

# **Software FROG**

**Fractal Researches on Geosciences**

**Manual de empleo**

**Jean-Fraçois Parrot**

Software concebido y desarrollado en C++ Builder por el Dr. Jean-Francois Parrot, Laboratorio de Análisis GeoEspaciales LAGE, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de Mexico UNAM, Mexico.

# FROG (Fractal Research On Geosciences) Versión 1.01

## Introducción

FROG es un *software* que calcula la dimensión fractal de los objetos utilizando diversos tratamientos, a partir de imágenes con formatos *raw* o *bmp*.

La primera función permite extraer un objeto según sus valores en tono de gris para caracterizar su forma por medio de una función lineal, del conteo de cajas, del movimiento browniano, etc. Esta extracción implica la interpretación visual del tono de gris; la noción de rugosidad de los tonos de gris (véase la función “thresholding fractal” más adelante) ayuda a definir los valores del umbral. Con la imagen binaria así obtenida, una función de etiquetado separa los diversos elementos que componen eventualmente el objeto en estudio, de tal manera que sea posible comparar los diversos componentes conectados.

Otros parámetros se calculan directamente sobre la escala en tonos de gris: dimensión fractal local, dimensión fractal radial, rugosidad fractal, dimensión prismática, etc. Estas funciones consideran la escena entera o los elementos obtenidos utilizando la binarización o el etiquetado.

Por otra parte, es posible extraer las secuencias de los tonos de gris de la escena entera, explorar linealmente dichos tonos o usar los elementos binarios como máscara. La secuencia así obtenida permite calcular varios parámetros tales como el exponente de Hurst.

Finalmente, el *software* crea un informe general donde se consiguen todas las operaciones hechas, los valores de parámetro obtenidos, así como el nombre de las imágenes y de los diagramas registrados.

## Configuración

El programa busca las imágenes a tratar en cualquier carpeta pero es recomendable crear en el disco C, una carpeta *images* donde se ponen todas las subcarpetas en donde están todas las imágenes a trabajar. Al iniciar el *software* se va directamente al archivo **C:\images**. Por esta razón, es mejor definir la configuración presentada en la figura 1, antes de empezar los tratamientos.

Las imágenes con las que trabaja FROG deben estar en formato *raw*, las cuales tienen que ser asociadas a un archivo descriptivo (encabezado) que tenga un formato *txt*. Este archivo proporciona el número de líneas y el número de columnas de la imagen. También, el *software* toma en cuenta el formato *bmp*.

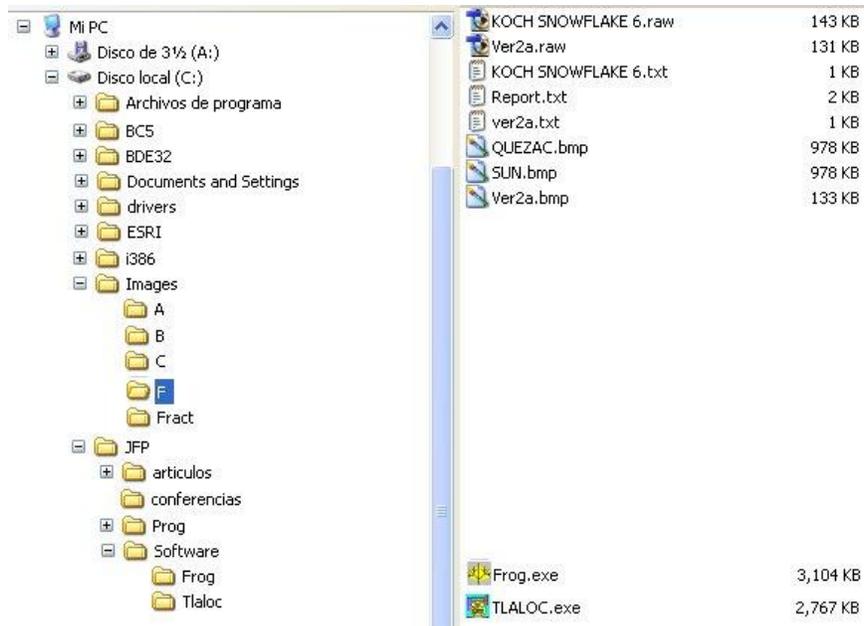


Figure 1. Configuración recomendada.

## Descripción general de las funciones del software

En la presente versión 1.01, los diferentes menús principales son los siguientes:

- **Files**
- **Binar. Treat.**
- **Gray Tones Treat.**
- **GTS Treatments**
- **Diagrams**
- **Tools**
- **Window**
- **About.**



Figura 2. Menús y “Speed Buttons” de la barra de utilidades.

Los menús 2, 3, 4, 5 y 6 están apagados hasta que se abra una imagen. El 7º menú (**Window**) permite definir la organización de las ventanas y el 8º Menú (**About**) da información general sobre el software.

El menú Files permite abrir una imagen en tonos de gris o salir del programa. También se puede utilizar el primer botón  para abrir ya sea una imagen en tonos de gris, binaria o etiquetada; el segundo botón  asegura del mismo modo la abertura. Cuando se abre directamente una imagen binaria, el menú **Gray Tones Treat** se queda inactivo.

La primera ventana de búsqueda permite elegir la carpeta donde se ubican los archivos que contienen las imágenes *raw* o *bmp* a estudiar. Según lo mencionado anteriormente, la ventana de búsqueda entra directamente en la carpeta **C:\imagenes** en donde se encuentran las diferentes subcarpetas (Fig. 3a).

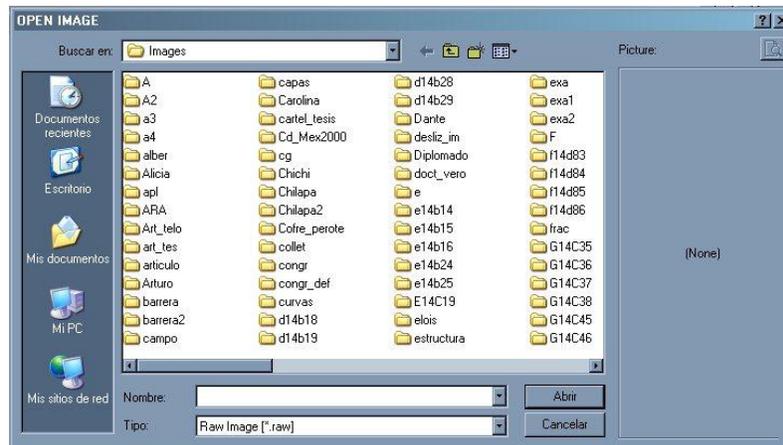


Figura 3a. Ventana de abertura de la carpeta **C:\imagenes** con sus subcarpetas.

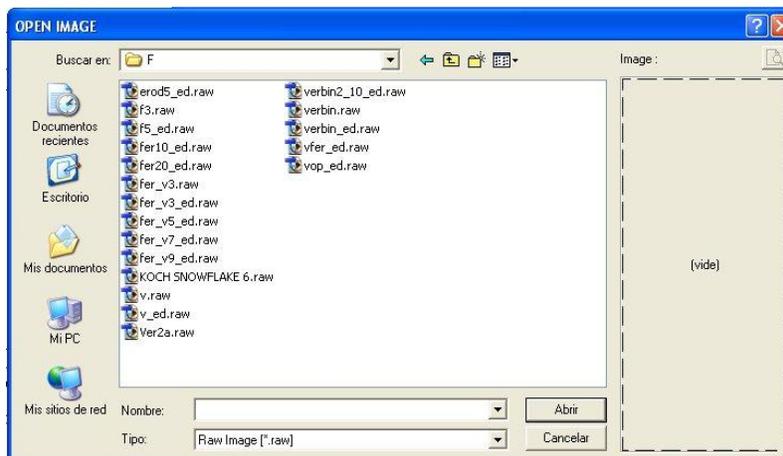


Figura 3b. Ventana de abertura de las imágenes dentro de la subcarpeta.

La lista de las diferentes imágenes presentes en una subcarpeta depende del tipo de imagen requerida (*bmp* o *raw*). Cuando la imagen corresponde al formato *raw*, ésta se debe relacionar con un archivo descriptivo *txt* que contiene la información del tamaño de la imagen (número de líneas y de columnas). Si no existe este archivo descriptivo, aparece una ventana de diálogo en la cual se introducen el número de líneas y de columnas (Fig. 3c).



Figura 3c. Ventana de diálogo concierne al tamaño de la imagen.

Cuando se abre la imagen, sale una ventana de diálogo pidiendo si se quiere crear un informe general del tratamiento (Fig. 4).

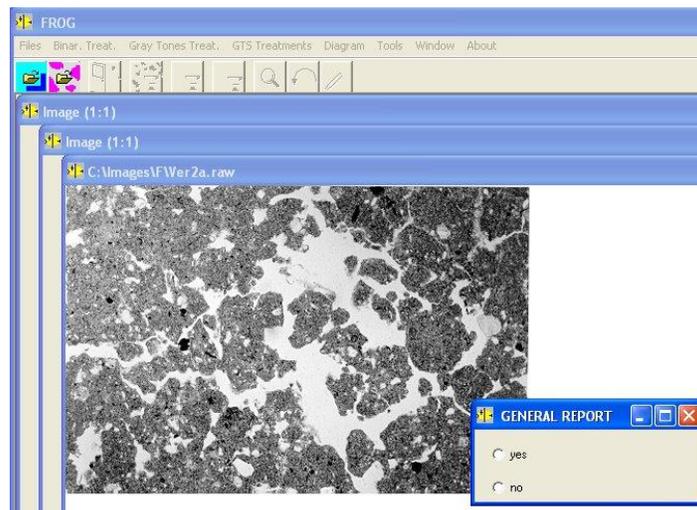


Figura 4. Pidiendo si se necesita un informe general.

Si se crea un informe, se debe introducir el nombre del archivo (por defecto, el nombre actual es report). El informe del archivo tiene un formato *txt*. La ventana de diálogo correspondiente (Fig.5) permite crear el informe en la subcarpeta en donde se localiza la imagen desplegada o elegir eventualmente otra ruta.

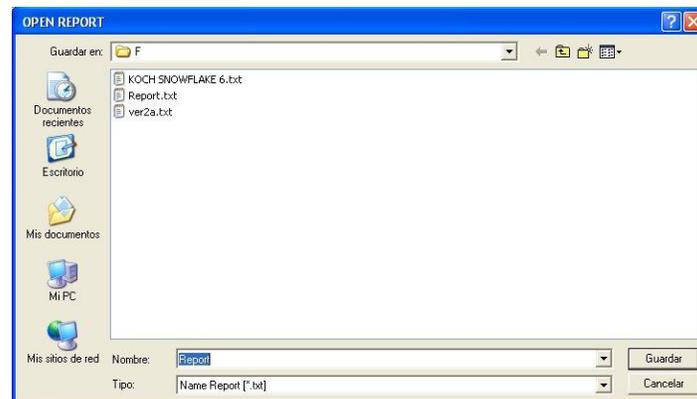


Figura 5. Creación del informe general.

Cuando la imagen se despliega, aparecen tres menús: Binar.Treat., Gray tones Treat. y Tools, también se activan los botones de la barra de herramientas Exit (tercer botón) y Zoom (séptimo botón). La activación de los menús 4º y 5º se relaciona con el uso de diversas funciones (véase más adelante).



Figura 6. Menús y botones activados en relación con el despliegue de la imagen original.

## Tratamientos aplicados a las imágenes binarias

Los tratamientos fractales se refieren a la caracterización de la forma o al estudio de la textura y de la estructura de los tonos de gris. En el primer caso, los diversos tratamientos presentados aquí requieren generar una imagen binaria. La primera función de Binar. Treat. se llama Binar y consiste en crear una imagen binaria. Esta primera función es la única activada en este momento en el submenú Binar. Treat. (Fig. 7).

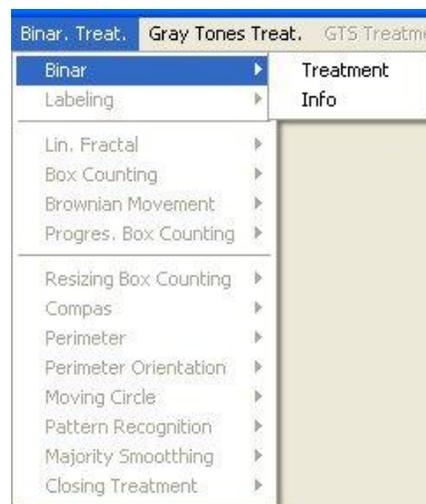


Figura 7. Función Binar.

NOTA 1: Todos los comandos del *software* tienen dos entradas. La primera inicia el tratamiento y la segunda da la información sobre el tratamiento (Fig. 7).

