

# DIMENSIÓN FRACTAL DE LAS SUTURAS DEL CRÁNEO DE ORCE

Josep GIBERT<sup>1</sup> y Paul PALMQVIST<sup>2</sup>

- 1) Institut Paleontològic Dr. M. Crusafont. Diputació de Barcelona. Escola Industrial, 23. 08201 Sabadell.
- 2) Departamento de Geología y Ecología (Área de Paleontología). Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071 Málaga.

## ABSTRACT

The relative complexity of cranial sutures present in the fragment of human occipital bone from the Pleistocene of the Venta Micena outcrop (Orce, Granada, Spain) is analyzed, using the methods of fractal geometry (Mandelbrot, 1983). A comparative study of cranial sutures of several primates (hominids, pongids and cercopithecids) and two other mammalian groups (equids and ruminants) was also carried out. The complexity of sutural outlines was estimated calculating their fractal dimensions by means of program *FRACTAL-D* (Slice, 1989). The results obtained show that the fractal dimension of those sutures present in the cranial fragment from Orce is located within the range of variation comprised by the younger analyzed specimens of the genus *Homo*. Sutural complexity of hominids is in turn included in the range of fractal dimensions covered by the remaining primates. The values obtained for equids and ruminants are in both cases significantly higher than those for hominids, monkeys and apes. These results indicate that, according to the relative complexity of cranial sutures preserved in the occipital bone fragment from Orce, this fossil could not belong to an equid, as was suggested previously by Agustí and Moya-Solá (1987). On the contrary, in agreement with their fractal dimension, these bones probably formed part of the skull of an infantile *Homo erectus*.

**Keywords:** Orce skull, *Homo*, *Equus*, cranial sutures, fractal dimensions.

## RESUMEN

Se ha efectuado un análisis de la complejidad relativa de las suturas craneanas presentes en el fragmento de hueso occipital humano proveniente del yacimiento pleistocénico de Venta Micena (Orce, Granada), usando los métodos de la geometría fractal (Mandelbrot, 1983). El estudio comparativo se ha efectuado analizando también las suturas de diversos primates (homínidos, póngidos y cercopitécidos) y de otros dos grupos de mamíferos (équidos y rumiantes). La complejidad de los diseños suturales se estimó calculando su dimensión fractal, mediante el programa *FRACTAL-D* (Slice, 1989). Los resultados obtenidos indican que la dimensión fractal de las suturas del fragmento craneal de Orce queda comprendida dentro del entorno de variación de los representantes infantiles del género *Homo* analizados. A su vez, la complejidad sutural de homínidos se incluye en el rango de dimensiones fractales abarcado por los restantes primates estudiados. Los valores obtenidos para équidos y rumiantes resultan en ambos casos significativamente superiores a los de primates, lo que indica que, de acuerdo con la complejidad relativa de las suturas craneanas preservadas en el fragmento óseo occipital de Orce, este último no pudo pertenecer a un équido, en contra de lo sugerido por Agustí y Moya-Solá (1987), sino que probablemente formó parte del cráneo de un *Homo erectus* infantil, según sugiere su dimensión fractal.

**Palabras clave:** cráneo de Orce, *Homo*, *Equus*, suturas craneanas, dimensiones fractales.

## LA GEOMETRÍA FRACTAL

Cuando describimos la realidad que nos rodea, atribuimos a las medidas lineales dimensión uno, a las superficiales dos y a las volumétricas tres. Ahora bien, la geometría euclídea no permite describir adecuadamente la mayor parte de las texturas y estructuras que podemos contemplar en la naturaleza, lo que justifica el desarrollo de una nueva geometría no euclídea, denominada fractal (Mandelbrot, 1983), la cual emplea dimensiones comprendidas entre uno y dos para las curvas intrincadas, y entre dos y tres para las superficies de textura compleja (tales nuevas dimensiones expresan el concepto matemático abstracto de que una línea densa-

mente recurvada, como un río sinuoso, puede ocupar un plano y una superficie muy arrugada, como la de un terreno montañoso, casi constituye un volumen).

### Estimación de dimensiones fractales

Los objetos fractales son autosimilares, esto es, muestran idéntica forma a diferentes escalas de observación. Un fractal perfecto, que permite ilustrar esta característica, es la denominada curva de von Koch, de la cual se recogen cuatro etapas sucesivas de su crecimiento en la Fig. 1. Cada una de las mismas se obtiene sustituyendo en la anterior el tercio central de cada línea por los dos vértices de un triángulo equilátero con

igual base al segmento sustituido. La dimensión fractal se puede entonces calcular considerando a cada curva como una parte a mayor escala de la curva que se obtiene a partir de ella siguiendo este procedimiento; dado que el cambio de escala implica que cada segmento de la curva pase de estar compuesto por tres partes a mostrar cuatro en la etapa siguiente, la dimensión fractal de la curva es  $D = \text{Log}4/\text{Log} 3 = 1,26$ .

