

(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 DEL YACIMIENTO DE CARLÉS A LA MINERALOGÍA ESPAÑOLA

Manuel Mesa Braña

Ingeniero de Minas. Responsable de Planificación Minera en la mina de El Valle-Boinás (periodo 1996-2003)

RESUMEN

El yacimiento asturiano de Carlés pertenece a esos contados yacimientos en los que su abundante diversidad de especies minerales, le han conferido un puesto de importancia dentro de la mineralogía española.

Gracias a los trabajos de explotación a cielo abierto realizados por la empresa Río Narcea Gold Mines S. A., los cuales han servido de ventana geológica al estudio e investigación de este yacimiento de oro del occidente asturiano, se han podido inventariar 78 especies minerales, algunas de las cuales, como por ejemplo la löllingita, la jamesonita, la allanita, la senarmonita, la eucroíta, la hörnesita o la chapmanita, han sido un descubrimiento notable debido a su rareza o calidad de cristales.

1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento aurífero de Carlés se halla situado en la zona centro occidental del Principado de Asturias, próximo a la pequeña población de Carlés en el concejo de Salas, y a unos 45 km aproximadamente de la capital de Oviedo con un acceso cómodo y sencillo por la carretera AS-15.

Su mineralización ha sido aprovechada en época de dominio romano tal y como lo atestiguan las antiguas labores de explotación presentes que ya fueron referenciadas por Paillette (1853) y Schulz (1858) a mediados del siglo XIX. Entre los años 1945 y 1946 se tiene constancia de pequeñas labores para el aprovechamiento de arsenopirita, denominadas *Mina del Cura*, situada en el borde occidental del *stock* ígneo, y Mina de Bandanaso, situada al este de la intrusión. Pero es a partir de los años 70 cuando comienza la exploración moderna del Cinturón aurífero denominado *Río Narcea* con compañías como Gold Fields Española, S. A., Boliden Minerals A. B., Anglo American Corporation, que culmina en el año 2000 con la pue-

ta en producción del yacimiento por la empresa Rio Narcea Gold Mines, S. A. (RNGMSA) que ese momento se encontraba explotando el complejo minero de El Valle-Boinás.

Actualmente los activos mineros de El Valle-Boinás-Carlés pertenecen a la empresa Orvana Minerals Corp., encontrándose el yacimiento de Carlés en situación de paralización temporal de la actividad minera con el objetivo de redefinir reservas.

2. GEOLOGÍA

Este depósito de Cu-Au está constituido por una serie de mineralizaciones asociadas a la intrusión ígnea de Carlés. Una intrusión granodiorítica que se emplaza durante el periodo tardihercínico aprovechando controles tectónicos y estratigráficos (Boixet, 1993 y Martín-Izard *et al.* 1998), y que intruye en el contacto litológico de las areniscas ferruginosas de la Formación Furada del Silúrico Superior y los materiales carbonatados del Grupo Rañeces (Formación Calizas de Nieva) del Devónico Inferior (ver Fig. 1).

El intrusivo ígneo de Carlés presenta una forma de domo con una proyección en planta pseudocircular de unos 750 m de diámetro, que cuenta con interdigitaciones o ramificaciones a favor de juntas estratigráficas. Du-