Al entrar en el tratamiento se abre una ventana de diálogo referente a los valores del umbral. También es posible eliminar los puntos aislados si es necesario (Fig. 8). Se debe aclarar que una imagen binaria se puede obtener a partir de la imagen original o una imagen resultando de diversos tratamientos (véase adelante).

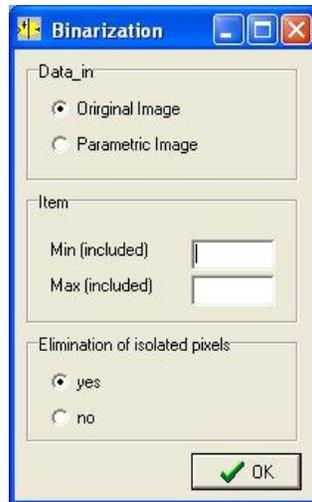


Figure 8. Definición de los valores del umbral.

El *software* FROG ofrece la posibilidad de utilizar varias herramientas para definir los valores del tono de gris utilizados para realizar un umbral.

Las funciones siguientes del menú **Binar. Treat.** se activan al aparecer la imagen binaria (codificada con los valores 1 para el tema y 255 para el fondo), (Fig. 9):

- **Labeling**
- **Lin. Fractal**
- **Box Counting**
- **Brownian Movement**
- **Progres. Box Counting**

Las funciones que se quedan inactivas requieren de un anterior etiquetado.

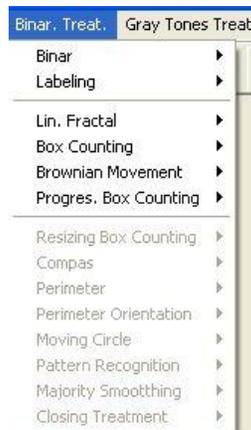


Figura 9. Activación de los tratamientos relacionados con la presencia de una imagen binaria.

La descripción detallada de los algoritmos empleados no se expone en este fascículo. Solo se explica cómo utilizar las diversas funciones y cuales son los resultados obtenidos.

### Lin. Fractal

El comando **Lin. Fractal -> Info** (Fig. 10) abre una ventana que ilustra como se calculan el número de segmentos llenos ( $S_f$ ) dependiendo del tamaño del segmento ( $S_z$ ) y siguiendo las líneas o las columnas. La dimensión fractal corresponde al inverso del valor de la pendiente del diagrama  $\log(S_f)/\log(S_z)$ .

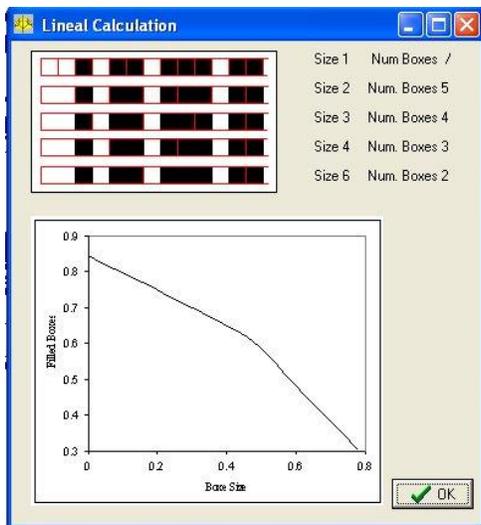


Figura 10. Ejemplo del cálculo lineal mostrado por el comando *Lin. Fractal -> Info*.

El comando **Lin. Fractal -> Tratamiento** abre una ventana de diálogo (Fig. 11) que pide el valor de código del conjunto de píxeles estudiados (es decir que es posible tomar en cuenta la imagen binaria o estudiar por separado los varios conjuntos resultando de un etiquetado) y de la orientación requerida (horizontal o vertical).

El tratamiento no crea una imagen, si no un diagrama con los resultados (Fig. 12).

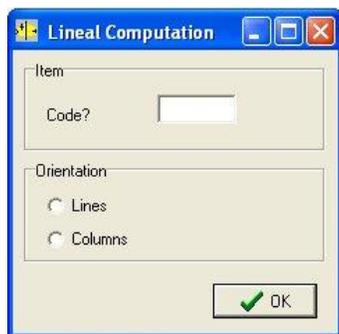


Figura 11. Lineal Computation (Ventana de dialogo).

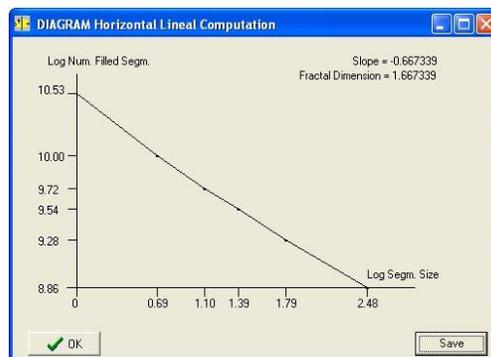
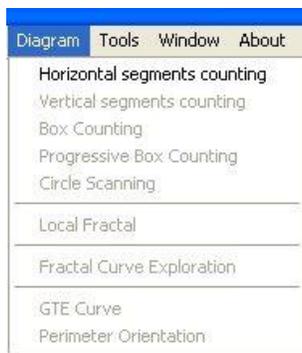


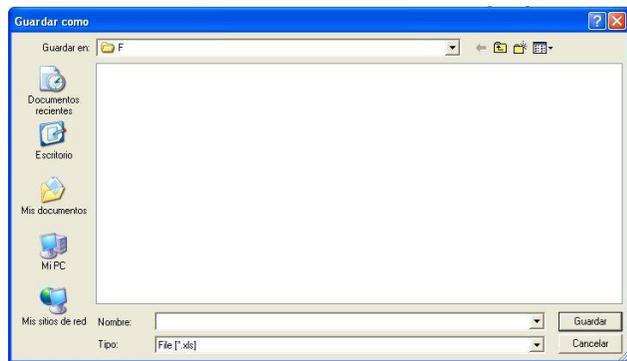
Figura 12. Diagrama de resultado.

**NOTA 2:**

- 1) La construcción de un diagrama activa el menú **Diagram** de la barra de herramientas lo permite el consultar todos los diversos tipos de diagrama obtenidos. La activación de los diversos tipos de diagramas creados se relaciona con el tratamiento usado (Fig. 13).
- 2) Es posible guardar el diagrama obtenido utilizando el botón “Save” (Fig. 12). Los valores se consignan en un archivo de formato xls (Fig. 14). Si existe un informe general el emplazamiento y el nombre dado a este diagrama se indica en el informe.
- 3) Por otra parte, cuando se abre este diagrama por medio del comando correspondiente al tipo de diagrama que se encuentra en el menú **Diagram**, también es posible guardarlo si no se registró anteriormente.

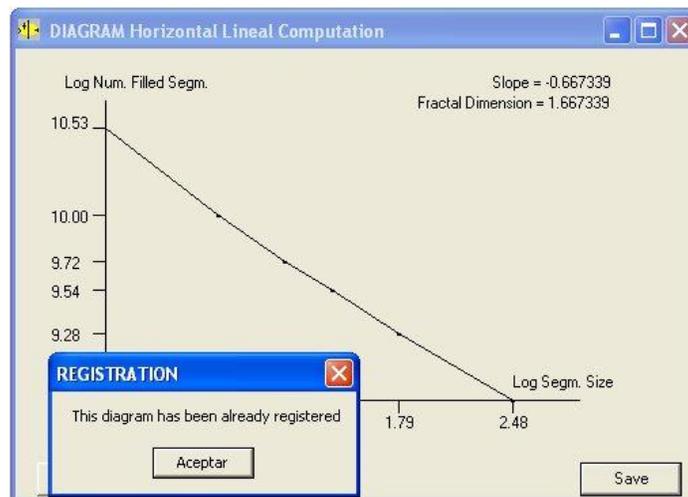


*Figura 13. Activación del Menú Diagram (lista de los diagramas creados y posibilidad de volverlos a ver).*



*Figura 14. Salvando el diagrama*

- 4) Existe solamente una posibilidad para salvar un diagrama. Si se ha salvado anteriormente, un mensaje aparece que indica que ya se guardó (Fig. 15).



*Figura 15. Diagrama ya registrado.*

## Box Counting

Este cálculo ilustrado por la ventana que abre el comando **Box Counting -> Info** (Fig. 16) consiste en computar el número de cajas que se llenan ( $B_f$ ) en función del tamaño de las caja ( $B_z$ ). La dimensión fractal corresponde al inverso del valor de la pendiente del diagrama  $\log(B_f)/\log(B_z)$ .

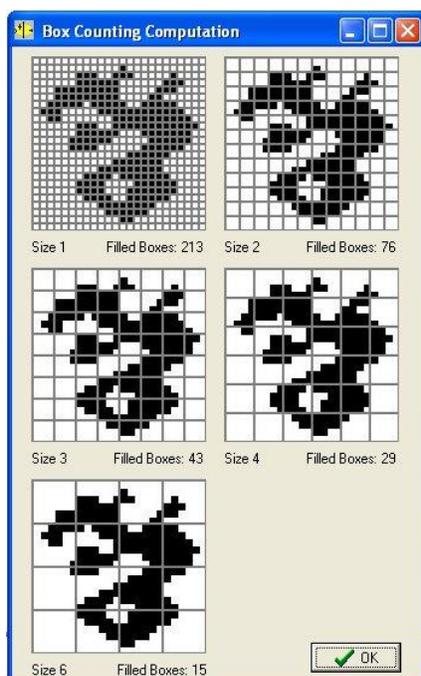


Figura 16. Ilustración del conteo de cajas.

El problema principal aquí consiste en calcular esta pendiente por medio de una secuencia de cajas cuyo tamaño aumenta y que cubre exactamente toda la imagen. El número de divisores depende del tamaño de la imagen tratada. Por esta razón es generalmente necesario cortar parcialmente la imagen original. Diversas ventanas de diálogo aseguran la investigación de la dimensión mas apropiada.

La primera ventana de diálogo (Fig. 17) indica el número original de divisores de la imagen original y sus valores. Existen cuatro posibilidades:

- investigación del número máximo de divisores según una búsqueda automatizada dentro de una margen (este tratamiento parece ser el más apropiado);
- calcular por medio de una aproximación que crea generalmente un ligero artefacto;
- considerar los divisores existentes si el número es suficiente;
- cortar la imagen para obtener una secuencia de divisores.

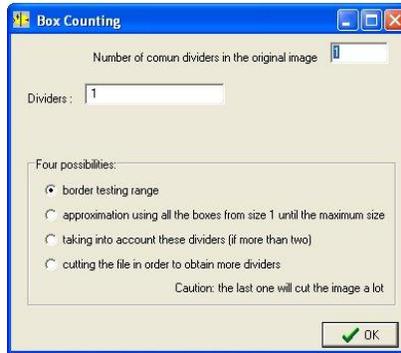


Figura 17. Divisores y primeros tratamientos.

Si se adopta la primera posibilidad, otra ventana de diálogo aparece y es posible elegir el tamaño de la margen de prueba (Fig. 18); el algoritmo busca entonces el número máximo de divisores. La ventana de diálogo siguiente (Fig. 19) indica el número total de divisores, sus valores y le propone inicializar el tratamiento o volverse a la ventana de diálogo anterior para definir otro tipo de tratamiento.

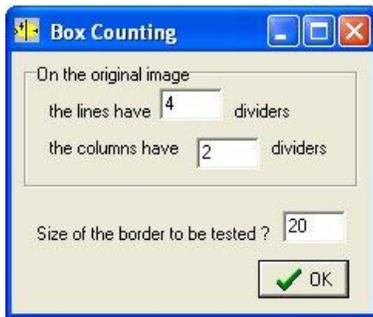


Figura 18. Prueba dentro de una margen.

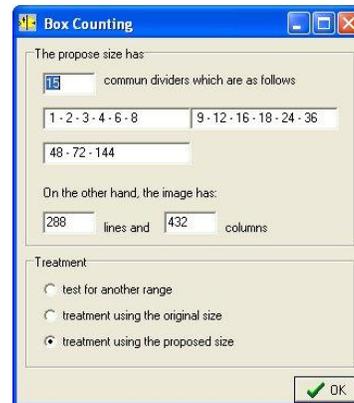


Figura 19. Numero de divisores comunes obtenidos utilizando la prueba del margen.

Finalmente una ultima ventana de diálogo (Fig. 20) permite seleccionar diversas opciones de tratamiento.

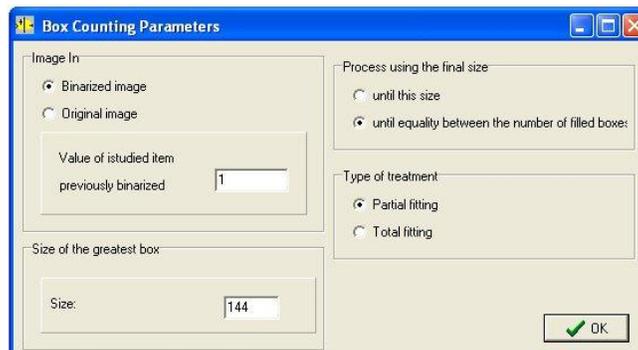


Figura 20. Selecion de las opciones de tratamiento.

