

El uso del análisis fractal como discriminación de sistemas filonianos auríferos en el área de La Codosera, Extremadura (España)

Fractal approach to discriminate between barren and gold-bearing veins in the La Codosera Area, Extremadura (Spain)

P. Gumiel (1), D. J. Sanderson (2), S. Roberts (2) y R. Campos (1)

(1) ITGE, Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid (Spain)

(2) Dep. Geology, University of Southampton (UK)

ABSTRACT

Fractal analysis in drill-cores and trenches in the gold potential area of the La Codosera in Extremadura, Spain, have demonstrated that vein thickness generally follows a power-law distribution in the relationship $N(t) = Ct^{-D}$, where $N(t)$ is the number of veins with a thickness greater than t . This may be interpreted in terms of the self-affine scaling of vein geometry. Gold-bearing veins show lower D values than barren veins and high C values have higher overall grades.

Key words: fractal, vein geometry, power-law distributions, gold.

Geogaceta, 12 (1992), 3-7.

ISSN: 0213683X

Cada día son más abundantes y sofisticadas las nuevas técnicas, que de forma multidisciplinar, se están aplicando a la exploración de yacimientos minerales. El desarrollo tecnológico, en especial la «explosión» informática de los últimos diez años ha proporcionado medios cada vez más eficaces de análisis, observación y tratamiento conjunto de los datos, lo que da lugar al establecimiento de modelos cada vez más rigurosos y completos. Sin embargo, la aplicación específica de las Ciencias Matemáticas a la exploración de yacimientos minerales ha sido muy escasa. Es a partir de los descubrimientos de Mandelbrot (1967) sobre la organización fractal de la naturaleza, cuando comienzan a aplicarse a la Geología, principalmente en los campos de la Sismología y Geología Estructural. Turcotte (1986) comprueba que las relaciones tonelaje/ley de algunos yacimientos de Hg, Cu y U de Estados Unidos presentan distribuciones fractales.

El concepto de Fractal, del latín «fractus», se debe a Mandelbrot (1967), quien lo aplicó a los objetos naturales que tienen en común el hecho de poseer una forma sumamente «irregular» o interrumpida. Una de las características principales de cualquier objeto fractal es su dimensión fractal que se denota con la letra D y que mide su grado de irregularidad o interrupción.

Los fractales se basan en el concepto de autosimilitud, una propiedad

que presentan aquellos sistemas cuyas estructuras permanecen constantes al variar la escala de observación; en otras palabras, cuando «las partes», por pequeñas que éstas sean, se parecen al «todo».

Una distribución es fractal cuando un número de objetos N , con una dimensión «lineal» característica r (tamaño, espesor, desplazamiento, etc.) satisface la relación:

$$N_{(r)} = C/r^D \quad (1)$$

donde C es una constante de proporcionalidad, y D es la Dimensión fractal, la cual se obtiene de la ecuación anterior por logaritmos,

$$N_{(r)} = Cr^{-D}$$

$$\log N_{(r)} = \log C - D \log r,$$

y, por lo tanto,

$$D = (\log N_{(r)} - \log C) / \log (1/r)$$

Dimensión fractal (D): en sentido genérico, es un número que sirve para cuantificar el grado de irregularidad y fragmentación de un conjunto geométrico, o de un objeto u objetos naturales.

La representación matemática de (1) puede ser válida para un rango infinito, pero para su aplicación física (por ejemplo en Geología) es necesario acotarla (límite superior e inferior).

En la construcción de un gráfico fractal autosimilar, el objeto es reemplazado por otro, generalmente, más complejo pero que refleja perfectamente el original. En el Triádico o isla de Koch (fig. 1), la distancia entre los puntos extremos (perímetro) del arco tiende a infinito, y el área se desvanece. En un espacio bidimensional sería algo entre 1 y 2 dimensiones. Para clarificar esto, conviene recordar por geometría euclidiana la dimensión de objetos conocidos; por



Fig. 1.—Triádico o isla de Koch

Fig. 1.—Koch Triadic island.

ejemplo, un punto aislado tiene una dimensión 0, una recta tiene dimensión 1, un plano tiene dimensión 2 y un cubo tiene dimensión 3.