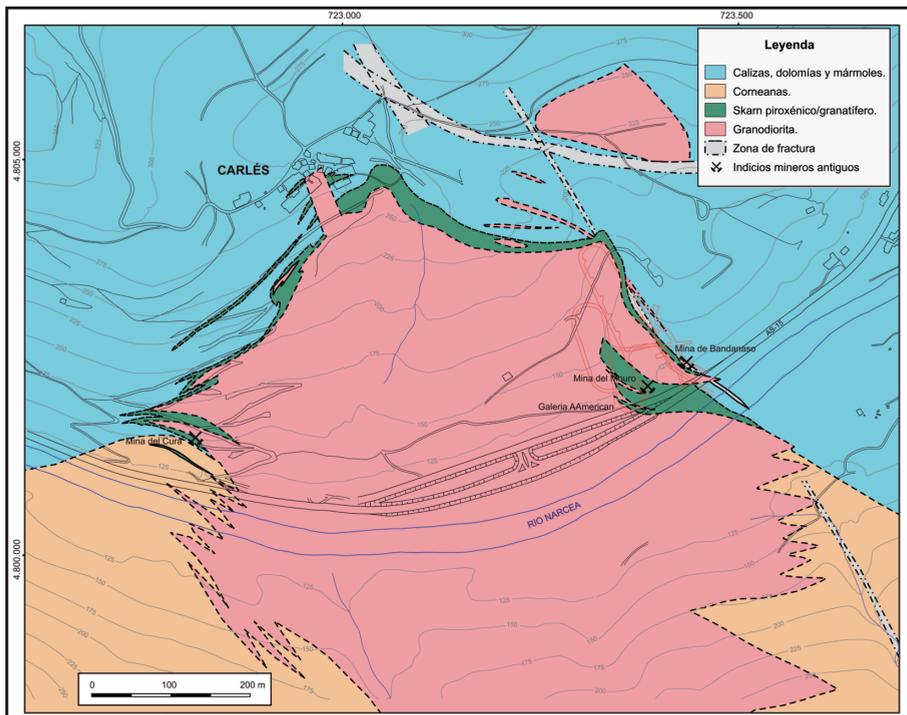


Fig. 1. Detalle geológico del skarn cálcico de Carlés. (Fuente RNGMSA)

rante su intrusión, se produce una aureola de metamorfismo de contacto que da lugar a la formación de corneanas en la Formación Furada y a una recristalización de las calizas devónicas. Posteriormente su enfriamiento y solidificación conlleva procesos metasomáticos que son los responsables de la formación del skarn, constituyendo zonas metasomáticas desarrolladas sobre el encajante (exoskarn) y ausencia prácticamente de metasomatismo sobre la roca ígnea (endoskarn). Por ello, el yacimiento de Carlés se clasifica básicamente como un exoskarn (Martín-Izard *et al.*, 1993) el cual se ha desarrollado predominantemente a lo largo del margen norte de la granodiorita de Carlés.

El skarn ha sido ampliamente investigado por diferentes empresas, siendo los trabajos más exhaustivos, los realizados por las empresas Río Narcea Gold Mines y Orvana Minerals Corp., que han llegado a redefinir las reservas del yacimiento con un cierre de malla de sondeos de hasta 25 x 25 m para su explotación. Como dato, aportar que desde 1981 hasta el 2014 se han realizado 931 sondeos, totalizando más de 102000 m perforados (Cox *et al.*, 2014). Esta investigación ha diferenciado cuatro dominios diferentes que se han denominado según la situación del skarn con respecto a la intrusión granodiorítica: Carlés Este, Carlés Norte, Carlés Noroeste y Carlés Oeste.

Este artículo se centrará en la mineralización de Carlés Este y Carlés Norte debido a la mayor accesibilidad a la recolección de muestras minerales.

3. LA MINERALIZACIÓN

Una peculiaridad del yacimiento es el de presentar paragénesis muy diferentes en un área muy reducida: Por un lado, el dominio de Carlés Este donde priman los minerales silicatados y donde la mineralización económicamente aprovechable está compuesta por sulfuros masivos de bornita y calcopirita y magnetita principalmente. Y, por otro lado, el skarn de Carlés Norte, donde priman los sulfuros frente a los silicatos, y que, en superficie, dan lugar a minerales secundarios muy interesantes debido a la alteración supergénica.

3.1. Paragénesis de Carlés Este

Carles Este se sitúa al este del intrusivo, próximo a la carretera AS-15, y destaca por la presencia de dos capas de skarn granatífero de unos 20 m de potencia y dirección N45W, que están separadas por un sill de intrusivo. Fue explotado a cielo abierto desde el año 2000 hasta el 2002, produciendo 63 852 toneladas con una ley media de 4,54 g Au/t (9320 onzas de oro) y 0,78% Cu (Noble *et al.*, 2012).

