

Transpresión en el segmento norte de la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba y su influencia en la localización de las estructuras con mineralizaciones de oro del área de La Codosera. *

26/Mayo/2001

por Pablo Gumiel ^{1/2} y Rocio Campos ³

1/ IGME

2/ Departamento de Geología, Universidad de Alcalá de Henares

3/ CIEMAT

* Este trabajo es una contribución al PICG 453 (Modern and Ancient Orogens)

Programa

9h, desde el hotel Las Alcabalas, Alburquerque, (punto de encuentro).

- 9h.- 1ª Parada. Panorámica general del Sinclinorio de La Codosera y situación de las mineralizaciones de la zona. Explicación general.
- 10h. 15'- 2ª Parada. Análisis de las estructuras de deformación de las series precámbricas (criterios cinemáticos en la Formación Urrea), cabalgamientos y fallas inversas en la cuarcita armoricana. Observación de las fallas antitéticas que constituyen el “modelo dominó” y su relación con las mineralizaciones de oro.
- 11h. 30'- 3ª Parada. Efectos de la deformación por cizalla en capas competentes de diferente orientación. Pliegues congruentes con el sentido de movimiento de la cizalla
- 12 h. 45'- 4ª Parada. Observaciones estructurales en la brecha deformada del Devónico, encajante de la mineralización de Sb-W de la mina de San Antonio.

2 h. 30' - Comida en La Tojera

- 16h. 5ª Parada. Visita a la zona con mineralizaciones auríferas
 - 5.1.- Mineralizaciones de oro en venas dispuestas a alto ángulo (La Portilla Larga)
 - 5.2.- Mineralizaciones de oro en zonas de charnela de pliegues (tipo “saddle-reef”).Discusión. Datos que aporta la prospección gravimétrica para la exploración minera del área. Hipótesis genéticas sobre las mineralizaciones de oro.
- 19h. 6ª Parada (opcional). Observaciones geométricas y cinemáticas de venas situadas en el Sector Central de la Codosera.
- 20h. Regreso

MEMORIA

Objetivos

El objetivo de esta visita de campo es el reconocimiento de las estructuras tectónicas que controlan las manifestaciones auríferas del área de La Codosera (Badajoz). En las correspondientes paradas, se analizarán los aspectos geométricos y cinemáticos de las principales estructuras mineralizadas, la tipología de los yacimientos e indicios minerales de la zona, así como la influencia de las estructuras secundarias asociadas a la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba (en adelante, ZCBC) en el control de las zonas mineralizadas. Del análisis de estas estructuras se obtienen criterios suficientes como para reconocer que la zona ha estado sometida a transpresión prolongada, lo que tiene importantes implicaciones en la exploración de los yacimientos minerales. Finalmente, se plantearán una serie de hipótesis sobre el origen de las mineralizaciones auríferas.

Esquemáticamente, los objetivos que se persiguen en la visita de campo son los siguientes:

- ◆ Análisis de las estructuras de deformación del flanco sur del Sinclinal de La Codosera, que responden a un modelo de transpresión prolongada que afectó a la zona.
- ◆ Reconocimiento de las estructuras que albergan concentraciones minerales de oro y su relación con la ZCBC.
- ◆ Observaciones sobre la tipología de los yacimientos e indicios minerales que existen en la zona.
- ◆ Implicaciones de modelo geológico-estructural en la génesis y localización de las concentraciones minerales auríferas.

Introducción y antecedentes

El IGME ha venido desarrollando varios Proyectos de exploración minera en Extremadura, mediante contratación o por el procedimiento de Administración, tal es el caso del Proyecto "*Exploración minera en Extremadura 1989-92*" que se centró en La Reserva del Estado denominada "La Codosera" (Badajoz), por el potencial interés minero de sus mineralizaciones auríferas. Los conocimientos adquiridos en anteriores fases de la investigación aconsejaron proseguir los trabajos en determinadas zonas favorables, con objeto de profundizar en su conocimiento geológico y minero y poder obtener conclusiones de aplicación en otras zonas con características similares.

En el caso de La Codosera se han combinado acciones contratadas y otras han sido ejecutadas por el propio Instituto, comprendiendo desde la realización de sondeos (el IGME realizó 6800 m de sondeos), campañas de geoquímica, cartografía geológico-minera, testificación y control de sondeos, tratamiento y almacenaje de muestras en planta de tratamiento mineral, hasta el desarrollo de nuevas metodologías de investigación aplicadas a la exploración, en el marco del Proyecto "*Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of western Iberian Peninsula*" (Contrato MA1M-0032-C), cofinanciado por la Comisión de la CEE (DGXII), dentro del Programa Raw-Materials.

Por consiguiente, durante los años 1987-1993, la exploración tradicional de yacimientos minerales en la zona se vio enriquecida por la utilización de nuevas técnicas de exploración a todas las escalas. A escala regional, se emplearon técnicas de teledetección - análisis multiespectral, utilizando imágenes Landsat TM y de alta resolución - (Antón-Pacheco y Gumiel, J.C., 1991), así como el análisis de lineamientos (- dominancias direccionales - Sanderson et al., 1991a) y técnicas de prospección geofísica terrestre (- gravimetría estructural y de detalle - Campos y Gumiel, 1990; Campos y Plata, 1991). A escala local, se utilizaron técnicas de prospección geoquímica de suelos y litogeoquímica de detalle (Gumiel y CGS, 1991), análisis estructural (Sanderson et al., 1991b), y estudios específicos en determinados indicios minerales, con objeto de llegar a establecer modelos

más elaborados y determinar áreas favorables para la localización de nuevas concentraciones minerales.

Con todo, la información que un sondeo mecánico proporciona es indispensable en cualquier proyecto de exploración minera. Aún con el desarrollo de nuevas tecnologías que hoy día pueden aplicarse, al final, un sondeo con recuperación de testigo continuo es la única herramienta que proporciona muestras en profundidad, de aquí que sea insustituible aunque representa un elevado coste.

Al disponer de los testigos de sondeos que el IGME tiene del área de La Codosera, además de la información "tradicional" que éstos suministran, surgió la idea de obtener más información, de querer avanzar más en el conocimiento de la organización y distribución de los diferentes sistemas filonianos que existen en el área, los cuales presentan una característica principal común, que es su "irregularidad". Cuando se llegue a conocer con detalle la organización de esa "irregularidad", a qué leyes obedece la distribución espacial de las venas, y en definitiva, a discriminar cuales son los conjuntos de venas auríferos y por qué la precipitación y concentración metálica en oro se produce en unos, y no en otros grupos de venas, se habrá avanzado mucho en el conocimiento de la organización y caracterización formal de un grupo de yacimientos que se ha considerado históricamente errático o caótico. Por esta razón, se comenzaron a aplicar técnicas de análisis fractal, con buenos resultados en general, para la discriminación entre sistemas filonianos mineralizados y estériles (Gumiel et al., 1992; Sanderson et al., 1994).

Por otra parte, los Sistemas de Información Geográficos (GIS) que permiten analizar conjuntamente toda la información disponible a diferentes escalas, utilizando distintas combinaciones o capas de información superpuestas, han supuesto una valiosa herramienta en la exploración minera de la zona.

A escala microscópica, el estudio de inclusiones fluídas ha proporcionado información de gran validez sobre las características físico-químicas de los fluidos mineralizadores, su composición y las condiciones de precipitación de los metales (Roberts et al., 1991). Igualmente, técnicas de discriminación de cuarzos estériles y mineralizados mediante métodos de termoluminiscencia, y autoradiografías-beta para la detección de oro en la arsenopirita han sido también aplicadas en la zona (Roberts y Dee, 1991).

Encuadre geotectónico de la zona de La Codosera.

La evolución geotectónica de la Zona Centroibérica se caracteriza por tres fases. Una fase inicial de *rifting* que se situaría desde el Precámbrico terminal al Cámbrico Superior. Esta fase extensional conlleva una transgresión que da lugar al desarrollo de grandes plataformas en las que se depositan sedimentos clásticos y carbonatados. La transición a la siguiente fase de *márgen pasivo* (desde el Ordovícico hasta el Carbonífero) está señalada por una heterócrona discordancia angular, que comprende desde el Ordovícico Inferior en el SW, hasta el Silúrico Inferior hacia el NW (dominio Centro-Trasmontano, Ribeiro, 1974). Las condiciones de márgen pasivo prevalecieron en el Paleozoico Superior hasta que se produjo la colisión entre Iberia y el Macizo Armoricano, con el desarrollo de la Orogénia Hercínica. Todos los materiales sedimentarios fueron deformados durante esta fase hercínica (desde el Carbonífero al Pérmico), que es la responsable de la organización estructural actual de los diferentes Terrenos del Macizo Hespérico. En esta fase la deformación se concentró en grandes zonas de cizalla, una de las cuales es la ZCBC, de claro sentido sinistrorso y que ejerció gran influencia en el desarrollo estructural y metalogénico del área de La Codosera.