En la definición básica de fractal $N = Cr^{-D}$ (1), Turcotte (1989) sugiere que simplemente es una relación entre el número de objetos y una dimensión lineal propia (ej.: tamaño, espesor, etc.). No obstante, en la definición original de Mandelbrot (1967), se relaciona el perímetro, en función de la longitud de paso o contador. De forma que, si la longitud de paso es r_i , y N_i es el número de pasos requeridos para cubrir el perímetro P_i , se cumple que $P_i = N_i r_i$.

Sustituyendo la ecuación (1) para i , se obtiene que

$$P_i = C r_i^{-D} \cdot r_i = C r_i^{1-D}$$

$$P_i = C r_i^{1-D} \quad (2)$$

El triángulo inicial tiene tres lados, $N_1 = 3$, de longitud de lado $r_1 = 1$, y el perímetro es $P_1 = 3$. Después de la primera iteración, añadiendo triángulos de lados $r_2 = r_1/3 = 1/3$ en los centros de cada lado, el número de lados de la nueva figura (estrella de la fig. 1) es $N_2 = 12$ y el perímetro $P_2 = 12 \times 1/3 = 4$. Después de cada iteración, la longitud se ve incrementada en $4/3$ ($P_{i+1}/P_i = 4/3$, $r_{i+1}/r_i = 1/3$). Después de infinitas iteraciones se obtiene la isla de Koch, cuya dimensión fractal es $D = \log(N_2/N_1) / \log(r_1/r_2) = \log(12/3) / \log(1/1/3) = \log 4 / \log 3 = 1.262$.

La dimensión fractal se puede obtener a partir de la ecuación (1) o de las relaciones perimétricas, mediante la ecuación (2).

Mientras que en los fractales autosimilares los contadores que cubren un determinado contorno son cuadrados, en los fractales autoafines son rectángulos, es decir, hay una dimensión modificada (altura, longitud, etc.) Por lo tanto, reflejan la realidad pero no como un «calco» (autosimilar) sino con alguna modificación necesaria para representarla. Un ejemplo clásico de fractal autoafín es el movimiento browniano, que representa distribuciones al azar (proceso de Poisson). Los cortes geológicos son otro ejemplo de fractales autoafines.

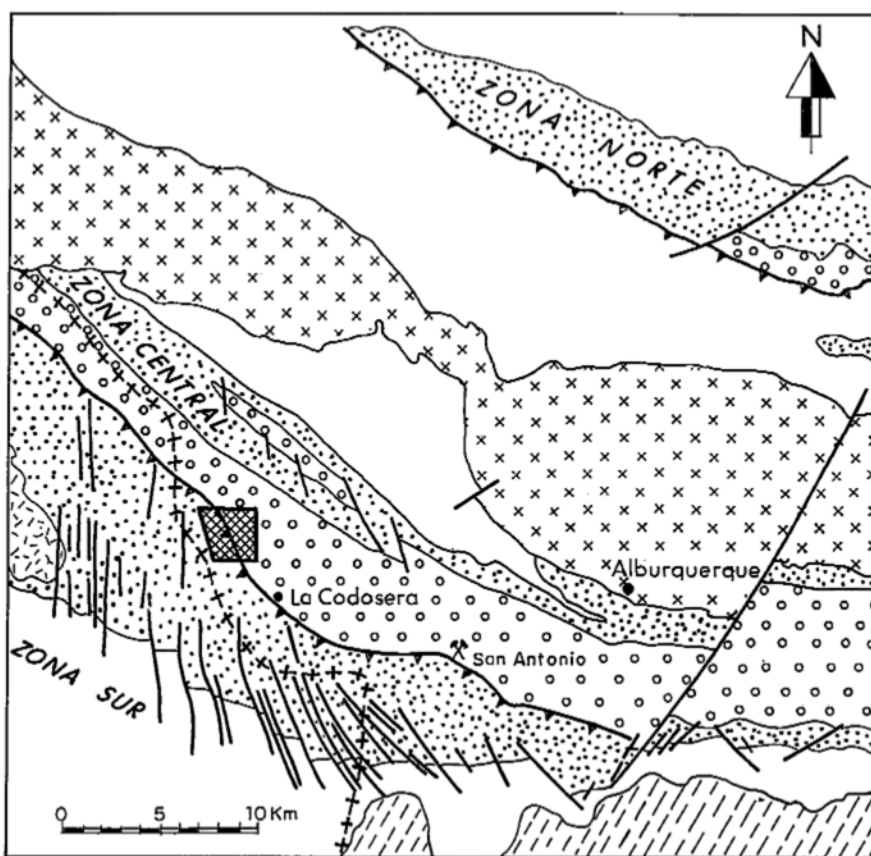
Al ser La Codosera un área de especial interés, en la que el ITGE viene desarrollando una serie de Proyectos de exploración minera desde el año 1984, encaminados al estudio