Ahora bien, las estructuras naturales que tienen propiedades fractales no presentan una autosimilaridad exacta como en el caso de los fractales matemáticos perfectos, sino que sólo muestran una cierta regularidad estadística en su forma cuando son contemplados a diferentes escalas de observación (esto es, la forma exacta de la estructura no se conserva al cambiar de escala, pero se mantiene su complejidad relativa). No obstante, la autosimilaridad se puede usar para estimar (y cuantificar) cuál es la complejidad de una determinada estructura natural, debido al hecho de que conforme ganamos más resolución al observarla en detalle (disminuyendo la escala a la que medimos) se revela más de su complejidad, lo que en definitiva afecta a la estimación que obtengamos de su longitud (Mandelbrot, 1967, 1983).

El método utilizado normalmente para el cálculo de la dimensión fractal de una curva es el denominado divisorio con compás (Mandelbrot, 1983; Slice, 1989; Reymont, 1991). En él se comienza situándonos en un punto inicial de referencia sobre el contorno y moviéndonos a lo largo de éste hasta un punto en el que se obtenga una determinada distancia euclídea a partir del origen, distancia que es la escala de medida utilizada o longitud de paso. Este punto pasa a ser entonces el nuevo origen y se repite la operación hasta que se termina el contorno. El perímetro estimado con cada longitud de paso para la curva es el sumatorio de estas distancias y, en el caso de que la distancia entre el

último punto de referencia y el final del contorno exceda la mitad del valor de la escala de medida, la longitud estimada se incrementa hasta el siguiente múltiplo de la longitud de paso utilizada.

La relación entre la escala de medida ( $e$ ) y la longitud estimada para el contorno ( $l$ ) es inversa y se lineariza tomando logaritmos en ambos términos de la ecuación:

$$\text{Log}(l) = a + b \text{Log}(e) \quad (1)$$

donde el parámetro  $a$  es la ordenada en el origen (perímetro estimado con longitud de paso unidad) y  $b$  la pendiente, de signo negativo, la cual se relaciona con la dimensión fractal ( $D$ ) según:

$$D = 1 - b \quad (2)$$

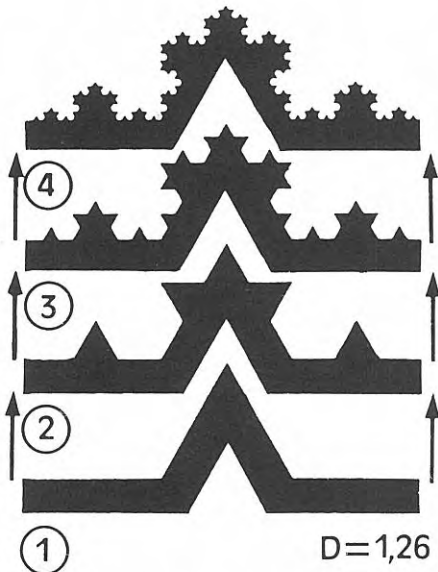
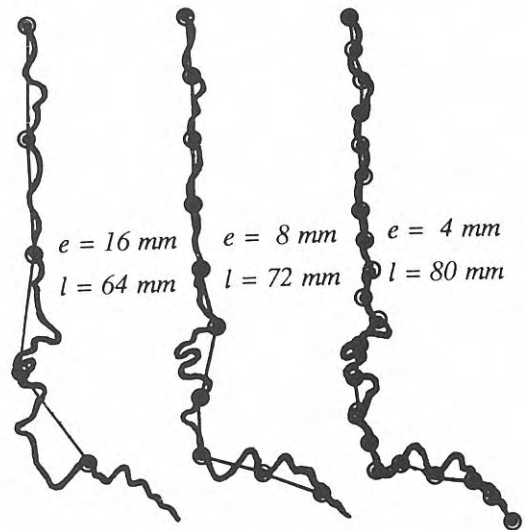


Figura 1. Cuatro etapas sucesivas en el crecimiento de un fractal perfecto, la curva de von Koch. El cambio de escala implica que cada segmento compuesto por tres partes pase a mostrar cuatro en la etapa siguiente, por lo que  $D = \text{Log}4/\text{Log}3 = 1,26$ .

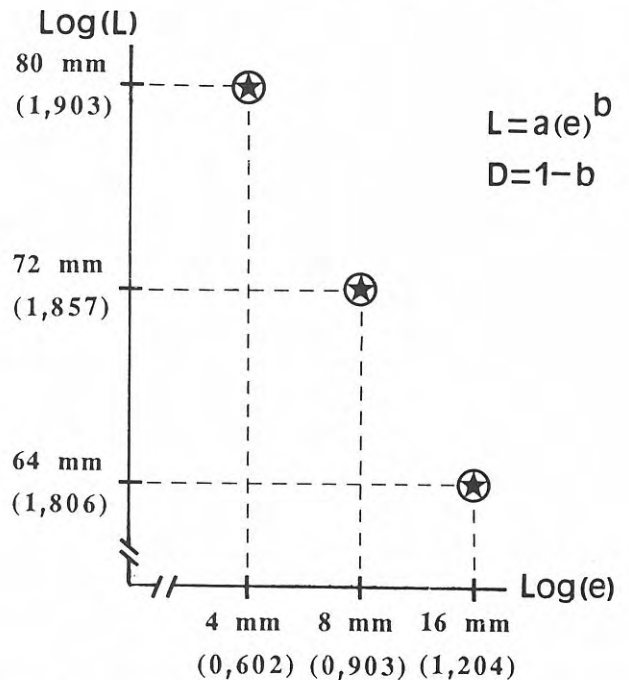


Figura 2. Estimación de la dimensión fractal de una curva (las suturas sagital y lambdaoidea derecha del fragmento craneal de Orce), a partir de la relación inversa entre la escala de medida ( $e$ ) utilizada y la longitud del perímetro ( $l$ ) estimada con dicha escala.