En este dominio, la mineralización consiste básicamente en sulfuros de cobre tipo calcopirita y bornita, con abundante magnetita y escasa arsenopirita en un skarn granatífero donde el granate es el primer mineral en formarse durante el primer frente metasomático. Los granates pertenecen a la serie andradita-grosularia, aunque siempre con predominio del término grosularia sobre el de andradita (Boixet, 1993).

Tabla 1. Relación de especies minerales del yacimiento

Mineral	Fórmula	Mineral	Fórmula
Actinolita	$(Ca_2)(Mg_{4.5-2.5}Fe^{2+}_{0.5-2.5}Si_6O_{22}(OH)_2$	Gudmundita	FeSbS
Albita	$Na(AlSi_3O_8)$	Hastingsita	$NaCa_2(Fe^{2+}_4Fe^{3+})(Si_6Al)_2O_{22}(OH)_2$
Allanita-(Ce)	$CaCe(Al_2Fe^{3+})(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$	Hedenbergita	$CaFe^{2+}Si_2O_6$
Andradita	$Ca_3Fe^{3+}(SiO_4)_3$	Hematites	Fe_2O_3
Anglesita	$PbSO_4$	Hidromagnesita	$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$
Antigorita	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	Hörsnesita	$Mg_5(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$
Aragonito	$CaCO_3$	Jamesonita	$Pb_4FeSb_6S_{14}$
Arsenosiderita	$Ca_2Fe^{3+}_3O_2(AsO_4)_3 \cdot 3H_2O$	Kermesita	Sb_2S_2O
Arsenopirita	$FeAsS$	Limonita	$FeO(OH) \cdot nH_2O$
Azurita	$Cu_5(CO_3)_2(OH)_2$	Löllingita	$FeAs_2$
Bornita	Cu_3FeS_4	Magnetita	$Fe^{2+}Fe^{3+}O_4$
Bournonita	$PbCuSbS_3$	Malaquita	$Cu_2(CO_3)(OH)_2$
Brochantita	$Cu_4(SO_4)(OH)_6$	Marcasita	FeS_2
Brucita	$Mg(OH)_2$	Marialita	$Na_4Al_3Si_9O_{24}Cl$
Calcantita	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Metastibnita	Sb_2S_3
Calcita	$CaCO_3$	Microclina	$K(AlSi_3O_8)$
Calcopirita	$CuFeS_2$	Mimetita	$Pb_5(AsO_4)_3Cl$
Calcosina	Cu_2S	Molibdenita	MoS_2
Cerusita	$PbCO_3$	Moscovita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$
Chapmanita	$Fe_2^{3+}Sb^{3+}(Si_2O_7)_2(OH)$	Oro	Au
Clinocloro	$Mg_5Al(AlSi_3O_{10})(OH)_8$	Oxiplumboromeita	$Pb_2Sb_2O_7$
Cobre	Cu	Parasimplesita	$Fe_3^{2+}(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$
Conicalcita	$CaCu(AsO_4)(OH)$	Pirita	FeS_2
Crisocola	$(Cu_{2.5}Al)_2H_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot nH_2O$ ($x < 1$)	Piroaurita	$Mg_6Fe_2^{3+}(CO_3)(OH)_6 \cdot 4H_2O$
Crisotilo	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$	Pirrotina	Fe_7S_8
Cuarzo	SiO_2	Plata	Ag
Datolita	$CaB(SiO_3)(OH)$	Prehnita	$Ca_2Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$
Diópsido	$CaMgSi_2O_6$	Senarmontita	Sb_2O_3
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$	Sepiolita	$Mg_4(Si_6O_{15})(OH)_2 \cdot 6H_2O$
Epidota	$Ca_2(Al_2Fe^{3+})[Si_2O_7][SiO_4]O(OH)$	Siderita	$FeCO_3$
Eritrina	$Co_2(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$	Stibnita	Sb_2S_3
Escorodita	$Fe^{3+}(AsO_4) \cdot 2H_2O$	Tetraedrita	$Cu_4[Cu_4(Fe,Zn)_2]Sb_4S_{13}$
Esfalerita	ZnS	Tirolita	$Ca_2Cu_9(AsO_4)_4(CO_3)(OH)_8 \cdot 11H_2O$
Eucoita	$Cu_2(AsO_4)(OH) \cdot 3H_2O$	Titanita	$CaTiSiO_5$
Farmacosiderita	$KFe^{3+}(AsO_4)_3(OH)_4 \cdot 6-7H_2O$	Valentinita	Sb_2O_3
Ferroactinolita	$\square Ca_2(Mg_{2.5-0.0}Fe^{2+}_{2.5-0.0})(Si_6O_{22})(OH)_2$	Vesubiana	$(Ca,Na)_{10}(Al,Mg,Fe)_{13}(SiO_4)_{10}(Si_2O_7)(OH,F,O)_{10}$
Galena	PbS	Woodruffita	$Zn_2(Mn^{4+},Mn^{3+})_3O_{10} \cdot 4H_2O$
Goethita	$\alpha-Fe^{3+}O(OH)$	Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Grosularia	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	Zinckenita	$Pb_5Sb_{22}S_{42}$