del potencial minero que representan sus mineralizaciones auríferas, se dispone de un conocimiento geológico de infraestructura así como de un importante número de sondeos.

El área de La Codosera (Badajoz), situada en el borde sur de la Zona Centro-Ibérica, próxima al límite con Ossa Morena (fig. 2) puede considerarse como una zona de transición entre ambos terrenos. Las rocas del CEG (Precámbrico Superior-Cámbrico Inferior) ocupan los núcleos de los anticlinales y son las más antiguas del área. El Paleozoico (Ordovícico Inferior-Devónico Medio)

queda restringido a estrechos sinclinales, destacando por su importancia metalogénica y minera el flanco sur del Sinclinal de La Codosera, pues es donde se encuentran las mineralizaciones de antimonio (mina San Antonio, Gumiel, 1982) y oro que están siendo investigadas por el ITGE. El batolito de Alburquerque intruye principalmente en los materiales del CEG y hacia el Oeste (Nisa y Castelo de Vide, en Portugal) atraviesa el Sinclinal de La Codosera.

La integración de las características geoquímicas de los fluidos mineralizadores (Roberts, *et al.*, 1991) en



LEYENDA

- | | | | |
|--|---|--|--------------------------|
| | TERCIARIO | | Batolito de Alburquerque |
| | DEVONICO: Pizarras y cuarcitas | | Batolito de Portalegre |
| | ORDOVICICO-SILURICO: Pizarras y cuarcitas | | Falla |
| | PRECAMBRICO | | Cabalgamiento |
| | Area de indicios de Au | | |

Fig. 2.—Esquema geológico simplificado del área de La Codosera y sus mineralizaciones

Fig. 2.—Geological simplified map of the La Codosera area and their mineralizations

