

La prospecció geoquímica a les serralades costaneres catalanes i la seva incidència en el desenvolupament del *Projecte Mides* (Unió Europea) dins de l'àrea del Montseny

Manuel Viladevall Solé,
José María Carmona Pérez
i Xavier Font Cisteró

*Departament de Geoquímica, Petrologia
i Prospecció Geològica
Facultat de Geologia
Universitat de Barcelona*

El Projecte Mides consisteix a estudiar la possibilitat d'existència de jaciments d'or en els materials hercinians i caledonians de l'Europa occidental mitjançant el tractament conjunt i integrat de grans conjunts de dades. A les serralades costaneres catalanes el projecte s'ha dirigit cap a la localització de dos tipus diferenciats de dipòsits: els de tipus Saddle Reef i els de tipus Mokskro. En aquest treball, s'hi presenten els primers resultats dels estudis geoquímics fets amb aquesta finalitat.

Pel que fa als dipòsits de tipus Saddle Reef, s'ha demostrat un enriquiment crustal en Au, Ag, Br, As i Sb en les pissarres negres i els cherts de l'ordovicià-silurià de les serralades per processos vulcanoexhalatius, amb la qual cosa es planteja, com a línia futura de recerca, considerar la possibilitat de l'existència de trampes estructurals relacionades amb terminacions periclinals antifòmiques, com en el cas del sector meridional de l'antiforme del Montseny.

Respecte als dipòsits de tipus Mokskro, s'han fet diverses campanyes de prospecció de sediments en xarxes de drenatge arran de les quals sembla clara la proximitat geogràfica entre l'or i el bismut, encara que sempre separats en l'espai. L'objectiu futur és poder determinar si el bismut és un element indicador d'or, i si en les proximitats de les anomalies del bismut també es localitzen anomalies d'or.

Introducció

El *Projecte Mides* (Contracte de la Unió Europea MA2M-CT90-0009 SMA) ha estat un projecte d'I + R, dins el *Programa de recursos*, finançat per la Comissió de la Unió Europea, en què hi han intervingut tant institucions públiques com privades del Regne Unit, Irlanda, França, Espanya i Portugal. Per part espanyola, hi han participat l'Institut Tecnològic i Geominer d'Espanya i la Universitat de Barcelona a través del nostre Departament.

Aquest projecte tenia com a finalitat estudiar la possibilitat d'existència de jaciments d'or en els materials hercinians i caledonians de l'Europa occidental. Per poder assolir aquest objectiu, es van estudiar de manera integrada conjunts de dades (*multidatasets*) tant de tipus geològic i miner com de tipus geoquímic i geofísic, referides totes a una mateixa regió.

L'estudi conjunt i integrat d'aquestes dades es va portar a terme mitjançant la utilització de moderns sistemes de tractament de dades i de senyal, fonamentalment sistemes d'informació geogràfica i de tractament d'imatges.

El *Projecte Mides* a les serralades costaneres catalanes

En aquest sector, es planteja com a objectiu la determinació de la potencialitat d'aquestes serralades per acollir-hi dipòsits d'or. Per a això, el punt de partida és la presència de grans anomalies d'origen exhalativosedimentari de Pb-Zn-Cu-As (CARMONA *i coll.*, 1988) en els materials del caradocià i del silurià en el massís del Montseny, com també la presència d'or lliure en els al·luvions del riu Tordera.

Es considera, així mateix, la presència de mineralitzacions de Zn-Pb-Cu en els materials del cambrià-ordovicià i del silurià-devonià dels massissos del Montseny i les Guílleries, d'origen similar a les ja esmentades, com també d'importantes anomalies geoquímiques en bismut dins dels granits hercinians tardans existents en aquests massissos, les quals donen lloc a una sèrie d'alineacions anòmales de direcció NW-SE, N80°E i N110°E.

Tot això planteja la possibilitat de fer una anàlisi integral de tot el territori amb la finalitat de localitzar possibles dipòsits aurífers, i per això la recerca cap a la localització de possibles mineralitzacions auríferes desconegudes s'orienta en les dues direccions següents:

– En la localització de dipòsits, segons un clàssic model en estructura de tipus *Saddle Reef* en la cobertora paleozoica a partir de dipòsits de tipus 27d associats a les turbidites o *turbidite hosted gold deposits* (THGD) en el sentit que apunten COR i SINGER (1986).

– En la localització de dipòsits d'or desenvolupats en la perifèria d'intrusions granítiques hercinianes tardanes –de tipus *Mokskro* (BRAUX *i coll.*, 1991).