Desde un punto de vista geotectónico, el área de La Codosera se sitúa en el límite sur de la Zona Centroibérica, próxima a la Zona Ossa Morena y puede subdividirse en una serie de unidades

tectonoestratigráficas bien definidas, que además se corresponden con dominios fisiográficos claramente identificables (Figura 1/A):

- El Complejo Esquisto-Grauváquico (CEG), de edad Proterozoico Superior, está constituido principalmente por pizarras y grauvacas que afloran predominantemente en el norte del área
- Los materiales paleozoicos que son principalmente alternancias de cuarcitas y pizarras, y constituyen los sinclinales.
- Las rocas graníticas que intruyen en el CEG y en el Paleozoico (e.g. el batolito de Alburquerque)

El área de La Codosera, dentro de la Zona Centroibérica, está situada en el "dominio de pliegues subverticales" de Diez-Balda et al.(1990), el cual se caracteriza por el desarrollo de grandes áreas anticlinales, en cuyos núcleos afloran rocas graníticas y materiales del CEG, separados por estrechos sinclinales rellenos de materiales paleozoicos.

De la realización de la cartografía geológica del flanco sur del Sinclinal de La Codosera (Figura 2), se han obtenido datos sobre las características litoestratigráficas del área, desde la Secuencia Precámbrica a las Series Paleozoicas, incidiendo especialmente en la litología del Devónico Inferior, ya que en sus alternancias de cuarcitas, pizarras y areniscas ferruginosas se encuentran las principales mineralizaciones de oro objeto de esta visita. (Figura 3).

Han sido reconocidas varias fases de deformación hercínicas (e.g. Oen Ing Soen 1970; Diez-Balda et al., 1977; Burg et al.,1981; Diez-Balda 1986; Ortega 1988; Abalos 1989; Abalos y Eguiluz, 1990). Una primera, D1 que se caracteriza por el desarrollo de pliegues subverticales, de ejes subhorizontales de dirección WNW-ESE, y que lleva asociada una esquistosidad de plano axial muy penetrativa (S1). Estos pliegues, en la Zona Centroibérica, tienen vergencias N y NE y contienen lineaciones de intersección S0/S1 subhorizontales. Una segunda fase D2, de importancia a escala local, concretamente en la mitad norte del dominio de pliegues subverticales, está frecuentemente relacionada con la formación de zonas de cizalla y fábricas S/C. Los pliegues generalmente tienen direcciones principales NW-SE y suelen presentar asociada una esquistosidad de crenulación S2. Hacia el Sur del dominio de pliegues subverticales, cerca de la ZCBC, la fase D1 no es coaxial (Burg et al., 1981; Ortega 1988, Abalos 1989), se reconocen lineaciones de estiramiento (stretching lineations) y bandas "S" (shear bands) que desplazan de forma sinistrorsa a la S1. La fase D2, también de dirección NW-SE, con una esquistosidad de crenulación asociada S2, se restringe a "corredores de cizalla" (ej. en la zona de Almadén, Ortega, 1988). Por último, el desarrollo de kink-bands y una intensa fracturación tardía (fallas tardías) son muy frecuentes en toda la Zona Centroibérica, y por su especial importancia en la zona de La Codosera se analizarán con mayor detalle

Características geológicas y estructurales del área de La Codosera

La importancia estructural de la zona de la Codosera estriba en su situación geotectónica especial, próxima a la ZCBC, siendo posible observar cómo la deformación varía progresivamente de Norte a Sur. En la figura 1B queda patente el cambio en el estilo estructural desde pliegues y estructuras compresivas (fallas inversas y cabalgamientos), con vergencia NNE, a estructuras de deformación propias de un régimen de cizalla, con fuerte componente en dirección (desgarre), la cual aumenta con la proximidad a la ZCBC.

Se han estudiado las características estructurales del área, prestando especial atención a las fallas tardihercínicas, puesto que a favor de las mismas, se encuentran las principales mineralizaciones

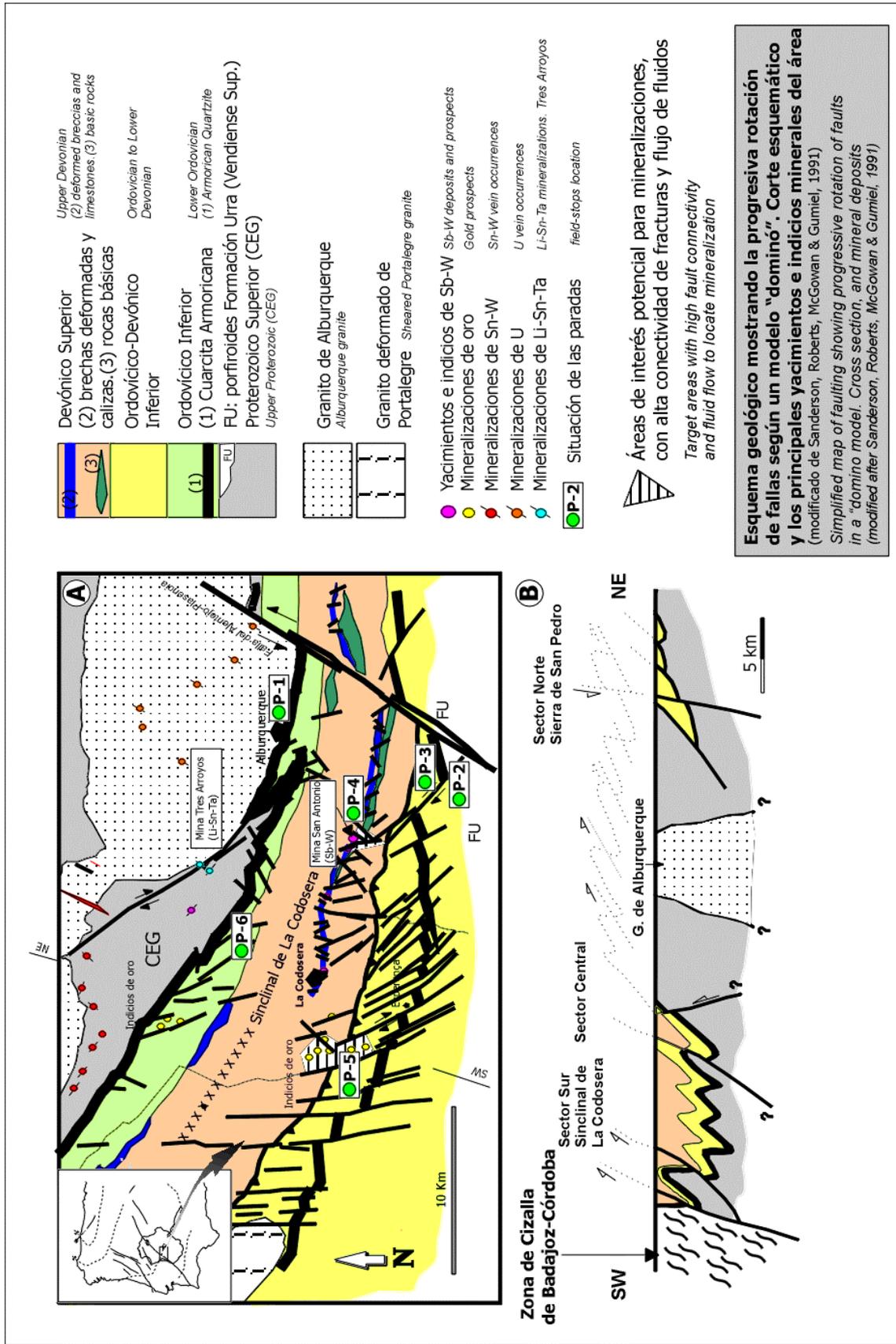
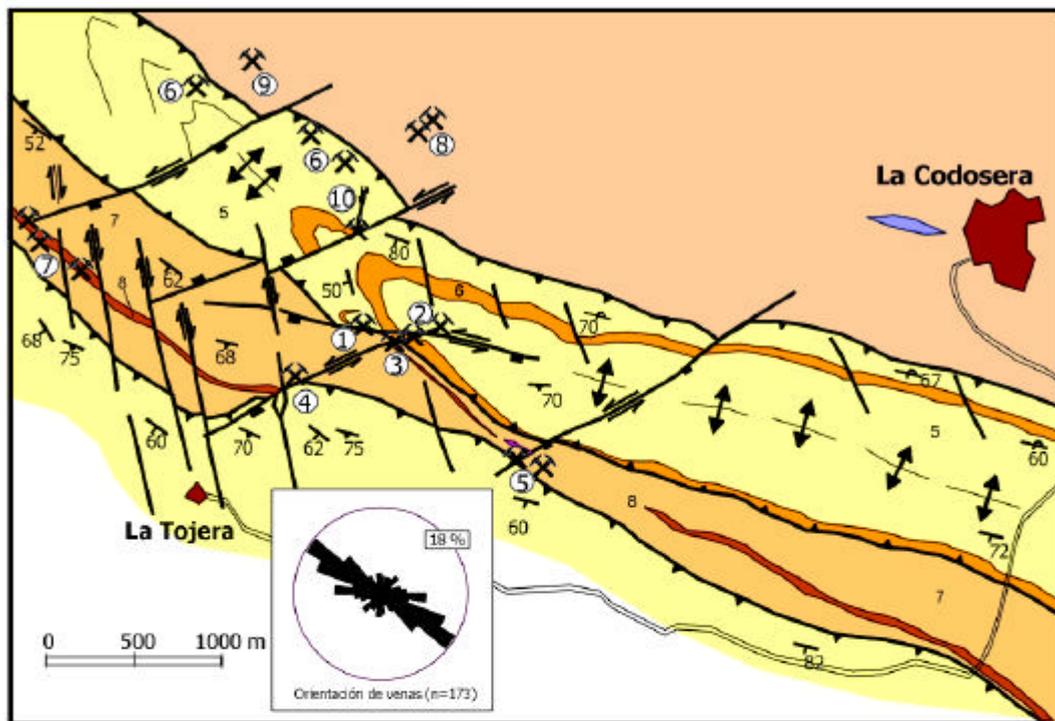


