

(Editores)
Rodrigo Álvarez García
Almudena Ordóñez Alonso

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

LIBRO JUBILAR
DEL PROFESOR
JORGE LOREDO



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

2020

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

HOMENAJES

Rodrigo Álvarez García
Almudena Ordóñez Alonso
(editores)

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

LIBRO JUBILAR
DEL PROFESOR
JORGE LOREDO



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

2020



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



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



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

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

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



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



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

© 2020 Universidad de Oviedo

© Los autores

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

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

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



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

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo

Edificio de Servicios - Campus de Humanidades

33011 Oviedo - Asturias

985 10 95 03 / 985 10 59 56

servipub@uniovi.es

www.publicaciones.uniovi.es

ISBN: 978-84-17445-95-9

DL AS 1451-2020



Jorge Loredo Pérez

Índice

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

SEMBLANZA PERSONAL

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

ARTÍCULOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

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

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

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

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

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA GEOLOGÍA ECONÓMICA EN LA CUENCA DEL RÍO ESVA

Santiago González-Nistal,¹ Rodrigo Álvarez² y Francisco Ruiz¹

¹ Geólogo Senior. Consultor.

² Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales,
Universidad de Oviedo, España

RESUMEN

En este trabajo se describen los principales resultados de una investigación en marcha sobre los recursos minerales metálicos existentes en el marco geográfico que corresponde a la cuenca hidrográfica del río Esva. Para ello, se utilizan las observaciones de campo, combinadas con técnicas de laboratorio (análisis de texturas y fases, geoquímica de detalle...). Se presentan nuevos datos sobre indicios ya conocidos de Mn y Au –con especial atención a la mineralización de Navelgas– y se citan otros potenciales recursos, hasta el momento no recogidos en la bibliografía existente.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 25 años se ha venido realizado una exploración minera relativamente importante en el Principado de Asturias, siendo diversas las sustancias buscadas y generalmente centrada en áreas con indicios ya conocidos o con minería antigua. Destacan, sin lugar a dudas, las campañas realizadas para la prospección de Au, que permitieron, ya desde 1998, la puesta en producción de los yacimientos de El Valle-Boinás y Carlés por parte de la empresa Río Narcea Gold Mines S. A. En la actualidad, y en lo referente a minería metálica, existen permisos de investigación en vigor para la búsqueda de Co, Ni, Zn, Mo o W, además de Au, siendo el mejor ejemplo de este último el ya clásico proyecto de Salave, donde han sido cubicadas 8,2 Mt de reservas (medidas+indicadas) con una ley media de 4,6 g Au/t (CSA Global, 2018).

Debido a la importancia singular que ha tenido el Au, ya desde las etapas tempranas de su prospección en la parte final del siglo pasado, se han definido tres grandes lineamientos de indicios que, siguiendo la terminología in-

glesa, se conocen como *cinturones auríferos*. Estos son, de este a oeste (Spie-ring *et al.*, 2000), el cinturón del río Narcea, el cinturón de Navelgas y el cinturón de Ibias-Los Oscos. El primero de ellos es, hasta el momento, el único que cuenta con explotaciones activas. En el cinturón de Ibias-Los Oscos existen en marcha algunas actividades de investigación minera (el ya citado proyecto de Salave, Penedela...) más o menos prometedoras. Finalmente, el cinturón de Navelgas ha sido el menos explorado, a pesar de que contiene la mayor densidad de indicios de Au (tanto primario como secundario) y de restos de minería romana.

Por otra parte, y además de lo anterior, el reciente descubrimiento de la presencia de monacita (González-Nistal *et al.*, 2020) en las arenas de la playa de Cueva (desembocadura del río Esva) ha despertado cierto interés –por el momento, exclusivamente académico– que se traducido en la puesta en marcha de la tesis doctoral del primer autor de este trabajo sobre el conjunto de la cuenca del río Esva con objeto de mejorar el conocimiento sobre los recursos minerales de este sector. Además de ser un área infra-explorada, existe un número limitado de publicaciones que describan, todas ellas parcialmente, los recursos de este sector; así, únicamente se pueden citar algunos trabajos relativos a las mineralizaciones de Mn del sector de Trevías (González-Castro *et al.*, 1985), algunos otros sobre unos niveles de albita masiva que aparecen en la parte media de la cuenca (Roel, 1994; García-Arias *et al.*, 2006, 2007), también sobre la mineralización primaria de Navelgas (Álvarez, 2003; Álvarez y Ordóñez, 2010) y, finalmente, algunas observaciones y resultados de prospección geoquímica realizada sobre niveles calcáreos del Cámbrico Inferior (Asenjo *et al.*, 1984a, 1984b). Una síntesis resumida de todo lo anterior se puede consultar en el trabajo de Ruiz y Luque (1988).

2. LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ESVA

El Esva es un río costero cuya cuenca hidrográfica ocupa una extensión de 461 km²: la práctica totalidad de la misma se extiende por los términos municipales de Tineo y Valdés, a excepción de un pequeño sector en la parte oriental (parte de la sub-cuenca del río Mallene), que pertenece al concejo de Salas. Su caudal medio, según Confederación Hidrográfica del Cantábrico, se sitúa en torno a los 10 m³/s en la desembocadura. Geológicamente, forma parte del Dominio del Navia-Alto Sil (DNAS), dentro de la Zona Asturoccidental-Leonesa (ZAOL). Tal y como se puede ver en la figura siguiente, la cuenca del Esva (señalada en trazado discontinuo) comprende cinco hojas del mapa geológico nacional (1: 50000, serie MAGNA), si bien dos de ellas (Cangas del Narcea, 50 y Belmonte de Miranda, 51) contribuyen con áreas muy modestas. La mayor parte del área de estudio se reparte entre las hojas de Tineo (27) y Boal (26), estando el curso bajo del río representado en la hoja 12 (Busto). A continuación, se describen de forma breve las principales características geológicas de la zona de estudio.

2.1. Estratigrafía

Tal y como se aprecia en la Fig. 1b, el zócalo de la zona de estudio está formado por cinco unidades: la serie precámbrica del Narcea y las cuatro for-

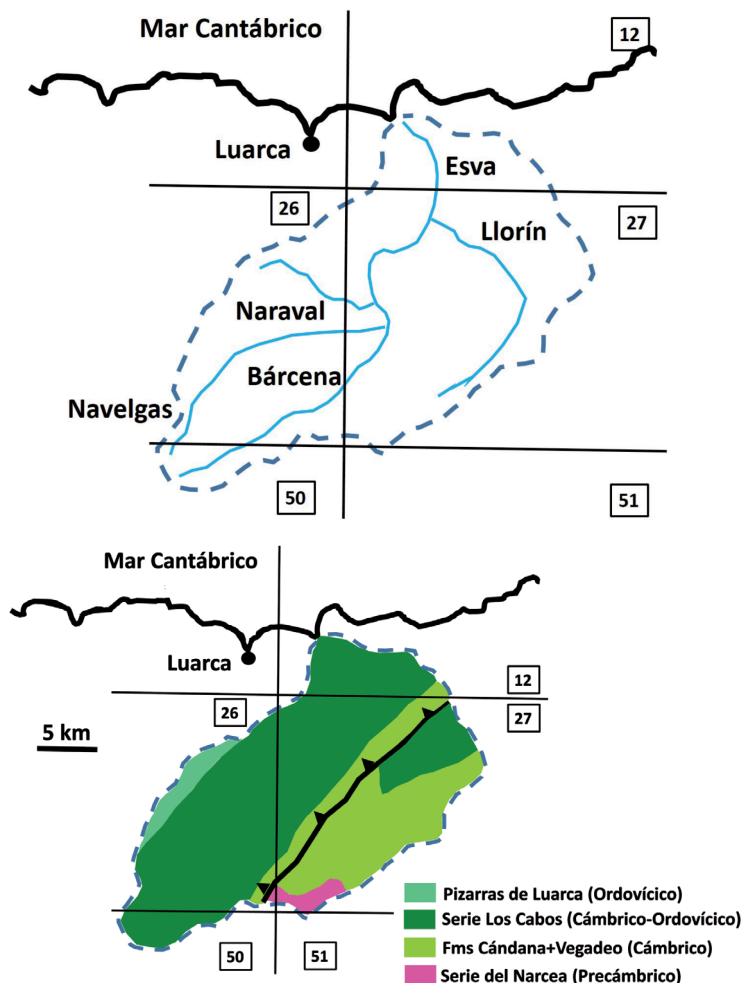


Fig. 1. (a) Delimitación de la cuenca hidrográfica del río Esva con indicación de los principales tributarios. (b) Mapa geológico simplificado del área representada en la primera figura (se omite la representación, por efecto de escala, de las rocas ígneas y de los recubrimientos terciarios y cuaternarios)

maciones que constituyen la base del Paleozoico en el DNAS (formaciones Cándana, Vegadeo, Serie Los Cabos y pizarras de Luarca). Seguidamente, se comentan sus principales características. El lector interesado puede consultar datos adicionales en los trabajos de Marcos *et al.* (2004) y Pérez-Estaún *et al.* (1990).

