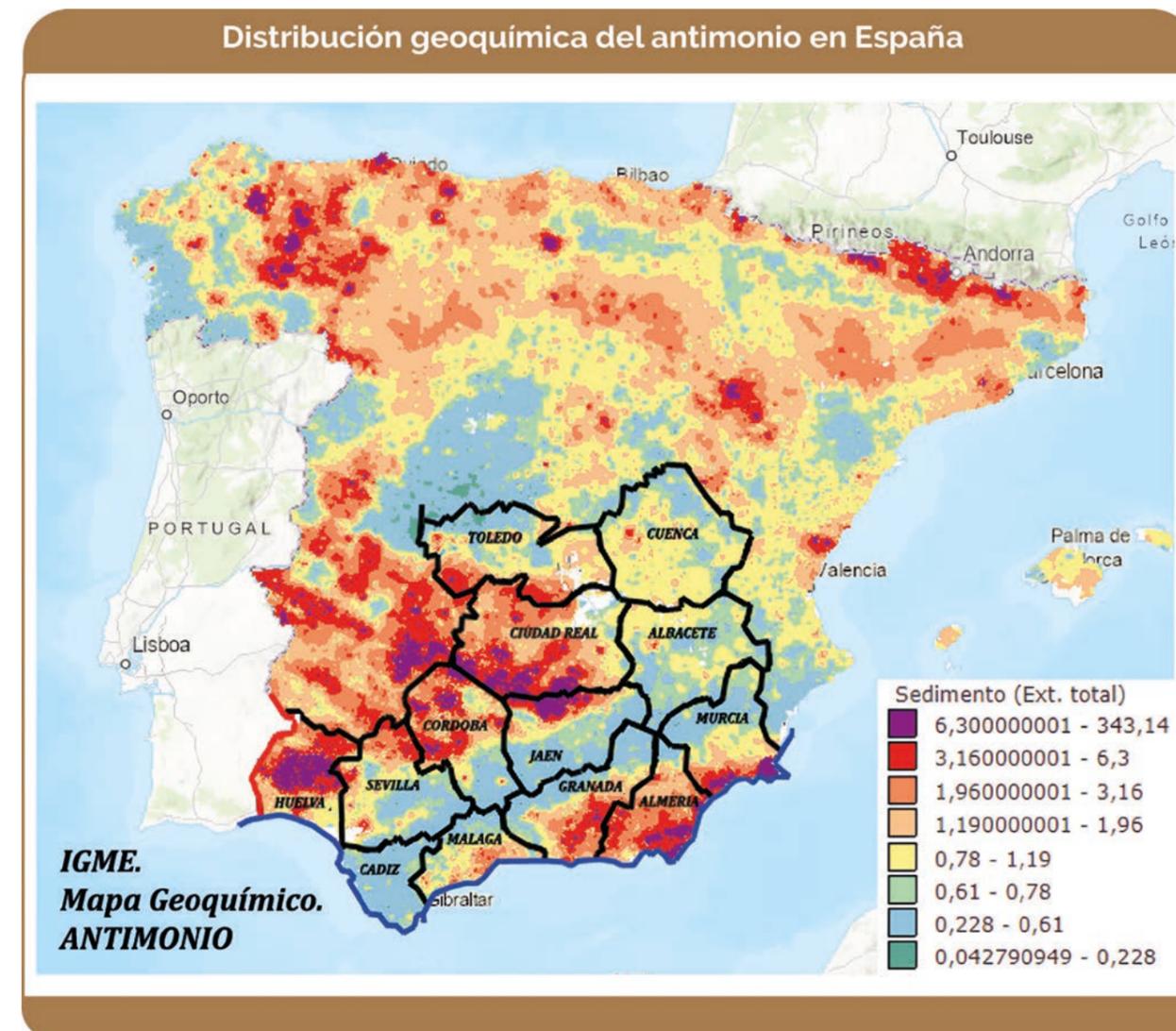
El carbón de coque solo se podría extraer en España en algunas partes de los yacimientos de

Tabla 3: Elementos estratégicos/críticos considerados por la comisión europea de los que existen datos en el atlas geoquímico de España.

la Cuenca Carbonífera Central y de la Cuenca del Narcea, ambas en Asturias. El grafito, por otro lado, es prácticamente inexistente en nuestro suelo.

La Bauxita, la Fluorita, el Feldespato y la Fosforita no son minerales sino rocas formadas por diversos minerales por lo que no se tratan como elementos geoquímicos y no se consideran, por tanto, en esta base de datos. No se encuentran en la zona estudiada. Existe una "provincia metalogenética" relacionada con la fluorita en Asturias donde se emplazan algunas minas activas pero no en el Occidente y Sur del país.

Figura 30: Distribución geoquímica del antimonio en España. Compárese con la Figura 24. Fuente:[39].



El fósforo es un elemento geoquímico ampliamente distribuido en pequeñas cantidades por todo el territorio nacional como demuestra el plano geoquímico de este elemento.

De la observación de los mapas de concentración geoquímica de los diferentes elementos estudiados (Anexo I) puede deducirse conclusiones de mucho interés desde el punto de vista de la exploración geológica y minera. Así:

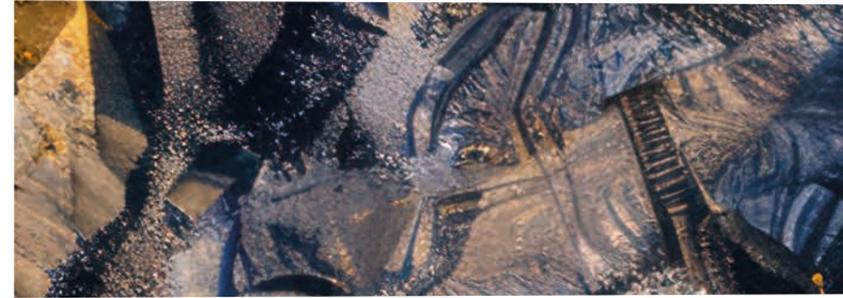
- A. Existen algunos elementos cuya presencia en la zona estudiada es mínima o nula. Tales son el Magnesio y el Germanio. Estos elementos están ligados a las partes mesozoicas y terciarias del oriente ibérico y no a las zonas del zócalo hercínico. Es curioso comprobar cómo existen importantes anomalías geoquímicas de Germanio en las cordilleras costero-catalanas que representan un afloramiento aislado de rocas del zócalo paleozoico pero cuyas características geoquímicas son muy diferentes por razones que se deberán investigar.
- B. Existen anomalías geoquímicas relacionadas, dentro del macizo hercínico ibérico, con los afloramientos de rocas graníticas, muy extensos en todo el oeste peninsular (zonas geológicas Centro Ibérica, Ossa Morena y Sudportuguesa; Figura 16). Estas rocas graníticas pueden ser pre o sintectónicas y existen también algunos plutones de edad post tectónica. En los bordes de estos afloramientos de rocas plutónicas, en las rocas pelíticas y areniscas encajantes, o en los cortejos de filones pegmatíticos e hidrotermales asociados a estos cuerpos intrusivos se observan importantes anomalías geoquímicas de Antimonio, Arsénico, Bario,



Bismuto, Tántalo, Niobio y Wolframio. El wolframio junto con el Estaño son los principales elementos presentes en la minería del Oeste peninsular como ya se recogió en los informes Corell 1 y 2 así como en capítulos anteriores del presente informe.