Figura 1



Leyenda

Devónico	Medio	9 10
	Inferior	8 7
Ordovícico-Silúrico	Llandovery	6 5
	Ashgill	6 5

9. Pizarras y lilitas grises con intercalaciones de calizas (10) encajantes del yacimiento de Sb de S. Antonio (Unidad Géveva)
7. Areniscas, pizarras y cuarcitas ferruginosas. Nivel de cuarcita Fe con mineralización de Au de La Portilla (8)
5. Pizarras, areniscas y cuarcitas, "cuarcitas del Criadero" (6) (Unidad Sierra Fria)

Principales zonas con mineralizaciones de oro

- 1.- Zona (Banda) Oeste de Montevejo
- 2.- Banda Norte de Montevejo
- 3.- Banda Sur de Montevejo
- 4.- Los Algarbes
- 5.- Casa de La Niña-Barrancones
- 6.- Indicios de la Sª de La Breña
- 7.- Indicios de La Portilla
- 8.- La Perla de Anibal
- 9.- La Manzana de Oro
- 10.- La Portilla Larga

- Contacto indiferenciado
- Falla de extensión con indicación de labio hundido
- Falla con indicación de movimiento en dirección
- Falla inversa (cabalgamiento)
- Anticlinal
- Sinclinal
- Estratificación (dirección y buzamiento)
- Esquistosidad (dirección y buzamiento)
- Minas e Indicios de oro

Figura 2

filonianas auríferas de la zona. A partir de las calicatas de exploración realizadas, se han obtenido datos estructurales de venas mineralizadas y fracturas (Figura 2).

El Sector Sur del Sinclinal de La Codosera representa la parte más deformada de los tres sectores (Sierra de San Pedro, Sector Central y Sector Sur, Figura 1B) y esto es debido a su proximidad con la ZCBC. Está compuesto por rocas paleozoicas afectadas por fallas inversas (cabalgamientos) de orientación WNW-ESE, que ponen en contacto materiales precámbrico-cámbrico inferior (Fm. Urra) con materiales paleozoicos. Los pliegues (D2) tienen ejes con orientaciones variables, y se reconoce una importante lineación de estiramiento (stretching lineation) subhorizontal (L1), acompañada de bandas S (shear-bands) con movimiento de sentido sinistroso (Figura 4) que forman una fuerte fábrica S/C con la esquistosidad principal S1. Hay una constante oblicuidad entre direcciones de ejes de pliegues y cabalgamientos con la esquistosidad principal hercínica (S1), así como una disposición general de las estructuras compresivas (cabalgamientos) a bajo ángulo y extensivas (fallas de orientación NE-SW y NW-SE) a alto ángulo con respecto al límite de la Zona de Cizalla (Figura 1 A). Se observa una rotación progresiva en la dirección de la trayectoria de la esquistosidad S1, desde direcciones NW-SE en el Norte, hasta E-W en el Sur. Los pliegues D2 son asimétricos, con flancos largos estirados y cortos cizallados, con una geometría en "S", marcando siempre un sentido de movimiento sinistroso.

Existe un conjunto de estructuras de deformación frágil, principalmente fallas tardihercínicas de dirección entre N-S y NW-SE (Figura 1 A), de carácter extensional y con movimientos en dirección y sentido dextrorso que desplazan a las rocas paleozoicas del Sur del Sinclinal de La Codosera y son posteriores al emplazamiento del batolito de Albuquerque. Estas fallas han sido comprobadas en profundidad utilizando el Mapa de Anomalías de Bouguer, resultante de la gravimetría realizada en toda la zona (Campos y Gumiel 1990), y presentan una geometría en "dominó" o (bookshelf - Sanderson et al., 1991 b-), cuyas implicaciones para la búsqueda de estructuras mineralizadas son gran interés, como se verá posteriormente. Un conjunto de fallas de orientación NE-SW (sintéticas) adquiere también gran importancia en la zona, tanto por su interés estructural como metalogénico.

La existencia de suficientes criterios cinemáticos, junto con la geometría en dominó de las fallas tardihercínicas que desplazan, con sentido dextrorso, bloques de rocas paleozoicas del flanco sur del Sinclinal de La Codosera, ha sido interpretado como que el área ha estado sometida a efectos de cizallamiento dúctil y dúctil-frágil hercínico, con sentido sinistroso, y cuyo efecto fué prolongado en el tiempo. En este esquema, las fallas tardihercínicas de dirección NW-SE y movimiento dextrorso que constituyen esa geometría en bloques, serían fallas antitéticas de la cizalla principal de dirección E-W y sentido sinistroso. Este modelo, en el que se contempla un incremento de la componente en dirección (cizalla E-W), acompañado de acortamiento hacia la ZCBC, ha sido atribuído a un régimen de transpresión prolongada (Sanderson et al., 1991 b).

Durante la Orogenia Hercínica en el sur de la zona de La Codosera, los movimientos fueron principalmente transferidos a través de la ZCBC. La deformación fué no coaxial en estilo y con estructuras dominantes en dirección (strike-slip), en contraste con las estructuras de plegamiento y cabalgamientos vergentes hacia el N y NE del Norte de la zona (Sierra de San Pedro). El conjunto de la deformación tuvo lugar en un régimen transpresivo y levantamientos asociados con la transpresión dieron lugar a estructuras en "flor" (Ribeiro et al.1990) cuyas raíces estarían en la ZCBC. Las relaciones geométricas de las estructuras en la zona de La Codosera muestran ese incremento progresivo de los efectos de cizallamiento hacia la ZCBC. Esquemáticamente, el modelo contempla la posibilidad de que el batolito de Albuquerque intruyera a favor de una zona de falla relacionada con una zona extensional curva (releasing bend) que fuera la rama norte de la ZCBC, sellándola y de esta forma, el movimiento fuese transferido hacia el Sur (Sinclinal de la Codosera). La extensión liberada daría lugar a las fallas antitéticas con geometría en dominó, que con movimiento dextrorso afectan a todo el sector sur de La Codosera (Figura 5).