El método divisivo mediante compás es el más utilizado para la estimación de dimensiones fractales. Slice (1989) ha desarrollado un programa de fácil ejecución, denominado *FRACTAL-D*, el cual trabaja sobre contornos previamente digitalizados en los que las coordenadas cartesianas ( $x$ ,  $y$ ) se pueden tomar fácilmente mediante el uso de una tableta digitalizadora. En la Fig. 2 aparece ilustrada la estimación de perímetros sobre las suturas sagital y lambdaoidea derecha del fragmento de cráneo de Orce, tomando como longitudes de paso 4, 8 y 16 mm. Según puede apreciarse en ella, los perímetros estimados (80, 72 y 64 mm) son inversamente proporcionales a la escala de medida utilizada, obteniéndose una relación lineal al tomar logaritmos en ambas variables. Otros métodos utilizados para calcular  $D$  son los seguidos por Morse *et al.* (1985) y por García-Ruiz *et al.* (1990).

### Aplicaciones de la geometría fractal

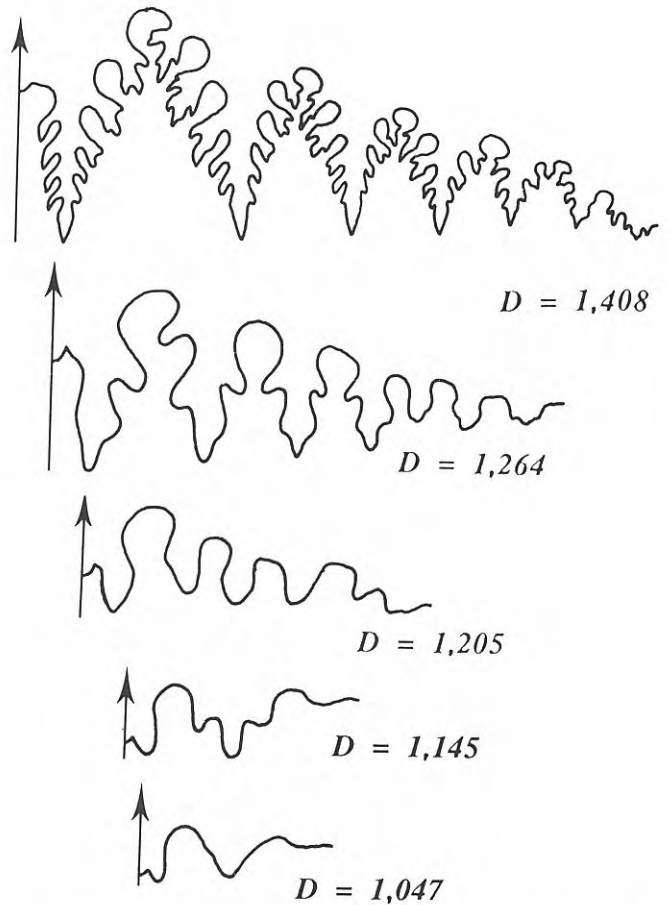
El análisis fractal tiene múltiples y diversas áreas potenciales de aplicación en la investigación científica, como el estudio del crecimiento de cristales (Avnir y Farin, 1984; Braddy y Ball, 1984; Sander, 1986), los sistemas dinámicos y el caos (Jakeman, 1984; Baker y Gollub, 1990), la distribución de los hiatos estratigráficos (Plotnick, 1986, 1988), la forma de paisajes y nubes (Burrough, 1981; Lovejoy, 1982), la forma de los granos del sedimento (Hoyez, 1992) o los patrones de distribución de organismos (Morse *et al.*, 1985; Pennycuick y Klein, 1986; Dicke y Burrough, 1988). Esta disciplina experimentará, presumiblemente, un rápido desarrollo durante las próximas décadas y su aplicación en determinados campos traerá consigo profundas transformaciones metodológicas y conceptuales. Así, en el área de la morfometría Reymont (1991) opina que la geometría fractal representa una nueva frontera para el análisis de la forma orgánica.

### Fractales y suturas intrincadas

Long (1985) estudió la forma y dimensiones de las suturas complejas e intrincadas que presentan los cráneos de cérvidos y las conchas de algunos ammonites, las cuales muestran un notable perímetro en relación a las superficies que ponen en contacto y, además, suelen presentar una remarcable autosimilaridad, en términos estadísticos, cuando son observadas a diferentes escalas, por lo que se pueden considerar, según ambos aspectos, como curvas fractales.