La prospecció geoquímica en les serralades costaneres catalanes, associada als *turbidite hosted gold deposits*

Dins del *Projecte Mides*, el jaciment representatiu d'aquest model seria el de tipus THGD de Banjas a Porto (Portugal) i, d'una manera marginal, el jaciment de la Lucette a França. Als Pirineus orientals, el jaciment d'Aspres seria de tipus intermedi i relacionat amb zones de cisalla.

Per al desenvolupament del projecte en aquest tipus de dipòsits s'han reprès 13 mostres de sediments en el massís del Montseny dins de d'una àrea amb anomalies en Pb-Zn-Cu-As del caradocià-silurià. El contingut mitjà en or és de 6,3 ppb, i els valors més elevats –15 ppb– es troben a les zones pròximes a les anomalies indicades. D'altra banda, els continguts mitjans d'As, Br, Sb, Cu i Zn se situen sobre les 47, 36, 4, 59, 860 i 275 ppm, respectivament.

Al massís de les Gavarres (Costa Brava), i també dins de materials de l'ordovicià-silurià, s'hi han analitzat un total de 25 mostres de sediments, de manera que en resulta una mitjana de presència d'or de 5 ppb.

Amb l'excepció de l'or, la resta d'elements presenten notables diferències de continguts en els mateixos materials dels diversos massissos. Per aquesta raó, s'han pres 55 mostres de pissarres negres (*black shales*) i de *cherts* del caradocià i del silurià de les serralades costaneres catalanes, en les quals s'han analitzat 35 elements per activació neutrònica. Els primers resultats obtinguts, un cop efectuat el tractament estadístic corresponent, han estat els següents: el 50% de les mostres presenten continguts en Au superiors a 5 ppb, i tretze d'aquestes mostres presenten continguts entre 5 i 10 ppb; quatre, entre 10 i 20 ppb; set, entre 20 i 40 ppb; tres, entre 40 i 80 ppb; i una, 102 ppb.

D'altra banda, a partir del tractament estadístic bivariant, se'n destaquen les observacions següents:

- Correlacions elevades entre l'Au i el Br (0,89-0,95).
- Correlacions intermèdies entre l'Au i l'As, el Cr i l'Sb (0,4).
- Correlació elevada entre l'Ag i l'Sb, i baixa amb l'Au.
- El Br, a més de fer-ho amb l'Au, presenta correlacions intermèdies amb l'As, l'Sb i l'Ag.
- El Ba presenta una correlació intermèdia o alta (0,6) amb l'Sb i l'Ag.

La prospecció geoquímica a les serralades costaneres catalanes per a la localització de dipòsits d'or desenvolupats en la perifèria d'intrusions granítics hercinianes tardanes

L'objectiu és la prospecció d'un tipus de dipòsits aurífers que es desenvolupen en una fina trama d'estructures silicificades i porfíriques. El model per a aquest tipus de dipòsits seria el de *Mokskro* al massís de Bohèmia, a Txèquia.

La recerca per a la localització de possibles mineralitzacions auríferes d'aquest tipus a les serralades costaneres catalanes s'ha realitzat a partir de l'existència al massís del Corredor (Barcelona) d'una sèrie de filons de pòrfirs i felsites de direcció NE-SW, i per les indicacions de presència de mineralitzacions d'or en aquest massís –tot i que no han pogut ser confirmades.

Per a això, s'han mostrat sis torrenteres i s'han pres de 90 a 100 litres de sediments, que s'han concentrat mitjançant un concentrador de tipus Knelson. De les sis torrenteres, cinc han donat resultat positiu, amb la presència de diverses partícules d'or.

Un cop observada la presència d'or, s'han pres 515 mostres de sediments i s'han analitzat un total de 45 elements –per absorció atòmica i activació neutrònica– als massissos del Corredor i el Montnegre –en col·laboració amb el

Servei Geològic de Catalunya. També s'han pres 51 mostres al massís de les Guilleries –en sectors anòmals en Bi– i tres mostres al massís de les Gavarres.

El contingut mitjà en Au a les Guilleries és de 4 ppb, amb una desviació estàndard de 5, mentre que a les Gavarres es va obtenir un valor màxim en Au de 180 ppb en una torrentera procedent d'una mina filoniana de baritina amb fortes anomalies de Bi.