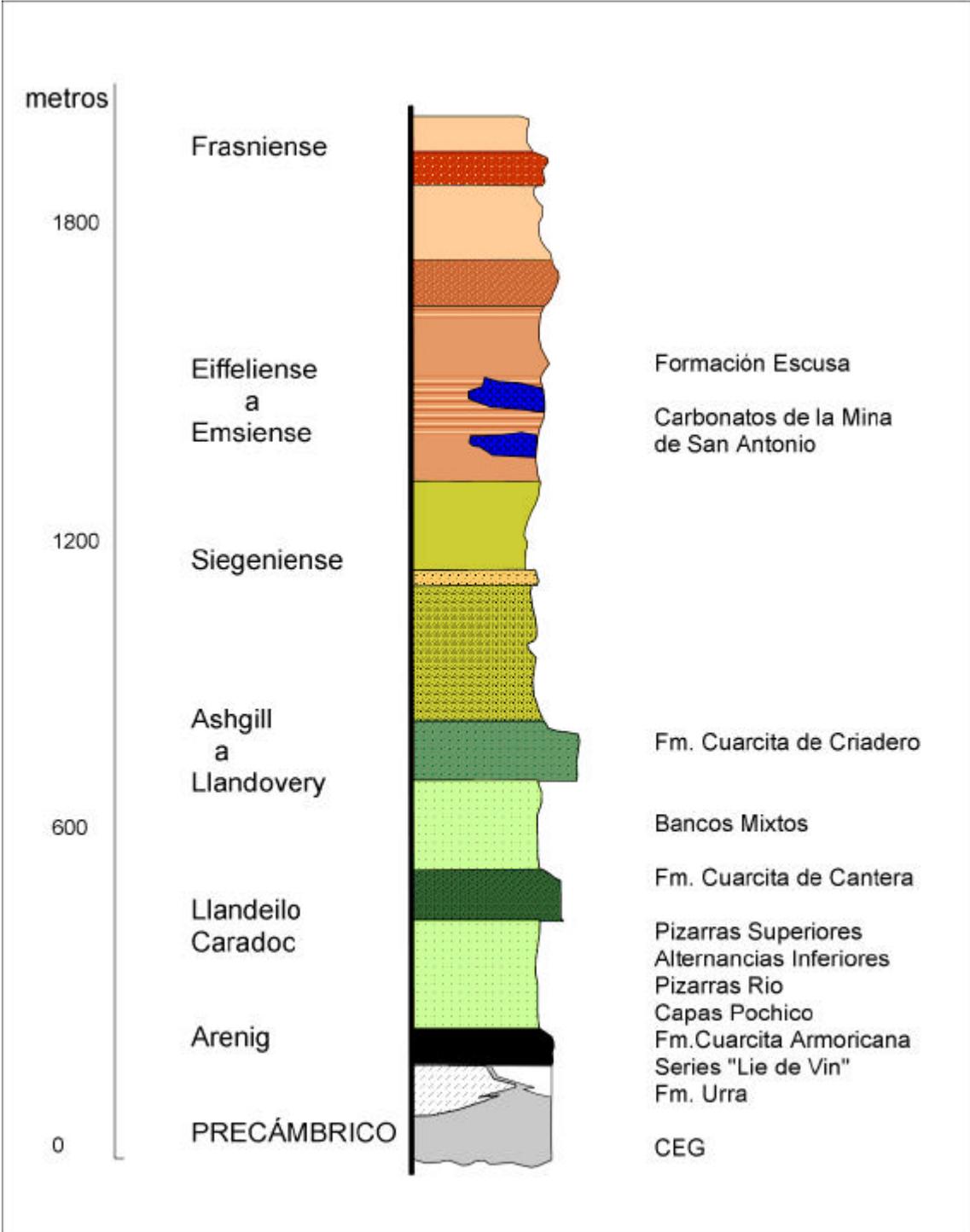


Figura 3

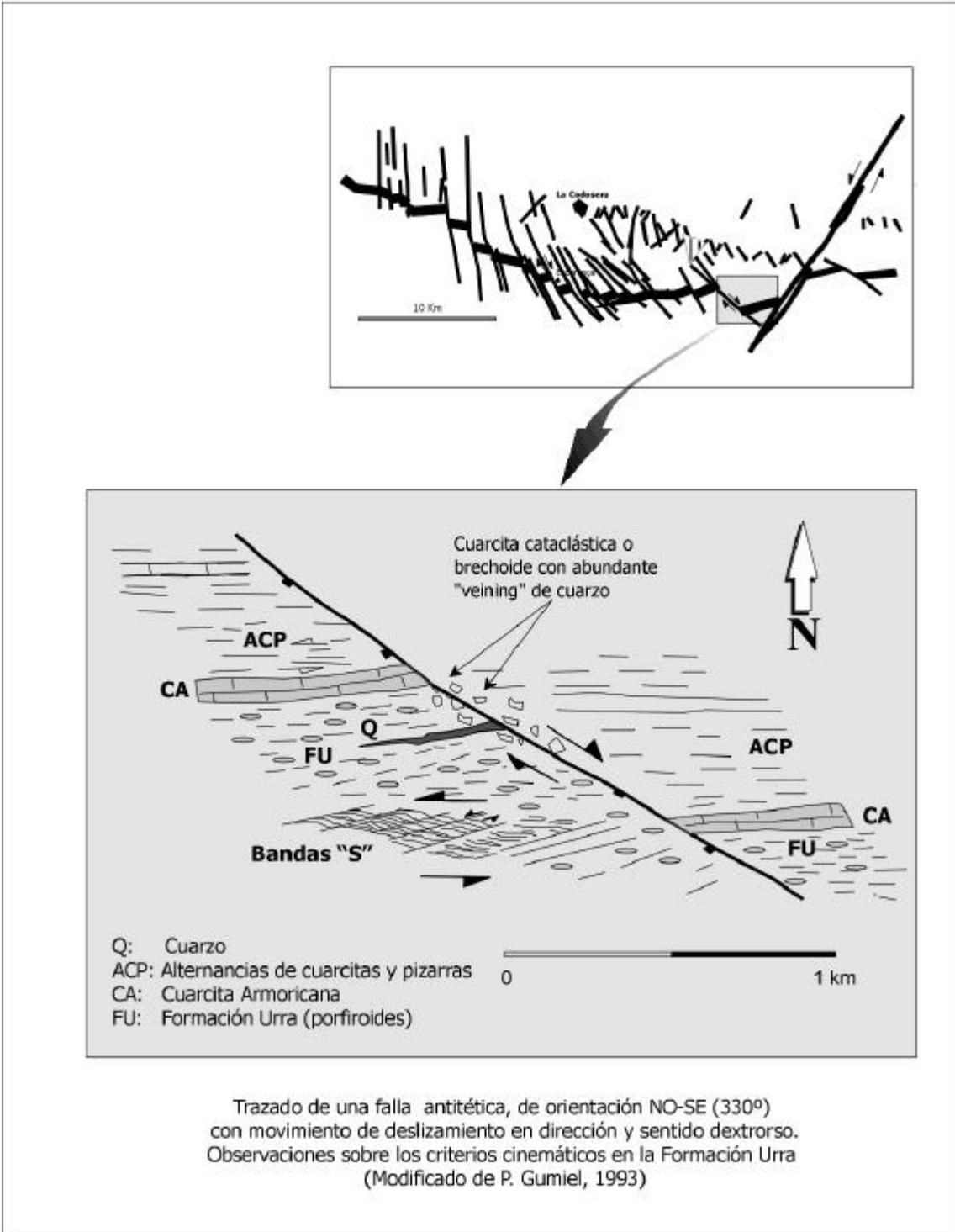


Figura 4

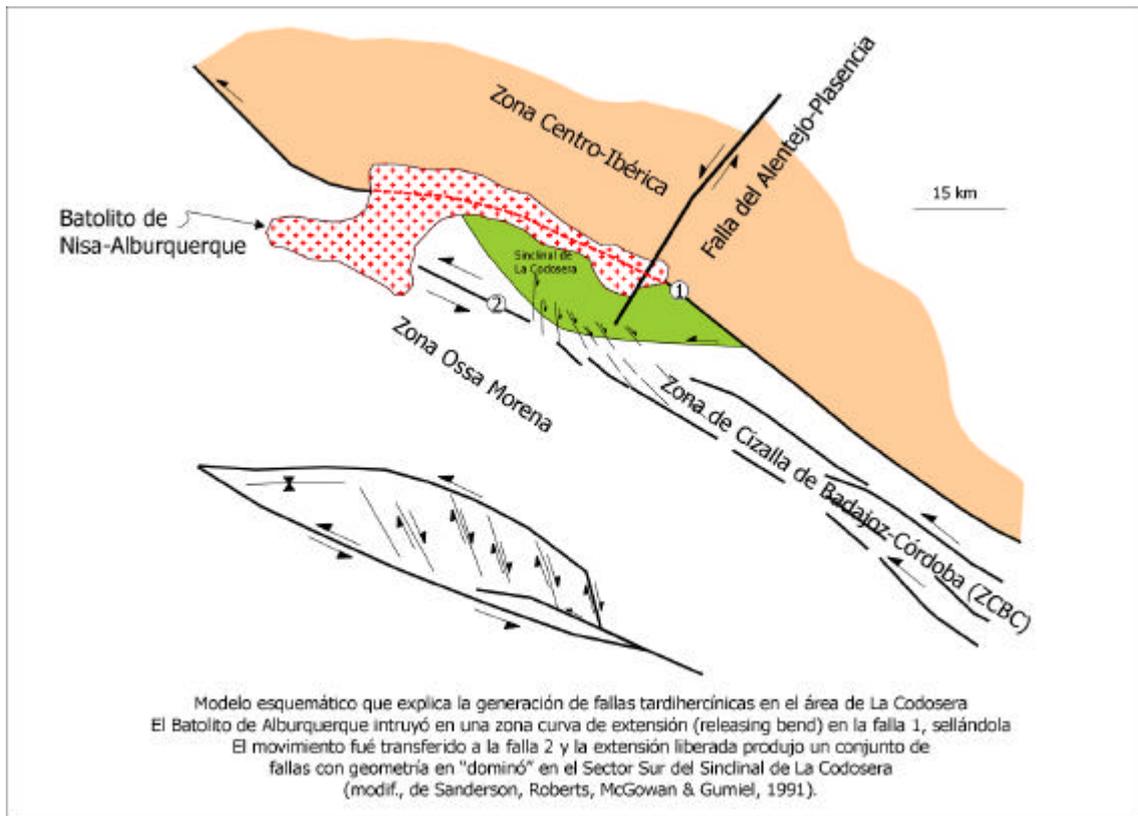


Figura 5

Características metalogénico-estructurales. Implicaciones del modelo dominó en la exploración de yacimientos minerales

El modelo geométrico en dominó que presentan las fallas tardihercínicas en el flanco sur del sinclinal de La Codosera tiene importantes implicaciones metalogénicas. Estas fallas cuando tienen direcciones N-S muestran poco desplazamiento lateral de las capas. Por el contrario, el desplazamiento dextrorso aumenta considerablemente (hasta unos 1000m de desplazamiento horizontal) a medida que las fallas rotan a direcciones NW-SE. Para acomodar la deformación durante la progresiva rotación pueden generarse varios sistemas de fallas antitéticas (e.g. WNW-ESE y NNW-SSE, reconocidas por Mc Gowan 1991).