- Precámbrico del Narcea: aparece en la cabecera de la cuenca, en un área relativamente pequeña entre Navelgas, Fastias y Tineo. Se trata de pizarras y areniscas con cuerpos de rocas volcánicas y volcanoclásticas interestratificadas cuya potencia real no es posible estimar.

- Fm Cándana: potente unidad (hasta 2000 m) formada por areniscas (arcosas) y microconglomerados de ambiente marino somero y de transición. Se apoya de forma discordante sobre el conjunto precámbrico. Cuenta con un nivel dolomítico, de cierta importancia económica, de unos 25 m de espesor, que en la zona de estudio se ha reconocido por el corredor Muñalén-Calleras-Ayones.
- Fm Vegadeo: es un nivel guía característico en la ZAOL. Únicamente se han podido reconocer buenos afloramientos (en todo caso, parciales) en el entorno de Navelgas, pudiendo seguirse su trazado hacia el NE por las zonas deprimidas y con pradería. Su potencia media puede estimarse en 150 m. Son calizas y dolomías recristalizadas y muy tectonizadas, con algo de cuarzo. Su edad es Cámbrico Inferior-Medio.
- Serie Los Cabos: aflora en una amplia banda de trazado NE-SW, con varios miles de metros de potencia. Litológicamente, esta unidad está formada por pizarras y cuarcitas de ambiente marino somero. Dado que no presenta indicios de interés económico, no se le prestará más atención en este trabajo.
- Pizarras de Luarca: aparecen en la terminación SW de la cuenca del Esva, en una franja de unos 300 m de potencia (muy exagerada en la Fig. 1b) que sigue la traza de un cabalgamiento en virtud del cual se encuentran superpuestas por la serie Los Cabos. Esta unidad se puede reconocer en el límite con la cuenca del río Cabornel, entre las localidades de Burgazal y Bullacente, en la parte alta de la sub-cuenca del río Navelgas. Son pizarras oscuras, con piritita dispersa y que a techo cuentan con un nivel de (meta)diabasas cuyas características se citan en el epígrafe que sigue.

2.2. Rocas ígneas

En la cartografía existente se representa la existencia de tres tipos diferentes de rocas ígneas sobre la superficie ocupada por la cuenca del río Esva. Son las siguientes:

- Tobas basálticas: se encuentran representados dos pequeños cuerpos, ambos en el sector de Trevías. Uno de ellos se sitúa entre las dos minas de Mn más importantes de la zona de estudio (ver apartado siguiente), en las inmediaciones de las localidades de Munás de Abajo y Ore; el otro, al W de Trevías, sobre la margen izquierda del río Xanteiro. Estos dos sectores se han recorrido con minuciosidad y no se ha podido verificar, en ninguno de los dos casos, la presencia de estos cuerpos.
- Pórfidos riolíticos: son pequeñas manifestaciones interestratificadas en el conjunto precámbrico del Narcea. Rubio-Ordóñez (2010) diferencia, en un trabajo de gran detalle, varios tipos de diques, sills y rocas piroclásticas: este autor propone una cartografía en la que sitúa, en el contacto entre la Fm Vegadeo y la serie Los Cabos en el entorno de Navelgas, un nivel concordante de 150 m de potencia de (lit.) «sills y diques gabroicos con anfíbol y plagioclasa» cuya presencia tampoco ha podido ser verificada.
- Metadiabasas de Tejedal-Burgazal. Únicamente se representa la presencia de estas rocas en la cartografía de la serie MAGNA (hoja 26), indi-

cando que se trata de rocas basálticas con ¿albita?, anfíbol, clorita y otros minerales accesorios. En muestra de mano son rocas duras, cristalinas, con disyunción bolar en afloramiento y mineralización metálica dispersa, como se verá más adelante.

2.3. Configuración estructural

La estructura de la zona de estudio queda definida por el emplazamiento del cabalgamiento de Allande, que la atraviesa de SW a NE (ver Fig. 1b). El buzamiento de las series resulta de unos 45° al W en el bloque cabalgante, mientras que el bloque cabalgado se encuentra plegado siguiendo una estructura sinclinal, más o menos suave, de eje paralelo al trazado del cabalgamiento. Como estructura secundaria y paralela a la anterior encontraríamos, en el sector SW, la terminación septentrional del cabalgamiento de Montefurado, relacionado con algunos indicios auríferos al S de la cuenca del Esva (fuera de la misma) y responsable, en parte, de la aparición de los diques de metadiabasas que se citan en el apartado anterior.