Como anteriormente, el tratamiento no crea una imagen, si no un diagrama de los valores calculados (Fig. 21) así como los valores de los diversos divisores utilizados. Las observaciones anteriores hechas en la NOTA 2 valen para este diagrama.

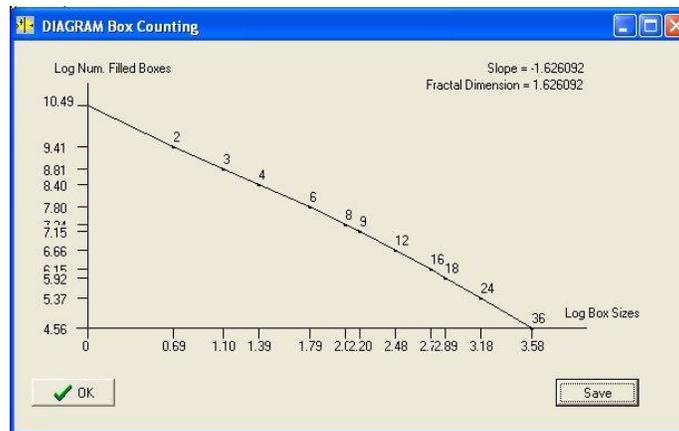


Figura 21. Diagrama del conteo de cajas.

### Brownian movement

Otro tratamiento consiste en calcular el movimiento browniano. El algoritmo dibuja, dentro de un tema binario, una trayectoria al azar a partir de un punto inicial también seleccionado al azar (véase la figura 22). Se calcula el número de píxeles ( $S_n$ ) describiendo la trayectoria así como el número de puntos de intersección ( $S_t$ ). La dimensión fractal corresponde al inverso de la pendiente  $\log(S_n)/\log(S_t)$ . De hecho, este valor se calcula considerando todas las trayectorias que llenan la forma estudiada. Es posible definir el número de caminatas, la longitud máxima de una caminata, el número máximo de puntos nulos ( $S_t$ ), así como el número máximo de pruebas hechas para intentar encontrar una serie continua en la trayectoria, es decir la posibilidad para que la trayectoria busque otra dirección cuando encuentra la frontera del objeto (Fig. 23). Se debe notar que un binarización anterior no es necesario, porque es posible definir directamente el umbral a partir de la imagen.

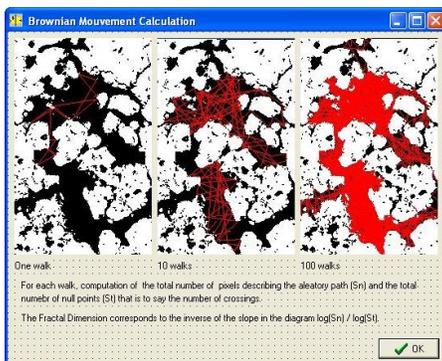


Figura 22. Ilustración del movimiento browniano.

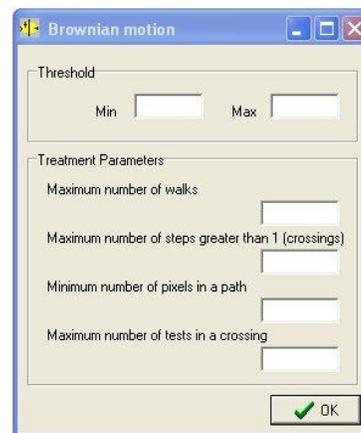


Figura 23. Ventana de dialogo para el movimiento browniano.

Este tratamiento genera una imagen. En este caso un botón de la barra de herramientas se activa que permite salvar la imagen resultante. El resultado se consigna en el informe general que indica también el nombre y el emplazamiento de la imagen correspondiente si se guarda. Salvando una imagen desactiva el botón correspondiente.

### **Progressive Box Counting**

Es una función que evita de redefinir la dimensión de la imagen para obtener los números máximos posibles de divisores, como se necesita hacerlo para el conteo de cajas. El procedimiento consiste en calcular el número de los pixeles que pertenecen al tema estudiado y reducir progresivamente el tamaño de la imagen usando una función  $\beta$  spleen (Fig. 24 proporcionada por la función **Progres. Box Counting -> Info**). A cada paso, el número de pixeles se calcula y la dimensión fractal corresponde finalmente al inverso de la pendiente del diagram  $\log(\text{NbPix})/\log(\text{tamaño})$ . Se obtienen los mejores resultados cuando el primer tamaño declarado es igual a 0 y el paso a 1 (véase la figura 25).

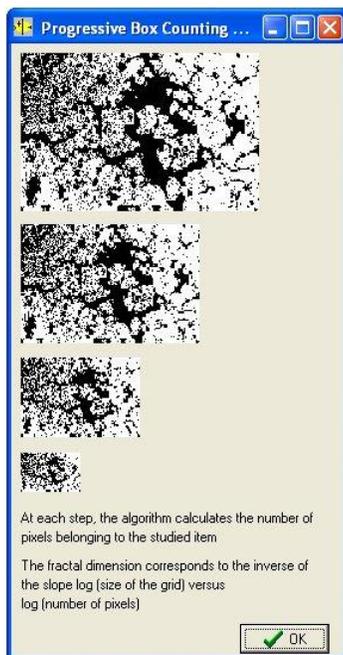


Figura 24. Ilustración del método.



Figura 25. Progressive Box Counting Dialog.

El diagrama correspondiente (Fig. 26) aparece y se puede salvar como lo descrito previamente. Y este diagrama entra en la lista del menú **Diagram**.

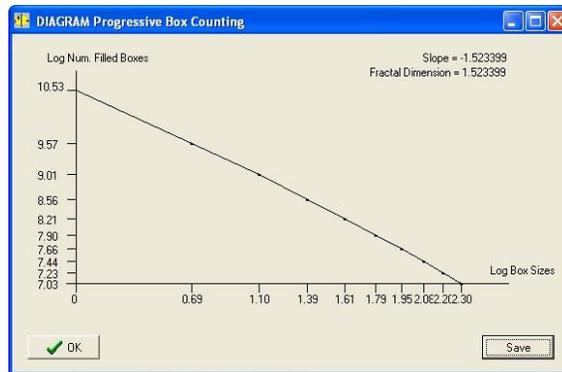


Figura 26. Diagrama del Conteo de cajas progresivo.

## Tratamientos aplicados a las imágenes etiquetadas

El software FROG ofrece la posibilidad de estudiar los diversos componentes conectados que componen la imagen binaria. Se necesita solamente indicar el valor del tamaño mínimo de estos componentes y del tamaño máximo deseado. Por defecto el tamaño máximo que aparece en la caja de diálogo (Fig. 27) y corresponde al número total de píxeles que tienen el valor 1.



Figura 27. Ventana de dialogo para el etiquetaje.

No es posible extraer más de 250 componentes conectados, porque la imagen que resulta es una imagen de 8 bits. La imagen que resulta se substituye a la imagen binaria y activa las funciones siguientes del menú **Binar. Treat.**, así como el botón  (8º botón), la “pipeta”, que permite atribuir un color a cada componente conectado. Es también posible conocer el número del componente conectado explorando la pantalla con el cursor, o utilizando la función del menú **Tools** que se llama **Gray Tones Number** que abre una ventana (Fig. 28) para elegir el tipo de imagen que se analiza.

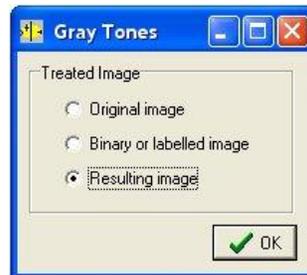


Figura 28. Selección del tipo de imagen donde se debe buscar el número de tonos de gris.

Las funciones activadas son (Fig. 29):

- Resizing Box Counting,
- Compas,
- Perimeter;
- Perimeter Orientation,
- Moving Circle,
- Pattern Recognition.

**NOTA 3:**

- a) Un nuevo etiquetaje requiere hacer de nuevo una binarización.
- b) Si existe el informe general, la información referente a los componentes conectados obtenidos se anota automáticamente (número de código, número de pixeles, porcentaje, etc.).



Figura 29. Funciones relacionadas con el etiquetaje.

**Resizing Box Counting**

El conteo de cajas calcula realmente la dimensión fractal, pero también esta medida se relaciona con la ocupación del espacio por la forma estudiada. Por esta razón, parece mejor utilizar esta última función para calcular la dimensión fractal de los diversos componentes conectados. Este procedimiento transfiere cada componente conectado en una zona lo que reduce al mínimo el efecto de la ocupación del espacio. Es posible elegir un objeto o hacer el cálculo tomando en cuenta todos los objetos (Fig. 30).

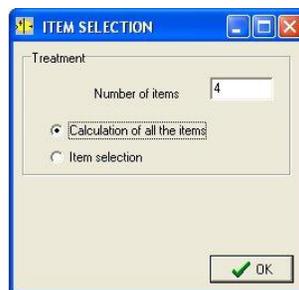


Figura 30. Selección.

Si se utiliza la función “Item selection”, el programa pide el número de objetos seleccionados y el código de cada uno.

Los valores de los 5º primeros objetos aparecen en un mensaje (Fig. 31) y la totalidad de todos los cálculos se registran en el informe general.



Figura 31. Primeros valores obtenidos utilizando el “Resizing Box Counting”.

Como se mencionó anteriormente el conteo de cajas “clásico” indica para el componente conectado 2 un valor igual a 1.635178 porque la imagen original es mayor que las otras. Utilizando el “Resizing Box Counting” el valor de la dimensión fractal es igual a 1.711044.

También se puede observar que el objeto 2 y el objeto 4 tienen absolutamente el mismo valor incluso si el tamaño es totalmente diferente.

### Compas

Función en desarrollo.

### Perímetro

Este tratamiento considera el perímetro de los componentes conectados (ver Fig. 32 que aparece usando el comando **Perímetro -> Info**). Una dilatación se aplica en primer lugar para extraer el perímetro y aislar totalmente dicho perímetro. Entonces la longitud del perímetro ( $L_p$ ) se calcula utilizando unidades crecientes ( $L_u$ ). El cálculo de la dimensión fractal considera el inverso de la pendiente  $\log(L_p)/\log(L_u)$  más 1.

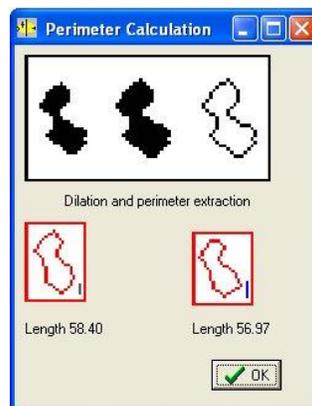


Figura 32. Cálculo del perímetro.

Como en el caso del "Resizing Box Counting" es posible elegir un objeto o calcular todos los objetos (ver Fig. 30). Si se utiliza la función "Item selection", el programa pide el número de objetos seleccionados y el código cada uno.

Los valores de los 5° primeros objetos aparecen en una ventana de mensaje (Fig. 33) y estos valores se registran en el informe general.



Figura 33. Primeros valores obtenidos utilizando la función "Perimeter".

### Perimeter Orientation

Esta función se relaciona con el cómputo de la orientación de segmentos de tamaño  $n$  que describen un objeto. Esta orientación se calcula en el espacio trigonométrico, el punto inicial correspondiente al píxel izquierdo más bajo de la forma estudiada (ver figura 34 proporcionada por el comando Perimeter Orientation -> **Info**).

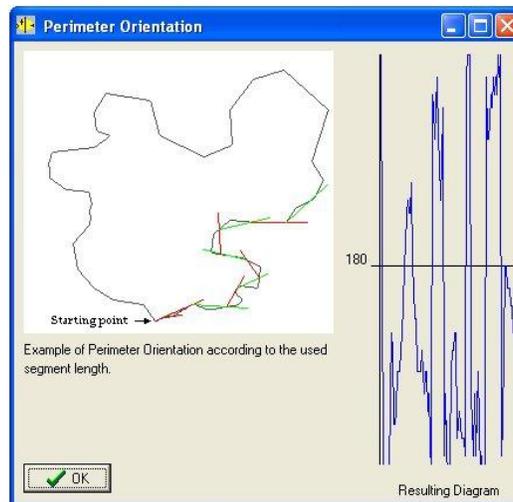


Figura 34. Orientación del perímetro.

La ventana de diálogo (Fig. 35) pide el código del objeto estudiado y la longitud del segmento utilizado para calcular la orientación.