Los mecanismos de acomodación de la extensión que se producen en los bloques (geometría en dominó) entre estos conjuntos de fallas antitéticas, tienen gran interés en el control estructural de las mineralizaciones auríferas del área. Las zonas en las que puede localizarse una determinada concentración mineral están relacionadas con las proximidades a las fallas que sufren mayor rotación y que consiguientemente presentan mayores desplazamientos. En estas zonas se produce una transferencia de la extensión con importante desarrollo de venas de cuarzo y cataclasis; igualmente, hay un mayor flujo hidráulico y si las condiciones físico-químicas son favorables, se puede producir una determinada concentración mineral.

Desde un punto de vista metalogénico, este modelo puede explicar la variación en la localización y concentración de las mineralizaciones auríferas. Un importante factor geométrico en el control de los fluidos mineralizadores es que los bloques rotados se adelgazan, y de esta forma es posible mantener condiciones de cizallamiento simple en los bordes de la zona. Además, los bloques rotados pueden engrosar en la vertical para así poder acomodar la reducción de anchura. En un modelo de bloques rígidos de este tipo, la deformación puede originar espacios libres o zonas de dilatación entre bloques rotados y no rotados, que pueden ser favorables para la localización de mineralizaciones. También van a ser zonas favorables los “pull-aparts” que se pueden generar entre zonas de solapamiento de determinadas fallas antitéticas (NW-SE) y sintéticas (NE-SW). Un factor importante para la canalización y el flujo de fluidos mineralizadores es la conectividad con la zona de cizalla principal.

Aunque existen venas de cuarzo mineralizadas con orientaciones variadas, la dirección metalogénica predominante es WNW-ESE (vector medio 296° -Figura 2-) y existe una clara correlación entre venas auríferas y fallas antitéticas de esta orientación. A nivel de áreas mineralizadas, las principales zonas en las que se encuentran indicios minerales, incluida la mina de antimonio de San Antonio (Figura 6), están situadas en las proximidades, o en extensiones, de las principales fallas NW antitéticas que muestran fuertes desplazamientos laterales (Figura 1 A).

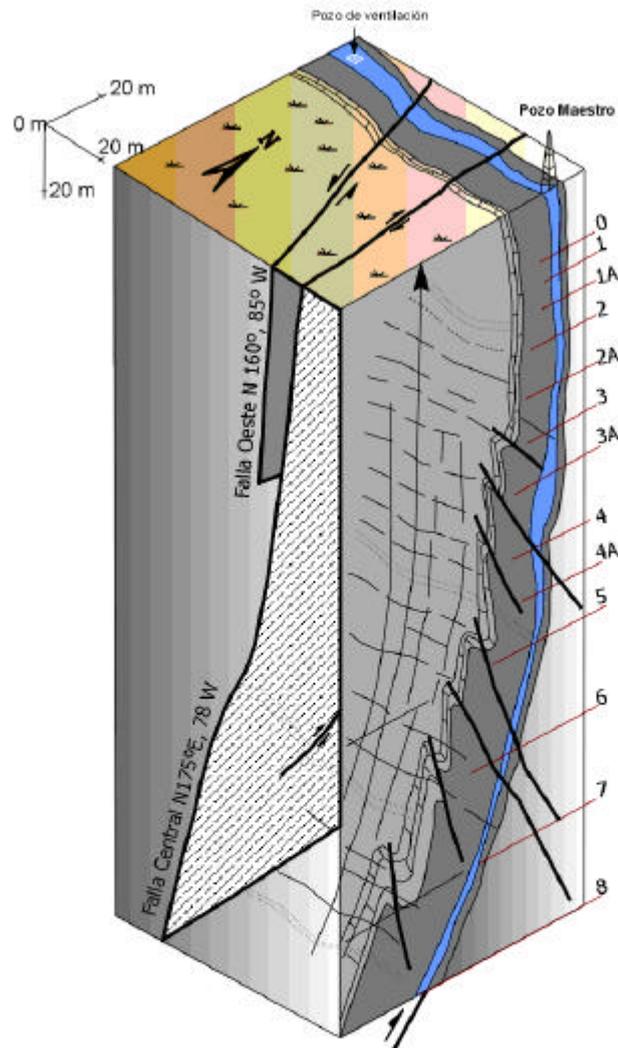
Tipología de las mineralizaciones

Las estructuras mineralizadas del área de La Codosera son numerosas y variadas, lo que sin duda caracteriza a todos los yacimientos de tipo filoniano relacionados con zonas de cizalla. Esta característica hace que la distribución de las mineralizaciones sea irregular, a veces errática, pero siempre se trata de estructuras controladas por la tectónica.

Se han reconocido los siguientes tipos de estructuras mineralizadas (Figura 7):

- 1.- Venas a alto ángulo de orientación NE-SW a N-S, con venas pinnadas (pinnate veins) en terminaciones de fallas antitéticas y sintéticas.
- 2.- Mineralizaciones en cabalgamientos y fallas inversas, de orientación WNW-ESE, relacionadas con reactivaciones oblicuas (movimientos de desgarr).

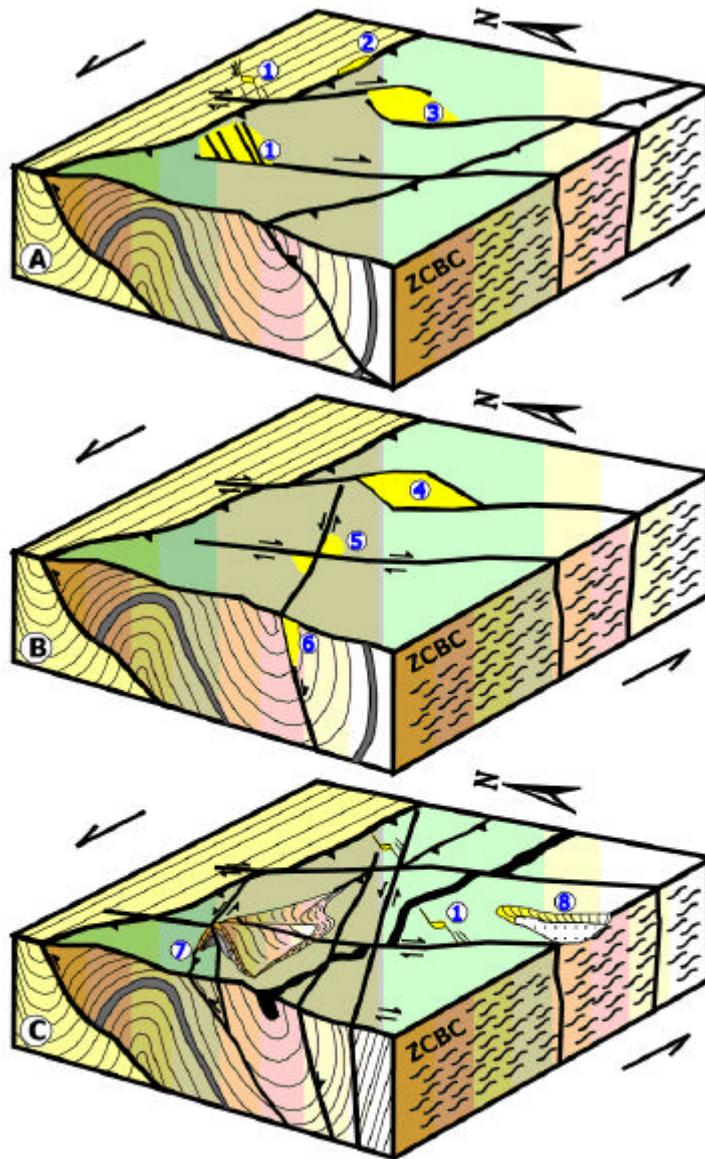
**Sección isométrica del yacimiento de San Antonio
Alburquerque, Badajoz (modificado de Gumiel, 1984)**



Leyenda

- | | | | |
|---|--|---|---|
|  | Pizarras negras ampelíticas y grafitosas. |  | Plantas de explotación |
|  | Brecha deformada, con mineralización de estibina y scheelita. |  | Fracturas |
|  | Alternancias de calizas tableadas grises bituminosas, con numerosas venillas de calcita y algún nivel de pizarras. |  | Fallas con indicación de movimiento |
| | |  | Verticalización del cabalgamiento |
| | |  | Pliegues acompañantes $\Psi 1$ (Pliegue de propagación) |
| | |  | Pliegues $\Psi 2$ |

Figura 6



Estructuras favorables en las que se puede localizar una concentración mineral aurífera en el área de La Codosera, Badajoz (modificado de Gumiel, 1993)