3. RECURSOS MINERALES

En el área de estudio existen interesantes indicios de recursos minerales, tanto de rocas y minerales industriales (minas de barita de Muñalén, albitas de San Pedro de Paredes...) como de minería metálica. Debido a las limitaciones de extensión, en este trabajo únicamente se hará referencia a estos últimos.

3.1. Mn

Tal y como se adelantaba en la introducción, existen labores inactivas de minería de Mn en diversas localidades del sector norte de la zona de estudio. Un inventario exhaustivo de estas minas se puede consultar en IGME (1977). En este trabajo únicamente se han estudiado muestras de las dos minas de mayor tamaño, que son las de Muñás de Abajo (mina Paulina) y Ore (mina Mercedes), que posiblemente compartan la misma mineralización. El resto fueron labores de poca entidad y escaso interés, abandonadas todas ellas hace más de 50 años y hoy absolutamente irreconocibles. Las labores de las minas de Muñás de Abajo y Ore son inaccesibles, por lo que las muestras que se han recuperado se han tomado de las escombreras. Las masas mineralizadas tienen en general un aspecto terroso, muy alterado, y la distribución de las sustancias útiles en el seno de las mismas es muy irregular. En la escala microscópica, las texturas más abundantes –aunque no exclusivas– son las propias del ambiente supergénico (ver Fig. 2): precipitados en forma de franjas coliformes, concreciones, relleno de espacios vacíos, reemplazamiento parcial de los granos de la roca encajante, etc. Existen dos variedades fundamentales de minerales de Mn, ambos óxidos, y que llegan a superar el mm de tamaño: mediante estudio por SEM-EDS se ha determinado que uno de ellos es rico en Ba y el otro, rico en Fe. González-Castro *et al.* (1985) citan, basándose en observaciones mediante microscopía óptica de polarización en modo reflexión, la presencia de jacobsita, pirolusita, manganita y psi-

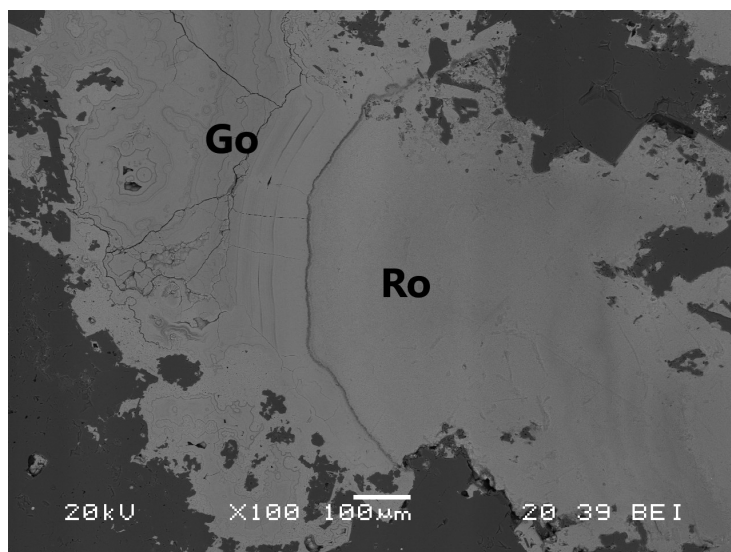


Fig. 2. Textura típica de las mineralizaciones de Mn de Muñás-Ore (Go: goethita; Ro: óxido de Mn-Ba ζromanechita?). Imagen tomada con microscopio electrónico

lomelana. En las muestras microanalizadas en este trabajo encontramos poco probable la presencia de óxidos/hidróxidos puros de Mn, lo cual lleva a pensar en que la paragénesis podría estar dominada por romanechita y jacobita. En cualquier caso, la cristalinidad de las especies de Mn es muy reducida, dado que el análisis mediante DRX de una muestra muy rica (en torno a un 30% de Mn metal) únicamente confirmó la presencia de cuarzo y goethita. Los óxidos y oxi-hidróxidos de Fe, con texturas similares a las descritas para las fases manganesíferas, están también muy presentes, principalmente como goethita y limonita.

Por la calidad de las muestras recuperadas en los restos de escombreras, creemos que estas mineralizaciones formaban acumulaciones de distribución espacial impredecible, posiblemente combinando zonas muy ricas con otras prácticamente estériles. No se ha podido verificar su presunta relación con manifestaciones volcánicas, pero su génesis supergénica resulta evidente, lo cual hace pensar que su evolución en profundidad es limitada, independiente de su presunta afinidad volcánica.