El resultado es un diagrama (Fig. 36) que se puede guardar en la misma condición que lo anterior. Por otra parte, el nombre de este tratamiento aparece en el diagrama del menú para ser visualizado una vez más en caso de necesidad.

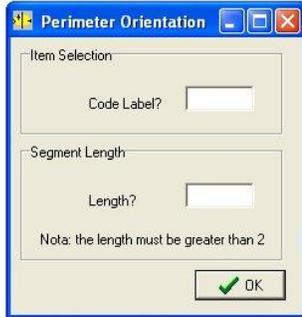


Fig. 35. Parámetros de Orientación.

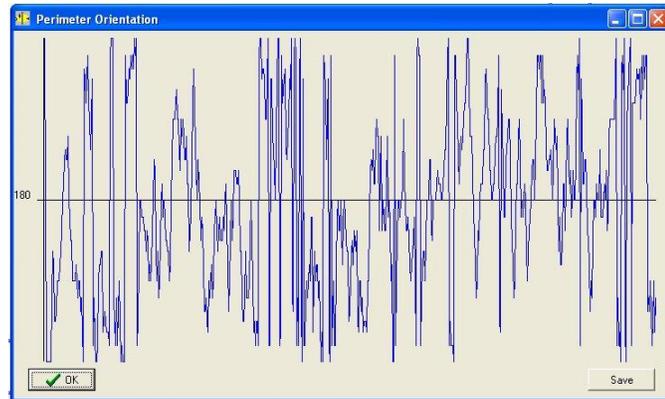


Figura. 36. Diagrama resultante.

### Moving Circle

Otra manera para calcular la dimensión fractal consiste en llenar el objeto por medio de un círculo que crece regularmente. Hay dos posibilidades:

- contar el número de de círculos del tamaño  $C_z(n)$  que se necesita para llenar la forma,
- llenar la forma con un círculo móvil del tamaño  $C_z(n)$ . El número de círculos encontrados es igual a  $C_f(n)$ ,  $n$  que corresponde al factor de incremento.

En el primer caso la curva que resulta es asintótica, en el segundo corresponde a una línea que permite calcular la pendiente de la curva  $\log(C_f)/\log(C_z)$ .

El tratamiento es ilustrado por la figura 37 obtenida con el comando **Moving Circle** -> **Info**.

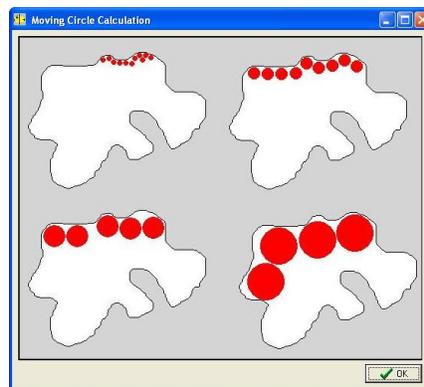


Figura 37. Llenado con un círculo móvil.

La ventana de diálogo correspondiente (Fig. 38) permite elegir del tratamiento más apropiado. El problema principal se relaciona con la duración del procedimiento que requiere mucho tiempo si el componente conectado contiene más de 2000 píxeles. El tratamiento dos presentado aquí ilustra el tipo de resultado esperado.



Figura 38. Dialogo para iniciar el tratamiento.

El tratamiento “*Sliding Window*” significa que el círculo de tamaño  $n$  no considera la posición anterior para cubrir la forma estudiada. La opción “*Jumping Window*” significa que el círculo de tamaño  $n$  se toma en cuenta solamente si el espacio está libre, como lo que se presenta en la figura 37. En cuanto al tipo de cálculo, la opción “*Surface*” significa que el tamaño del primer círculo corresponde a un punto, lo que no toma en cuenta la opción “*Radius*”.

Los ejemplos presentados en las figuras 39 y 40 consideran la opción “*Surface*”. El primer resultado (Fig. 39) se basa en un calculo tipo “*Sliding Window*”, y el segundo resultado (Fig. 40) corresponde a la opción “*Jumping Window*”.

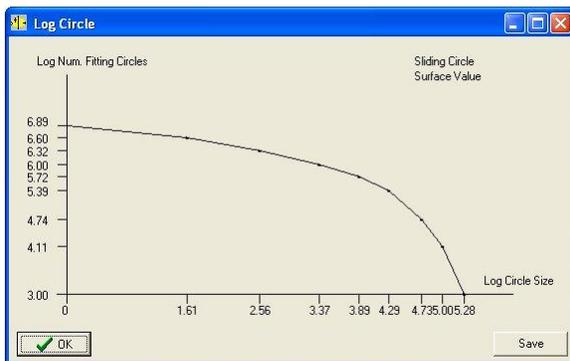


Figura 39. Circulo móvil utilizando la opción “*Sliding Window*”.

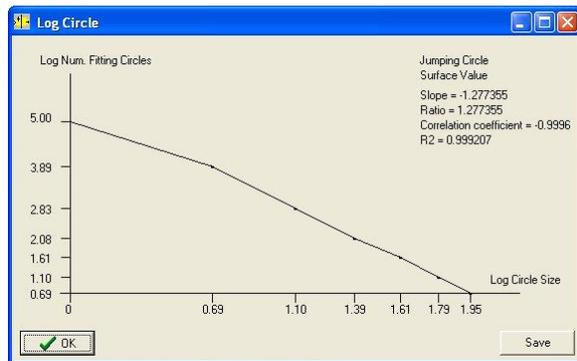


Figura 40. Circulo móvil utilizando la opción “*Jumping Window*”.

### **Pattern Recognition**

Algunos parámetros describen las formas. Entre ellos se puede notar:

- la superficie  $S_p$  que corresponde al número total de píxeles ( $n_{pt}$ ) que describen la forma así como este valor en metros cuadrados considerando el tamaño del píxel,
- los coordenadas del centro de la gravedad,
- el número de píxeles  $n_{pp}$  que pertenecen al perímetro  $P_p$  y la medida correspondiente en metros,

- la superficie recalculada  $S_r$  aplicando del fórmula de Pratt ( $S_r = \sum nps + \sum npp/2$ , donde  $nps$  es el número de píxeles que describen la superficie, es decir  $np - npp$ ) y su valor en  $m^2$ ,
- la longitud del perímetro  $Pl$  proveniente de un seguimiento del contorno (en píxeles y en metros),
- el índice del redondez  $\rho$  que se calcula eso como sigue:  $\rho = npp^2/nps$ , el radio perímetro/superficie  $\xi$  igual a:  $\xi = (npp/nps) \times 100$ , así como la misma relación tomando en cuenta la longitud del perímetro  $Pl$  y la superficie recalculada  $S_r$  (este índice  $\zeta$  es igual a:  $\zeta = (Pl/S_r) \times 100$ ),
- el índice de la convexidad  $Ci$  que corresponde al radio  $Sp/Sc$ , donde  $Sc$  es el valor en píxeles de la zona convexa que circunscribe la forma estudiada (la zona convexa se obtiene utilizando la marcha de Jarvis); este índice se calcula como sigue:  $CI = (npt/npz) \times 100$ , donde  $npz$  corresponde al número total de píxeles describiendo la zona convexa,
- el índice  $RCI$  es un índice de convexidad que toma en cuenta el perímetro de la forma que considera el número de píxeles  $npp$  que definen los perímetros (se debe notar que a veces existen un perímetro externo y perímetros internos) y el número de píxeles  $npc$  que describen el perímetro de la zona convexa; se calcula como sigue:  $RCI = (npc/npp) \times 100$ ,
- el número de huecos  $NH$ ,
- el mínimo, el máximo y el tamaño promedio de estos huecos,
- la tasa de porosidad  $\varpi$  que corresponde a un radio entre el número de píxeles  $nph$  que pertenecen a los huecos y el número de píxeles  $npt$  que describen la forma; la ecuación es la siguiente:  $\varpi = (nph/(nph+npt)) \times 100$ ,
- la tasa de porosidad de la convexidad  $\Omega$  que establece la relación entre el número de píxeles  $nph$  encontrado en los huecos y el número total de píxeles  $npz$  que pertenecen a la zona convexa; la ecuación es:  $\Omega = (nph/npz) \times 100$ ,
- el índice externo de la convexidad  $\phi$
- el índice externo de la convexidad del perímetro  $\psi$
- y dos coeficientes basados en las consideraciones siguientes; el algoritmo dibuja el círculo que tiene el mismo número de píxeles que el número total de píxeles  $npt$  describiendo la forma para comparar la zona más convexa posible con la forma estudiada; el radio  $Rc$  y el perímetro  $PC$  de este círculo se obtienen aplicando las ecuaciones siguientes:  $Rc = \sqrt{(npt/\pi)}$  y  $PC = \pi^2 \times Rc$ ; el primer coeficiente considera todos los perímetros encontrados en la forma (internos y externos) y el segundo solamente el perímetro externo de la forma; se calculan estos coeficientes como sigue:  $R_1 = npp/npc$  y  $R_2 = npe/npc$  donde  $npe$  es el número de los píxeles externos del perímetro y  $npc$  el número de los píxeles que describen la frontera del círculo.

Estos parámetros se calculan para cada componente conectado proporcionado por el etiquetaje y los resultados se registran en el informe general.

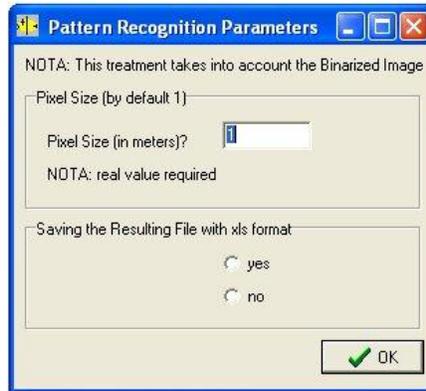


Figura 41. Ventana de dialogo para calcular los parámetros de Reconocimiento de Patrones.

La ventana permite definir el tamaño del píxel y reporta los resultados no solamente en el informa general, si no también en un archivo xls.

## Tratamientos aplicados a imágenes en tonos de gris

La segunda secuencia de tratamientos se refiere a procedimientos aplicados a las imágenes en tonos de grises. Estos tratamientos proporcionan medidas fractal, pero también los resultados que se pueden tomar en cuenta para validar o definir los valores de umbral utilizados para obtener una imagen binaria.

El menú “**Gray tones Treat.**” contiene las funciones siguientes:

- *3D Fractal global*
- *Local fractal dimension*
- *Lacunarity*
- *Fract. Star 8*
- *Fract. Star 4*
- *Fract. Prism*
- *Local roughness*
- *Cubic density*
- *Morlet*
- *Pixel density*
- *Gray tones sequence*

### *3D Fractal global*

Esta medida se hace en una zona cuadrada extraída a partir de la imagen, el tamaño del lado del cuadrado se relaciona con el número de líneas (*lin*) o el número de columnas (*columna*) mediante la función:  $Ws = \min(lin, columna)$  donde *Ws* es el valor del lado del cuadrado. El resultado aparece en la pantalla (Fig.42) y se registra eventualmente en el informe general.



Figura 42. Dimensión Fractal Global.

### Local Fractal Dimension

Muchos métodos están disponibles para estimar la dimensión fractal de superficies; en el presente caso, la dimensión fractal de cada píxel de una imagen en formato raster se calcula en una ventana móvil centrada en este píxel, utilizando un método de conteo de cajas en el espacio tridimensional. Dentro de un cubo de tamaño  $s \times s \times s$  centrado en el píxel estudiado, el volumen que corresponde a la superficie en tonos de gris se inscribe en un conjunto de voxeles (ver la figura 43 expuesta por el comando “Local Fractal Dimension - > Info”).

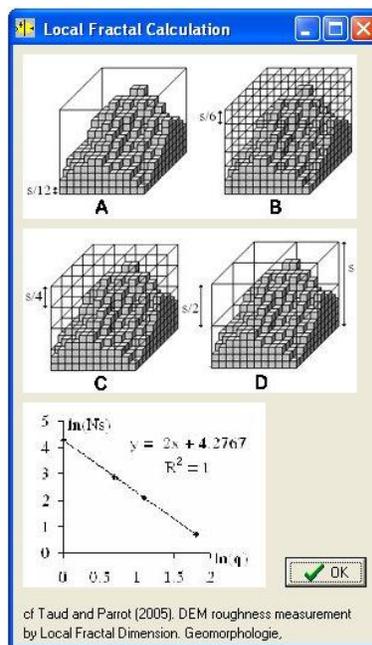


Figura 43. Ilustración concerniente al cálculo de la dimensión fractal local.

La dimensión fractal corresponde al inverso de la pendiente  $P = \ln(q) / \ln(Ns)$ , donde  $q$  es el tamaño de la caja y  $Ns$  el número total de cajas llenadas. Al calcular la pendiente, el coeficiente de correlación  $R^2$  también se computa.

