



## Procesos hidrotermales asociados a la mineralización ferrífera de Celrà (Cordilleras Costeras Catalanas)

## Hydrothermal events related to the Celrà Fe deposits (Catalonian Coastal Ranges)

FERRER MODOLELL, A.-E.

La existencia de procesos hidrotermales asociados a las mineralizaciones de hierro en el distrito minero de Celrà en la provincia de Girona, permite reconocer una serie de facies metalogénicas características y muy comunes en la mayoría de los sistemas epitermales.

En toda la zona mineralizada se pueden identificar fenómenos de brechificación hidrotermal, presencia de vetas y niveles pseudoconcordantes de Sílice, brechas síliceas, así como procesos de alteración hidrotermal tales como: silicificación, ferruginización, argillitización y piritización.

Cada uno de estas facies hidrotermales posee su propia «marca» geoquímica, que resulta de la evolución de los fluidos mineralizantes a través del tiempo y del espacio.

Se propone, para estas mineralizaciones, un modelo de tipo epitermal relacionado con el volcanismo calco-alcalino que se desarrolló durante el Ordovícico Superior en este sector de los Catalánides.

**Palabras clave:** Fe-Mn, Epitermal, Geoquímica.

**Key words:** Fe-Mn, Epithermal, Geochemistry.

Hydrothermal events in the Fe-ores of Celrà minning district at Girona Province, let us to recognize a particular suite of «metalogenic» facies related to epithermal systems.

In the whole of the mineralized area it could be possible to identified hydrothermal breccia, silica veins and sinter like deposits, silicified breccia as well as widespread alteration zones with common silicification, argillitization, piritization and oxidation. Each of these hydrothermal facies has its peculiar geochemits mark, which is the result of the ore fluids evolution in the time and space.

An epithermal model related to a calcoalcaline volcanism is proposed in order to explain ore deposition.

**Key words:** Fe-Mn, Epithermal, Geochemistry.

## INTRODUCCION

El sector minero de Celrá ocupa unos 12 Km<sup>2</sup> de extensión en el extremo nor-occidental del macizo de Les Gavarres, a aproximadamente diez kilómetros al NE de Girona.

Se trata principalmente de concentraciones de óxidos de Hierro (Goetita, Limonita y Hematites) y, en menor proporción, de Manganeseo (Pirolusita) que arman en las calizas del Cambro-Ordovícico. Tienen un carácter tanto estratiforme-estratoligado, como marcadamente discordante y puede alcanzar potencias de varias decenas de metros.

En general, la serie litoestratigráfica del Paleozoico inferior en este sector de las Cor-

dilleras Costeras Catalanas es muy parecida a la que aparece en los Pirineos centrales y orientales. Los materiales más antiguos corresponden a una secuencia esencialmente pelítica-carbonatada que se ha atribuido tradicionalmente al Cambro-Ordovícico (JULIVERT y MARTINEZ, 1980; DURAN, H., 1985). Sobre esta secuencia se emplaza una serie vulcano-sedimentaria de edad Caradociense (BARNOLAS, A. *et al.*, 1980; DURAN, H., 1985), con un vulcanismo calco-alcalino ácido-intermedio (NAVIDAD y BARNOLAS, 1988; FERRER, A., 1989; FERRER y MARTI, 1989).

Los materiales volcánicos ponen de manifiesto el carácter eminentemente explosivo de este vulcanismo: Flujos Piroclásticos de carácter Ignimbrítico, Depósitos de