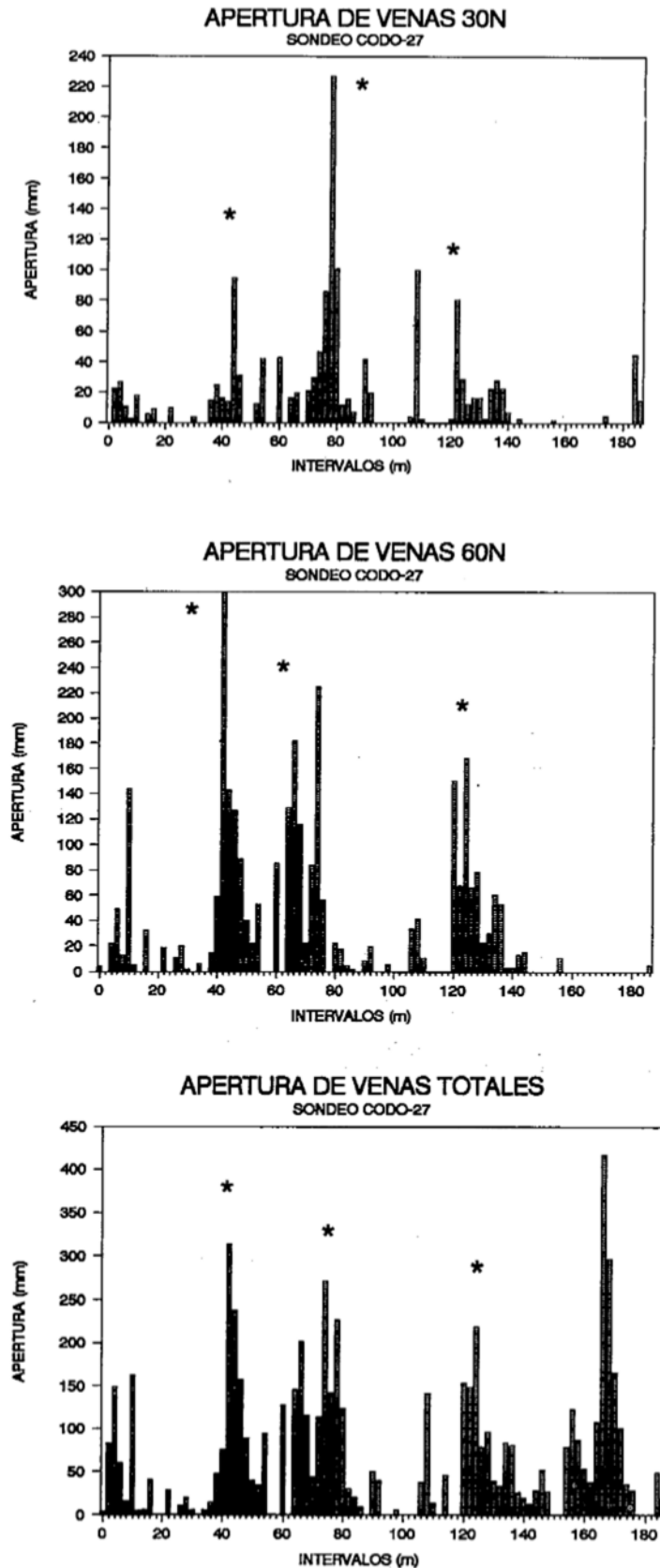
un modelo geométrico «dominó» o «bookshelf» de fracturación tardihercínica, en un contexto transpresivo (Sanderson *et al.*, 1991) que explica la evolución estructural de ese sector, está siendo muy útil en la explotación minera de la región. La tipología de los yacimientos, Gumiel (1991), Gumiel *et al.*, (1991) tiene en cuenta que las mineralizaciones de oro se concentran en zonas favorables (zonas de dilatación) en determinadas estructuras (fallas de extensión), y si las condiciones son idónea, se pueden desarrollar sistemas filonianos.

Al disponer de los testigos de sondeos que el ITGE 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».

Si se llega 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.

Una de las formas de abordar el problema es mediante la aplicación de técnicas de análisis fractal a los diferentes conjuntos filonianos, cuantificando el «grado de irregularidad» mente su dimensión fractal (D). Sanderson *et al.*, (in litt.) comprueban que los espesores de las venas en el área de La Codosera muestran distribuciones bilogarítmicas de influencia (power law) que pueden interpretarse como el resultado de geometrías fractales autoafines. Se ha elegido el espesor de las venas porque es una dimensión lineal que se puede medir directamente y porque refleja el gradiente de desplazamiento (apertura).

Los distintos conjuntos de venas (tanto las estériles como las auríferas) muestran diferentes parámetros



* Venas con mineralización de Au

Fig. 3.—Distribución de los diferentes grupos de venas

Fig. 3.—Distribution of the different vein sets.

escalares D y C en la relación fractal: $N(t) = Ct^{-D}$, donde N 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.