- C. Algunos de estos elementos están presentes en afloramientos de las zonas internas de las Cordilleras Béticas como es el caso del Antimonio, Arsénico, Cobalto y Niquel.
- D. El Berilio solo está presente en los afloramientos del granito de Los Pedroches y las zonas volcánicas de Castilla - La Mancha.
- E. Otras anomalías geoquímicas no tienen una relación clara con los afloramientos de rocas plutónicas y parecen estar relacionadas más bien con filones pegmatíticos dispersos en los materiales metasedimentarios encajantes que han sufrido, además, una intensa deformación metamórfica regional de alto grado muy propia, por otra parte, de las zonas internas del Macizo Hercínico. Por estas causas genéticas se producen distribuciones geoquímicas más amplias por el territorio estudiado y los picos de anomalía son menos intensos. Tal es el caso del Cobalto, Escandio, Galio, Hafnio y Litio.
- F. Las anomalías geoquímicas de Cobre y Manganeso están presentes únicamente en el Suroeste de España, en las Zonas de Ossa-Morena y Sudportuguesa (figura 16) correspondientes a las provincias de Huelva y Sevilla y en relación con la faja pirítica y a lo largo de la zona de contacto entre el macizo hercínico y los materiales de cobertera terciaria de la Cuenca del Guadalquivir.

- G. El Boro y el Estroncio tienen una amplia distribución por la cuenca del Guadalquivir y por los materiales calcáreos de las cordilleras Béticas orientales de Andalucía y Murcia.
- H. Las anomalías de Niobio y Tántalo (presentes ambos elementos en la solución sólida coltán, Columbita y Tantalita) no son importantes en la zona estudiada salvo en la zona central de Castilla La Mancha y ligadas, posiblemente, al vulcanismo terciario del Campo de Calatrava. Este extremo deberá ser confirmado con la exploración geológica.
- I. El Níquel, de acuerdo con los datos geoquímicos está presente con anomalías importantes únicamente en las zonas internas de las cordilleras béticas (provincias de Cádiz y Málaga). Sin embargo, en las pequeñas anomalías detectadas en el hercínico existen indicios mineros de interés Figura 23.
- J. El Vanadio está muy disperso en nuestro país sin grandes anomalías geoquímicas excepto una reseñable en la provincia de Zamora junto a la raya con Portugal.



En segundo lugar, se constata que el análisis geoquímico general confirma los datos existentes en los mapas metalogenéticos de España y los complementa de una forma extraordinaria. España, por otra vía, ve confirmado su potencial de minería estratégica y crítica especialmente en el todo el Oeste del país y en las regiones y provincias objeto de informe.

“España dispone de una infraestructura geológica, geoquímica y minera muy importante que debe ser potenciada y ampliada”.



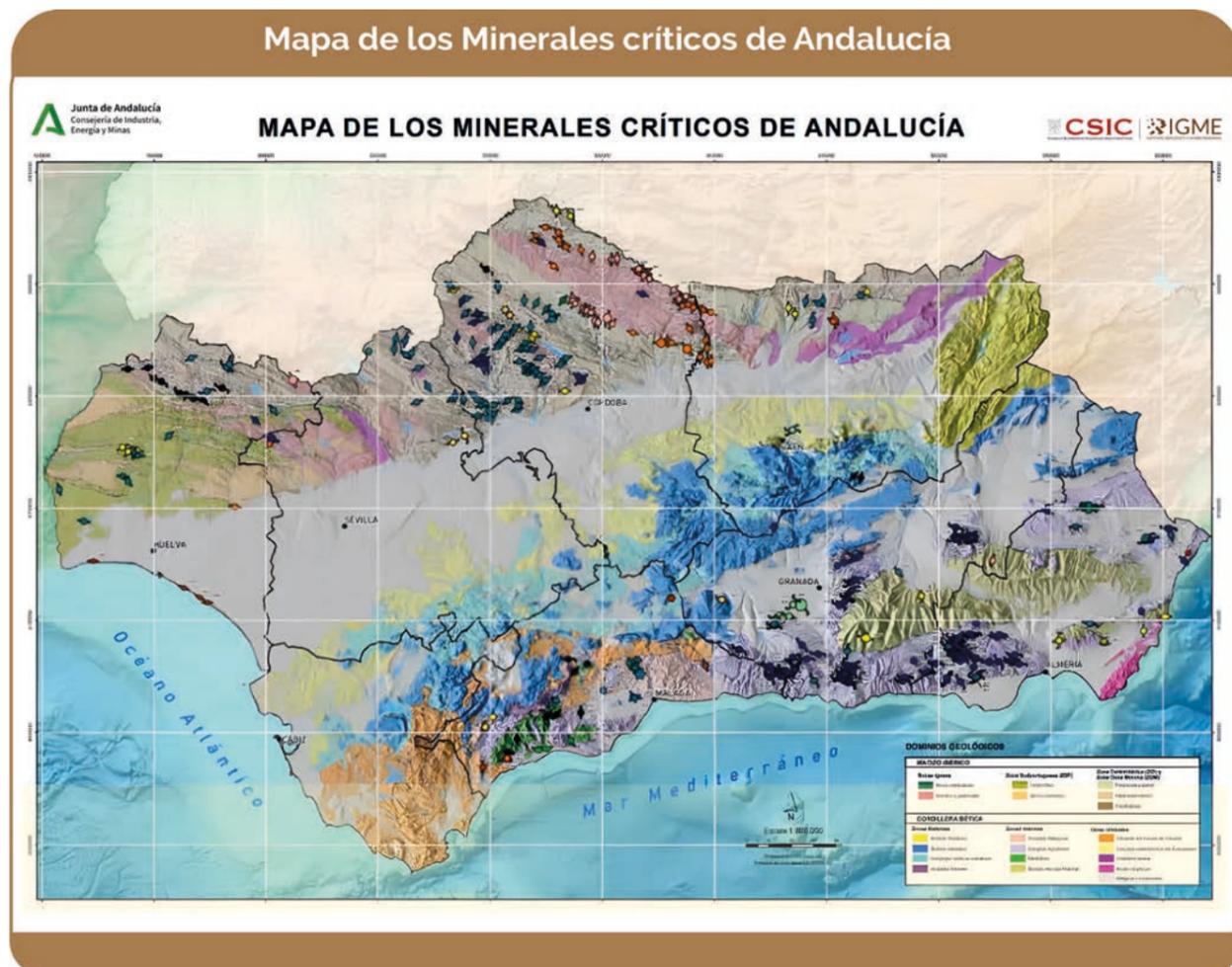
6.2.2. Conclusiones geoquímica

Del estudio del Atlas Geoquímico de España se concluye, en primer lugar, que España dispone de una infraestructura geológica, geoquímica y minera muy importante que debe ser potenciada y ampliada desde el punto de vista de la investigación y exploración de las materias primas minerales estratégicas y críticas.

6.3. El mapa de minerales críticos en Andalucía

En 2025 se presentó y se ha podido consultar en nuestro trabajo actual el Mapa de Minerales Críticos (Figura 31) elaborado por la Junta de Andalucía en colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España (C.S.I.C.). Andalucía se convierte así en la primera comunidad en disponer de un mapa específico de minerales y elementos estratégicos y críticos

Figura 31: Mapa de los Minerales críticos de Andalucía. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España y Junta de Andalucía (2025).



en el sentido expresado por la Comisión y el Parlamento Europeos.