- A) 1.- Venas a alto ángulo, de orientación NE-SW a N-S con "pinnate veins" en terminaciones de fallas antitéticas y sintéticas
 2.- Mineralizaciones en cabalgamientos de orientación WNW-ESE, relacionadas con reactivaciones oblicuas (movimientos de desgarre)
 3.- En zonas de curvaturas o cambios de orientación entre solapes de fallas antitéticas (NW-SE)
- B) 4.- En pull-aparts o zonas de dilatación de carácter extensivo en fallas antitéticas (NW-SE) y sintéticas (NE-SW y ENE-WSW)
 5.- En zonas de extensión, en intersecciones de fallas de desgarre sintéticas y antitéticas
 6.- En zonas de extensión en los labios hundidos de fallas normales
- C) 7.- En zonas de charnela en pliegues de propagación (D2) (tipo "saddle-reefs"), relacionados con cabalgamientos
 8.- Mineralizaciones de tipo placer

Figura 7

- 3.- En zonas de curvaturas o cambios de orientación entre solapes de fallas antitéticas NW-SE.
- 4.- En pull-aparts o zonas de dilatación de carácter extensivo en fallas antitéticas NW-SE y sintéticas NE-SW y ENE-WSW.
- 5.- En zonas de extensión en intersecciones de fallas de desgarre sintéticas (NE-SW) y antitéticas (NW-SE).
- 6.- En zonas de extensión en los labios hundidos de fallas normales.
- 7.- En zonas de charnela en pliegues de propagación (D2) (tipo“saddle-reefs”), relacionados con cabalgamientos.
- 8.- Mineralizaciones de tipo placer.

Los indicios de oro del área de La Codosera pertenecen a la asociación; *cuarzo-arsenopirita-pirita-oro (q.As-Fe-Au)* (Gumiel 1987, en Quesada et al,1987).

Trabajos de exploración geoquímica

Se han realizado varias campañas de exploración geoquímica en sus modalidades de litogeoquímica y geoquímica de suelos. La litogeoquímica se ha realizado en calicatas de exploración, prestando especial atención a determinados niveles litológicos, con objeto de comprobar si estaban enriquecidos en oro (mineralizaciones estratoides), o bien la mineralización se asocia exclusivamente a las venas.

Aunque no se tienen suficientes datos como para descartar completamente la posible existencia de algún nivel enriquecido en oro de forma primaria, que fuera realmente de tipo estratoide (stratabound) en algún sector, los conocimientos que actualmente se poseen apuntan a que los valores anómalos de oro en las brechas ferruginosas y en las cuarcitas con intenso veining de cuarzo están siempre asociados a venas. El contenido medio en Au de las cuarcitas con veining de cuarzo, en superficie (0.62ppm Au) y en sondeos (0.49ppm Au) es muy superior al de las cuarcitas sin veining (0.008 y 0.018). El contenido medio de oro en las brechas ferruginosas analizadas es algo más elevado (0.048ppm Au), sin considerar el de algunas brechas constituidas por fragmentos de cuarzo filoniano y matriz ferruginosa, en las que a veces, es posible distinguir el oro a simple vista, siempre asociado a los fragmentos de cuarzo filoniano y, en ocasiones, de grano muy fino y diseminado en la matriz. Estas brechas (auríferas) tienen un contenido medio de 1.095ppm, con valores hasta de 3.73ppm de Au.

Las litologías pizarrosas, en particular las pizarras negras analizadas tienen un contenido medio de 0.005ppm de Au, que coincide con el límite de detección y únicamente cuando presentan veining de cuarzo muestran contenidos superiores, hasta 0.15ppm, con una media de 0.084ppm de Au.

Contribución del análisis fractal a la discriminación de sistemas filonianos

Se ha estudiado la naturaleza y geometría fractal de varios sistemas filonianos auríferos de La Codosera. Se ha intentado, por primera vez, caracterizar formalmente los conjuntos filonianos, estudiar su organización interna y distribución, y cuantificar el grado de irregularidad de cada uno mediante su dimensión fractal. Este parámetro, específico de cada conjunto, se ha relacionado con su contenido en oro, con objeto de comprobar si es posible discriminar los diferentes grupos filonianos mineralizados y distinguirlos de los estériles en base a las características de su geometría fractal.

La dimensión fractal (D) se puede obtener a partir de la medida directa de espesores de venas, cuya distribución es fractal según la relación $N_{(t)} = Ct^{-D}$, donde $N_{(t)}$ es la frecuencia acumulada del número de venas con espesor $>$ que t , C es una constante de proporcionalidad, t el espesor y D la dimensión fractal.

Se han medido los espesores de 3760 venas en siete sondeos de exploración, y los resultados obtenidos apuntan que mayor contenido en oro se correlaciona con menor dimensión fractal $D < 1$ en conjuntos filonianos con mas alto contenido en oro, y $D > 1$ en aquellos conjuntos que tienen menores contenidos en oro (Gumiel et al., 1992; Sanderson et al., 1994).

Contribución de la gravimetría al modelo de exploración

La campaña de prospección gravimétrica realizada por el IGME en la zona de La Codosera – Alburquerque está delimitada por las coordenadas X este = 651000, Ysur = 4339000; X oeste = 657000, Y norte = 4349000, con 130 estaciones en malla de 700 metros aproximadamente (Campos y Gumiel, 1990; Campos y Plata, 1991). En el Mapa de Anomalías de Bouguer obtenido (Figura 8) se observa claramente un mínimo gravimétrico de -7.5 mGal, localizado al oeste de La Codosera que se extiende hacia Portugal. Dado que las rocas paleozoicas presentan densidades mayores que los materiales graníticos, es difícil establecer una correlación de esta anomalía negativa con las positivas que generan los materiales que se encuentran en el Sinclinal de La Codosera.

La modelización $2\frac{1}{2}$ D de uno de los perfiles gravimétricos interpretados sugiere la existencia de un cuerpo de menor densidad en profundidad con un contraste de densidad negativo (-0.1 gm cm^{-3}) y de forma irregular, que podría estar desplazado y separado del batolito de Alburquerque por una falla de extensión.

Datos de inclusiones fluidas. Hipótesis genéticas: Discusión

Los datos que proporcionan las inclusiones fluidas revelan que las mineralizaciones de La Codosera se forman a partir de fluidos ricos en CO_2 y CH_4 (más de 20 moles % de metano) a temperaturas entre 350° y 400°C , y presiones entre 2800-3300 bares, a una profundidad de unos 10 Km aproximadamente. La interacción de los fluidos con pizarras carbonosas ricas en materia orgánica debió jugar un importante papel en la precipitación de oro. Las características químicas de los fluidos les asigna un origen metamórfico, posiblemente relacionado con la ZCBC.

Por último, con respecto a la génesis de las mineralizaciones de oro, el tema está todavía sometido a debate. Por una parte, las características físico-químicas de los fluidos mineralizadores sugieren un origen metamórfico relacionado probablemente con la Zona de Cizalla, y el contenido en metano refleja probablemente también interacciones con las pizarras carbonosas encajantes. Por otra parte, la coincidencia de los indicios en una zona con un mínimo gravimétrico, la existencia de una anomalía radiométrica de K (vuelo aeroradiométrico de ENUSA) y las trazas de metamorfismo de contacto en algunas pizarras al oeste de La Codosera, sugieren también una posible influencia ígnea. No obstante, en base a las características de los fluidos, junto con la presencia de indicios de oro en el Sector Central (El Chirriato) donde no se encuentran granitos, inducen a pensar que los fluidos mineralizadores son de origen metamórfico y pueden estar relacionados con la Zona de Cizalla. Las concentraciones minerales se localizarían en estructuras secundarias conectadas con dicha Zona de Cizalla. El papel del granito que justifica el mínimo gravimétrico existente al oeste de La Codosera, sería por una parte, el de favorecer la fracturación y la circulación hidráulica, dando lugar a “celdas hidrotermales” convectivas, y por otra inducir el calentamiento de los fluidos y la consiguiente precipitación de metales, aunque los fluidos hidrotermales no tengan directamente una filiación ígnea. A escala de yacimiento, los mecanismos de formación y génesis de las mineralizaciones se ajustan bastante bien con los modelos de percolación de fluidos.