3.2. Au

Existen abundantes restos de trabajos romanos para la búsqueda de Au en la zona de estudio, principalmente sobre acumulaciones de carácter secundario. En este sentido, cabe citar el conocido carácter aurífero de los ríos Bárcena y Navelgas que, en su confluencia en Ese de Calleras, forman el Esva. La mayor corta romana que se conoce en la región (Freitarbosa) se sitúa sobre la divisoria que separa las cuencas del río Navelgas y río del Oro, si bien ya sobre la vertiente de este último (cuenca del Navia). Algunos lugares con

evidencias de trabajos romanos sobre depósitos secundarios en la cuenca del Esva son La Cabuérniga, Naraval o Ranón.

De mayor interés a efectos económicos son las mineralizaciones primarias, pudiendo citarse en este caso la corta romana de Los Fornones y la antigua mina Luarquesa, en Navelgas. La primera se sitúa sobre el nivel dolomítico basal del grupo Cándana, mientras que la segunda encaja en las calizas de la Fm Vegadeo. Debido a su mayor interés y potencial, únicamente se describirá esta última.

El trazado cartográfico de la Fm Vegadeo engloba un número importante de indicios que, salvo el caso de Navelgas, no han sido hasta el momento objeto de atención especial. Este hecho indica que esta unidad litoestratigráfica es un metalotecto en la búsqueda de acumulaciones metálicas en el sector considerado. Un hándicap importante en las fases iniciales de la prospección, en este caso en particular, es la calidad de los afloramientos, muy deficiente en líneas generales. Cabe poner de manifiesto que, si bien la Fm Vegadeo es prioritaria como objetivo en la búsqueda de Au primario, no es el único encajante en el que aparece este metal: los ríos Navelgas y Bárcena ya presentan carácter aurífero aguas arriba de su intersección con la barra de calizas, lo cual indica la existencia de mineralizaciones primarias sobre la serie Los Cabos.

En Navelgas se puede reconocer relativamente bien la Fm Vegadeo (sus partes altas) en las proximidades de la antigua mina y en los taludes de la gasolinera ($X_{UTM}=698971$; $Y_{UTM}=4809153$, Datum ETRS89, Huso 29). Se trata de una caliza gris, intensamente silicificada y recristalizada, con fracturas rellenas de cuarzo y con frecuencia mineralizadas. También existe cierto desarrollo de cavidades kársticas rellenas, parcial o totalmente, con arcillas que ya fueron explotadas por los romanos. La mineralización metálica que se emplaza en esta unidad lo hace tanto en las venas de cuarzo como en el seno de la propia roca (Fig. 3, fila superior). Álvarez (2003) cita una paragénesis simple de pirita-calcopirita-pirrotina, acompañada de óxidos de Ti, que se ha podido verificar durante el desarrollo de este trabajo, pero que debe ser completada con la presencia de tres especies nuevas: arsenopirita, bismuto nativo y bismutina (ver figura siguiente, fila intermedia). Mediante microsonda electrónica se ha podido comprobar que tanto la pirita como sus minerales de alteración (fundamentalmente goethita) presentan cantidades notables de Au refractario (invisible), siendo el Au nativo, siempre en forma de electrum, escaso y de pequeño tamaño (ver figura siguiente, fila superior).

Una aportación original a la prospección de Au en este sector es el hallazgo, en los suelos del entorno de la localidad de San Feliz (12,5 km al NE de Navelgas, siguiendo el nivel de calizas) de goethita subidiomorfa (a menudo pseudomorfa de pirita) que presenta, según los microanálisis sobre 48 partículas realizados con microsonda electrónica, cantidades de Au análogas a las citadas en las piritas en el entorno de la antigua de Navelgas (700 mg/kg). Estos suelos son potentes, eluvionares, y las muestras se tomaron sobre el horizonte B (o «de acumulación») no siendo posible llegar a verificar la presencia de la caliza en los taludes, aunque sí coincide espacialmente con la situación que en los distintos mapas se propone para la Fm Vegadeo. Este es, sin duda, un indicio interesante que invita a una investigación más detallada.