6.4. Infraestructuras geológicas de España. Conclusiones

Por tanto, desde nuestro punto de vista se puede decir que la información geológica, geotécnica, geoquímica, metalogenética y minera en España es muy exhaustiva en el ámbito de la definición y situación de los indicios e incluso de una primera conclusión acerca de su origen genético y desarrollo minero. En los mapas y memorias de los Mapa Geológicos de España (proyecto MAGNA y otros) y en los Mapas Metalogenéticos de diversas escalas ya descritos se incluyen todos los indicios minerales reconocidos a la fecha, aún pendientes de investigación geológica y minera de detalle.

Sin embargo, todo este caudal de conocimiento, que es muy importante, es engañoso pues está, en gran medida, falto de estudios geológicos y mineros de detalle. En efecto, los datos geológicos y geoquímicos de la gran escala (escala 1:50.000 o superiores) y la minería histórica solo nos da una idea del muy importante potencial existente.

La definición de la minería y la conversión de recursos potenciales en reservas extraíbles requiere de grandes inversiones en estudios geológicos y mineros de detalle en las escalas 1:10.000 e inferiores para concretar las posibilidades de las diferentes zonas.

Dada la necesidad urgente de reactivar el sector minero productor de M.P.E./c. para satisfacer las necesidades de la demanda de la Unión Europea, el

gobierno de la Nación debería destinar inversiones importantes que, en acuerdo con las inversiones privadas, permitieran desarrollar el potencial minero existente. Será necesario ejecutar numerosos planes de investigación geológica y desarrollo minero que permitan a alguno de nuestros indicios convertirse en explotaciones viables de M.P.E./c. en el medio plazo. Esto no es nuevo en España. Así, en la década de los años 80 y por un periodo de 8 años (1979-1987) se desarrolló el Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales (P.N.A.M.P.M.) [56] que se dedicó a estudiar los indicios minerales del país en aquellos minerales y metales de mayor interés en aquella época. Este Plan Nacional auspiciado por el Ministerio de Industria y Energía y sus organismos inferiores (Comisaría de la Energía y Recursos Minerales, Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción) fue todo un éxito de planificación y permitió un desarrollo minero del cual todavía hoy obtenemos beneficio.

Por nuestra parte y con motivo de este informe, se ha realizado una recopilación de los indicios minerales más importantes conocidos en los territorios de Andalucía, Castilla - La Mancha y Región de Murcia que son el objeto principal de este informe. Hemos confeccionado así un mapa que se recoge como Figura 29 y en el Anexo I.

Sobre una base de la cartografía geológica [2] de la Península Ibérica, se han situado los indicios minerales más importantes recogidos en el Mapa Metalogénico de España, Junta de Andalucía y en las bases de datos de la Unión Europea. Así, páginas como EGDI ("European Geological Data Infrastructure"), etc. condensan la información de minerales estratégicos en Europa. Los datos en ellas existentes son los mismos que se han recogido por nosotros



en el Instituto Geológico y Minero de España que es el organismo encargado de "alimentar" los datos españoles de estas bases conjuntas europeas. No obstante, por si se quiere consultar la situación de otros países, la dirección electrónica de EGDI es:

<https://data.geus.dk/egdi/>

Estos mapas, de elaboración propia a partir de datos de diversas publicaciones (especialmente la infraestructura geológica del I.G.M.E.) en la que intervinen los autores de este informe pueden encontrarse también en Moratilla Soria, Yolanda y Sáenz de Santa María Benedet, José Antonio (2023) "Materias Primas Minerales "Made in Spain". Su importante papel dentro de la transición energética española y europea". Conferencias del Real Instituto de Estudios Asturianos (R.I.D.E.A.) [55] y en el primer informe realizado por nosotros para la Fundación Corell.

En el Anexo I se recogen una serie de mapas geoquímicos de diversos elementos críticos que se han elaborado a partir de los datos recogidos en el Atlas Geoquímico de España.

En los diferentes planos adjuntos pueden verse la distribución de indicios de las diferentes sustancias y la importancia que tienen estas regiones desde el punto de vista de las reservas y recursos de M.P.E./c. También se observan las características genéticas de las mineralizaciones al haberse colocado los indicios sobre una base geológica de detalle como es el mapa geológico de España y Portugal escala 1:1.000.000 (I.G.M.E. 2015).

Debe señalarse, no obstante, que las inversiones en exploración geológica y planificación minera previas a la puesta en explotación de minas en estas regiones deberán ser muy intensivas en capital y deberían realizarse a corto y medio plazo. Un programa

nacional de investigación geológica y minera de M.P.E./c. es muy necesario en estos momentos y requerirá de numerosos esfuerzos por parte de numerosos técnicos especialistas y empresas. Su ejecución solo podrá realizarse en colaboración entre el Estado y las empresas privadas.

Como puede observarse, en las regiones estudiadas, hay numerosos indicios minerales que deben ser investigados en el plazo de tiempo más breve posible. Así mismo son muy numerosas las antiguas minas cerradas explotadas entre finales del siglo XIX y mediados del siglo XX. Por último, unas decenas de minas continúan con la explotación en la actualidad. Es un trabajo previo a la posible puesta en explotación de minas de materias primas estratégicas y críticas que ayuden a paliar el déficit de estas sustancias en la Unión Europea.

Como conclusión general, tanto en las zonas estudiadas del Macizo Ibérico como en las zonas internas de la Cordilleras Béticas existen numerosos indicios, minas antiguas y minas en explotación que podrían dar lugar a reservas importantes de minerales estratégicos y críticos. La puesta en explotación de éstos pasa por planes de investigación geológica y minera rigurosos y por el acortamiento de los plazos administrativos que, en la actualidad, coartan en gran medida el desarrollo de la actividad minera que es de tanto interés para toda la Unión Europea. En España la puesta en explotación de una mina presenta unos plazos de entre 15 y 20 años que no pueden ser asumidos hoy. España es una de las reservas de minerales más importante de la Unión y debe desarrollar estos recursos.



Antigua zona industrial, concretamente el complejo de la Fundición de Piritas. Minas de Riotinto (Huelva, Andalucía, España). © LBM1948.