De la medida sistemática de los espesores de las venas en los testigos de sondeo, se han reconocido tres familias de venas que se han referenciado con respecto al eje del sondeo y a los planos de estratificación. Hay una paralela (codificada 60P) y dos normales a la estratificación (60N y 30N) según se dispongan a alto (60°) o bajo ángulo (30°) con respecto al eje del sondeo.

Los resultados preliminares apuntan que las diferentes familias de venas se agrupan siguiendo distribuciones binomiales complejas, las cuales se pueden caracterizar por su contenido en oro (fig. 3).

El conjunto de venas paralelas a la estratificación siempre muestra valores inferiores de D (oscilando entre 0,40 y 0,60) con respecto a las normales, es decir, aquellas que se presentan a mayor ángulo con respecto a la estratificación, en las que D oscila entre 0,75 y 0,95.

La dimensión fractal (D) de los sistemas filonianos con mineralización de oro es menor que la de los sistemas estériles; D oscila entre 0,7 y 1,2 en los sistemas auríferos, frente a D que varía entre 0,9 y 1,6 en los estériles, contribuyendo de esta forma a una discriminación entre ambos. Esto se verifica para diferentes intervalos de sondeo (fig. 4) así como para el total del mismo.

Por otra parte, el método de análisis de espesores de venas puede ser útil en afloramientos, mediante toma de datos en «transversales» a los diferentes conjuntos filonianos. Conociendo la orientación de los sistemas de venas y su contenido en Au, la aplicación del análisis fractal puede llegar a ser un método de discriminación eficaz que ayude a la selección de áreas y consiguientemente sirva para reducir los costes que conlleva la exploración. Esto se está aplicando en otras áreas del flanco sur del Sinclinal de La Codosera (Casa de La Niña —fig. 5—), donde los resultados preliminares concuerdan con los obtenidos a partir del estudio de venas en los sondeos. El método puede hacerse extensivo a otras áreas de características geológicas similares y

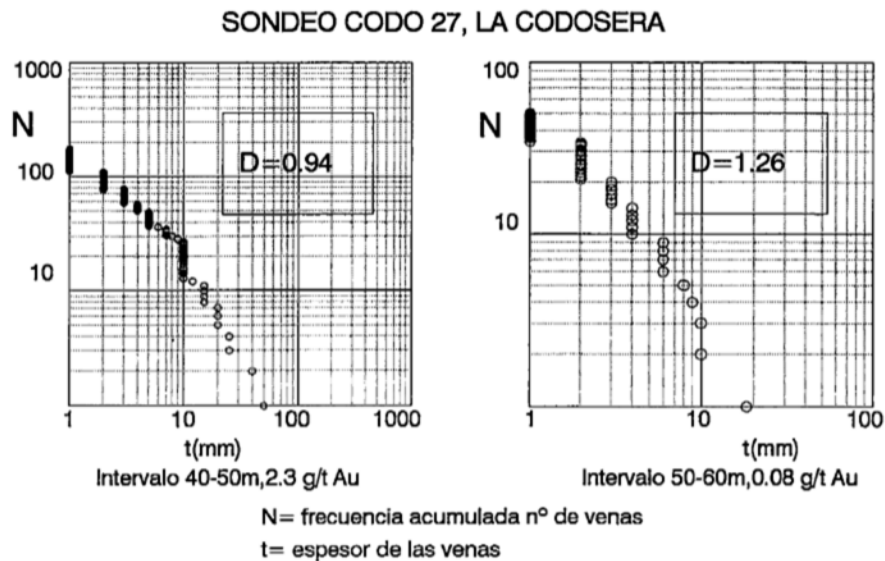


Fig. 4.—Diagramas log-N logt por intervalos de sondeos, La Codosera.