García Ruiz *et al.* (1990) encontraron que diferentes géneros de ammonites jurásicos y cretácicos, aun presentando suturas de morfología diferente, tenían aproximadamente la misma complejidad en el diseño sutural (con valores de  $D$  en torno a 1,37), lo que sugiere la existencia de un mecanismo morfogenético común a las mismas, el cual contendría una inestabilidad del tipo Saffman-Taylor (Nittman *et al.*, 1985).

En la Fig. 3 se muestran las suturas septales de cinco estadios ontogenéticos sucesivos en el desarrollo de la concha del ammonite *Perrinites hilli* (Smith). Según puede apreciarse en ella, las suturas se complican pro-



**Figura 3.** Etapas sucesivas en el desarrollo ontogenético de las suturas septales del ammonite *Perrinites hilli* (Smith), del Pérmico de Texas (redibujado a partir de Moore, 1975; Fig. 8). Obsérvese que la progresiva complicación en el diseño de las suturas se ve acompañada por un incremento de su dimensión fractal ( $D$ ).

gresivamente conforme transcurre la ontogenia, haciéndose sus lóbulos y sillas cada vez más intrincados, lo que se refleja en el incremento de su dimensión fractal; ahora bien, la aparente complejidad alcanzada finalmente en el diseño sutural se consigue mediante un patrón generativo sencillo, de naturaleza fractal, similar al de la curva de von Koch (Fig. 1).

Las suturas craneanas de los vertebrados pueden mostrar también niveles altos de complejidad, especialmente en aquellos casos en los que los huesos del cráneo han de soportar esfuerzos y tensiones importantes (como en cérvidos y bóvidos), aunque sin llegar a las cotas alcanzadas por las suturas septales de los ammonites más avanzados. Por ello, la dimensión fractal de las suturas se puede utilizar como un descriptor morfométrico de su complejidad relativa.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Con objeto de investigar si la dimensión fractal de las suturas craneanas preservadas en el fragmento de hueso occipital de Venta Micena, atribuido inicialmente