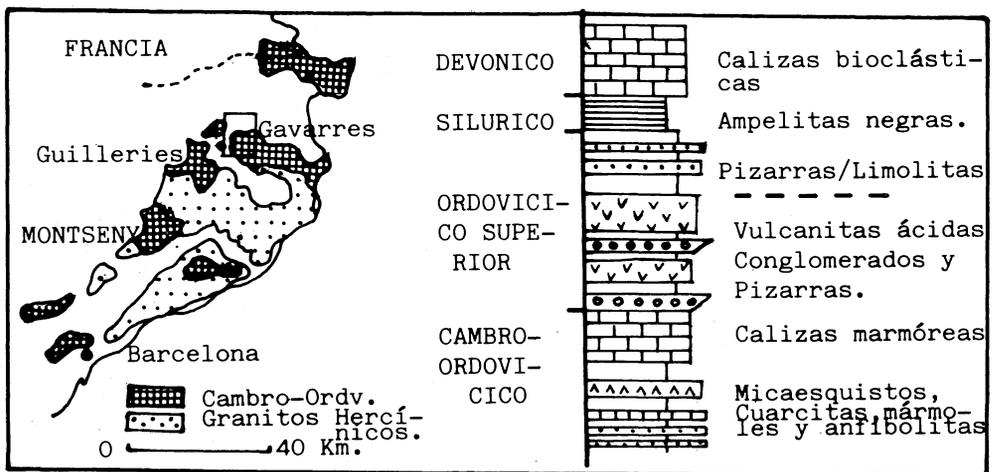


Fig. 1. Mapa de situación y columna sintética.

Oleadas Piroclásticas, depósitos masivos (Lavas Dacíticas) y materiales Volcano-Epiclásticos que proceden del desmantelamiento de los minerales netamente volcánicos (FERRER, A. E., 1989).

Las erupciones se llevan a cabo con la participación de fenómenos freato-magmáticos a lo largo de grandes fracturas distensivas, que controlan la dinámica de pequeñas cuencas sedimentarias en un sistema de horst y grabens.

## AMBIENTE GEODINAMICO

Este sector de las Catalánides forma parte del ramal subhercínico de la Orogenia Varisca europea (AUTRAN y COGNE, 1980). Durante el Paleozoico inferior europeo (Cámbrico a Ordovícico superior) se produce la apertura, bajo régimen distensivo, de una cuenca vulcano-sedimentaria de afinidad oceánica a nivel regional (COGNE y WRIGHT, 1980).

En el Ordovícico superior, el ambiente geológico de este sector está representado por una serie de pequeñas cuencas sedimentarias, altamente inestables, cuya dinámica está controlada por una fracturación normal que la compartimenta en un sistema de horst-grabens bajo régimen distensivo.

En estas condiciones geodinámicas y a favor de las fracturas distensivas se desarrolla el volcanismo calco-alcalino, ácido-intermedio y de naturaleza explosiva, que es el responsable de las distintas mineralizaciones metálicas que existen en este sector nor-oriental de los Catalánides (FERRER, A. E., 1989; 1990).

**Geología local**

La mineralización se emplaza en calizas marmóreas de la serie pelítico-carbonatada cambro-ordovícica. Está constituida por un conjunto de lentejones de Oxidos e Hidróxidos de hierro que se emplazan alternando entre los bancos calizos o, incluso, en la misma secuencia filítica.

Esta mineralización principal está acompañada por pequeños filoncillos de Baritina y Galena, stockworks hematífticos y limonitizaciones/Ankeritizaciones, que han sido objeto de un laboreo muy poco importante.

En su conjunto, los materiales están afectados por una intensa fracturación de dirección WSW-ENE que controla estructuralmente la mineralización.

La paragénesis principal está compuesta por: Goetita-Limonita-Hematites-Oxidos de Manganeso-Cuarzo y Calcita.

La mayoría de los minerales que la constituyen aparecen en forma coloforme (como es el caso de la Goetita) o muy mal cristalizados, formando una masa metálica de difícil identificación en una ganga de cuarzo y calcita.

**FENOMENOS HIDROTERMALES**

Quizás uno de los aspectos más relevantes que se pueden encontrar en este sector minero, lo constituye la existencia de determinados procesos hidrotermales propios de