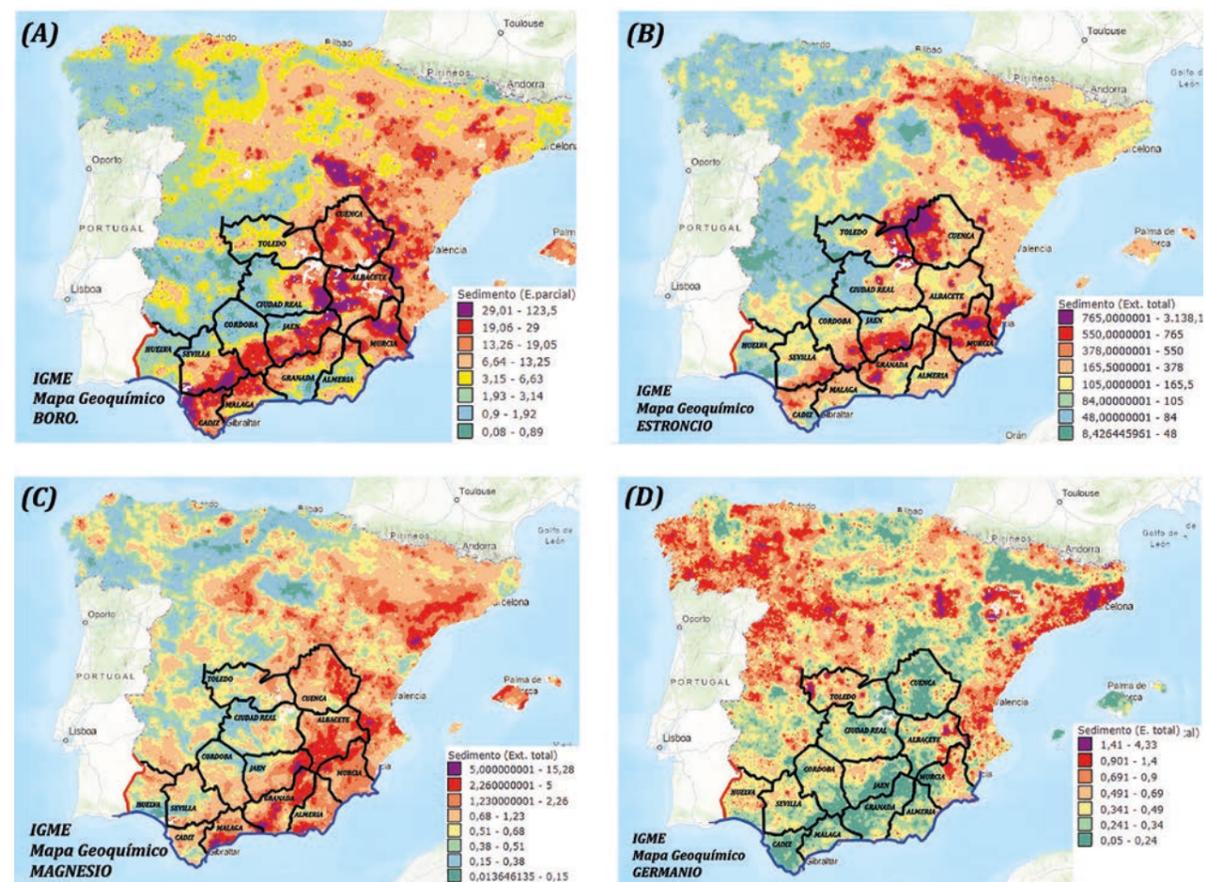
“En España la puesta en explotación de una mina presenta unos plazos de entre 15 y 20 años que no pueden ser asumidos hoy”.



ANEXO I

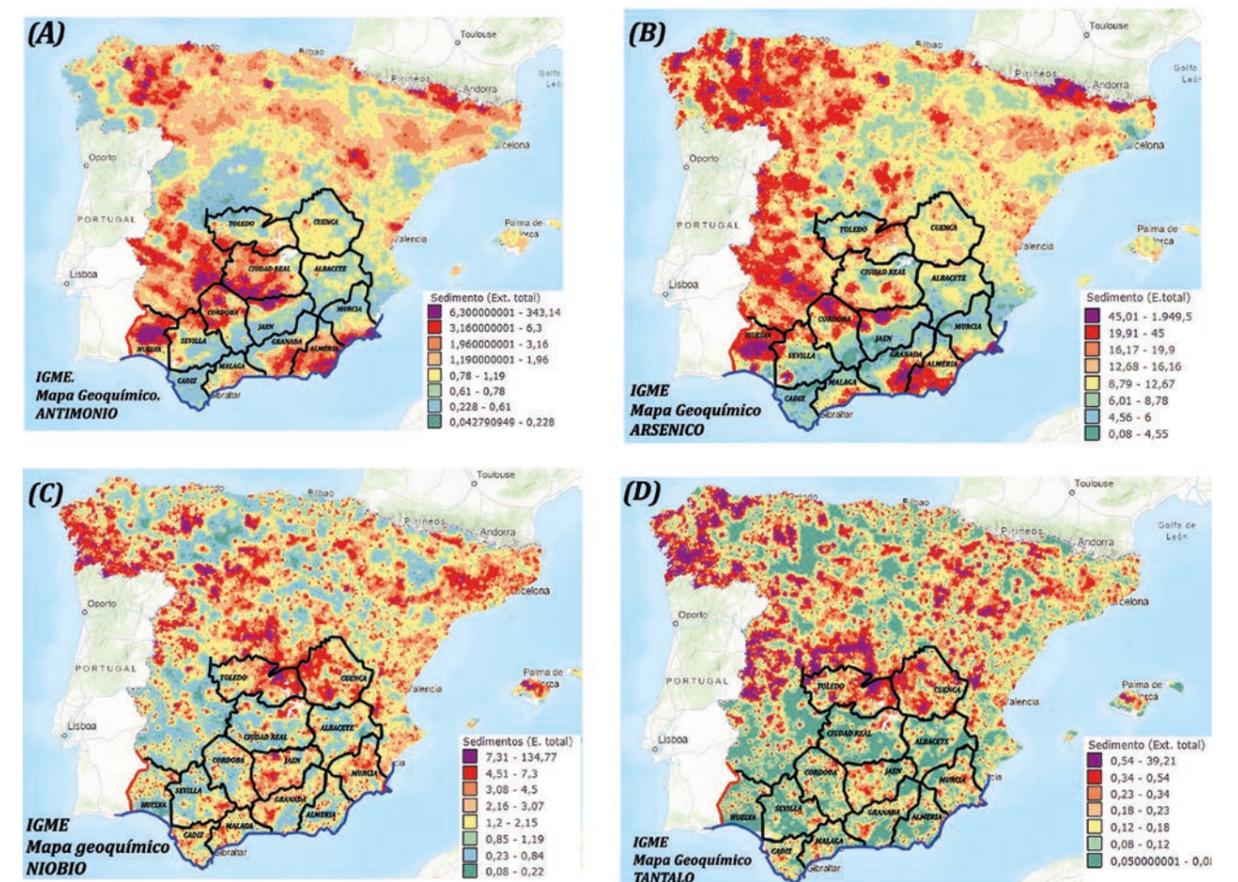
Mapas geoquímicos de los diferentes elementos en las zonas estudiadas

ATLAS GEOQUÍMICO DE ESPAÑA (2013)
Distribución de los elementos Boro, Estroncio, Magnesio y Germanio



El Boro, Magnesio y Estroncio están ligados a las Cordilleras Béticas. El Estroncio es una materia crítica en la que España es primer productor mundial y se produce en una única mina de Granada aunque hay anomalías a lo largo de las Cordilleras Béticas, el Sistema Central y el Valle del Ebro. El Germanio, materia muy crítica, presenta anomalías significativas en el zócalo hercínico de las Cordilleras Costeras Catalanas.