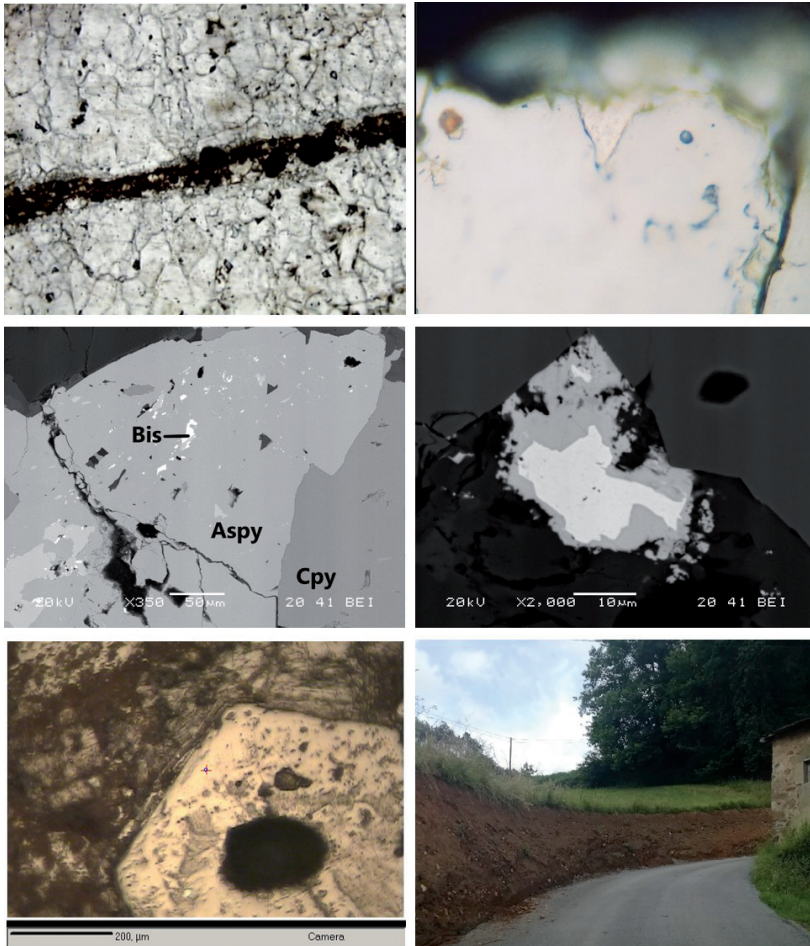


Fig. 3. Fila superior (imágenes de microscopio óptico): a la izquierda, textura de la Fm Vegadeo en el entorno de la antigua mina de Navelgas; nótese que los opacos se alinean en las fracturas, pero también se difunden en el encajante (encuadre: 1,3 mm). A la derecha, inclusión de Au en pirita (encuadre: 120 μ m). Fila intermedia (imágenes de microscopio electrónico): a la izquierda, arsenopirita (Aspy), Calcopirita (Cpy) y Bi nativo (Bis). A la derecha, bismutina englobando un núcleo de Bi nativo. Fila inferior: a la izquierda (imagen de microsonda), aspecto de las goethitas auríferas de San Feliz. A la derecha, aspecto del eluvión que contiene la goethita anterior

3.3. Tierras Raras

Recientemente, durante el desarrollo de una investigación académica sobre minerales densos en arenas de playa, se constató la presencia de monacita en las arenas de la desembocadura de los ríos Esva, Navia y Eo. A pesar de que el primero de ellos cuenta con la menor superficie de cuenca, siendo en los tres

casos el contexto geológico análogo, es dónde mayor proporción de este fosfato aparece. En este momento (junio de 2020) no se encuentra determinada su concentración media, pero el interés que despiertan actualmente las tierras raras (incluidas en la lista europea de materias primas críticas) justifica que se haya estudiado en detalle su composición y que se haya tratado de datar. La monacita en las arenas del curso bajo del río Esva aparecen en dos formas principales (ver Fig. 4): a) granos subredondeados, de hasta 100 μm de diámetro mayor, libres o no y b) pequeñas (5-20 μm) inclusiones minerales en fragmentos de rocas silíceas. Nunca aparece zonada, lo que hace pensar en una composición más o menos homogénea: la monacita es rica en tierras raras ligeras, por orden de importancia Ce-La y Nd. Según se puede apreciar en la Tabla 1, el Sm, Pr y Gd sobrepasan, en valores medios, el 1% en peso. Si se comparan estos datos con las composiciones normativas de monacitas de otros orígenes, se puede observar que la monacita del Esva se encuentra enriquecida en Nd y Pr, mientras que, en compensación, los niveles medios de Ce y La están algo por debajo de lo habitual. Expresados como los óxidos correspondientes, el contenido total en tierras raras excede el 70%.