Los mejores ejemplares de granate aparecieron durante la ejecución del desvío de la carretera AS-15 y durante las propias labores de explotación de la corta Carlés Este, donde eran frecuentes la presencia de geodas rellenas de calcita. Mediante la acidificación de estas geodas eran visibles el resto de minerales producto del metasomatismo y retrogradación del skarn.

Continuando con la secuencia paragenética del exoskarn de Carlés, el siguiente frente metasomático reemplaza los granates por piroxenos de la serie diópsido-hedenbergita. La hedenbergita, frecuente en esta explotación, se presenta en cristales de color verde oscuro de hasta dos centímetros de lon-

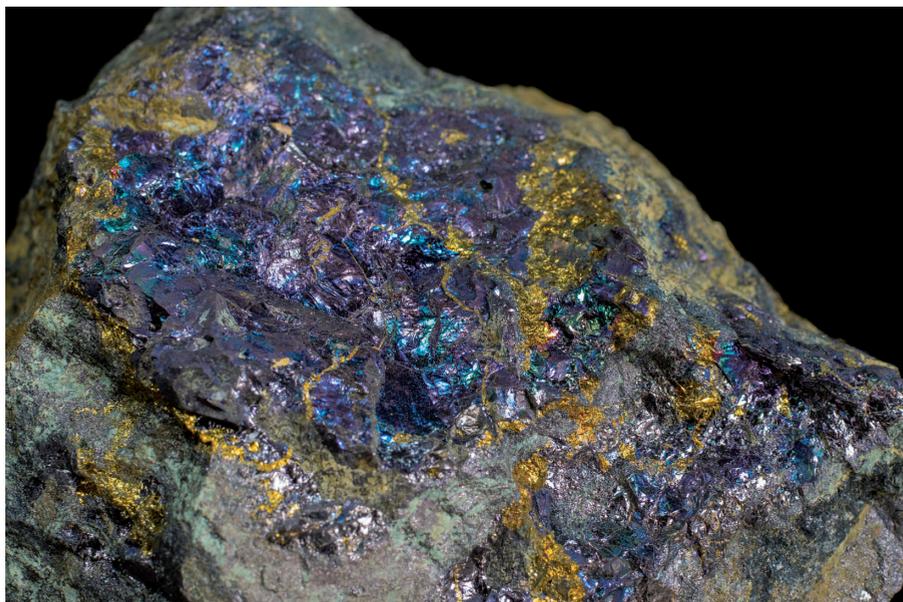


Fig. 2. Aspecto del mineral (bornita+calcopirita) de Carlés Este. (Foto: Paco Mayor)

gitud, tapizando las geodas de granate en compañía de otros minerales accesorios producto de la retrogradación del skarn.

Posteriormente, en la fase retrógrada del skarn, se forman los anfíboles, los cuales se han clasificado como hastingsitas potásicas. Estos anfíboles reemplazan los minerales previos, e incluso sustituyen las masas lenticulares de granate preexistentes, dando lugar a una porosidad intersticial elevada. Esta porosidad es de gran importancia ya que, en episodios posteriores, será rellena por los sulfuros (Arcos, 1996). En esta fase también se produce la transformación de hedenbergita a magnetita, y además se lleva a cabo la formación de feldespatos y cuarzo, pudiendo distinguirse feldespatos potásicos tipo microclina, feldespatos sódicos tipo albita, menos frecuentes, y plagioclasas intermedias de composición zonada (Boixet, 1993).