Una ventana de diálogo (Fig. 44) se utiliza definir los diversos parámetros. El tamaño de la ventana móvil es igual a 12 o 24 y también se utiliza es un factor  $H$  para acentuar por medio de valor bajo de  $H$  o para alisar con un valor fuerte de  $H$ , la respuesta de reflexión.

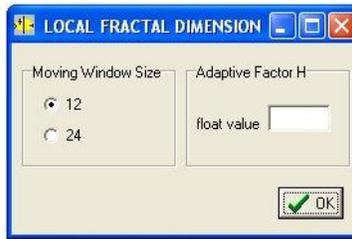


Figura 44. Ventana para introducir los parámetros requeridos para calcular la dimensión fractal local.

Los resultados se presentan en un diagrama (Fig. 45) que se puede salvar como descrito anteriormente y el nombre de este tratamiento aparece en el menú “**Diagram**” para visualizarlo de nuevo si es necesario.

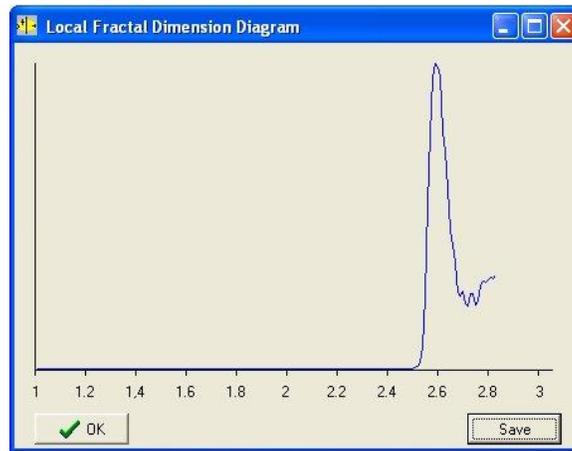


Figura 45. Diagrama resultante.

### Lacunarity

La “lagunaridad”  $A$  presenta una característica fractal de reescalado. El algoritmo utilizado aquí se basa en la definición de Alain y de Cloitre (1991). La primera curva obtenida presenta una disminución hiperbólica cuando el tamaño de la ventana móvil  $r$  aumenta. Por otra parte, en el diagrama ( $A$ ) vs ( $r$ ) la curva observada corresponde a  $D - 2$ . Es decir que la pendiente de la línea recta corresponde al coeficiente de Hurst, como  $D - 2 = -H$  (Voss, 1985).

El tratamiento se puede aplicar a la imagen binaria o a la original. (Fig. 46). Se puede notar que el tamaño de la ventana móvil es igual a  $W = (K \times 2) + 1$ , donde  $K$  corresponde al rango. Cuando  $K = 0$ , el tamaño de la ventana corresponde al tamaño de un píxel.

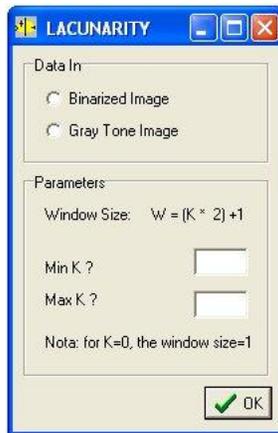


Figura 46. Ventana de dialogo referente al índice de Lagunaridad.

Dos diagramas se presentan cuando se termina el tratamiento (Fig. 47). Los valores correspondientes se pueden guardar aplicando el proceso descrito anteriormente.

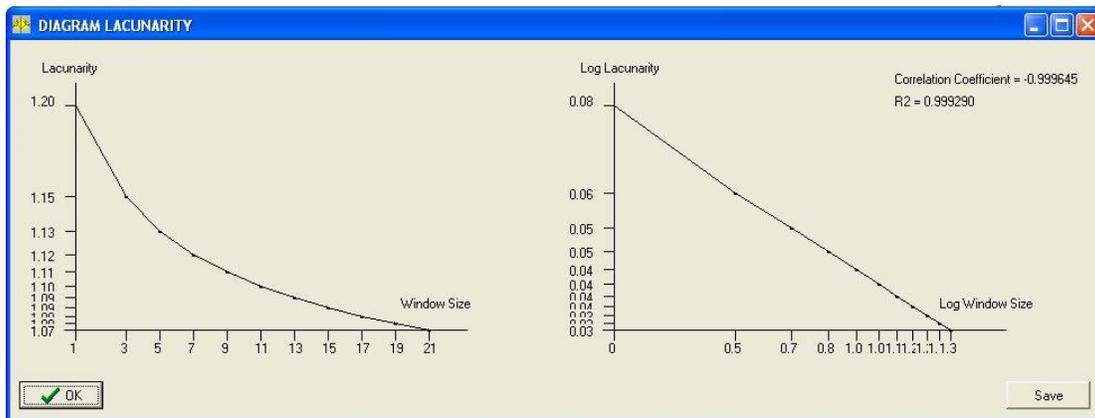


Figura 47. Diagramas resultantes.

### **Fract. Star (8 o 4)**

Este tratamiento toma en cuenta los valores  $z$  en tonos de gris y considera la imagen en tono de gris como un modelo digital de elevación donde  $z = f(x, y)$ , como es el caso para el cómputo de la dimensión fractal local (ver arriba). De hecho, siguiendo una dirección vertical o diagonal a partir del píxel estudiado, es posible calcular una longitud ( $l$ ) que corresponde a la suma de las hipotenusas ( $h$ ) que unen el valor del tono de gris de dos píxeles que se toman en cuenta en función del intervalo que les separa.

Se calcula la hipotenusa como sigue:  $h = \sqrt{d^2 + abs(P_0 - P_1)}$ , donde  $P_0$  y  $P_1$  están dos píxeles consecutivos según la distancia  $d$  de separación. Se nota que esta longitud disminuye cuando la distancia entre los píxeles aumenta (ver figura 48 proporcionada por el comando "**Fract. Star** . -> **Info**").

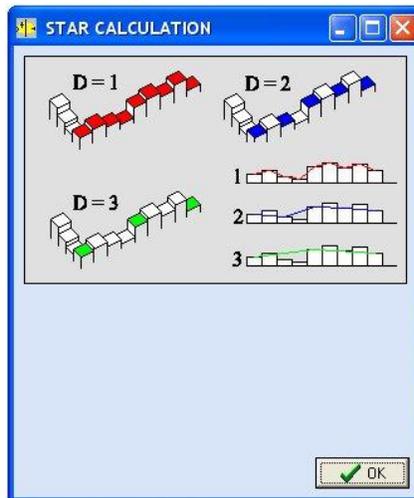


Figura 48. Cálculo de las distancias en el programa Fract. Star.

Es posible entonces calcular la pendiente  $\log(l)/\log(d)$  para obtener la dimensión fractal. Aunque la imagen tratada corresponde a una imagen en tonos de gris tridimensional, la dimensión obtenida se calcula en el espacio euclidiano 2D (1, 2), porque lo que se mide corresponde a una distancia.

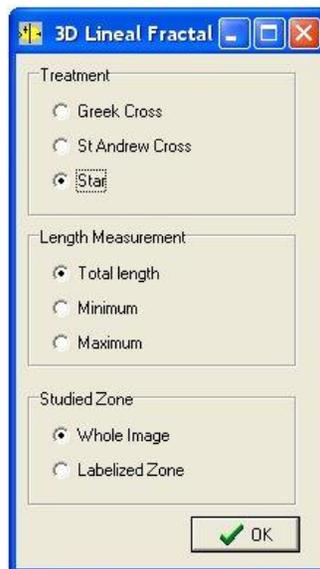


Figura 49. Condiciones de ejecución de la dimensión fractal radial.

Se realiza el cálculo utilizando la cruz griega (es decir considerando las direcciones cardinales), la cruz de San Andrés (que considera las direcciones diagonales) o finalmente calcular la distancia en 8 direcciones (estrella). Por otra parte, es posible seleccionar la longitud mínima, la longitud máxima, o la longitud promedio (ver Fig. 49). Si el cómputo y la imagen que resulta (Fig. 50) consideran todos los valores de la imagen gris del tono, este cálculo se pueden igualmente hacer en la superficie que corresponde a un objeto seleccionado después de hacer un etiquetaje o una binarización (Fig. 51).

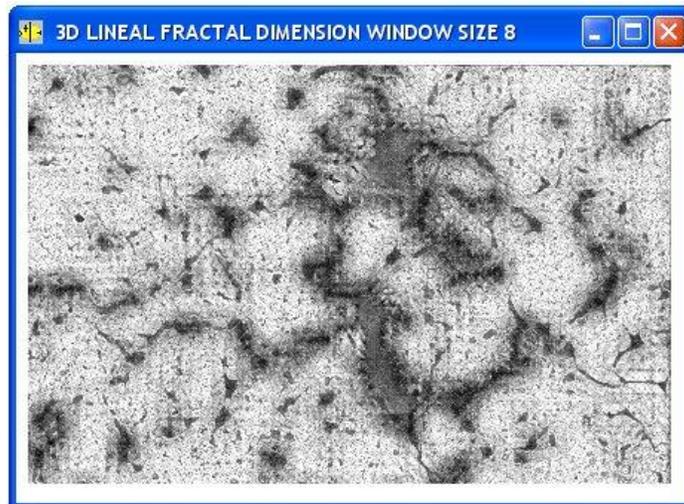


Figura 51. Imagen resultante de la dimensión fractal radial.

**NOTA 3:**

Por razones de computación, se separaron los tratamientos 8 y 4, pero son similares y se diferencian solamente por la distancia máxima empleada para hacer el cálculo.

**Prismatic Fractal**

Este calculo se basa sobre la noción de la medida de una superficie en el espacio tridimensional (Parrot, 2007). En el artículo mencionado, se trataba de medir el porcentaje de aumento de la superficie de una forma pasando del espacio bidimensional al espacio tridimensional. En el presente caso, se calcula la superficie tridimensional aumentando la distancia entre el píxel estudiado y los píxeles vecinos. Se toman en cuenta en primer lugar los vecinos inmediatos, después los vecinos que se encuentran a una distancia igual a 2 y finalmente los vecinos ubicados mas lejos.

En cada etapa, a partir del nivel del tono de gris de cada píxel (tono de gris que se considera como un valor de altitud) se definen ocho triángulos; la longitud de los tres lados de un triangulo permite medir el valor de la superficie utilizando la formula de Heron. Dicha formula es la siguiente:

$$St_{(n)} = \sqrt{\omega(\omega-L_1)(\omega-L_2)(\omega-L_3)}$$

donde  $L_1, L_2, L_3$  son las longitudes respectivas de lados de un triangulo,  $\omega = (L_1 + L_2 + L_3)/2$  y  $n$  el numero de orden del triangulo. La superficie total del prisma de rango  $m=1$  así creado corresponde a la suma de la superficie de los 8 triángulos que lo componen:  $S_{(m)} = \sum_{n=1,8} St_{(n)}$

Mas larga la distancia entre el píxel central y los píxeles vecinos tomados en cuenta, más suave se presenta la superficie del prisma en función del rango. De esta manera se puede definir un decremento que permite medir la dimensión fractal del píxel en estudio.

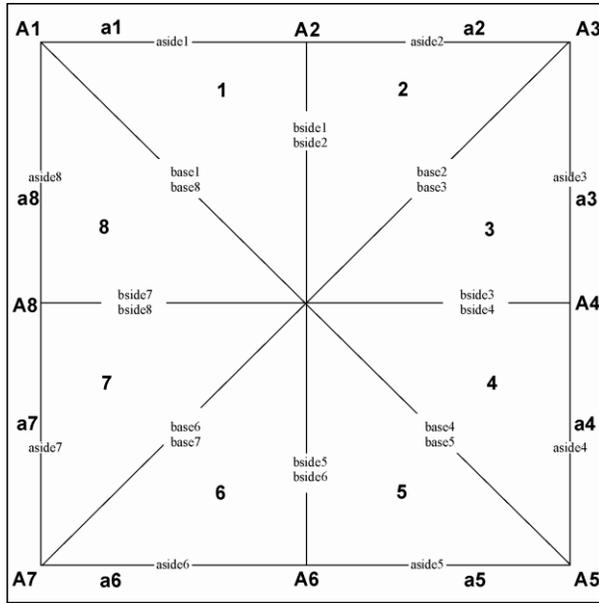


Figura 52. Calculo de la superficie tridimensional (en Parrot, 2007).

Se calcula de la misma manera las superficies siguientes. Por fin el valor propuesto para la dimensión fractal corresponde a 2 menos la pendiente  $\log(S_{(m)})/\log(m)$ . La imagen resultante (Fig. 54) proviene de una normalización entre 0 y 255 del valor de la dimensión fractal calculada para cada píxel. El valor mínimo, el valor máximo y el promedio se reportan en el informe general (Fig. 54).