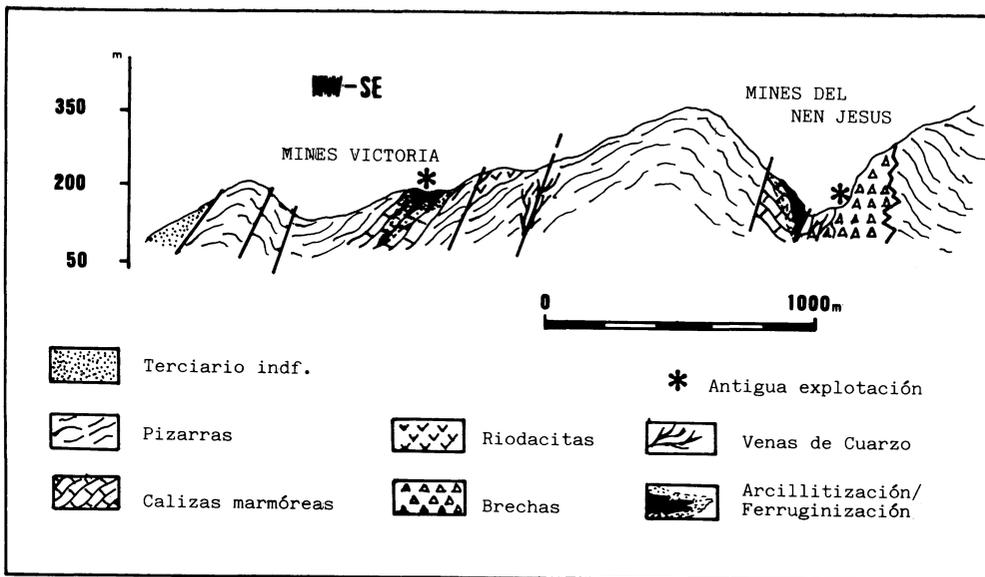


Fig. 2. Corte geológico sintético del distrito minero de Celrà.

los ambientes epitermales. En efecto, asociadas a la mineralización ferrífera se pueden observar diversos tipos de alteraciones hidrotermales (argillitización, ankeritización, limonitización, silicificación y piritización), así como ciertas facies metalogénicas (brechas hidrotermales, paquetes silíceos pseudoconcordantes) muy características en este tipo de ambientes geotérmicos.

Cada una de estas zonas de alteración presenta unos rasgos geoquímicos propios, que son el reflejo de la evolución del sistema geotérmico que las ha originado.

#### **Zona de argillitización-ankeritización-limonitización**

Aparece rellenando grietas y porosidades en el seno de los bancos calizo-marmóreos, bien lateralmente o a techo de las mineralizaciones lenticulares masivas.

Se caracteriza por la asociación Ankerita-Limonita-Jarositita que le confiere, a la roca, una característica coloración amarillo parduzca. Geoquímicamente, las rocas afectadas por este tipo de alteración se caracterizan por presentar contenidos elevados en *Ba*, *Ce* y *Cs*.

#### **Zona de silicificación**

La silicificación, entendida como proceso de impregnación de la roca de caja producido como consecuencia del hidrotermalismo, apenas está desarrollada en toda esta zona. Sin embargo, es posible reconocer sectores concretos con una silicificación muy intensa donde aparecen vetas y niveles pseudoconcordantes de cuarzo, a veces incluso con sulfuros diseminados.

Geoquímicamente estas vetas presentan contenidos en *As* superiores a 300 ppm y contienen más de 0,2 ppm de *Au*. También tienen contenidos moderadamente altos de *Sb* y *Ba*.

#### **Brechificación hidrotermal**

Una amplia zona brechificada aparece asociada a la mineralización y afectando principalmente a la secuencia filítica inferior. Se trata de un cuerpo irregular, que se extiende unos 30 o 40 metros y se compone de fragmentos angulares de pizarras y areniscas. Puede presentar una ligera ferruginización y pequeñas ramificaciones lenticulares.

Este tipo de brechas se caracterizan geoquímicamente por presentar elevados contenidos en *As*, *Sb*, *Ce* y *Cs*. Así como contenidos moderados de *Ba*.

Asociada a esta zona de brechificación aparece una brecha silícea que se compone exclusivamente de fragmentos de cuarzo de tipo sacaroideo.

Estas brechas pueden representar la parte inferior de un foco hidrotermal. Mientras que en la parte más superficial encontramos los niveles pseudoconcordantes de cuarzo y niveles estratificados de brechas de explosión.

#### **Piritización**

Aparece en la base de las zonas brechificadas. Se compone preferentemente de Piritita y Calcopirita intensamente diseminadas en las pizarras y areniscas o en venas formando stockworks.