Dentro de los minerales producto de la fase retrógrada del skarn se pueden encontrar escapolita con predominio del término marialita, vesubiana, epidota, titanita, allanita, ferroactinolita y prehnita. En esta explotación, después del granate y la hedenbergita, la escapolita era el mineral que predominaba en las geodas, formando rellenos de cristales divergentes de hasta 6 cm de longitud.

Las geodas presentes en el skarn se forman como consecuencia del enfriamiento de la granodiorita y al aumento de la presión de fluidos, que da lugar al diaclasado de la roca ígnea y a una intensa fracturación del skarn. Es entonces cuando los fluidos mineralizadores se canalizan hacia ellas debido al gradiente de presión existente, precipitando los minerales citados anteriormente y tapizando las paredes de estas cavidades.

Continuando con la secuencia paragenética de la mineralización de Carlés, se inicia la precipitación de las fases metálicas con contenidos bajos en azufre como son la löllingita y la pirrotina, y en un tercer estadio posterior el resto de los sulfuros (Arcos, 1996). En Carlés Este, los sulfuros predominantes eran la bornita y la calcopirita.

Durante el tercer estadio, es también cuando precipita la mayor parte del oro en forma de electrum, responsable del interés económico del yacimiento (Arcos, 1996). Este electrum se presenta en forma de pequeñas partículas (incluso milimétricas) asociadas a los sulfuros de cobre.

Por otra parte, merece la pena destacar en este sector, la presencia de filones tardíos de cuarzo en la granodiorita que portaban sulfuros tipo molibdenita, arsenopirita y jamesonita.



Fig. 3. Cristal de grosularia de 12 mm sobre calcita. Corta Carlés Este. (Foto: Paco Mayor)



Fig. 4. Allanita sobre beddenbergita (cristal de 5 mm). Corta Carlés Este. (Foto: Paco Mayor)



Fig. 5. Cristal aéreo de titanita de 13 mm. Corta Carlés Este. (Foto: Paco Mayor)



Fig. 6. Oro sobre microclina (partículas de 2 mm). Corta Carlés Este. (Foto: Paco Mayor)



Fig. 7. Cristales de plagioclasas sobre *bedensbergita* (encuadre 20 mm).
(Foto: Paco Mayor)



Fig. 8. Escapolita variedad *marialita* (cristal de 55 mm). Corta Carlés Este.
(Foto: Paco Mayor)

3.2. Paragénesis de Carlés Norte

La corta Carlés Norte estuvo operativa desde el año 2000 al 2004 y se extrajeron un total de 241381 toneladas con una media de 4,43 g Au/t (34.393 onzas de oro) y 0,77%Cu (Noble *et al.*, 2012). En esta explotación, la mineralización es muy diferente: La presencia de granates y piroxenos prácticamente ha desaparecido y no existen geodas o huecos rellenos con los minerales retrógrados propios del skarn (tal y como ocurría en Carlés Este).

En esta explotación toma especial relevancia el denominado *Filón Rufino*: un filón tardío rico en oro y plata con esfalerita y sulfosales, principalmente jamesonita, en un relleno de calcita. Este filón se presenta en Carlés Norte concordante con el skarn y en contacto con la granodiorita, aunque más al sur intruye en la roca ígnea y al norte en los materiales marmóreos. La importancia de este filón radica en su continuidad y la escasa variabilidad en su potencia (de 5 a 20 cm), lo que lo hacía una guía excepcional durante las campañas de investigación con sondeos.