Fig. 4.—logN-logt drill-core intervals diagram, La Codosera.

hay que investigar sus posibilidades con respecto a otras sustancias.

Por último se presentan, como hipótesis, dos posibles mecanismos para explicar las distintas tendencias

de las curvas (pendiente) en los diagramas bilogármticos (logN - log t), que a su vez son las que condicionan la variación de la dimensión fractal, y sus implicaciones metalogénicas.

AFLORAMIENTOS-CASA DE LA NIÑA-

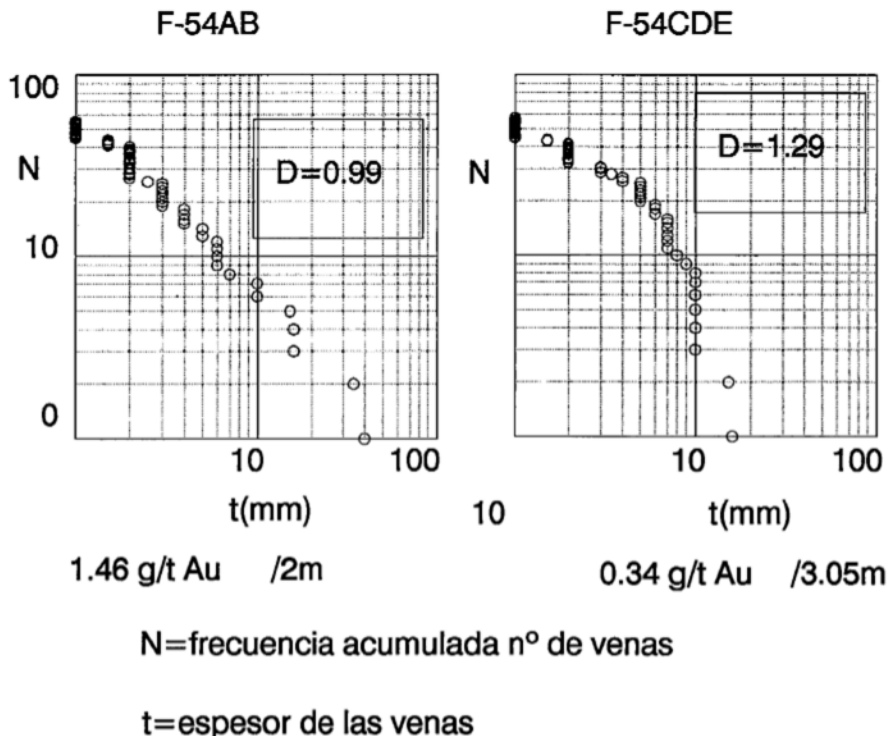


Fig. 5.—Diagrama logN-logt del análisis de venas en afloramientos de la Casa de La Niña, La Codosera.

Fig. 5.—logN-logt diagram of the vein analysis in outcrops of the Casa de La Niña, La Codosera.

1. Si $D < 1$ influyen preferentemente las venas más potentes. Aumenta la dilatación de grandes fracturas (aumento de espesor) lo que favorece la permeabilidad y circulación de fluidos. Las microfisuras después de dilatarse se propagan poco, tendiendo a cerrarse en las inmediaciones de las rocas encajantes. Esto produce una disminución de la D , desplazándose las curvas hacia la derecha, y este es el caso más favorable para que se produzca una posible concentración mineral.

2. Si $D > 1$ influyen preferentemente las venillas de menor espesor (por debajo del límite establecido, 1 mm). En este caso no hay dilatación de fracturas, pero si aumenta la propagación (aumenta el número de microfisuras) y consiguientemente la D . Las curvas se

desplazan hacia arriba y es un caso menos favorable para que haya concentración de interés económico.