#### *Proposición de un modelo metalogénico y su implicación en la prospección minera del sector*

La evolución a la baja que experimentaron los precios de los metales base (*Cu*, *Pb*, *Zn*) a mediados de la década de los ochenta, promovió el interés de las compañías mineras por la exploración de metales preciosos (*Au* y *Ag* principalmente). Como consecuencia de ello, se ha identificado notablemente la investigación de la metalogénia de estos metales. Uno de los ambientes auríferos

ros de mayor relevancia lo constituyen los sistemas epitermales.

Los avances obtenidos durante estos años en el estudio e investigación de este tipo de sistemas geotermiales tanto actuales como fósiles, permiten identificar una serie de facies geológicas y zonaciones geoquímicas características que ayudan a una mejor comprensión del modelo metalogenético. En este estudio, existen varios trabajos que aportan datos de gran interés: NELSON y GILES, 1985; HENLEY, 1986; HENLEY y BROWN, 1986; KRUPP y SEWARD, 1987; SIMONS y BROWNE, 1988.

En el distrito minero de Celrà la mineralización está controlada por una intensa fracturación con dirección WSW-ENE, en régimen distensivo. Está compuesta por una serie de fallas normales que limitan pequeños bloques estructurales dando una configuración en sistema de grabens. Según HENLEY, R. W. (1986), la mayoría de los campos geotérmicos se asocian a estructuras o zonas intensamente fracturadas (sistemas de bloques, formaciones de grabens, rifts o calderas volcánicas). En general, las intersecciones entre fracturas mayores representan los focos hidrotermales mejor desarrollados.

Por otro lado, el vulcanismo calco-alcalinos que aparece en el sector y que está representado por diques y sills de composición riodacítica, es capaz de generar el gradiente geotérmico suficiente para desencadenar los mecanismos convectivos propios de un ambiente hidrotermal de este tipo.

A medida que las soluciones hidrotermales calientes y ligeramente alcalinas se aproximan a la superficie, se producen una serie de cambios físico-químicos que controlan directamente los procesos de alteración del conjunto rocoso por el cual circulan.

En el modelo propuesto para este sector gerundense (Fig. 3), las facies de alteración mecánica (brechas hidrotermales) ocuparían las zonas más profundas. Estas facies se producen como consecuencia de la separación entre las fases gaseosa y la fase líquida del

fluido hidrotermal (nivel de fragmentación). La profundidad a la cual se produce este fenómeno depende de la composición del fluido. Si la concentración de gas en disolución es muy elevada, esta separación puede producirse a niveles bastante profundos y con una violencia apreciable.

Este proceso se inicia con la progresiva nucleación de burbujas de gas (Sulfhídrico, Hidrógeno y Metano principalmente) que contiene el fluido. El posterior desarrollo de estas burbujas durante el ascenso se va intensificando hasta alcanzar el denominado nivel de fragmentación. A partir de este punto, el material que asciende se puede considerar como un gas que se expande de forma adiabática y aumenta progresivamente su velocidad, hasta alcanzar niveles sónicos. La energía de este fluido es, por lo tanto, muy elevada. Se producen entonces las brechificaciones en los materiales que atraviesa.

Hacia las zonas más superficiales del sistema, estas facies evolucionan a niveles interstratificados de brechas de explosión que suelen asociarse a los niveles silíceos y ferruginosos.

Este tipo de erupciones hidrotermales son bastante frecuentes en los sistemas epitermales y han sido a menudo descritas para explicar diversos depósitos de Oro epitermal (SILLITOE, 1985; HEDENQUIST y HENLEY, 1985; MUSTARD, 1986; IZAWA y CUNNINGHAM, 1989).

Simultáneamente a este proceso, al mezclarse esos fluidos hidrotermales con las aguas superficiales más oxigenadas y frías, se produce la oxidación y el enfriamiento de los fluidos ascendentes. En estas circunstancias se verifica la precipitación de cuarzo en los canales de circulación (vetas y niveles pseudoconcordantes) y en la roca de caja (Silicificación). CUNNEEN y SILLITOE, 1989 describen procesos similares asociados a sistemas epitermales en el Paleozoico de Drummond Basin (Australia).