Resultats

La possible presència d'anomalies associades a un jaciment de tipus *turbidite hosted gold deposit* estan definides per l'anàlisi factorial efectuada en el conjunt total de mostres de roca preses (figura 1). D'aquesta anàlisi se'n desprèn el següent:

– El factor 1 presenta una associació entre Th, La, Nd, Rb, Hf, Mn, Eu, Co, Zn i Na, tots amb càrrega factorial negativa. Aquest factor, que se'l pot anomenar factor litològic, s'identifica com d'origen turbidític amb barreja d'aportacions volcàniques.

– El factor 2 està representat per Sb, Br, Ag, Au i As –i, en menor grau, Cu i Pb–, tots, també, amb càrrega factorial negativa. Aquest factor és considerat com de mineralització d'Ag –acompanyada de Sb– o de mineralització d'or –acompanyada d'As, Sb i Cr–, la correlació amb el Br és comuna a tots. Aquest es podria identificar com d'origen exhalatiu de baixa temperatura.

A partir de la realització separada de dos tractaments multivariants per a les mostres pertanyents a l'ordovicià i al silurià, s'observa per a les primeres una associació entre

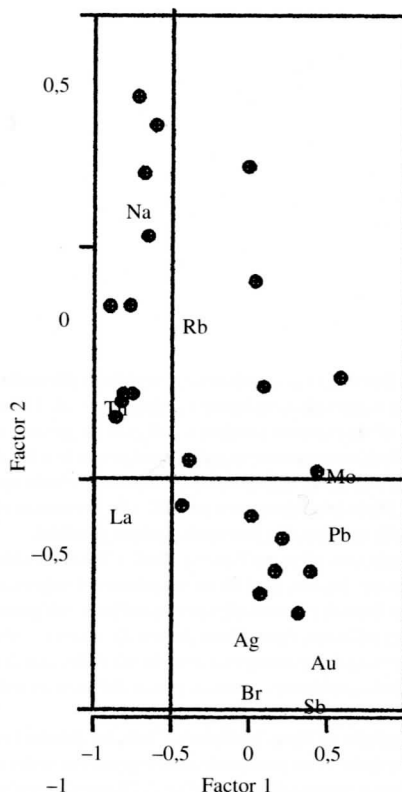


Figura 1. Càrregues factorials de les pissarres negres del Caradocià i el Silurià.

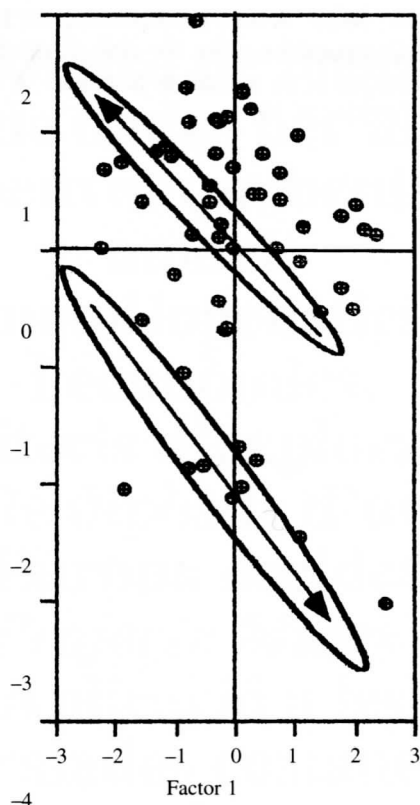


Figura 2. Coeficients factorials de les pissarres negres del Caradoc i el Silurià.

Br, Au, As i Sb –factor 2 amb càrregues negatives–, i per a les del silurià, una associació entre Sb, Ag, Br i Au –també factor 2 amb càrregues negatives.

La baixa correlació entre Au i Ag en el tractament bivariant conjunt s'explica a partir d'aquests últims factors a causa de les diferències d'edat entre les mostres i pel procés mineralitzador que ha actuat en un cas i en l'altre.

D'altra banda, a la figura 2 es representen mitjançant un gràfic binari els coeficients factorials obtinguts per al tractament multivariant conjunt. S'hi observen dos trets característics i complementaris, que són els següents:

- El primer és una tendència cap al pol corresponent a una més gran component detrítica dins de les mateixes turbidites –factor 1. Aquesta tendència es representa a la figura mitjançant la lletra A, i el sentit de la fletxa indica un elevat contingut geoquímic, sobretot, en terres rares, Th, Rb i Na. El sentit oposat a la fletxa indica un enriquiment en Mo i Pb, la qual cosa s'identifica com a indicador de processos exhalatius.