En resumen, el análisis de la geometría fractal en venas, a partir del estudio de testigos de sondeo y en afloramientos permite la caracterización de los diferentes grupos de venas mediante sus parámetros escalares C y D . En el futuro, el análisis cuantitativo de las distribuciones bilogarítmicas (power law) permitirá nuevas estimaciones (no prejuzgadas) de la densidad de venas /mineralización, lo que contribuirá en la elaboración de modelos detallados de estimación ley/tonelaje.

Bibliografía

Gumiel, P. (1982): *Tecniterrae*, 54, 120 pp.

Gumiel, P. (1991): *International Congress on Applied mineology (ICAM '91)*, Pretoria, South Africa.

Gumiel, P., Antón-Pacheco, C. & Campos, R. eds. (1991): (vol. 1) *Publicaciones Especiales Bol. Geol. Min.* 109 pp.

Mandelbrot, B. B. (1967): *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 72, 3825-3828.

Roberts, S.; Sanderson, D. J.; Dee, S. & Gumiel, P. (1991): *Economic Geology*, 86, 1012-1222.

Sanderson, D. J.; Roberts, Mc. Gowan, J. & Gumiel, P. (1991): *Journal of the Geol. Soc. London*, 148, 893-898.

Sanderson, D. J. Roberts, S. & Gumiel, P. (in litt): *Nature* (in litt.)

Turcotte, D. L. (1986): *Economic Geology*, 81, 1528-1532.

Turcotte, D. L. (1989): *Pageoph.*, 131 1/2, 171-196.

Recibido el 30 de enero de 1992
Aceptado el 21 de febrero de 1992

Características estructurales y geométricas de la falla de desgarre de Lorca-Alhama

Structural and geometric features of the Lorca-Alhama strike-slip fault

P. G. Silva (1), D. L. Goy (2), C. Zazo (3)

(1) Departamento de Geodinámica, Univ. Complutense de Madrid. 28040 Madrid

(2) Departamento de Geología, Univ. de Salamanca, 27008 Salamanca

(3) Departamento de Geología, Museo Nac. Ciencias Naturales, CSIC. 28006 Madrid.

ABSTRACT

The Lorca-Alhama fault is one of the more tectonic and seismically active sinistral strike-slip fault of the eastern Betics. Its complex structural pattern records simultaneous development of extensional and contractional features, which can be explained by a simple sinistral shear model. Spatial coincidence of structural and geometric diagnostic features of segment boundaries along the strike of the fault, are reflecting the segmented nature of this tectonic accident.

Key words: *Structural pattern, geometry, simple shear, fault segmentation, Lorca-Alhama fault, Eastern Betics.*

Geogaceta, 12 (1992), 7-10.
ISSN: 0213683X

Introducción

La falla de Lorca-Alhama, situada en el margen occidental del corredor del Guadalentín, es uno de los accidentes tectónica y sísmicamente más importantes de las Béticas orientales (figura 1A). Con una dirección general SW-NE, se prolonga a lo largo de más de 90 km. desde la localidad de Huerca-Overa (Almería) hasta la de Orihuela (Alicante).

Esta falla, inducida por procesos de indentación, relacionados con la

colisión de placas Euroasiática y Africana en el Mediterraneo occidental (Coppier *et al.* 1989), funciona como un desgarre sinistral intracontinental, que pone en contacto dos bloques continentales de diferente naturaleza y espesor (Banda y Ansorge, 1980), por lo que se la podría encuadrar como una «*indent-linked strike-slip fault*» de la clasificación de Sylvester (1988). A lo largo de su recorrido afecta tanto al sustrato bético, como a materiales neógenos y cuaternarios.

Características estructurales

A lo largo de La Zona Principal de Desplazamiento (ZPD, figura 1B) de la falla de Lorca-Alhama existen cambios muy contrastados de su patrón estructural; las características más importantes de esta ZPD son:

1) *Morfología braided de la ZPD*: ésta es característica de la mayor parte de las fallas de desgarre (Christie-Blick y Biddle, 1985) y está controlada por el desarrollo de planos de cizalla sintéticos primarios