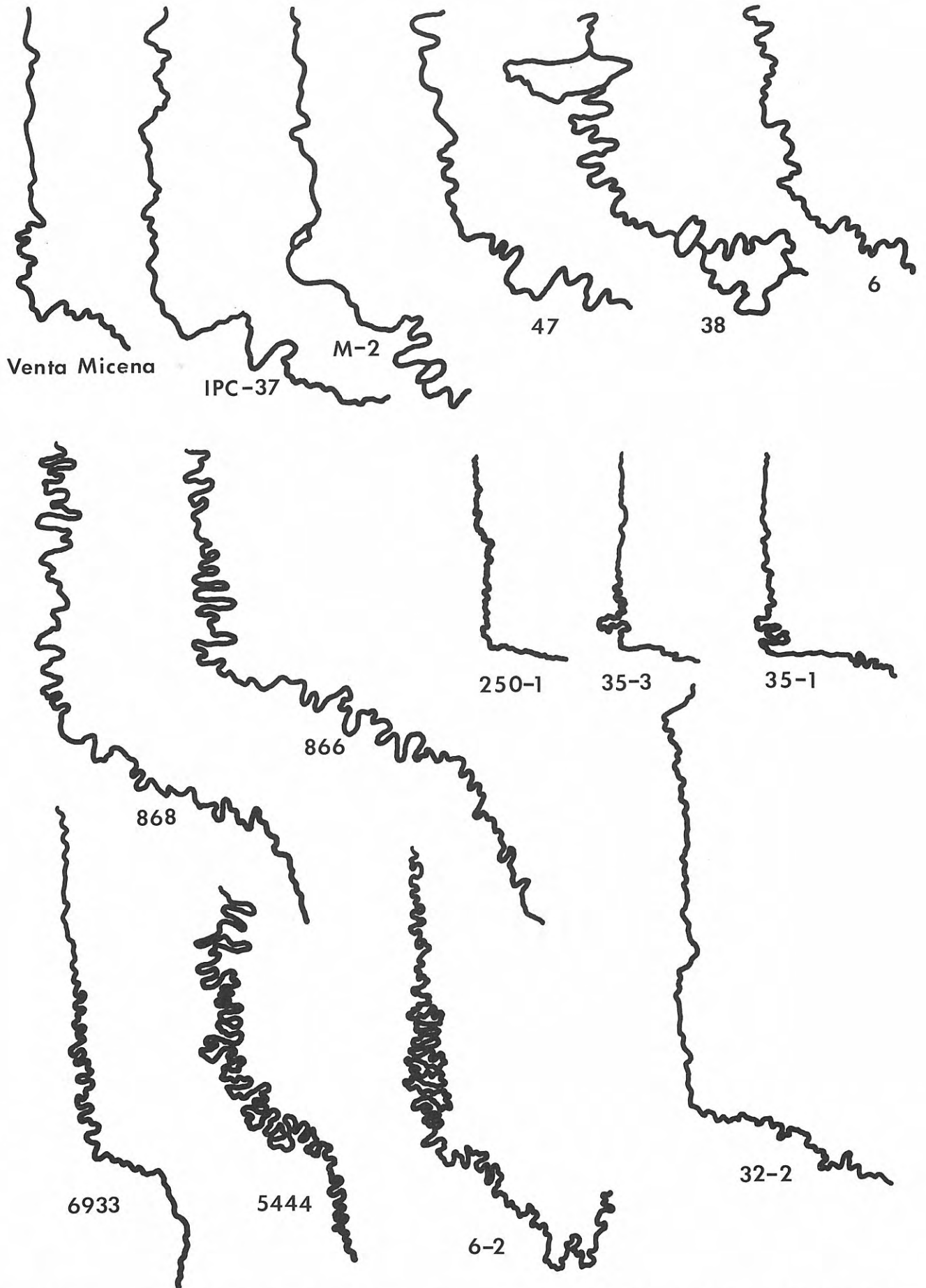


Figura 4. Suturas sagital y lambdaoidea derecha de algunos ejemplares analizados; los valores de dimensión fractal calculados se recogen en la Tabla 1.



a *Homo* sp. (Gibert, 1984; Gibert *et al.*, 1986), es un carácter morfométrico que pueda ayudar a clarificar la polémica surgida sobre si dicho fragmento óseo perteneció efectivamente a un homínido (Gibert *et al.*, 1989a, 1989b, 1989c, 1989d; Campillo, 1989; García Olivares *et al.*, 1991) o, por el contrario, a un équido (Agustí y Moya-Solá, 1987), se han analizado una serie de suturas craneanas provenientes de diferentes grupos de mamíferos (homínidos, cercopitécidos, póngidos, équidos y rumiantes; ver Fig. 4).

Los cráneos de humanos infantiles analizados (4-8 años) provienen de las colecciones La Olmeda (ejemplares 6, 38, 47 y 60; siglos VIII-XII), cedidos para su estudio por los Dres. D. Turbon y M. Hernández (Universidad Central de Barcelona), e Illot de Porros (especímenes IP C-6 y C-7), facilitados por la Dra. A. Malgosa (Universidad Autónoma de Barcelona). Las suturas craneanas de humanos adultos han sido tomadas por el Dr. A. Roca sobre ejemplares de las colecciones Simia de N<sup>o</sup> Andreu (S.A. 863, 864, 865, 866 y 868) y Bimidelfa (BD.1), depositadas en la Universidad Central de Barcelona. Las restantes suturas analizadas provienen de los dibujos y fotografías que aparecen en Gibert *et al.* (1989a).

Las dimensiones fractales de las suturas craneanas se estimaron mediante el programa informático *FRAC-TAL-D* (Slice, 1989). A estos fines, y con objeto de facilitar las comparaciones, las suturas se dibujaron todas al mismo tamaño y se digitalizaron usando una tableta digitalizadora marca *CALCOMP*, la cual permite obtener una resolución de 0,1 mm en la toma de coordenadas cartesianas (x, y). Dado que el programa *FRAC-TAL-D*, al trabajar siguiendo el método divisivo con compás, sólo permite analizar contornos abiertos o cerrados, pero no los que presentan bifurcaciones, en cada ejemplar se analizaron las suturas sagital y lambdoidea derecha, desechándose la izquierda al ser ésta de menor tamaño que la derecha en el fragmento craneano de Venta Micena.

Conviene aclarar que, si bien se pueden establecer comparaciones fiables entre regiones craneanas homólogas en homínidos y équidos (véase Gibert *et al.*, 1989a, 1989d), no se puede hacer otro tanto al comparar homínidos con rumiantes, debido a las considerables diferencias anatómicas motivadas por la presencia de cuernos en estos últimos. No obstante, dado que en este trabajo se atiende exclusivamente al diseño fractal de las suturas craneanas y a la estimación de su complejidad relativa, se ha forzado la comparación de homínidos con rumiantes, considerando equivalentes, respectivamente, la sutura sagital con la frontal y las lambdoideas con la coronal.

Las longitudes de paso utilizadas para efectuar el cálculo de la dimensión fractal de las suturas fueron las mismas en todos los casos analizados (1, 2, 3, 4, 6, 8, 11, 16 y 20 mm), eligiéndose de manera que quedasen aproximadamente equidistantes una vez tomados los correspondientes logaritmos; asimismo, se efectuaron diversas pruebas usando otras longitudes de paso diferentes, obteniéndose no obstante resultados sensiblemente parecidos a los aquí presentados, dada la notable autosimilaridad en el diseño fractal de la mayor parte de las suturas craneanas analizadas.