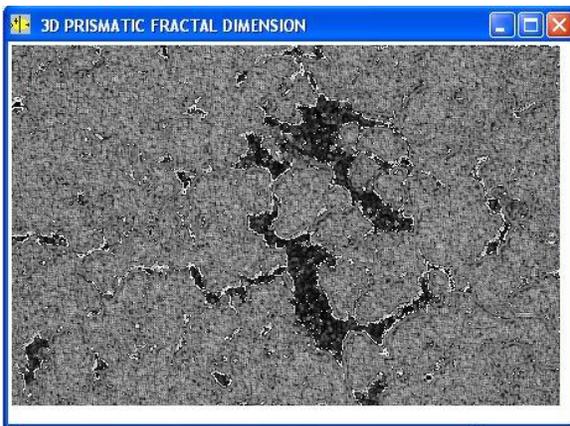


Figura 53. Prismatic fractal imagen



Figura 54. Resultados reportados en el informe general.

### Local Roughness

Esta función relativamente simple se contenta de hacer la suma de los tonos de gris dentro de una ventana móvil de  $3 \times 3$  y luego de dividir el resultado entre 9 (ver figura 55 proporcionada por el comando "Local Roughness. -> Info"). Tomando en cuenta el valor mínimo y el valor máximo encontrados en la imagen, se realiza una normalización entre 0 y

255. En realidad este tratamiento se puede utilizar para hacer rápidamente un umbral de la imagen en estudio (Fig. 56).

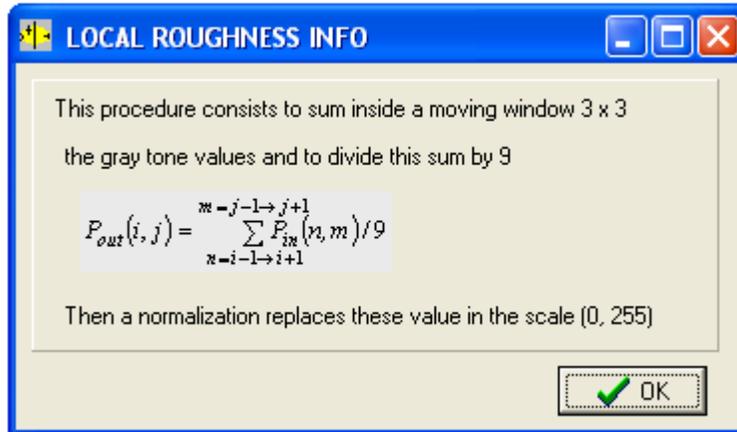


Figura 55. Información concerniente al tratamiento.

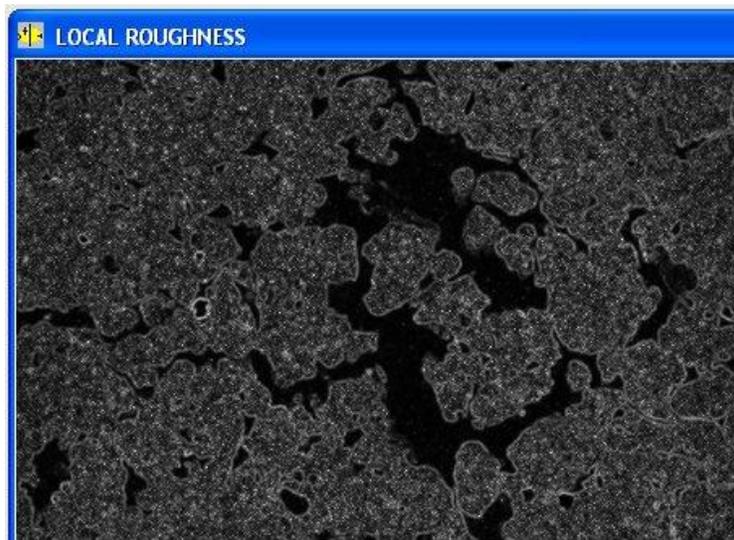


Figura 56. Ejemplo de resultado.

### Cubic Density

El proceso consiste en calcular la diferencia entre el píxel estudiado y los píxeles vecinos dentro de una ventana móvil de  $n \times n$  píxeles y replazar estos valores en un cubo de  $n \times n \times n$  cubitos. La columna correspondiente al píxel estudiado se llena hasta la altura  $n / 2$  (en realidad la altura es igual a  $A = (\text{int})[(n/2)+0.5]$  de tal manera que por ejemplo para un valor de  $n = 5$ ,  $A$  sea igual a 3). El llenado de todas las otras columnas depende de la diferencia entre el valor del píxel central y del píxel correspondiente a una columna y de el salto máximo entre los valores definido por el usuario. No se llena la columna si el valor del píxel es más pequeño que el valor del píxel central y si la diferencia excede el valor del salto. Al contrario la columna se llena totalmente si el valor del píxel es más grande que el

valor del píxel central y si la diferencia excede el valor del salto. Por otro lado, el llenado de los valores intermedios depende del valor del píxel y del rango que la diferencia ocupa dentro del salto.

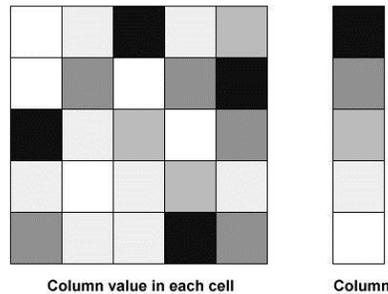


Figura 57. Llenado de los cubitos en una ventana  $5 \times 5$ . En este ejemplo se llenan un total de 26 cubitos. El número total de cubitos es igual a 125 y el radio es de 20.8.

Por ejemplo, si el salto es de 10, cada cubito para un cubo de  $5 \times 5 \times 5$  equivale a 5, es decir 10 arriba y 15 abajo. El resultado final es igual al número total de cubitos llenos  $C_l$  entre el número total  $N_c$  de cubitos dentro del cubo. Se debe notar que en realidad dentro de un cubo de  $5 \times 5 \times 5$ , un píxel aislado con valores de los píxeles vecinos más bajos que el salto, el número total de cubitos llenados es igual a 3 y que para un píxel aislado con valores de los píxeles más alto que el salto, el número total de cubitos llenados será igual a 123, lo que significa que se debe ponderar el radio  $C_l/N_c$  como se muestra en la figura 58.

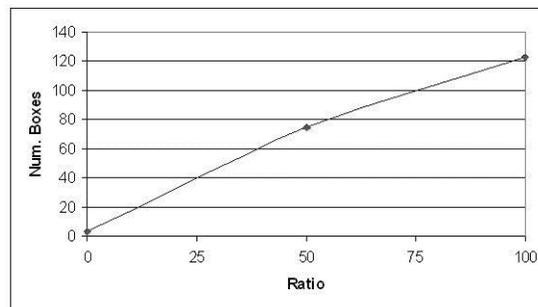


Figura 58. Relación entre el radio y el número de cubitos llenos.

El comando **Cubic Density** -> **Info** abre una ventana que describe el proceso (Fig. 59) y el comando **Cubic Density** -> **Treatment** abre una ventana de dialogo que permite introducir los parámetros (Fig. 59).

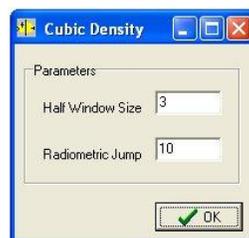


Figura 59. Parámetros requeridos para el tratamiento.

La figura 60 ilustra el resultado.

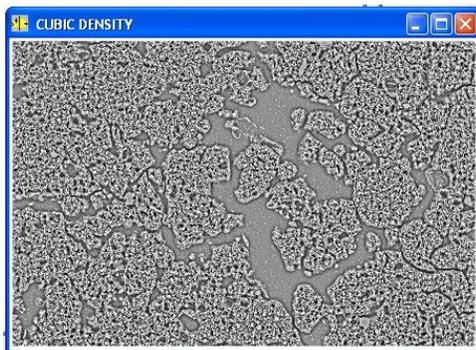


Figura 60. Imagen resultante.

### Morlet

Se aplica aquí una ondoleta, la ondoleta de Morlet que corresponde a una gaussiana multiplicada por un seno (ver formula en la ventana abierta por el comando **Morlet** -> **Info** (Fig. 61). La convolución depende del factor de reescalado  $\sigma$  y del tamaño de la matrice. La ventana de dialogo (Fig, 62) que inicia el tratamiento permite definir estos dos parámetros.

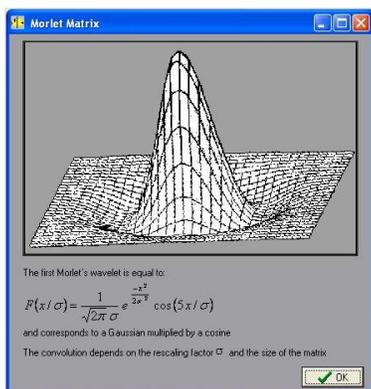


Figura 61. La primera forma de la ondoleta de Morlet.

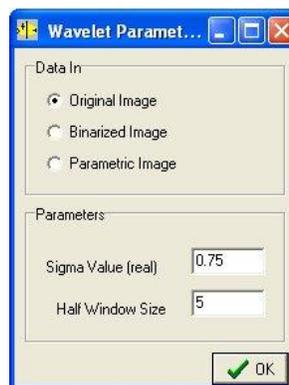


Figura 62. Parámetros

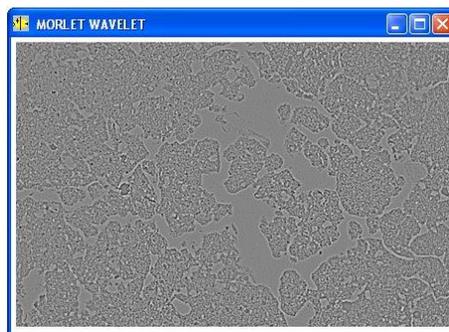


Figura 63. Imagen de la convolución correspondiente

## Pixel Density

Función en desarrollo.

## Gray Tones Sequence

Esta función extrae los valores en tonos de gris de una imagen, estableciendo una secuencia continua que permite calcular índices como el exponente de Hurst por ejemplo. El tratamiento abre una ventana de dialogo (Fig. 64) que permite elegir el tipo de imagen a tratar (original o resultando de un tratamiento anterior)

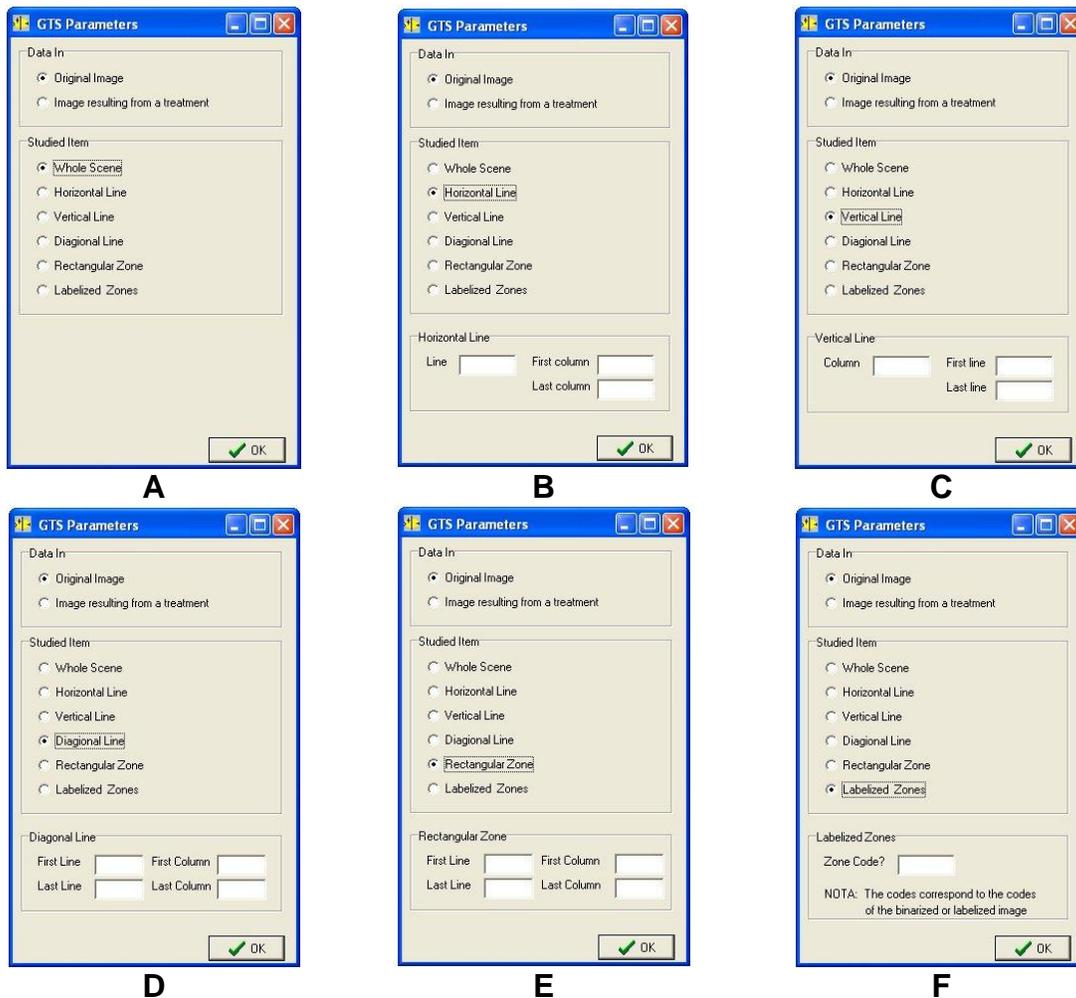


Figura 64. Ventana de dialogo que asegura la extracción de la secuencia. A. Escena completa; B. Línea horizontal; C. Línea vertical; D. Línea diagonal; E. Zona rectangular; F. En función de un objeto etiquetado.