Desde el punto de vista mineralógico, tanto el Filón Rufino como el skarn mineralizado presentan en superficie una alteración supergénica muy interesante, formando un amplio abanico de minerales secundarios. Por ejemplo, al inicio de las labores en Carlés Norte, y la vez que se descubren unas galerías romanas (que aprovechaban el Filón Rufino), aparecieron unas masas cristalinas de galena en forma de bolos de hasta un metro de espesor con abundantes geodas en su interior, donde se podían encontrar minerales producto de alteración, como cerusita, anglesita y mimetita. Otros minerales supergénicos producto de la alteración de los minerales de cobre del skarn,

que se han descubierto durante la explotación de yacimiento han sido: malaquita, azurita, brochantita, conicalcita, crisocola, tirolita, así como pátinas de calcantita de neoformación. Estos minerales eran relativamente abundantes y se presentaban rellenando las fracturas y diaclasas del skarn más superficial que se mostraba alterado y oxidado.

Pero de entre todos los secundarios de cobre encontrados en Carlés Norte, merece la pena destacar la existencia de la eucroita, siendo Carlés es el único yacimiento español en el que se ha citado esta especie mineral (Calvo *et al.*, 2014).



Fig. 9. *EuCroita* sobre *crisocola* (cristal de 3 mm). Corta Carlés Norte.
(Foto: Paco Mayor)

En profundidad la roca de skarn se presenta más fresca y en sus fracturas y grietas suelen aparecer otros minerales secundarios producto de la alteración de la arsenopirita y la löllingita, tales como yeso, escorodita, parasimplesita, arseniosiderita, farmacosiderita, hörnesita, hidromagnesita y aragonito. Y en la mineralización propiamente dicha, se observa una variabilidad acusada de paragénesis: desde zonas ricas en magnetita con anfíboles, zonas con predominio de pirrotina, esfalerita, calcopirita, arsenopirita y pirita, y otras zonas donde la presencia de arsenopirita, la jamesonita y la stibnita son mayoritarias. Asociada a la stibnita se ha observado la presencia ocasional de metastibnita en forma de pátinas rojizas sobre stibnita, y de zinkenita en forma de microcristales (Calvo *et al.*, 2014).

En el Filón Rufino rico en jamesonita y que discurre paralelo al skarn mineralizado, merece la pena destacar la presencia de minerales resultantes de la oxidación de sulfosales de plomo y antimonio, como valentinita y oxiplumboromeíta. También aparece senarumontita en forma de cristales blancogrisáceos e incluso transparentes visibles a simple vista, lo que hace que Car-

lés sea el yacimiento español más notable para la especie (Calvo *et al.*, 2014). De forma anecdótica, en este filón y en las últimas plataformas de la explotación a cielo abierto, también se recuperaron ejemplares bastante interesantes de kermesita asociada a arsenopirita, esfalerita y stibnita.

Pero el mineral más relevante y el cual le ha hecho un hueco al yacimiento de Carlés dentro de la mineralogía española, debido a la gran calidad de sus cristales, ha sido la löllingita. Esta especie se presenta formando cristalizaciones hojosas incluídas en calcita, de hasta 10 cm (bastante grandes para la especie) pero difíciles de recuperar debido a la fracturación interna que presentan.

Por último, también merece mención, desde el punto de vista mineralógico, la presencia de grupos de cristales de bournonita de hasta 10 mm, y cristales de calcosina en pequeñas geodas dentro del skarn rellenas de dolomita cristalizada.

En este artículo se ha inventariado los minerales encontrados que han sido distinguidos a simple vista o con binocular. Existen muchos otros a escala microscópica y que han sido referenciados en la amplia bibliografía que ha suscitado este yacimiento, pudiendo citar, por ejemplo: bismuto nativo, bismutinita, tenantita y cubanita (Loredo y García Iglesias, 1988), wittichenita, hessita, estannita e ilmenita (Martín-Izard *et al.*, 1998), joseíta, tetradimita, schirmenita (Arcos, 1996), y muchos otros.



Fig. 10. Anglesita sobre galena (encuadre 30 mm). Corta Carlés Norte. (Foto: Paco Mayor).



Fig. 11. Detalle de malaquita (encuadre 10 mm). Corta Carlés Norte. (Foto: Paco Mayor).