Tabla 1. Contenido medio ($n=10$) de Y y tierras raras en la monacita del Esva (%). Se destacan los valores comentados en el texto

	Y	Sm	Tb	Dy	Pr	Gd	Ho	La	Ce	Nd
Max.	0,481	4,156	0,097	0,257	3,652	2,136	0,003	14,880	31,046	17,992
Min.	0,380	0,840	0,060	0,202	1,310	0,720	0,000	4,622	20,378	7,860
Media	0,442	1,826	0,081	0,225	2,540	1,340	0,001	12,176	26,830	10,868
Desv. est.	0,045	1,162	0,016	0,024	0,934	0,591	0,001	3,310	3,203	3,471

Con objeto de poder situar o mejor su área fuente, se realizaron una serie de análisis mediante microsonda electrónica empleando una rutina que permite realizar la datación por el método del U-Th-Pb (según se describe en Montel *et al.*, 1996). Los 4 resultados válidos indican una edad bastante superior a la correspondiente a las rocas más antiguas conocidas en la cuenca (Neoproterozoico de la serie del antiformal del Narcea) lo cual indica que, o bien el método no es válido (fallaría la asunción del origen radiogénico para el isótopo hijo, en este caso el Pb) o episodios sucesivos de removilización de la monacita.

3.4. Cu

Las metadiabasas del sector Tejedal-Burgazal son rocas cristalinas de grano grueso, duras, que tienen como minerales esenciales plagioclasa y anfíbol, comúnmente cloritizado. Se trata de alineaciones relativamente poco potentes, pero repetidas en el espacio, apareciendo en ocasiones más al S de lo que están representadas en el mapa geológico nacional. Lo destacable de estas rocas es que en corte fresco presentan mineralización metálica de sulfuros. Se han estudiado por técnicas microscópicas estas diseminaciones de sulfuros, evidenciándose la presencia, por orden de importancia, de pirita y calcopiri-

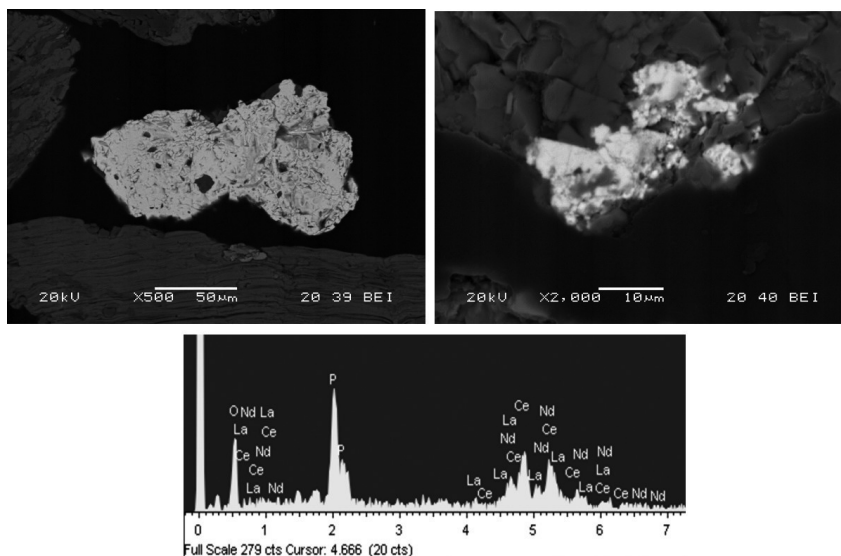


Fig. 4. Formas de ocurrencia de la monacita del Esva (imágenes de microscopio electrónico). En la parte inferior se muestra un diagrama de energía, que indica la predominancia de las tierras raras ligeras

ta (en ocasiones, también bornita). Por el momento se trata solamente de un indicio y aunque en las pocas muestras que se han estudiado, debemos citar leyes pobres, está previsto realizar unos análisis geoquímicos de elementos traza en la calcopirita (para dilucidar su origen, ver George *et al.*, 2018) y una valoración del carácter aurífero de la pirita.

4. CONCLUSIONES

La cuenca hidrográfica del río Esva es un sector relativamente poco explorado que forma parte del denominado *cinturón aurífero de Navelgas*. En este contexto aparecen algunas acumulaciones de sustancias metálicas que se repasan en el presente trabajo. A modo de resumen, los aspectos originales más relevantes son los siguientes:

Las mineralizaciones de Mn (o Mn-Fe) Muñas y Ore están ligadas a una génesis supergénica que juega en contra de las reservas en cualquier caso, desconocidas que puedan albergar. Se pone en entredicho su asociación con rocas volcánicas y, entre los óxidos de Mn, las variedades dominantes son las ricas en Ba y Fe.

La mineralización aurífera de Navelgas presenta la mayor parte de su Au en forma refractaria (asociado a la pirita). Se trata de Au invisible, cuya presencia se ha localizado en la prolongación al NE de la banda de caliza cámblica que lo alberga. Se deben añadir a la paragénesis del depósito de Navelgas la arsenopirita, el Bi nativo y la bismutina.

En la desembocadura del río Esva existen indicios de monacita, en granos de hasta 100 μm de diámetro, que cuenta con una composición bastante ho-

mogénea, con un 70% de óxidos de tierras raras, principalmente Ce, La y Nd. Se desconoce(n) el(las) área(s) fuente.