Igualmente se puede verificar, en estos niveles del modelo, la precipitación de Piri-

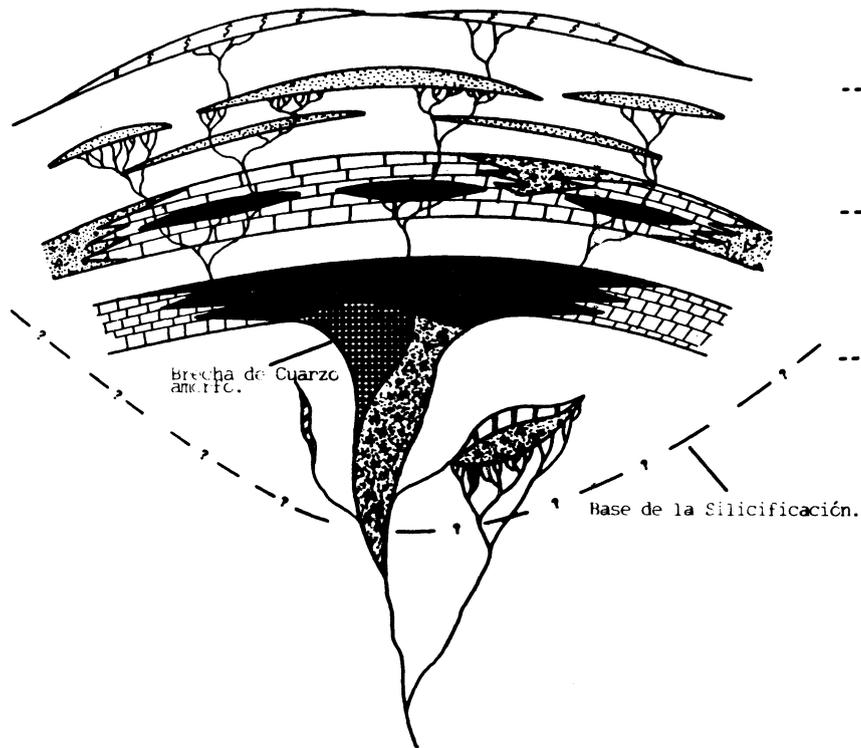
ALTERACION Y ASOCIACION GEOQUIMICA ANOMALA.

Silicificación

Ankeritización-Ferruginización (grietas y porosidades).  
Ba-Ce-Cs.

Mineralización ferruginosa masiva-lenticular.  
Brechas hidrotermales.  
Ba-Fu-Fs-Ce.

- Cuarzo ankerítico brechificado.
- Venas y niveles pseudocorrespondientes de cuarzo con sulfuros.
- As-Au-(Sb)-(Ba).
- Brechas hidrotermales.
- As-Sb-Ce-Cs-(Ba).
- Stockwork de sulfuros (Firita).



INDICIO MINERO.

St. Julià de Ramis  
Cerro del Congost

Minas de la Victoria.

Minas del Nen Jesús.

- Modelo esquemático del sistema hidrotermal de Celrà (Les Gavarres- Girona).

ta y Sulfuros de Arsénico formando stockworks y diseminaciones más o menos intensas (zonas de piritización).

Por último, ya en las zonas más superficiales del sistema, la oxidación se hace mucho más patente traduciéndose en amplias zonas de argillitización, ankeritización y limonitización.

La exploración minera de este sector ciertamente está, todavía, en fases muy incipientes. No obstante el interés del área es bastante significativo si consideramos el modelo metalogénético que se propone y los resultados obtenidos en las campañas de geoquímica de sedimentos de río (FERRER y VILADEVALL, 1990) y litogeoquímica (FERRER, A. E., 1989). En las cuales se han puesto en evidencia anomalías de *As*, *Sb* y *Ag* centradas sobre las zonas mineralizadas y de *Pb*, *Zn*, *Cu* en la periferia, así como un fondo geoquímico uniforme y relativamente elevado de *Au* en la mineralización ferrífera.

## CONCLUSIONES

La mineralización de *Fe* de Celrà corresponde a estructuras epigenéticas de Oxidos

de *Fe* fundamentalmente, que arman sobre materiales Cambro-Ordovícicos de naturaleza pelítico-carbonatada.