Fig. 12. Escorodita (encuadre 10 mm). Corta Carlés Norte. (Foto: Paco Mayor)

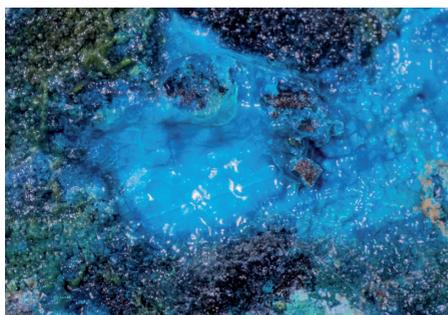


Fig. 13. Detalle de crisocola (encuadre 20 mm). Corta Carlés Norte. (Foto: Paco Mayor).



Fig. 14. Farmacosiderita asociado a un arseniato amarillo no identificado (encuadre 30 mm). Corta Carlés Norte. (Foto: Paco Mayor)



Fig. 15. Chapmanita (ancho ejemplar 45 mm). Corta Carlés Norte. (Foto: Paco Mayor)



Fig. 16. Magnetita (encuadre 15 mm). Corta Carlés Norte. (Foto: Paco Mayor).



Fig. 17. Hörnesita sobre aragonito (encuadre 10 mm). Corta Carlés Norte. (Foto: Paco Mayor)



Fig. 18. Arsenopirita (encuadre 4 mm). Corta Carlés Norte. (Foto: J. A. Soldevilla).



Fig. 19. Jamesonita con pátinas de Oxiplumboromeíta (encuadre 25 mm). Filón Rufino. Corta Carlés Norte. (Foto: Paco Mayor).



Fig. 20. Löllingita (cristal de 48 mm). Corta Carlés Norte. (Foto: José Rafael González)



Fig. 21. Senarmontita (encuadre 2,5 mm). Filón Rufino. Corta Carlés Norte. (Foto: J. A. Soldevilla).



Fig. 22. Bournonita (cristal 6 mm) sobre cuarzo con pequeños cristales de pirita. Corta Carlés Norte. (Foto: Paco Mayor).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcos, D., 1996. Las mineralizaciones asociadas a la granodiorita en el depósito de Cu-Au de Carlés (Asturias). *Tesis Doctoral inédita*, Universidad de Barcelona, 360 p.
- Boixet, Ll., 1993. Morfología y Mineralogía del skarn de Carlés, Asturias. *Tesis de Licenciatura inédita*. Universidad de Barcelona, 84 p.
- Calvo, M., Viñals, J., Callem, J., 2014. Mineralogía del yacimiento de oro de Carlés, Salas (Asturias). *Revista de Minerale*s, 6: 6-32.
- Cox, J., Sepp, J., Horan, S., Scholey, B., 2014. Technical Report on the El Valle Boinás - Carlés Operation, Asturias, Spain. Technical Report NI 43-101. RPA. *Informe interno inédito para Orvana Minerals Corp.*, 173 p.
- Martín-Izard, A., Boixet, Ll., Maldonado, C. 1993. The Carlés copper-gold-bearing skarn, Cantabrian Cordillera, Spain. *Current Research in Geology Applied to Ore Deposit. Proceedings of Second Biennial SGA Meeting*, 499-502.
- Martín-Izard, A., Fuertes-Fuente, M., Boixet, Ll., Pevida, L.R., Spiering, E. D., Varela, A., González, S., 1998. The "Carlés" intrusive and its relationship to skarn formation and old-copper-molybdenum ore deposition. En: Arias, D., Martín-Izard, A., Paniagua, A. (Eds.), *Gold Exploration and Mining in NW Spain. Asturias*, 65-74.
- Noble, A. C., Wheeler, A., Williams, W. C., 2012. Technical Report for the El Valle/Boinás-Carlés Gold Deposits: Updated Reserve Estimate and Mine Plan. *Informe interno inédito para Orvana Minerals Corp.* 276 p.

- Paillete, A., 1853. Investigaciones sobre la historia y condiciones de yacimiento de las minas de oro en el Norte de España. *Revista Minera*, 4: 450-457.
- Schulz, G., 1858. *Descripción geológica de la provincia de Oviedo*. Impr. de José González, Madrid, 138 p.