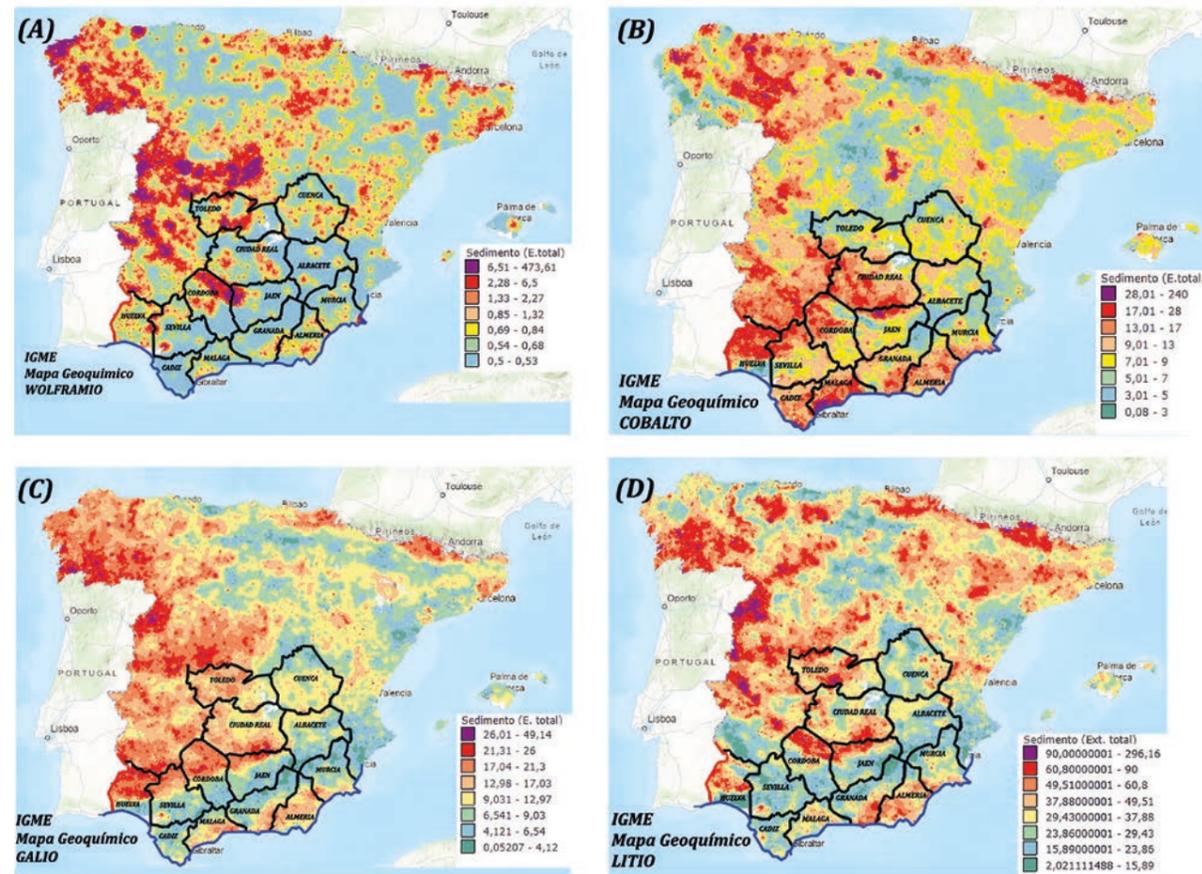
ATLAS GEOQUÍMICO DE ESPAÑA (2013)
Distribución de los elementos Antimonio, Arsénico, Niobio y Tántalo



Los dos primeros están relacionados con los plutones graníticos presentes en el dominio varisco y en la Faja pirítica de Huelva y también en las zonas internas de las Cordilleras Béticas. El Niobio y el Tántalo tienen una distribución muy parecida en los Montes de Toledo aunque hay muchas mas anomalías de Tántalo. Este elemento aparece frecuentemente ligado a las paragénesis de Wolframio-Estaño.

ATLAS GEOQUÍMICO DE ESPAÑA (2013)

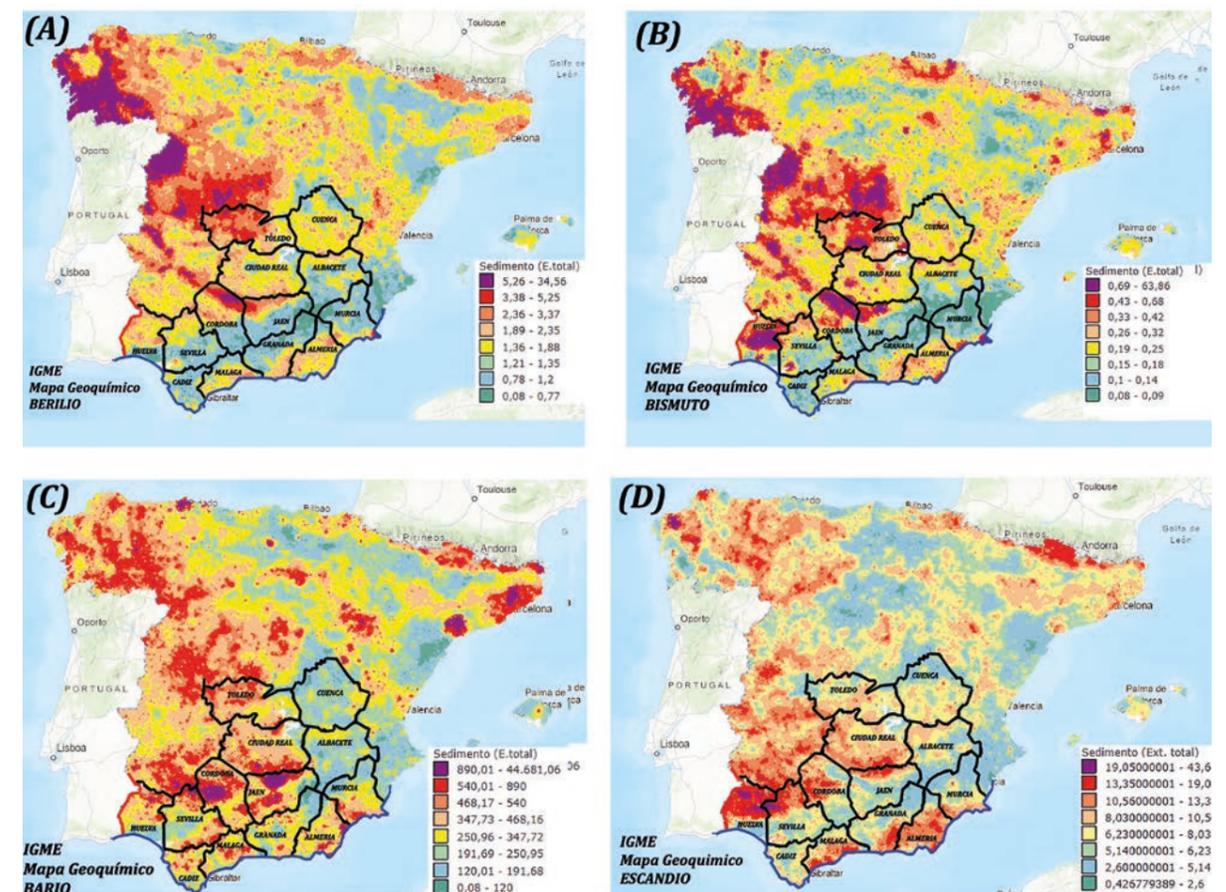
Distribución de los elementos Wolframio, Cobalto, Galio y Litio



El Wolframio junto con el Estaño se distribuye por todo el hercinico del Oeste de España y esta ligado a los afloramientos de cuerpos graníticos y sus cortejos filonianos. El Cobalto y el Galio no son muy abundante salvo algunas anomalías geoquímicas de cobalto en las zonas internas de las Béticas de Málaga. En cuanto al Litio, nuevamente se encuentra distribuido por toda la zona fronteriza con Portugal y ligado genéticamente a los afloramientos de cuerpos graníticos y sus cortejos filonianos e hidrotermales. También está presente en el varisco de los Pedroches y de Ciudad Real y Montes de Toledo.