Presenta una estrecha relación con las manifestaciones volcánicas ácido-intermedias del Ordovícico superior. Este hecho, unido a la presencia de facies metalogénéticas singulares: desarrollo de alteraciones ácidas (Silicificación, Argillitización, Ankeritización-Limonitización), Piritización y brechificación hidrotermal. Es suficiente para proponer un modelo de tipo epitermal que explique la génesis de estas mineralizaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del programa de prospección estratégica de las Cordilleras Costeras Catalanas, que ha sido posible gracias a la iniciativa del Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección geológica de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona, conjuntamente con el Servei Geològic de Catalunya.

## DATOS GEOQUIMICOS DE LAS ZONAS DE ALTERACION HIDROTHERMAL EN EL SECTOR MINERO DE CELRA

N.º MUESTRA	Cu	Pb	Zn	Au	As	Sb	Ba	Ce	Cs
<b>ARGILL./ANK./LIMONIT.</b>									
PC-1	7.00	31.00	89.40	0.020	28.20	3.97	2330	14.00	2.21
MV-1	16.00	24.00	64.80	0.001	52.20	1.53	741	30.10	1.32
MV-2	12.00	31.00	44.40	0.010	9.57	0.69	1713	9.64	0.33
MV-3	7.00	39.00	101.00	0.010	2.78	0.93	1005	10.10	0.39
MV-4	2.00	2.00	13.00	0.010	4.25	1.09	301	35.10	4.51
<b>BRECHA HIDROTHERMAL</b>									
PC-6	30.00	2.00	316.00	0.041	1080.00	55.9	773	64.40	15.10
<b>FERRUGINIZACION</b>									
CL-2	6.00	2.00	1760.00	0.100	38.50	3.00	299	7.00	0.90
CL-3	3.00	2.00	155.00	0.040	24.90	2.12	376	2.47	0.40
CL-4	9.00	152.00	701.00	0.130	715.00	34.4	7720	37.00	1.41
CL-5	4.00	72.00	2840.00	0.140	451.00	9.98	2430	6.95	1.60
CL-6	3.00	42.00	4020.00	0.110	348.00	21.2	395	7.54	1.00
CL-7	6.00	35.00	202.00	0.090	39.40	4.32	735	20.10	1.00
CL-8	8.00	178.00	338.00	0.160	92.10	12.7	650	48.00	11.90
PC-7	10.00	2.00	1000.00	0.140	429.00	12.6	352	31.30	2.27
PC-8	14.00	20.00	1310.00	0.040	631.00	16.0	1940	1.70	0.80
PC-9	5.00	2.00	690.00	0.020	1280.00	16.0	257	7.65	1.60
<b>SILICIFICACION (CAP)</b>									
PC-4	37.00	6.00	283.00	0.143	328.00	22.3	150	53.60	1.80
<b>SILICIFICACION (VETA)</b>									
PC-5	13.00	20.00	312.00	0.371	551.00	11.0	295	16.40	1.28
MV-5	10.00	6.00	12.00	0.184	374.00	71.9	1605	9.65	1.99