Se presentan aquí dos ejemplos de resultado. El primero concierne una zona rectangular de 200 líneas sobre 300 columnas (Fig. 65). El segundo (Fig. 66) extrae los valores dentro de un tema etiquetado (forma en rojo sobre la figura 67).

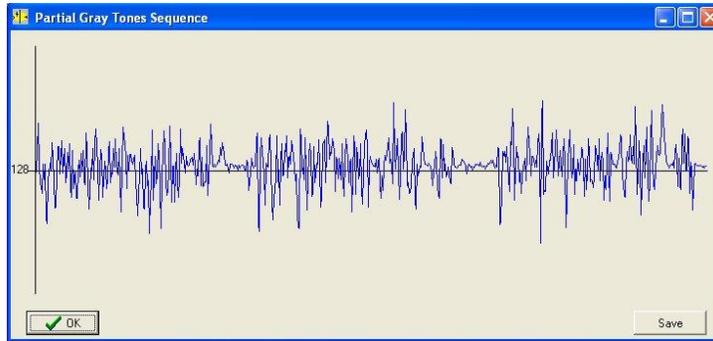


Figura 65. Gray Tone Sequence (GTS) de una zona rectangular.

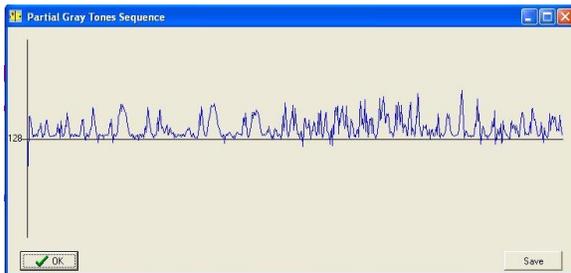


Figura 66. GTS de un objeto etiquetado.

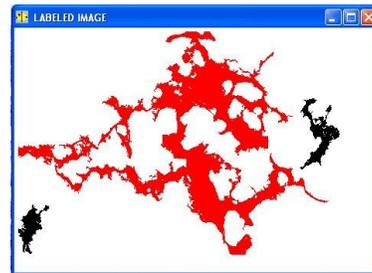


Figura 67. Objeto etiquetado.

Como anteriormente, el diagrama se puede salvar (Fig. 68) y activa el menú “**Diagram**” para visualizarlo de nuevo si es necesario así como el menú “**GTS Treatments**”. Cuando se guarda el diagrama, esta acción se menciona en el informe general. El diagrama se puede guardar en formato xls o ts.

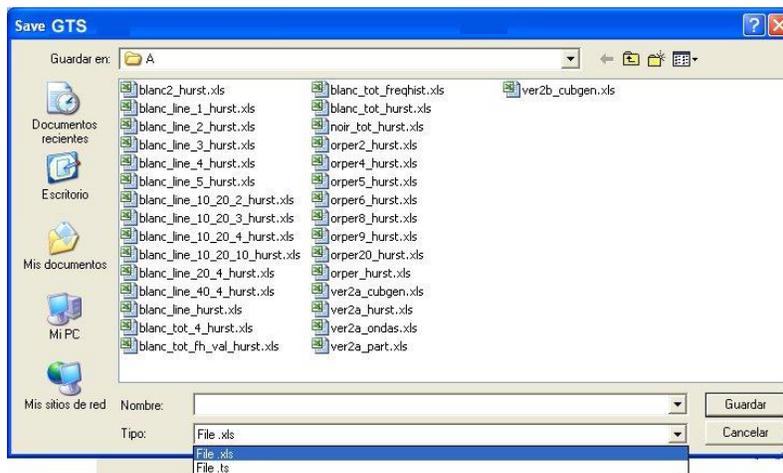


Figura 68. Ventana de dialogo permitiendo salvar el diagrama.

**NOTA 4:**

El formato ts permite utilizar el software comercial BENOIT que calcula varios índices relacionados con la dimensión fractal de series temporal auto-afines.

## Tratamientos aplicados a los diagramas secuenciales en tonos de gris (GTS)

Como se mencionó anteriormente, los diagramas secuenciales en tonos de gris, así como los diagramas relacionados con la orientación del perímetro se pueden asimilar a series en el tiempo, las cuales ofrecen la posibilidad de calcular diferentes índices fractales.

Este menú contiene diferentes opciones:

*General Info*

*Hurst exponent*

*Wavelet*

*First Number*

*Prim Number*

En esta versión del software, solamente dos funciones están activas por el momento.

*General Info*

Esta función abre una ventana con comentarios sobre los GTS (Fig. 69).

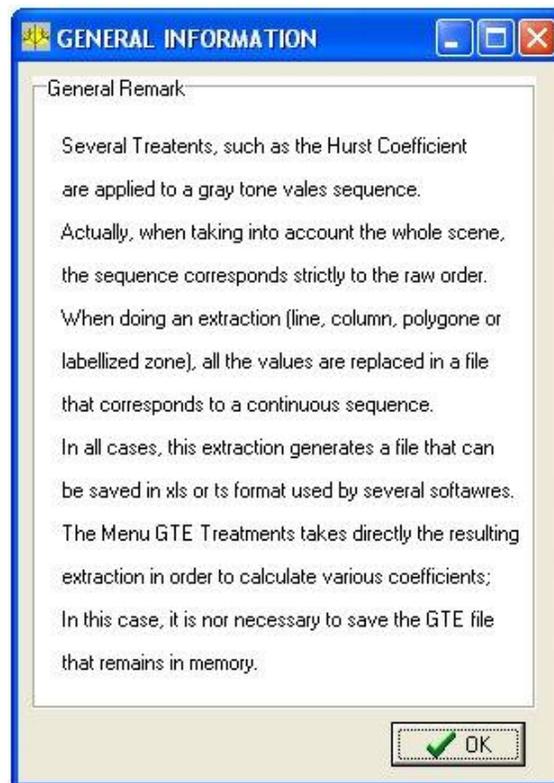


Figura 69. Descripción somera de los GTS.

## Hurst exponent

Dar una descripción de este exponent.

La ventana abierta (Fig. 70) por el comando **Hurst Exponent** -> **Info** enseña las formulas utilizadas para calcular la desviación estándar dentro de la ventana móvil que explora el diagrama.

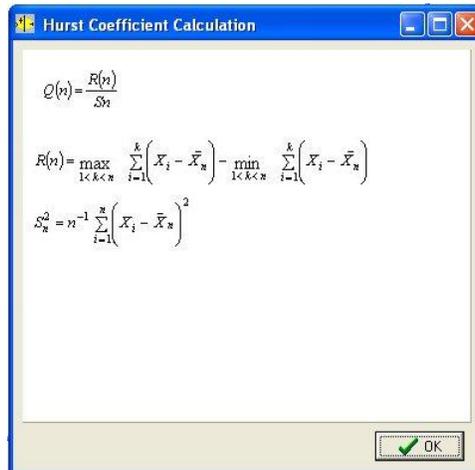

$$Q(k) = \frac{R(k)}{S_k}$$
$$R(k) = \max_{1 < k < n} \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}_n) - \min_{1 < k < n} \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}_n)$$
$$S_k^2 = n^{-1} \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}_n)^2$$

Figura 70. Información sobre el exponente de Hurst.

En función de la forma de la curva explorada, de la búsqueda de elementos permanentes se requiere definir un tamaño inicial para la ventana móvil, un factor de incremento y el número total de iteraciones necesarios para llegar al resultado. El programa calcula el  $R^2$  que debe acercarse del valor 1 para considerar la curva como una secuencia auto-afín. El usuario tiene que modificar estos parámetros (Fig. 71) para satisfacer estos requisitos.

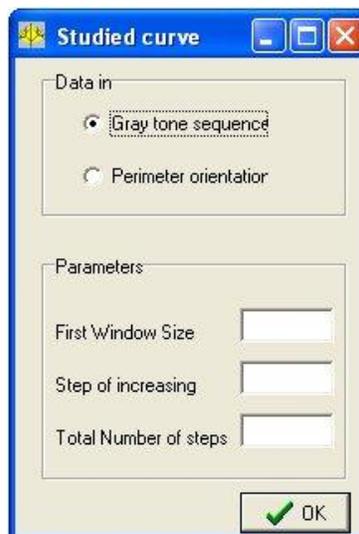


Figura 71. Parámetros para el cálculo del exponente de Hurst.

Se puede ejecutar el tratamiento tomando en cuenta un GTS o la orientación del perímetro (ver tratamiento *Perimeter Orientation*). Los parámetros respectivos corresponden respectivamente al tamaño de la primera ventana móvil, al factor de incremento y al número total de iteraciones.

Se genera una curva  $\log(\text{desviación estándar})/\log(\text{tamaño de la ventana})$  que se puede guardar cuando el resultado corresponde a la información requerida (Fig. 72).

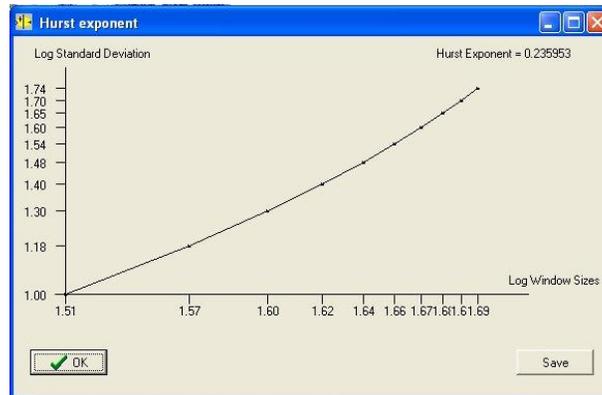


Figura 72. Exponente de Hurst.

## Menu "Tools"

El menú "Tools" (Herramientas) se activa cuando se abre una imagen después de dar un nombre al informa general. Las funciones son las siguientes:

Histo

Gray Tones Number

Print

Pins

Transferí

Thresholding

Segmentation

Fractal Thresholding

Funciones sirven para analizar los resultados (Histo, Gray Tones Number) y otras para dar informaciones que ayudan en la aplicación de un umbral (Thresholding, Segmentation, Fractal Thresholding)

Histo

Este modulo utilitario genera un histograma (Fig. 73) que se puede salvar en los formatos xls y ts. Una ventana de dialogo pide el tipo de imagen a estudiar (Fig. 74).

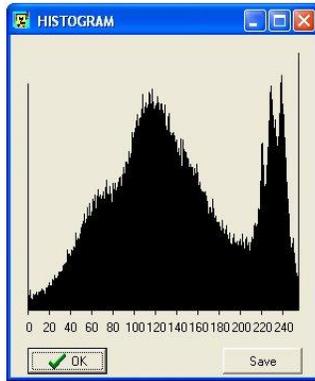


Figura 73. Histograma

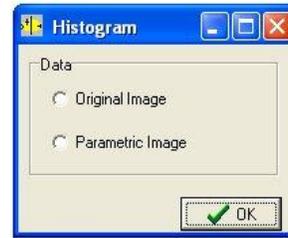


Fig. 74. Ventana de dialogo

### Gray Tones Number

Esta función indica cual es el número de tonos de gris en una imagen. En el caso de una imagen etiquetada, no se toma en cuenta el valor del fondo (255) lo que permite saber directamente cuantas formas etiquetadas se encuentran en la imagen.



Figura 75. Ventana de dialogo.



Figura 76. Dos tipos de respuesta.

### Print

El software FROG ofrece la posibilidad de imprimir las imágenes provenientes de los tratamientos (Fig. 77). Se necesita configurar la impresora.

### Pins

Esta función asegura un estiramiento de los valores en relación con la configuración y los valores de los píxeles vecinos. Se toman en cuenta dentro de una ventana móvil los píxeles cardinales o los 8 píxeles vecinos y se suman estos valores al valor del píxel estudiado.