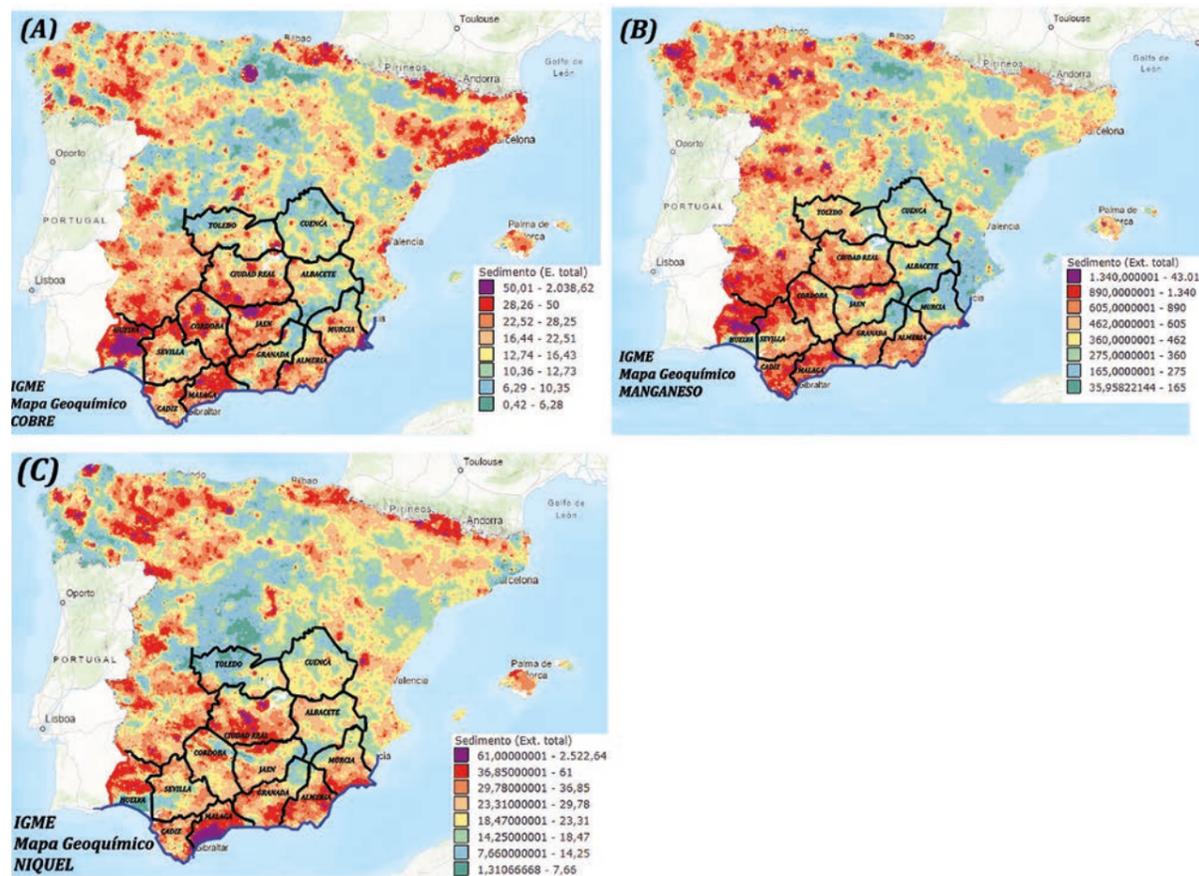
ATLAS GEOQUÍMICO DE ESPAÑA (2013)

Distribución de los elementos Berilio, Bismuto, Bario y Escandio



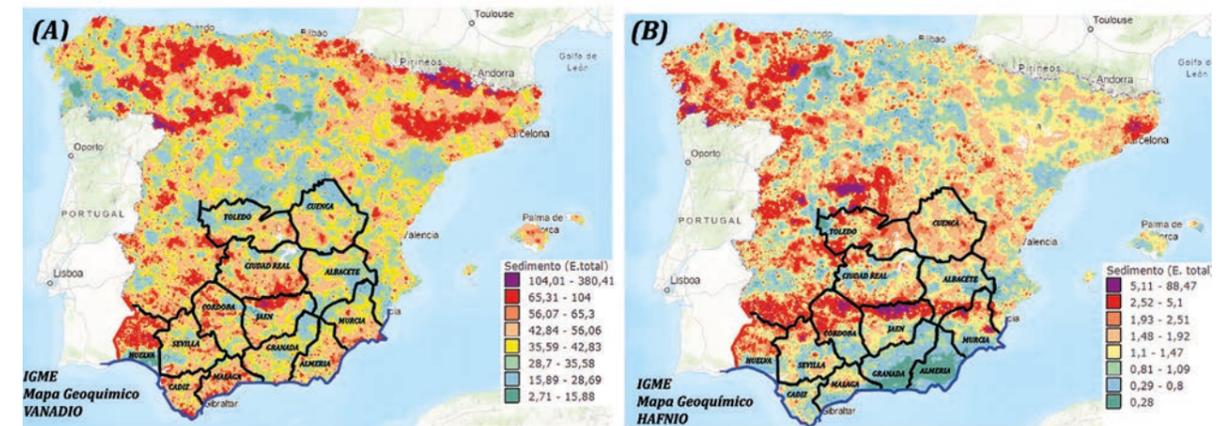
El Berilio y el Bismuto presentan distribuciones muy similares y muy extendidas por todo el hercinico de Huelva, Sevilla, Córdoba y Ciudad Real probablemente ligadas al metamorfismo regional de alto grado de toda la zona. El Bario y el Escandio presentan anomalías mas difusas, no son muy abundantes y estan mas bien ligadas a las características geológicas de la Faja Pirítica de Huelva y Sevilla. el Bismuto también presenta anomalías de interés en el dominio geológico de la Faja Pirítica.

ATLAS GEOQUÍMICO DE ESPAÑA (2013) Distribución de los elementos Cobre, Manganeso y Níquel



El Cobre y el Manganeso aparecen ligados en las mismas paragénesis de sulfuros metálicos y su distribución esta centrada en las zonas hercínicas de Ossa- Morena y Surportuguesa, conocidas como "Faja Piritica" que se extiende por las provincias de Huelva y Sevilla. En cuanto al Níquel, las anomalías e indicios más importantes se encuentran en las zonas internas de las Cordilleras Béticas (Cádiz y Málaga)

ATLAS GEOQUÍMICO DE ESPAÑA (2013) Distribución de los elementos Vanadio y Hafnio



El Vanadio no está presente en nuestro país salvo una fuerte anomalía en la provincia de Zamora, en la frontera con Portugal que deberá investigarse. El Hafnio tiene una distribución amplia, ligada probablemente a las condiciones metamórficas de alto grado propias del hercínico del macizo ibérico. Este último elemento es inexistente en las Cordilleras Béticas.

RESUMEN

ESPAÑA, CLAVE EN LA NUEVA GEOPOLÍTICA DE LAS MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS: HACIA UN HUB IBÉRICO PARA LA AUTONOMÍA INDUSTRIAL EUROPEA

El Informe Corell 2025, elaborado por la Universidad Pontificia Comillas para la Fundación Corell, analiza la situación de las Materias Primas Críticas (MPC) —elementos esenciales para las cadenas de valor industriales europeas cuyo suministro presenta riesgo— en Andalucía, Castilla-La Mancha y Murcia. El estudio aborda su relevancia geológica, económica y geopolítica en el contexto de la transición energética y digital.

Desde 2011, la lista europea de MPC ha pasado de 14 a 34 elementos (2023), reflejando una creciente dependencia tecnológica y estratégica. China domina el mercado mundial: concentra más del 85 % de la producción de tierras raras ligeras y el 100 % de las pesadas, además de liderar el número de patentes y el refinado global. Su política de control y subsidio a la extracción convierte al país en el actor central de una nueva pugna por el acceso a recursos críticos, como ya se evidenció en el incidente de las Islas Senkaku (2010), cuando restringió exportaciones a Japón.