## BIBLIOGRAFIA

- AUTRAN, A., COGNE, J. (1980). «La zone interne de l'orogène Varisque dans l'ouest de la France et sa place dans le développement de la chaîne hercynienne». In «Géologie de l'Europe du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens». *Mem. BRGM n.º 108*, 90-111.
- BARNOLAS, A., GARCIA VELEZ, A., SOUBRIER, J. (1980). «Sobre la presencia del Caradoc en Les Gavarres». *Acta Geol. Hisp. n.º 15 (1)*, 1-13.
- COGNE, J., WRIGHT, A. E. (1980). «L'orogène Cadomien: Vers un essai d'interprétation paléogéodynamique des phénomènes orogéniques fini-précambriens d'Europe moyenne et Occidentale et leur signification à l'origine de la croûte et du mobilisme varisque puis alpin». In «Géologie de l'Europe du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens». *Mem. BRGM n.º 108*, 29-55.
- CUNNEEN, R., SILLITOE, R. H. (1989). «Paleozoic hot spring sinter in the Drummond basin, Queensland, Australia». *Econ. Geol.*, vol. 84, 135-142.
- DURAN, H. (1985). «El Paleozoico de Les Guilleries». *Tesis Doc. Univ. Autònoma Barcelona*.
- FERRER MODOLELL, A. E. (1989). «El vulcanismo calco-alcalino del Ordovícico superior de los macizos de Les Guilleries y Les Gavarres (Cordilleras Costeras Catalanas, prov. Girona) y sus mineralizaciones asociadas: Mecanismos Eruptivos, Metalogénesis y Prospección Geoquímica». *Tesis Doct. Univ. Barcelona*.
- FERRER MODOLELL, A. C. (1990). «Aspectos metalogénicos ligados al vulcanismo calco-alcalino del Ordovícico en los macizos de Les Guilleries y Les Gavarres (Cordilleras Costeras Catalanas)». *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, vol. 15, 79-88.
- FERRER, A. E., MARTI, J. (1989). «Caracterización Geoquímica de los depósitos volcánicos del Ordovícico superior de los macizos de Les Guilleries y Les Gavarres (Cordilleras Costeras Catalanas)». *III Congr. Geol. de España. Tomo I*, I-85/I-96.
- FERRER, A. E., VILADEVALL, M. (1989). «Aplicación del método de las medias móviles en campañas de prospección geoquímica a escala estratégica. El ejemplo de Les Gavarres (Girona)». *III Congr. Geol. de España. Tomo I*, III-1/III-12.
- HEDENQUIST, J. W., HENLEY, R. W. (1986). «Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal system, New Zealand: Their origin, associated breccias, and relation to precious metal mineralization». *Econ. Geol.*, vol. 80, 1.640-1.668.
- HENLEY, R. W. (1986). «The geothermal framework for epithermal deposits». In Berger & Bethke (Edts.). «Geology and Geochemistry of epithermal systems». *Rev. in Econ. Geol. vol. 2*.
- HENLEY, R. W., BROWN, K. L. (1986). «A practical guide to the thermodynamics of geothermal fluids and hydrothermal ore deposits». In Berger and Bethke (Edts.). «Geology and Geochemistry of epithermal systems». *Rev. Econ. Geol.*, vol. 2, *chapt. 2*, 25-44.
- IZAWA, E., CUNNINGHAM, CH. G. (1989). «Hydrothermal breccia pipes and gold mineralization in the Iwashita orebody. Iwato deposit, Kyushu, Japan». *Econ. Geol. vol. 84*, 715-724.
- JULIVERT, M., MARTINEZ, F. J. (1980). «The Paleozoic of the Catalonian Coastal Ranges (North Western Mediterranean)». *Newsletter*, 2, 124-128.
- KRUPP, R. E., SEWARD, T. M. (1987). «The Rotokawa geothermal system New Zealand: An active epithermal gold depositing environment». *Econ. Geol.*, vol. 82, n.º 5, 1.109-1.128.
- MUSTARD, H. (1986). «Geology and genesis of the Kindston gold deposit, Australia». *Proceeding of Gold'86 Symp. Toronto*, 404-415.
- NAVIDAD, M., BARNOLAS, A. (1988). «El vulcanismo ordovícico del área de los Catalánides». In «Paleovolcanismo no macizo hespérico peninsular». *X Reunión de Xeol. Min. do NO Pen. 24-26 Nov. 1988, Lab. Xeol. Laxe, Resúmenes*, 27-29.
- NELSON, C. E., GILES, D. L. (1985). «Hydrothermal eruption mechanisms and hot spring gold deposits». *Econ. Geol.*, vol. 80, 1.633-1.639.
- SILLITOE, R. H. (1985). «Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs». *Econ. Geol.*, vol. 80, 1.467-1.514.
- SIMMONS, S. F., BROWNE, P. R. L. (1988). «Mineralogic, alteration and fluid studies of the Mt. Muro gold prospect, central Kalimantan, Indonesia». *Bicentennial Gold 88 meeting. Melbourne May 1988. Abstracts*, 472-474.

Recibido, 4-II-91  
Aceptado, 20-IV-91