Finalmente, conviene precisar que si se encuentran

Especie	ejemplar, sexo, edad	D
<b>Homínidos</b>		
Cráneo de Orce	Fósil (Venta Micena)	1,058
<i>Homo sapiens sapiens</i>	C-37, -, infantil	1,047
<i>Homo sapiens sapiens</i>	M.2, hembra, -	1,063
<i>Homo sapiens sapiens</i>	IP C-6, -, infantil	1,079
<i>Homo sapiens sapiens</i>	S.A. 868, -, infantil	1,099
<i>Homo sapiens sapiens</i>	6, -, 4-6 años	1,138
<i>Homo sapiens sapiens</i>	S.A. 866, macho, -	1,145
<i>Homo sapiens sapiens</i>	47, -, 5 años	1,146
<i>Homo sapiens sapiens</i>	60, -, 6,5 años	1,159
<i>Homo sapiens sapiens</i>	S.A. 863, hembra, adulto	1,168
<i>Homo sapiens sapiens</i>	38, -, 8 años	1,173
<i>Homo sapiens sapiens</i>	BD.1, hembra, adulto	1,201
<i>Homo sapiens sapiens</i>	S.A. 864, macho, maduro	1,222
<i>Homo sapiens sapiens</i>	S.A. 865, hembra, maduro	1,246
<b>Póngidos</b>		
<i>Gorilla gorilla</i>	32-2, hembra, juvenil	1,074
<i>Gorilla gorilla</i>	32-4, macho, juvenil	1,153
<i>Gorilla gorilla</i>	33-3, hembra, juvenil	1,082
<i>Pongo pigmaeus</i>	34-2, -, juvenil	1,134
<b>Cercopitécidos</b>		
<i>Macaca fascicularis</i>	250-1, macho, juvenil	1,132
<i>Macaca sylvana</i>	35-3, -, -	1,141
<i>Macaca sylvana</i>	35-1, macho, adulto	1,183
<i>Erithrocebus patas</i>	199-5, hembra, juvenil	1,002
<i>Mandrillus sp.</i>	68-1, hembra, adulto	1,003
<i>Mandrillus sp.</i>	68-8, hembra, adulto	1,020
<i>Papio hemadryas</i>	108-1, -, -	1,006
<b>Équidos</b>		
<i>Equus preevalski</i>	6933, macho, 0-1 meses	1,123
<i>Equus hemionus onager</i>	5444, hembra, 3-4 meses	1,249
<i>Equus hemionus onager</i>	7476, hembra, 5 meses	1,322
<i>Equus sp.</i>	EQAC1, alofiso, 8 meses	1,374
<b>Rumiantes</b>		
<i>Cervus elaphus</i>	4-20, hembra, juvenil	1,303
<i>Elaphurus davidianus</i>	6-2, macho, adulto	1,329
<i>Antilope cervicapra</i>	47-3, hembra, adulto	1,186
<i>Kobus defassa</i>	300-1, hembra, adulto	1,201
<i>Capra alba</i>	Fósil (Venta Micena)	1,297

**Tabla 1.** Valores de dimensión fractal (*D*) de las suturas craneanas de los ejemplares analizados, ordenados según los diferentes grupos de especies estudiadas (homínidos, póngidos, cercopitécidos, équidos y rumiantes), con referencia al número o siglas identificativas de cada ejemplar, su sexo y edad.

valores semejantes para las dimensiones fractales de dos suturas craneanas determinadas, ello no implicaría que ambas tengan una morfología similar, de la que se pueda inferir una estrecha relación filogenética, sino únicamente que participan de un grado de complejidad equivalente, aun cuando sus diseños puedan ser muy diferentes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 1,

en la que aparecen indicados los valores de dimensión fractal para las suturas craneanas analizadas, ordenados los especímenes según su pertenencia a los diferentes grupos de mamíferos estudiados. Como puede apreciarse en ella, las suturas sagital y lambdoidea derecha del fragmento de hueso occipital de Venta Micena muestran un valor de dimensión fractal ( $D = 1,058$ ) similar a los de las suturas homólogas en los distintos representantes infantiles del género *Homo*, valores que se encuentran comprendidos entre 1,047 y 1,173. Los ejemplares adultos de *Homo* presentan suturas más intrincadas, especialmente los dos más maduros, lo que se refleja en sus valores superiores de  $D$  (1,168-1,246). Los cercopitécidos muestran dimensiones fractales comprendidas entre 1,002 y 1,183. Los póngidos analizados, todos ejemplares juveniles, presentan valores de dimensión fractal para las suturas similares a los de los homínidos infantiles (1,074-1,153); en cuanto a los póngidos adultos, no se pueden establecer comparaciones con el cráneo de Orce debido al desarrollo de las crestas sagital y nugal (Gibert *et al.*, 1989a).