Entre las MPC destacan las tierras raras, un grupo de 17 metales —como el neodimio, el lantano o el cerio— fundamentales en imanes permanentes, electrónica avanzada, defensa y energías renovables. Su relevancia geopolítica ha crecido al ser insustituibles en motores eléctricos, turbinas eólicas o dispositivos móviles. La concentración de su extracción en China constituye una vulnerabilidad estratégica para la UE.

El informe analiza las capacidades industriales de las regiones estudiadas para vincular su estructura productiva con el potencial minero:

Andalucía (13,35 % del PIB nacional) presenta un ecosistema industrial diversificado: aeroespacial, agroalimentario, químico-petroquímico, energético y minero. Destaca la Faja Pirítica Ibérica, una de las provincias metalogenéticas más ricas de Europa, con depósitos de cobre, zinc, plata, oro y sulfuros polimetálicos. La comunidad aporta el 25 % de la minería nacional y mantiene una larga tradición extractiva.

Castilla-La Mancha combina un alto peso del sector industrial (22,7 %) con liderazgo en energías renovables (84,9 % de penetración). Alberga el proyecto "El Moto" en Abenójar, yacimiento estratégico europeo de wolframio y oro, con reservas estimadas en 91 Mt. En la provincia de Ciudad Real se localizan importantes yacimientos de

monacita gris, mineral portador de tierras raras como neodimio, cerio y lantano, de gran interés tecnológico.

Región de Murcia, con fuerte tejido agroindustrial y químico, destaca por la metalurgia, los plásticos y la biotecnología. Su geología, continuación de las Cordilleras Béticas, posee un potencial minero relevante y compleja tectónica activa.

El estudio resalta la entrada en vigor del Raw Materials Act (2024), la nueva regulación europea para impulsar la minería estratégica dentro de la UE, agilizar permisos y reducir la dependencia de terceros países. En la primera convocatoria (2025), se seleccionaron 47 proyectos mineros estratégicos, siete en España, centrados en litio, níquel, wolframio y cobalto. Entre ellos figuran Cobre Las Cruces y Atlantic Copper (Andalucía), Las Navas y Aguablanca (Extremadura) y El Moto (Castilla-La Mancha). Estos proyectos contarán con financiación preferente y tramitación acelerada.

El informe destaca el cinturón ibérico del wolframio y estaño (W-Sn), que recorre el oeste peninsular, con minas activas o potenciales de coltán, litio y tántalo, y señala el alto potencial del distrito minero Linares-La Carolina (Jaén), rico en plomo, plata y cobre, actualmente en revisión para detectar metales críticos asociados.

Desde un punto de vista geopolítico y económico, el documento advierte que la demanda global de metales estratégicos se multiplicará entre tres y seis veces antes de 2050, impulsada por la electrificación y las tecnologías limpias. El cobre, el níquel, el litio y el grafito serán los más demandados. España, por su diversidad geológica y tradición minera, podría desempeñar un papel clave en el abastecimiento europeo si moderniza su marco normativo y reduce la tramitación (actualmente superior a 15 años).

El informe concluye que España posee una posición privilegiada para el desarrollo de un "Hub Ibérico de Materias Primas Críticas", capaz de integrar exploración, procesamiento y fabricación avanzada. La combinación de recursos naturales, tejido industrial y ubicación estratégica permitiría reforzar la autonomía tecnológica europea y situar a las regiones del sur en el centro de la transición energética.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Moratilla Soria, J. Sáenz de Santamaría Benedet, Á. Alonso Martínez de Salinas y A. Martín Colino, «Recursos Minerales para la Industria Española. Análisis de la nueva movilidad,» Fundación Corell, Madrid, 2023.
- [2] B. Moratilla Soria, J. Sáenz de Santamaría Benedet y A. Martín Colino, «Recursos minerales para la industria española II. Franja central de la frontera luso-española (Extremadura - Castilla León),» Fundación Corell, Madrid, 2024.
- [3] European Comission, «Study on the critical raw materials for the EU 2023,» 2023.
- [4] European Comission, «Tackling the challenges in commodity markets and on raw materials,» 2011.
- [5] G. Blengini, D. Blagoeva, J. Dewulf, C. T. D. Matos, C. Baranzelli, C. Ciupagea, P. Dias, Y. Kayam, C. E. Latunussa, L. Mancini, S. Manfredi, A. Marmier, F. Mathieux y V. Nita, «Methodology for establishing the EU List of Critical Raw Materials,» European Comission, 2017.
- [6] Bradshaw, A.M.; Reuter, B; Hamacher, T, «The Potential Scarcity of Rare Elements for the Energiewende,» Green, vol. 3, nº 2.
- [7] Eurostat, «Patents related to recycling and secondary raw materials,» [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/CEI_CIE020/default/table. [Último acceso: 28 7 2025].
- [8] J. Chomón, The Rare Earths Era: Strategic Metals Dependency & World Order, Clarity Press, 2020.
- [9] M. D. Algora Weber, «El impacto geopolítico de las tierras raras en el orden internacional,» Economía Industrial, nº 420, pp. 47-58, 2021.
- [10] Redacción, «Qué minerales raros tiene Ucrania y por qué son codiciados por Estados Unidos,» BBC, 25 2 2025.
- [11] M. Sanches, «Cuáles son las riquezas de Groenlandia que explican el interés de Trump por la isla,» BBC, 13 1 2025.
- [12] J. y. G. M. Tekeli, «¿'Volver a hacer grande a Groenlandia'? No, gracias, dicen los groenlandeses,» The New York Times, 9 1 2025.
- [13] N. Méndez-Chazarra, Historia de las tierras raras, Guadalmezán, 2023.
- [14] T. Photographer, «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Tabla_peri%C3%B3dica_de_los_elementos#/media/Archivo:Periodic_table_large-es-updated-2018.svg. [Último acceso: 27 6 2025].



[15] D.N. Balaam, B.Dillman, Introduction to International Political Economy, Routledge, 2018.

[16] Escribano, M.; López, C.; Mataix, C., Manual de minerales críticos y estratégicos en la nueva economía, Ingeominas, 2019.

[17] A. Cohen, «NIMBYism Is A Bipartisan Energy Problem,» Forbes, 14 9 2022.

[18] INE, «P.I.B. a precios de mercado y valor añadido bruto a precios básicos por ramas de actividad: Precios corrientes por comunidades y ciudades autónomas, magnitud y periodo,» [En línea]. Available: https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?tpx=72943#_tabs-tabla. [Último acceso: 27 6 2025].

[19] R. Prego, Las tierras raras, CSIC, 2019.

[20] ICEX, «Industrias destacadas en Andalucía,» [En línea]. Available: <https://www.investinspain.org/es/regiones/andalucia/industrias-destacadas>. [Último acceso: 31 7 2025].

[21] J. d. Andalucía, «Sectores principales,» [En línea]. Available: <https://www.investinandalucia.es/sectores/>. [Último acceso: 31 7 2025].

[22] Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, «Radiografía del Sector Aeroespacial Andaluz,» [En línea]. Available: <https://etsi.us.es/agenda/radiografia-del-sector-aeroespacial-andaluz>. [Último acceso: 30 7 2025].

[23] Junta de Andalucía, «Invest In Andalucía,» [En línea]. Available: <https://www.investinandalucia.es/sectores/aeroespacial/>. [Último acceso: 29 7 2025].

[24] Andalucía Aerospace, «Andalucía Aerospace - Clúster Empresarial Aeroespacial Andaluz,» [En línea]. Available: <https://andaluciaaerospace.com/>. [Último acceso: 29 7 2025].