Las metadiabasas asociadas al cabalgamiento de Montefurado presentan una mineralización metálica dispersa de sulfuros, con piritita, calcopiritita y, ocasionalmente, bornita.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a los profesores Jesús García Iglesias y Jorge Loredó por sus notables aportaciones al conocimiento de los yacimientos minerales de nuestra región y por haber sido pioneros en la Universidad de Oviedo en esta línea de investigación aplicada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, R., 2003. Mineralogical and geochemical characterization of an epithermal gold Deposit in northwestern Spain. *Memorias e Noticias*, 2 (Nova Série): 195-204.
- Álvarez, R., Ordóñez, A., 2010. La mineralización aurífera de Navelgas. El modelo Carlin de la zona Astur-Occidental Leonesa. En: Loredó, J. (Ed), *Nuevos retos en la prospección e investigación de los recursos minerales. Libro homenaje al profesor Jesús García Iglesias*, p. 53-80.
- CSA Global, 2018. *NI 43-101 Technical Report. Salave Gold Project Mineral Resource Update for Black Dragon Gold Corp.* Disponible on-line: <https://www.blackdragongold.com/our-projects/resource-statements/>
- Díaz Asenjo, J., Loredó Pérez, J., García Iglesias, J., 1984a. Algunos aspectos de interés metalogénico en el nivel carbonatado de la formación Cándana-Herrería. *Boletín de Ciencias Naturales del Instituto de Estudios Asturianos*, 34: 115-120.
- Díaz Asenjo, J., Loredó Pérez, J., García Iglesias, J., 1984b. Investigaciones geoquímicas de zonas auríferas potencialmente interesantes en niveles dolomíticos del Cámbrico Inferior en Asturias. *Boletín de Ciencias Naturales del Instituto de Estudios Asturianos*, 35: 157-168.
- García-Arias, M., Corretgé, L. G., Castro, A., 2006. Las albititas del Paleozoico Inferior del occidente de Asturias: ¿Posible fuente de leucogranitos? *Geogaceta*, 40: 147-150.
- García-Arias, M., Corretgé, L. G., Castro, A., 2007. Fusión y cristalización de las albititas de San Pedro de Paredes (Asturias): modelos teóricos y experimentales. *Geogaceta*, 41: 83-86.
- George, L. L., Cook, N. J., Crowe, B. B. P., Ciobanu, C. L., 2018. Trace elements in hydrothermal chalcopyrite. *Mineralogical Magazine*, 82(1): 59-88.
- González-Castro, G., Loredó, J., García-Iglesias, J., 1985. Datos sobre mineralizaciones de manganeso en Asturias. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 8: 173-179.
- González-Nistal, S., Álvarez, R., Ordóñez, A., Loredó, J., 2020. Occurrence of detrital monazite within the Esva watershed (NW Spain): EPMA dating and REE geochemistry. *Goldschmidt2020 Abstracts*.
- IGME, 1977. *Investigación minera en la zona de Trevías-Sierra de los Vientos (Oviedo)*. Informe interno inédito, 62 p.
- Marcos, A., Pérez-Estaún, A., Martínez-Catalán, J. R., Gutiérrez-Marco, J. C., 2004. Zona Asturoccidental-Leonesa. Estratigrafía y Paleogeografía. En: Vera (Ed.), *Geología de España*. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España, p. 49-51.
- Montel, J. M., Foret, S., Veschambre, M., Nicollet, C., Provost, A., 1996. Electron microprobe dating of monazite. *Chemical Geology*, 131: 37-53.

- Pérez-Estaún, A., Bastida, F., Martínez-Catalán, J. R., Gutiérrez-Marco, J. C., Marcos, A., Pulgar, J., 1990. West Asturian-Leonese Zone: Stratigraphy. En: Dallmeyer, R.D., Martínez-García (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, p. 92-102.
- Roel, J., 1994. Las rocas albíticas (albititas) del Norte de Lugo y Asturias (Zona Asturoccidental-Leonesa). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 19: 347-378.
- Rubio-Ordóñez, A., 2010. *Magmatismo Neoproterozoico en el antiformal del Narcea*. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Oviedo, 306 p.
- Ruiz, F., Luque, C., 1988. Metalogenia de la Zona Asturoccidental-Leonesa. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1(11-2): 239-247.
- Spiering, E. D., Pevida, L. R., Maldonado, C., González, S., García, J., Varela, A., Arias, D., Martín-Izard, A., 2000. The gold belts of western Asturias and Galicia (NW Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 71: 89-101.