Respecto a los dos grupos de mamíferos no primates analizados, ambos muestran valores en general bastante superiores a los de homínidos infantiles, póngidos juveniles y cercopitécidos en la dimensión fractal de las suturas craneanas. En el caso de los équidos se observa, de acuerdo con los distintos ejemplares analizados, un incremento en la complejidad relativa de las suturas sagital y lambdoidea derecha conforme discurre el desarrollo ontogenético, tal y como pone de manifiesto el aumento de la dimensión fractal de las mismas con la edad. Así, el único valor que queda comprendido dentro del entorno de variación de los homínidos infantiles es el obtenido para el ejemplar 6933 ( $D = 1,123$ ), cuya edad es inferior a un mes (por lo que las suturas son prácticamente lineales). Este ejemplar se diferencia del fragmento craneal de Venta Micena y de los humanos infantiles actuales por el espesor de los parietales, la curvatura transversal tomada en la región obélica, la curvatura longitudinal tomada en la región de la sutura sagital y el ángulo lambdático, entre otras cosas (Gibert *et al.*, 1989a, 1989c, 1989d). Es muy importante constatar que los ejemplares recién nacidos de équidos, como el 6933, tienen una dimensión fractal igual o superior a la de los humanos infantiles o de Venta Micena, de lo que cabe inferir que a partir de estas edades las diferencias entre ambos géneros (*Homo* y *Equus*) por este carácter serán notorias. Efectivamente, en los restantes équidos analizados, que ya mastican hierba, los valores de dimensión fractal obtenidos son bastante superiores (1,249-1,374) a los de los primates. Consecuentemente, el valor medio de dimensión fractal para las suturas de homínidos infantiles ( $D_m = 1,117$ ;  $sd = 0,045$ ) resulta significativamente inferior al correspondiente a équidos ( $D_m = 1,267$ ;  $sd = 0,109$ ) de acuerdo con un test  $t$  de Student ( $t = 2,65$ ;  $p < 0,02$ ). En el caso de los distintos rumiantes analizados, los valores de dimensión fractal para las suturas craneanas (no homólogas con las de los grupos anteriores) resultan, en conjunto, igualmente superiores (1,186-1,329) a los estimados para primates.

Así pues, de acuerdo con los resultados obtenidos, la dimensión fractal de las suturas craneanas preservadas en el fragmento de hueso occipital de Venta Micena posibilita su diagnosis diferencial respecto a los equí-

dos, aunque sólo permite concluir que, según este carácter, tal fragmento óseo debió formar parte de la bóveda craneana de un primate, al no diferenciarse de manera significativa la complejidad sutural de los homínidos infantiles de la de póngidos juveniles y cercopitécidos. Ahora bien, las diferencias anatómicas entre el cráneo de Orce y los cercopitécidos son notorias (véase Gibert *et al.*, 1989a), motivadas por la presencia en los cercopitécidos adultos de fuertes crestas sagitales y nucales, su reducida capacidad craneana, la existencia de curvaturas transversales y longitudinales en la bóveda craneal muy pequeñas y la presencia de un ángulo muy abierto en la sutura lambdoidea. Respecto a los póngidos, conviene indicar que no se han encontrado restos de estas formas en el Plio-Pleistoceno europeo, al extinguirse en el Mioceno superior y quedar relegadas a África y Asia.

## CONCLUSIONES

1) El valor de dimensión fractal ( $D$ ) estimado para las suturas craneanas preservadas en el fragmento de hueso occipital de Venta Micena resulta próximo a los obtenidos en los ejemplares infantiles del género *Homo*, los cuales presentan, a su vez, valores de  $D$  similares a los de los restantes primates estudiados (cercopitécidos y póngidos juveniles).

2) Los valores de  $D$  calculados para los especímenes de *Equus* analizados resultan superiores a los de primates, por lo que este carácter permite afirmar que, de acuerdo con la complejidad relativa de sus suturas, el fragmento craneal de Venta Micena no pudo pertenecer a un équido, en contra de lo sugerido por Agustí y Moya-Solá (1987).

3) Dada la existencia de notables diferencias anatómicas entre el cráneo de Orce y los cercopitécidos, así como la ausencia de póngidos en el Plio-Pleistoceno europeo, este fósil debió pertenecer, según el valor de  $D$  obtenido para sus suturas, a un *Homo erectus* infantil. Este resultado es congruente con lo indicado por Gibert *et al.* (1989c), quienes atribuyen una edad al ejemplar en torno a los 5 ó 6 años, en función del escaso grosor de la bóveda, la presencia de fuertes impresiones digitales y el que las suturas no hayan comenzado todavía su sinostosis.

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer la colaboración prestada por los Dres. A. Malgosa, D. Turbon, M. Hernández y A. Roca, quienes nos facilitaron amablemente el material perteneciente a la mayor parte de los ejemplares de *Homo* analizados, así como las observaciones realizadas por las Dras. V. Eisenman y E. Cregut sobre el fragmento craneal de *Homo* sp. de Venta Micena y sus suturas. Queremos hacer constar también nuestro agradecimiento a tres revisores anónimos por las sugerencias y críticas efectuadas sobre el manuscrito original.

## BIBLIOGRAFÍA

Agustí, J. y Moya-Solá, S. 1987. Sobre la identidad del fragmento craneal atribuido a *Homo* sp. en Venta Micena (Orce, Granada). *Estudios Geológicos*, 43, 538-543.