- Una segona tendència, representada amb la lletra B i contraposada a l'anterior, indica mostres amb un enriquiment en el sentit de la fletxa en Sb, Br, Ag, Au i As a causa dels processos exhalatius –factor 2.

Les anàlisis factorials realitzades amb les mostres del massís granític del Corredor amb la finalitat de detectar jaciments aurífers de tipus *Mokskro*, permeten extreure els factors següents:

- Un factor 1 o factor de mineralització, representat per Ni, Zn, Cu, Fe, Pb, Co, Fe, Pb, Cr i Mn, i, d'una manera subordinada, As, Sb i Cu.
- Uns factors 2 i 3 –factores litològics–, amb Th, Hf, terres rares, Sc, Ba i Fe.

- Un factor 4 –també factor de mineralització–, amb Cu, Bi, W, Au i Ca.

Aquest factor 4 mostra l'existència d'una certa relació entre el Bi i l'Au. Tanmateix, a partir de la distribució geogràfica dels continguts d'Au i de Bi sembla que, encara que aquests dos elements es troben geogràficament pròxims entre si, sempre es troben separats en l'espai.

En aquest sentit, la distribució geogràfica dels continguts en or del Corredor indica una distribució d'anomalies d'or a la part septentrional del sector estudiat seguint certes alineacions de direcció NE-SW, NW-SE i N110°E. Totes aquestes alineacions corresponen a estructures tectòniques hercinianes tardanes reactivades durant el cicle Alpí. És precisament en aquesta zona on es troba la densitat més gran de filons de porfirs granítics i felsites, seguint la direcció NE-SW.

Geogràficament, el Bi mostra, també, una distribució similar a la de l'or, tot i que l'alineació N110°E és la predominant. Aquesta alineació, a més, es repeteix, amb característiques similars, al llarg de totes les serralades costaneres catalanes.

Conclusions

Quant a la localització de dipòsits de tipus *Saddle Reef*

Després d'haver comprovat l'enriquiment crustal en Au, Ag, Br, As i Sb de les pissarres negres –*black shales*– i dels *cherts* de l'ordovicià-silurià de les serralades costaneres catalanes per processos vulcanoexhalatius, l'objectiu se centra a estudiar la possibilitat de l'existència d'una trampa estructural.

En aquest sentit, és ben conegut que la major part dels dipòsits en estructures de *Saddle Reef* se situen en els flancs de les estructures antiformes i terminacions periclinals, i és precisament en la terminació periclinal del flanc meridional de l'antiforma del massís del Montseny on tenen lloc les grans anomalies de Pb-Zn-Cu-As i les de Sb, les quals són el reflex dels materials del caradoc i del silurià-devonià. L'anomalia de Sb es pot considerar com un metal·lotecte de Sb-Au, tenint en compte, a més, que és en aquestes formacions on s'ha fet una part del mostratge i l'anàlisi litogeoquímica amb el resultat d'anomalies d'or.

Quant a la localització de dipòsits de tipus *Mokskro*

Pel que fa a la distribució geogràfica de l'Au i del Bi, sembla que aquests dos elements es troben geogràficament pròxims entre si, encara que sempre separats en l'espai. L'objectiu futur, per tant, és determinar si realment el Bi és un element indicador de la presència d'or, i si en les proximitats de les anomalies de Bi també es localitzen anomalies d'Au.

En aquesta direcció es desenvoluparan els treballs futurs, i també en la determinació de si els materials porfírics i felsítics del sector septentrional del Corredor són susceptibles de presentar algun tipus de mineralització aurífera en un model de tipus similar al de *Mokskro* al massís de Bohèmia.

Bibliografia

CARMONA, J.M.; FERRER, A.; GIMENO, D.; VILADEVALL, M. «Criterios geológicos y geoquímicos de prospección minera: su aplicación en la prospección de sulfuros masi-

vos de origen volcano-sedimentario y/o exhalativo. Ejemplos del paleozoico de Europa suroccidental». *Rev. d'Invest. Geol.*, 44/45 (1988), 347-366. Diputació de Barcelona-Universitat de Barcelona.

COR, D.P.; SINGER, D.A. «Mineral Deposits Models». *US Geol. Surv. Bull.*, 1693 (1986).

BRAUX, Ch.; MOR' AVEK, P.; JANATKA, J.; BONNEMAISON, M. «Comparaison entre les gîtes aurifères du socle varisque français et du massif de Bohême». *Chron. Rech. Min.*, 504 (1991), 21-39.