[25] Engie España, «ENGIE España y HEINEKEN España inauguran la planta termosolar de uso industrial más grande de Europa,» [En línea]. Available: <https://www.engie.es/heineken-espana-y-engie-espana-inauguran-la-planta-termsolar-de-uso-industrial-mas-grandede-europa/>. [Último acceso: 29 7 2025].

[26] R. I. Hub, «Railway Innovation Hub,» [En línea]. Available: <https://www.railwayinnovationhub.com/>. [Último acceso: 29 7 2025].

[27] S. C. Cluster, «Smart City Cluster,» [En línea]. Available: <https://smartcitycluster.org/>. [Último acceso: 29 7 2025].

[28] Red Eléctrica de España, «Informe del sistema eléctrico,» [En línea]. Available: <https://www.sistema-electrico-ree.es/es/informe-del-sistema-electrico/potencia-instalada>.

[29] F. R. Tinto, «Historia,» [En línea]. Available: <https://fundacionriotinto.es/historia/>. [Último acceso: 31 7 2025].

[30] A. Cooper, «Atlantic Cooper,» [En línea]. Available: <https://atlantic-copper.es/>. [Último acceso: 31 7 2025].

[31] Consejería de Industria, Energía y Minas, «Los recursos geomineros de Andalucía,» [En línea]. Available: <https://www.juntadeandalucia.es/portalandaluzdelamineria/ApdoGeologia#>. [Último acceso: 31 7 2025].

[32] ICEX, «Industrias destacadas en Castilla - La Mancha,» [En línea]. Available: <https://www.investinandalucia.es/sectores/>. [Último acceso: 31 7 2025].

[33] Instituto de Promoción Exterior de Castilla-La Mancha (IPEX), «Sectores estratégicos,» [En línea]. Available: <https://www.investinclm.com/sectores-estrategicos/>. [Último acceso: 31 7 2025].

[34] C. Prego, «La mayor planta de hidrógeno verde para uso industrial de Europa ya está en funcionamiento. Y se encuentra en... Puertollano,» [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/energia/mayor-planta-hidrogeno-verde-para-uso-industrial-europa-esta-funcionamiento-se-encuentra-puertollano>. [Último acceso: 29 7 2025].

[35] M. D. Alonso Hernández, Producción de hidrógeno renovable, Tecnum. Curso de hidrógeno, 2025.

[36] ICEX, «Industrias destacadas en Región de Murcia,» [En línea]. Available: <https://www.investinspain.org/es/regiones/murcia/industrias-destacadas>. [Último acceso: 31 7 2025].

[37] Instituto de Fomento Región de Murcia, «Industrias Clave en la Región de Murcia,» [En línea]. Available: <https://www.investinmurcia.com/sectores/industrias-clave/>. [Último acceso: 31 7 2025].

[38] European Commission, «Regulation (EU) 2024/2025 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/172,» 2024.

[39] IGME, Atlas Geoquímico de España, 2013.

[40] Lotze, F. (Trad J.M.Rios), «Algunos problemas de la Meseta Ibérica,» Geotektonische Forschungen, pp. 1-12, 1945.

[41] Lotze, F. (Trad J.Gómez de Llarena), «El Cámbrico de España. Estratigrafía,» Mem. IGME, vol. 75, pp. 1-256, 1945.

[42] M. Julivert, J. Fontboté, J. Ribeiro y L. Conde, «Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares,» IGME, 1972.

[43] Farias, P., Gallastegui, G., González Lodeiro, F., Marquínez, J., Martín-Parra, L.M., Martínez Catalán, J.R., de Pablo Maciá, J.G., and Rodríguez Fernández, L.R., «Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia Central,» Memorias Museo e Laboratorio Mineralógico e Geológico, Faculdade de Ciências, Universidade de Porto, vol. 1, pp. 411-431, 1987.

- [44] F. J. Palero-Fernández y A. Martín-Izard, «Trace element contents in galena and sphalerite from ore deposits of the Alcuía Valley mineral field (Eastern Sierra Morena, Spain).» *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 86, nº 1, pp. 1-25, 2005.
- [45] J.I. Gil Ibarra, «Prospección y estudio de yacimientos de monacita gris en España.» *Tierra y Tecnología*, 2025.
- [46] IGME, «Proyecto INTERREG España-Portugal Geo-FPI.» 2020.
- [47] F. Tornos, M. Solomon, C. Conde y F. Baruch, «Formation of the Tharsis Massive Sulfide Deposit, Iberian Pyrite Belt: Geological, Litho-geochemical and Stable Isotope Evidence for Deposition in a Brine Pool.» *Economic Geology*, vol. 1, nº 103, pp. 185-214, 2008.
- [48] F. González, C. Moreno y R. Sáez, «Carácter diacrónico del límite PQ-CVS y del inicio de la actividad volcánica en la Faja Pirítica Ibérica.» *Geogaceta*. Sociedad Geológica de España, 2019.
- [49] J. Leistel, E. Marcoux, D. Thiéblemont, C. Quesada, A. Sánchez, G. Almodóvar, Pascual y R. Sáez, «The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt.» *Mineralium Deposita*, nº 33, p. 2-30, 1998.
- [50] I. Pinedo Vara, *Piritas de Huelva: su historia, minería y aprovechamiento*, Madrid: Summa, 1963.
- [51] C. Domergue, *Les mines de la Péninsule Ibérique dans l'Antiquité Romaine*, ROMA: cole Francaise de Rome, 1990, pp. 625 pag., 32 láms., 52 figuras y 6 mapas..
- [52] O. Fadón Loro, J. Gómez, A. Delgado Huertas, R. Cabrera, I. Sánchez García y P. Acebes, «Valoración del potencial minero del cinturón ibérico de W-Sn.» *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*, vol. 286, nº 286, pp. 30-38, 2020.
- [53] J. Sánchez-Valverde, C. Fernández-Leyva y R. Navarro, «Síntesis de los principales recursos de minerales metálicos de la Cordillera Bética en Andalucía y las zonas de potencialidad minera.» *GEO-GACETA*, nº 54, pp. 79-82, 2013.
- [54] García-Cortes, A. (Ed), *Cartografía de Recursos Minerales de Andalucía*, Madrid: IGME-Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía, 2011.
- [55] B. Moratilla Soria y J. Sáenz de Santamaría Benedet, «Materias Primas Minerales "Made in Spain". Su importante pape dentro de la transición energética española y europea.» 2023.
- [56] Comisaría de la Energía y Recursos Minerales, *Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales*, Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria y Energía, 1978.
- [57] J. I. Linares Hurtado, B.Y. Moratilla Soria (coords.), *El hidrógeno y la energía*, Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2007.
- [58] «ICEX.» [En línea]. Available: <https://www.icex.es/>.
- [59] C. R. M. d. N. T. Energéticas, «Del sol a la cerveza: descarbonización a través de autoconsumo termosolar en la planta de Heineken en Sevilla.» 28 2 2024. [En línea]. Available: https://tv.comillas.edu/media/Del+sol+a+la+cerveza%3A+descarbonizaci%C3%B3n+a+trav%C3%A9s+de+autoconsumo+termosolar+en+la+planta+de+Heineken+en+Sevilla.+28+02+2024/1_gkpg2lax/65902121.

España posee un potencial minero estratégico que puede convertirla en un Hub Ibérico de Materias Primas Críticas, esencial para la autonomía industrial y energética de Europa.
¿Empezamos?