- Avnir, D., Farin, D. and Pfeifer, P. 1984. Molecular fractal surfaces. *Nature*, **308**, 261-263.
- Baker, G. L. and Gollub, J. P. 1990. *Chaotic dynamics, an introduction*. Cambridge University Press, Cambridge, 182 pp.
- Burrough, P. A. 1981. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. *Nature*, **204**, 240-242.
- Braddy, R. M. and Ball, R. C. 1984. Fractal growth of copper electrodeposits. *Nature*, **309**, 225-229.
- Campillo, D. 1989. Estudio del hombre de Orce. In: *Los restos humanos de Orce y Cueva Victoria* (Eds. Gibert, J., Campillo, D. y García-Olivares, E.), 187-220, Institut Paleontològic Dr. M. Crusafont, Diputació de Barcelona.
- Dicke, M. and Burrough, P. A. 1988. Using fractal dimensions for characterizing tortuosity of animal trails. *Physiological Entomology*, **13**, 393-398.
- García-Olivares, E., Borja, C., López-Ramírez, J. P. and García Pacheco, M. 1991. Immunospecificity of fossil albumin detected in a 1,3 million-year-old skull fragment found in Venta Micena site (Orce, Granada, Spain). *Journal of Human Evolution, in litt.*
- García-Ruiz, J. M., Checa, A. and Rivas, P. 1990. On the origin of ammonite sutures. *Paleobiology*, **16**, 349-354.
- Gibert, J. 1984. El yacimiento de Venta Micena (Orce, Granada). Importancia, acción antropogénica y características paleoantropológicas del fragmento de cráneo de *Homo* sp. *Actas del Simposium Homenaje a Luis Siret*, 37-48.
- Gibert, J., Cruz, C. y Ribot, F. 1986. Naturaleza humana del cráneo de Orce. *Comunicacions II Jornadas de Paleontologia. Paleontologia i Evolució*, **20**, 169-178.
- Gibert, J., Ribot, F., Ferrández, C., Martínez, B. y Cruz, C. 1989a. Diagnòsis diferencial del fragmento de cráneo de *Homo* sp. del yacimiento de Venta Micena (Orce, Granada). In: *Los restos humanos de Orce y Cueva Victoria* (Eds. Gibert, J., Campillo, D. y García Olivares, E.), 31-108. Institut Paleontològic Dr. M. Crusafont, Diputació de Barcelona.
- Gibert, J., Martínez, B., Caporicci, R., Jiménez, C., Ferrández, C., Ribot, F., Soria, F., Pérez Cuadrado, J. L., Arribas, A., Canals, J., García-Targa, J. M., Iglesias, A. y Romero, R. 1989b. Resumen de las investigaciones paleoantropológicas y arqueológicas de Orce (Granada) y Cueva Victoria (Cartagena). *COL-PA*, **42**, 11-60.
- Gibert, J., Ribot, F., Ferrández, C., Martínez, B. and Caporicci, R. 1989c. Anatomical study: comparison of the cranial fragment from Venta Micena (Orce, Spain) with fossil and extant mammals. *Human Evolution*, **4**, 283-305.
- Gibert, J., Ribot, F., Ferrández, C., Martínez, B. y Caporicci, R. 1989d. Características diferenciales entre el fragmento de cráneo de *Homo* sp. de Venta Micena (Orce, Granada) y los équidos. *Estudios Geológicos*, **45**, 121, 138.
- Hoyez, B. 1992. Analyse fractale de la forme des grains de sable. *Comptes Rendus de la Academie des Sciences de Paris*, **314**, 945-951.
- Jakeman, E. 1984. Scattering by fractal objects. *Nature*, **307**, 110-111.
- Long, C. A. 1985. Intricate sutures as fractal curves. *Journal of Morphology*, **185**, 285-295.
- Lovejoy, S. 1982. Area-perimeter relation for rain and cloud areas. *Science*, **216**, 185-187.
- Mandelbrot, B. B. 1967. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimensions. *Science*, **156**, 636-638.
- Mandelbrot, B. B. 1983. *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman and Company, New York, 468 pp.
- Moore, R. C. (Ed.). 1975. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part 4, Mollusca 4 (Ammonoidea)*. The University of Kansas Press & The Geological Society of America, Boulder, Colorado, 490 pp.
- Morse, D. R., Lawton, J. M., Dodson, M. M. and Williamson, M. H. 1985. Fractal dimension of vegetation and the distribution of arthropod body lengths. *Nature*, **314**, 731-733.
- Nittman, J., Daccord, G. and Stanley, H. E. 1985. Fractal growth of viscous fingers: quantitative characterization of a fluid instability phenomenon. *Nature*, **314**, 141-144.
- Pennycuik, C. J. and Klein, N. C. 1986. Units of measurement for fractal extent, applied to the coastal distribution of bald eagle nests in the Aleutian Islands, Alaska. *Oecologia*, **68**, 254-258.
- Plotnik, R. 1986. A fractal model for the distribution of stratigraphic hiatuses. *Journal of Geology*, **94**, 885-890.
- Plotnik, R. 1988. A fractal model for the distribution of stratigraphic hiatuses; a reply. *Journal of Geology*, **96**, 102-103.
- Reyment, R. A. 1991. *Multidimensional Palaeobiology*, Pergamon Press, Oxford, 377 pp.
- Sander, L. M. 1986. Fractal growth processes. *Nature*, **322**, 789-793.
- Slice, D. E. 1989. *Fractal-D*. Exeter Publishing, Ltd., New York, 55 pp. + 1 diskette.

*Manuscrito recibido:* 16 de enero, 1992  
*Manuscrito aceptado:* 28 de abril, 1992