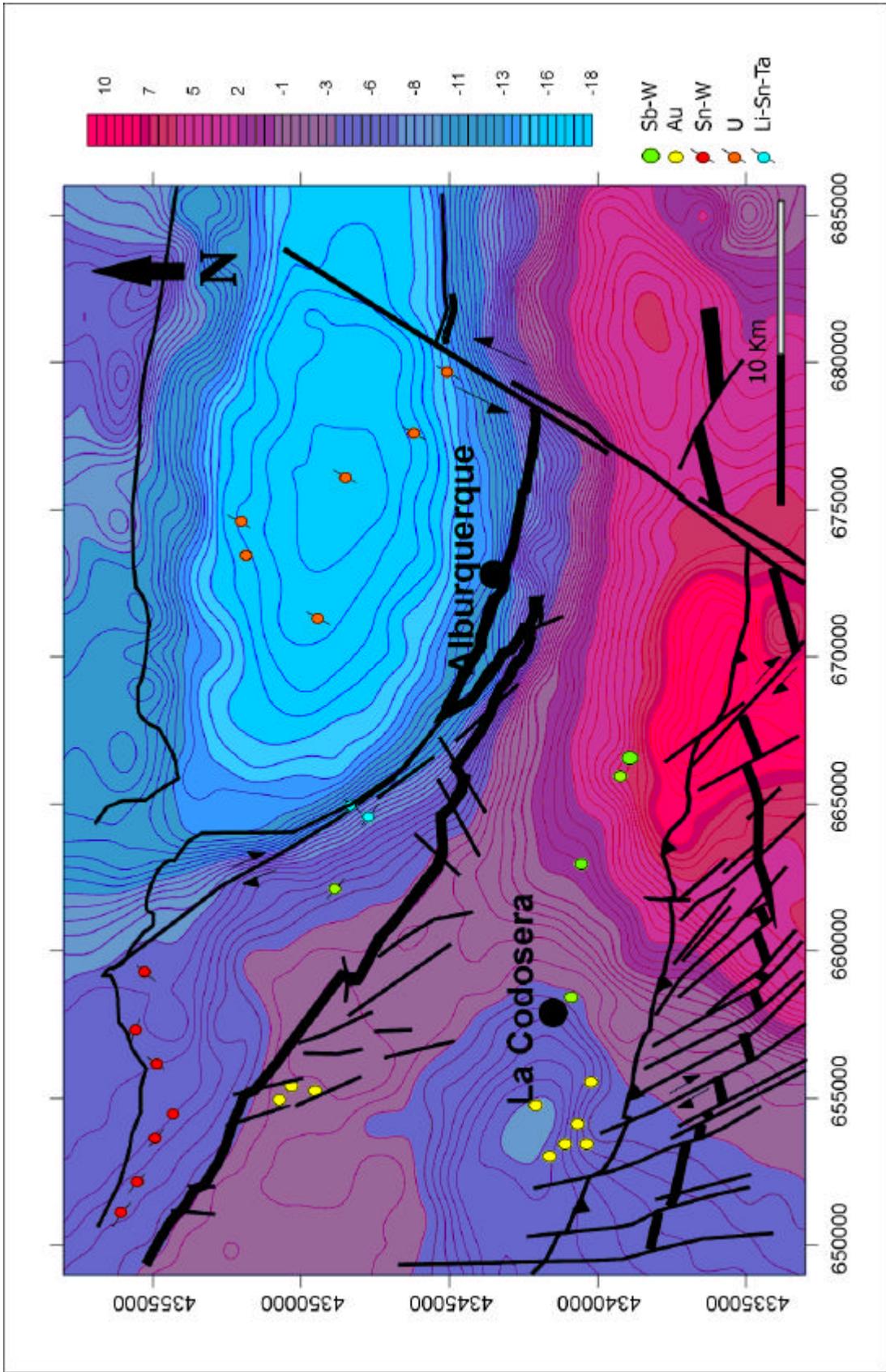


Figura 8

DESCRIPCIÓN Y GUÍA DE LAS PARADAS

1ª Parada (P-1). Panorámica general del Sinclinorio de La Codosera. Explicación general de la estratigrafía y estructura. Comentarios sobre la situación de las principales mineralizaciones de la zona. (Figuras 1 y 2).

2ª Parada (P-2). Carretera a Portugal. Análisis de las estructuras de deformación de las series precámbricas. Criterios cinemáticos en la Formación Urra; bandas S, (Foto 1), porfidoblastos sigmoidales de cuarzo, etc. Observaciones en el contacto entre la Cuarcita Armoricana y la Formación Urra (Precámbrico Superir); flanco invertido, silicificaciones, cabalgamiento de la Formación Urra sobre la Cuarcita Armoricana (Foto 2). Observación de las fallas antitéticas de orientación NW-SE que desplazan a la Cuarcita Armoricana y que presentan una geometría en modelo dominó. Su relación con las mineralizaciones de oro de la zona.

3ª Parada (P-3). Carretera a Portugal. Alternancias de cuarcitas y pizarras del Devónico Inferior. Efectos de la deformación por cizallamiento en capas competentes de diferente orientación. Pliegues congruentes con el sentido de movimiento sinistrorso de la cizalla (Foto 3).

4ª Parada (P-4). Observaciones estructurales en la brecha deformada del Devónico, encajante de la mineralización de Sb-W de la mina de San Antonio (Foto 4). La mina de San Antonio fue el yacimiento más importante de antimonio de la Península Ibérica y estuvo en explotación hasta el año 1986. El depósito fue estudiado por Gumiel et al., 1976, Gumiel (1983), Arribas y Gumiel (1984). La mineralización de San Antonio se encuentra en un horizonte carbonatado constituido por calizas negras, brechas intraformacionales deformadas, calcoesquistos y pizarras negras del Devónico Medio. El yacimiento es de tipo estratoide con un marcado control litoestratigráfico y estructural, localizándose en el flanco normal de un pliegue de propagación asociado a un cabalgamiento vergente al norte, que se verticaliza en superficie (Figura 6 y Foto 4), dentro del Sector sur de La Codosera.

La brecha mineralizada o no, conserva su espesor (entre 1,8 y 2,2 metros) tanto en profundidad (hasta 600 metros) como en dirección. Dentro de la brecha, la mineralización de estibina se presenta en cuerpos en forma de “canales” con una longitud media de 30-35 metros. La estibina, de grano fino o hábito tabular, rodea fragmentos estirados de cuarzo, cherts y calizas según la dirección de estratificación. Nódulos de scheelita de hasta 7 cm de diámetro se encuentran en los agregados de estibina. La paragénesis del yacimiento está constituida por estibina, scheelita, berthierita y pirita. Arsenopirita y antimonio nativo son los principales minerales accesorios y estibiconita, cervantita y goethita son los principales minerales secundarios.

En la brecha deformada se observan lineaciones de estiramiento, y la deformación de la misma se ha cuantificado a partir de las relaciones de elipticidad de los cantos, mostrando elipsoides estirados (prolatos) con relaciones $R_{xy} > 4$. La génesis de la mineralización fue relacionada con procesos exhalativos (con Sb-W-Hg) a través de un sistema activo de fallas en la zona de talud de una plataforma carbonatada devónica (Gumiel, 1983; Arribas y Gumiel, 1984). Otra hipótesis alternativa (Gumiel y Gallego, 1991), podría ser que tanto las mineralizaciones de antimonio como las de oro estuviesen espacial y genéticamente relacionadas con la ZCBC y fuesen canalizadas a través de las fallas NW-SE antitéticas. La concentración mineral se produciría en determinadas estructuras favorables (estructuras de segundo orden) y en litologías específicas (brechas calcáreas).

5ª Parada (P-5). Tipología de las estructuras con mineralización de oro. Visita a las zonas auríferas de La Portilla Larga y Montevejido.

- 5.1.- *Venas transversales, a alto ángulo con respecto a las estructuras hercínicas (La Portilla Larga)*. La mineralización de oro (con valores puntuales de hasta 8-10 g/t) se encuentra en “bolsadas”, asociadas a zonas de dilatación y pull-aparts en fallas de orientación NNE-SSW (N20°E, buzando 75°W). La potencia de las venas oscila entre 10 y 150 cm. Se observan brechificaciones locales en las venas desarrolladas a favor de la falla y también se reconocen varias generaciones de estrías (reactivaciones) en el plano de falla (Foto 5). Estas fallas son de extensión con importantes reactivaciones oblicuas, debidas a una fuerte componente de desgarre (estrías subhorizontales). Estas reactivaciones tienen gran importancia para el flujo de los fluidos mineralizadores.
- 5.2.- *Mineralizaciones de oro en zonas de charnela de pliegues (tipo “saddle-reef”)*. Otros importantes, e insuficientemente conocidos indicios en el área de La Codosera, son aquellas labores situadas en zonas de dilatación, como por ejemplo, zonas de charnela de pliegues, dando lugar a mineralizaciones en tipo "silla de montar" (saddle-reef). Un ejemplo es el de Monteviejo Area Norte. En este caso, la mineralización de oro rellena espacios abiertos y reemplaza rocas favorables en la zona de charnela de un pliegue (D2) de dirección E-W y pinchando 50°E (Foto 6). Las características geométricas de estos pliegues de la segunda fase D2, como asimetría y vergencia, son congruentes con el sentido sinistroso del cizallamiento regional que afectó a la zona. La mineralización de oro, con contenidos comprendidos entre 1.5 y 6.5 g/t, se presenta en el cuarzo que ocupa la zona de la charnela del pliegue, en zonas brechoides de la misma y rellenando microfracturas de extensión típicas de la zona de charnela. La importancia de este tipo de mineralizaciones en el área aún no ha sido suficientemente valorada, por lo que cabe suponer que estas estructuras pueden tener interés desde el punto de vista de la exploración.

6ª Parada (P-6 opcional). Observaciones geométricas y cinemáticas de venas situadas en cuarcitas del Sector Central de la Codosera. En esta última parada, las venas de cuarzo, con trazas de oro, muestran buenos criterios cinemáticos. Es frecuente observar disposiciones sigmoidales de las grietas de cuarzo (Foto 7) o disposiciones en relevo (en echelon), asociadas a fallas de orientación NE-SW (N40°E).

Fin de la visita

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Asociación Geológica de Extremadura (AGEX) el interés mostrado por el desarrollo de la reunión, así como la financiación de la excursión geológica a la zona de La Codosera. Igualmente, al Grupo de Trabajo del Proyecto PICG 453 (Modern and Ancient Orogens) por la celebración de la reunión y excursión geológica. Al IGME por la utilización de datos de proyectos, y finalmente, a la Dirección General de Ordenación Industrial, Energía y Minas de la Junta de Extremadura por la publicación de la Memoria y Guía de la Excursión.

Referencias bibliográficas

- **Abalos, B. (1989).** Structural Geology of the Ribera del Freno window (Badajoz-Córdoba Shear Zone). *Rev.Soc.Geol.España*,2, 103-112.
- **Abalos, B. & Eguiluz, L. (1990).** El corredor blastomilonítico de Badajoz-Córdoba: un complejo orogénico de subducción/colisión durante la Orogenia Pan-Africana. *Cinemática, dinámica e historia de levantamiento del apilamiento de unidades tectónicas*. *Geogaceta*,7, 71-73.
- **Antón-Pacheco, C. & Gumiel, J. C. (1991).** Multispectral analysis and digital classification of Landsat Thematic Mapper Data. En *Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula*. Eds. P. Gumiel, C. Antón-Pacheco & R. Campos. Publ. Especiales del Bol. Geol. Min. 67-80.
- **Arribas, A. & Gumiel, P. (1984).** First occurrence of a strata-bound Sb-W-Hg deposit in the Spanish Hercynian Massif. In: *Syngensis and epigenesis in the formation of mineral deposits*. Eds.A. Wauschkuhn, A., Kluth,C. & Zimmermann, R.A.) Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 469-481.

- **Burg, J.P., Iglesias, M., Laurent, P.H., Matte, P.H. & Ribeiro, A. (1981).** Variscan intercontinental deformation: The Coimbra-Córdoba shear zone (SW Iberian Peninsula). *Tectonophysics*, 78, 161-177.
- **Campos, R. & Gumiel, P. (1990).** Estudio gravimétrico en Extremadura, (Zonas de La Codosera-Alburquerque y Albalá) y su aplicación a la exploración de yacimientos minerales. *Bol. Geol. Min.* 101-1, 122-134.
- **Campos, R. y Plata J. L. (1991).** Gravity Survey. En *Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula*. Eds. P. Gumiel, C. Antón-Pacheco & R. Campos. Publicaciones Especiales del Bol. Geol. Min. 55-66.
- **Diez Balda, M.A. (1986).** El Complejo esquistos-grauváquico, las series paleozoicas y la estructura hercínica al Sur de Salamanca. *Acta Salmant. Sec. Ciencias. Salamanca*, 52,1-162.
- **Diez Balda, M.A., Martínez Catalán, J.R., González Lodeiro, F. & Iglesias, M. (1977).** La deformación Hercínica en los materiales Paleozoicos y Precámbricos al sur de Salamanca. *Studia Geologica*, 12, 91-108.
- **Diez Balda, M.A., Vegas, R. & Gonzalez Lodeiro, F. (1990).** Structure. Part IV Central Iberian Zone. In: *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Eds Dallmeyer, R.D. & Martinez García, E. Springer Verlag, Berlin, 172-188.
- **Gumiel, P., Arribas, A. y Saavedra, J. (1976).** Geología y metalogénia del yacimiento de estibina-scheelita de San Antonio. Alburquerque (Badajoz). *Studia Geol.* 10, 61-93.
- **Gumiel, P. (1983).** Metalogénia de los yacimientos de antimonio de la Península Ibérica. *Tecniterrae*, 54, 120p.
- **Gumiel, P. (1987).** En Quesada, C., Florido, P., Gumiel, P. & Osborne, J. (1987). *Memoria del Mapa Geológico-Minero de Extremadura. E/1:300.000*. Junta de Extremadura, Consejería de Industria y Energía. 131p.
- **Gumiel y CGS (1991).** Geochemical Surveys. En *Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula*. Eds. P. Gumiel, C. Antón-Pacheco & R. Campos. Publicaciones Especiales del Bol. Geol. Min. 15-22.
- **Gumiel, P. y Gallego, M. (1991).** Other prospects. En *Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula*. Eds. P. Gumiel, C. Antón-Pacheco & R. Campos. Publicaciones Especiales del Bol. Geol. Min. 43-54.
- **Gumiel, P., Sanderson, D.J., Roberts, S. & Campos, R. (1992).** El uso del análisis fractal como discriminación de sistemas filonianos auríferos en el área de La Codosera, Extremadura (España). *Geogaceta*, 12, 3-7.
- **Mc Gowan, J.A. (1991).** Hercynian Transpressional tectonics at the southern margin of the Central Iberian Zone, Western Spain. Unpublished Ph.D thesis. University of Southampton, 210 p.
- **Oen Ing Soen (1970).** Granite intrusion, folding and metamorphism in central northern Portugal. *Bol. Geol. Min.* 81, 271-98.
- **Ortega, E. (1988).** Geology and metallogeny of the Almaden area, Centro-Iberian Zone, Spain. In Second European Workshop on Remote Sensing in Mineral Exploration. CEC Report EUR 11317, 145-173.
- **Ribeiro, A. (1974).** Contribution á l'étude tectonique de Trás-os-Montes occidental. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 24 (nueva ser.), 1-168.
- **Ribeiro, A., Quesada, C. & Dallmeyer, R.D. (1990).** Geodynamic evolution of the Iberian Massif. Part VIII. In: *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (eds Dallmeyer, R.D. & Martinez García, E.). Springer Verlag, Berlin, 399-410.
- **Roberts, S., Sanderson, D.J., Gumiel, P. & Dee, S. (1991).** Tectonic and fluid evolution of auriferous quartz veins from the La Codosera Area, SW Spain. *Economic Geology*, 86, 1012-1022.
- **Roberts, S. & Dee, S. (1991).** Geochemistry. En *Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula*. Eds. P. Gumiel, C. Antón-Pacheco & R. Campos. Publicaciones Especiales del Bol. Geol. Min. 33-41.
- **Sanderson, D.J., Chinn, C. & Bentham, J. (1991 a).** Landsat lineaments and the structural control of mineralization. En *Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula*. Eds. P. Gumiel, C. Antón-Pacheco & R. Campos. Publicaciones Especiales del Bol. Geol. Min. 87-100.
- **Sanderson, D.J., Roberts, S., Mc Gowan, J.A. & Gumiel, P. (1991 b).** Hercynian transpressional tectonics at the Southern margin of the Central Iberian Zone, West Spain. *Journ. Geol. Soc. London*. 148, 893-898.
- **Sanderson, D.J., Roberts, S., & Gumiel, P. (1994).** A Fractal Relationship between Vein Thickness and Gold Grade in Drill-Core from La Codosera, Spain. *Econ. Geol.* 89, 168-173.



Foto 1.- Criterios cinemáticos en la Formación Urra. Bandas “S” que indican un movimiento de cizalla de sentido sinistrorso que afectó a la zona.



Foto 2.- Observaciones en el contacto entre la Cuarcita Armoricana y la Formación Urra (Precámbrico Superior). Silicificaciones y cabalgamiento de la Formación Urra (a la derecha del martillo) sobre la Cuarcita Armoricana (a la izquierda del martillo).



Foto 3.- Alternancias de cuarcitas y pizarras del Devónico Inferior. Efectos de la deformación por cizalla en capas competentes de diferente orientación. Pliegues congruentes con el sentido sinistrotorso de la cizalla.



Foto 4.- Observaciones estructurales en la brecha carbonatada deformada del Devónico, encajante de la mineralización de Sb-W de la mina de San Antonio, Alburquerque.



Foto 5.- Labor minera de La Portilla Larga. Venas de orientación NNE-SSW ($N20^{\circ}E$, buzando $70^{\circ}W$). La mineralización de oro (con valores de hasta 8-10 g/t) se encuentra en bolsadas, asociadas a zonas de dilatación y en pull-aparts de estas fallas de orientación NNE. En la foto se aprecian varias generaciones de estrías en el plano de falla.



Foto 6.- Labor minera en un pliegue D2, de eje E-O, pinchando $50^{\circ}E$. La mineralización de oro, con contenidos que varían entre 1.5 y 6.5 g/t, se presenta en el cuarzo que ocupa la zona de charnela, constituyendo un tipo "saddle-reef". También se encuentra oro en zonas brechoides de la misma y rellenando microfracturas de extensión típicas de la zona de charnela. Zona Oeste de Monteviejo.



Foto 7.- Observaciones cinemáticas de venas situadas en cuarcitas del Sector Central de La Codosera. Grietas sigmoidales “en echelon” rellenas de cuarzo con trazas de oro, asociadas a cizallas de carácter dúctil-frágil de orientación N40° E que marcan un movimiento de sentido sinistrorso.