Tomando en cuenta el valor mínimo y el valor máximo de todas estas sumas, se normalizan los valores entre 0 y 255.

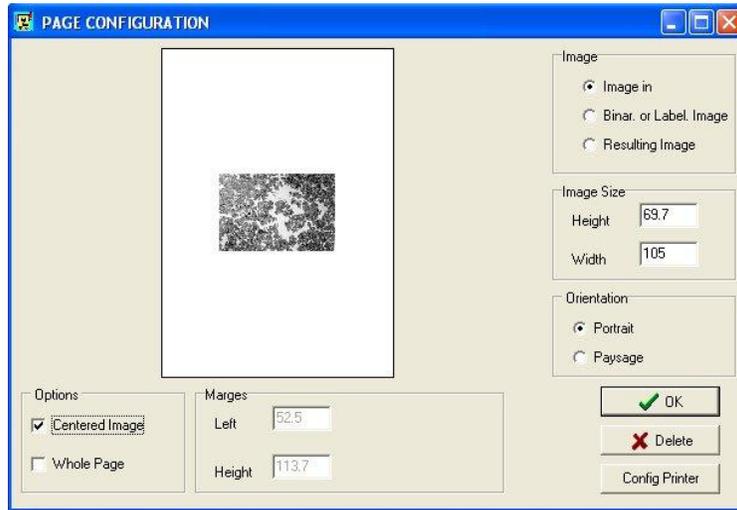


Figura 77. Configuración de la impresora.

Una ventana de dialogo (Fig. 78) permite indicar cual tipo de imagen se debe utilizar, la configuración del entorno y el nivel de saturación. De hecho, el programa puede definir el porcentaje de valores de los pies del histograma que se van a saturar.

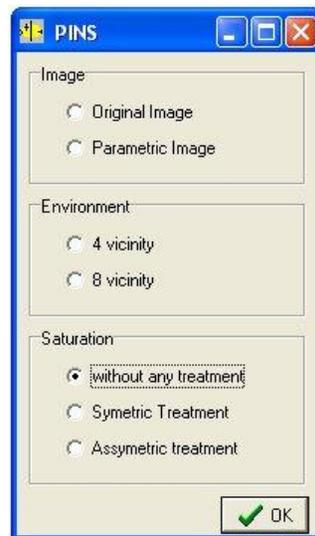


Figura 78. Ventana de dialogo para la función Pins.

Las imágenes 79 y 80 ilustran el resultado del tratamiento Pins. En la figura 79 se da al lado de la imagen de la rugosidad (función ***Local Roughness*** del menú “**Gray Tones Treat.**”) el histograma correspondiente y en la figura 80 el resultado del tratamiento Pins (8 píxeles de entorno y tratamiento asimétrico: 0.2 para los valores inferiores y 0.8 por los valores superiores) así como el histograma de la imagen estirada.

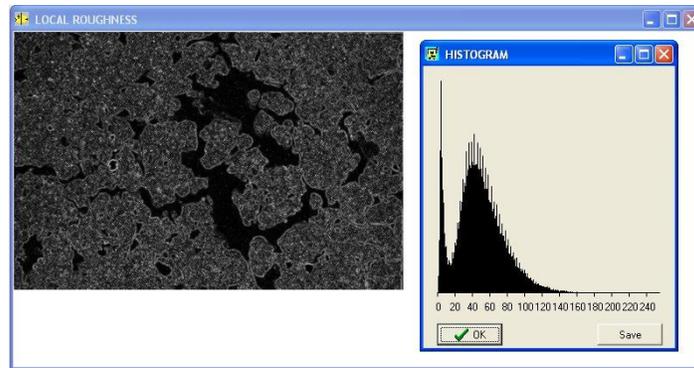


Figura 79. Imagen sin estiramiento.

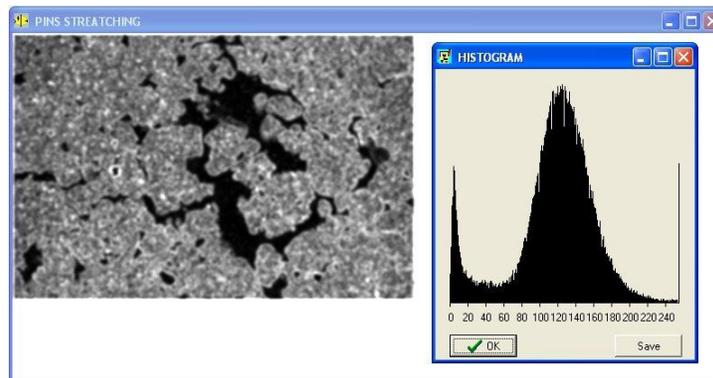


Figura 80. Resultado del estiramiento.

### Transferí

Función inactiva en la presente versión.

### Thresholding

Este modulo permite segmentar una imagen con diferentes colores con una ventana interactiva (Fig. 81).



Figura 81. Funciones del umbral.

Se elige la imagen a segmentar (en Data\_in) y después se selecciona un color (en Color and Threshold). Esta selección abre la paleta de color (Fig. 82).



Figura 82. Paleta de color.

Una vez elegido el color del segmento, se utiliza la barra de la sección “Dynamic Scale” para incrementar la dinámica del segmento en estudio. El valor del máximo aumenta regularmente hasta que se de el orden “Next Segment”. En este momento el mínimo del segmento siguiente corresponde al máximo del anterior mas uno. Se selecciona otro color y se define progresivamente el valor máximo del nuevo segmento (ver figuras 83, 84 y 85). Utilizando el orden “Exit” el tratamiento se acaba.

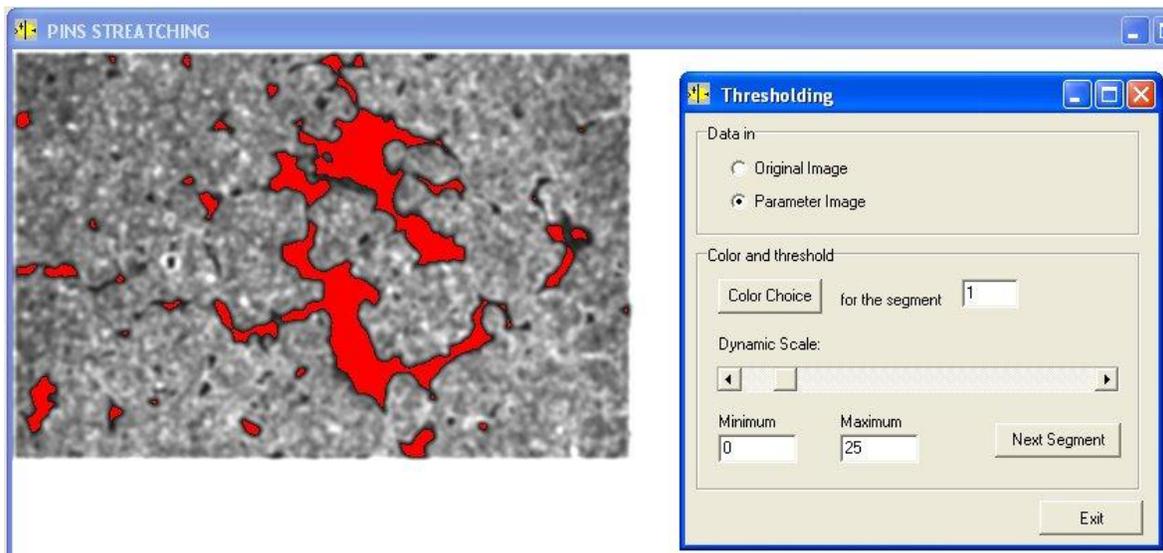


Figura 83. Primer segmento entre 0 y 25 (Color rojo).

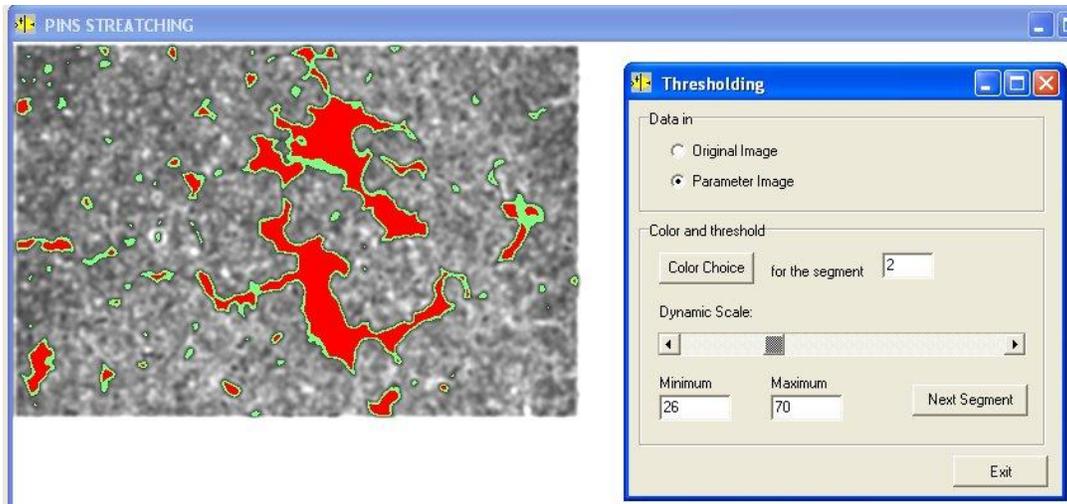


Figura 84. segundo segmento entre 26 y 70 (color verde).

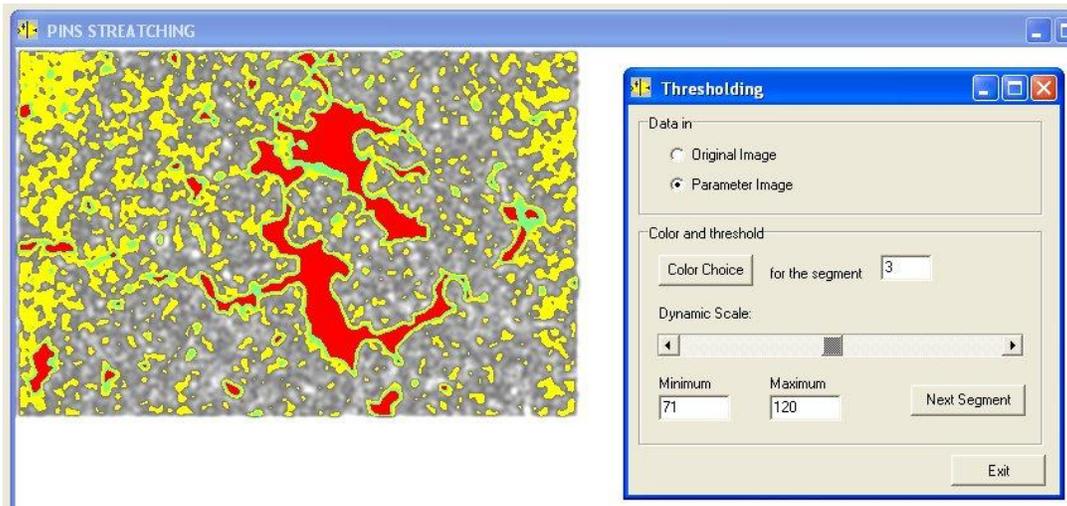


Figura 85. Segmento 3 entre 71 y 120 (color amarillo).

### Segmentation

Segmentación automatizada no desarrollada en la presente versión.

### Fractal Thresholding

Se puede explorar la respuesta fractal de una imagen haciendo un barrido y calculando la dimensión fractal a partir de un rango de valores. Existen tres opciones (Fig. 86): se incrementa a partir del origen el rango de valores con un paso definido (*"Scanning form the origin"*); se analiza el valor de la dimensión fractal en un paso que se desliza regularmente (*"Jumping"*); por fin, se analizan los valores de la dimensión tomando en cuenta el valor máximo de los tonos de gris reduciendo progresivamente el rango de observación (*"Scanning until the last value"*).

Se tiene también que definir el paso que debe ser superior a 1.

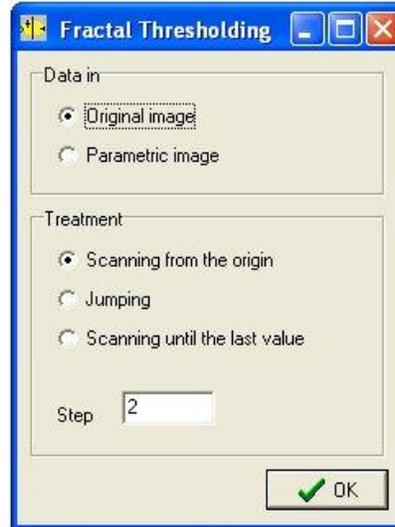


Figura 86. Parámetros del umbral fractal.

Las figuras 87, 88 y 89 ilustran los resultados obtenidos con un paso igual a 10.

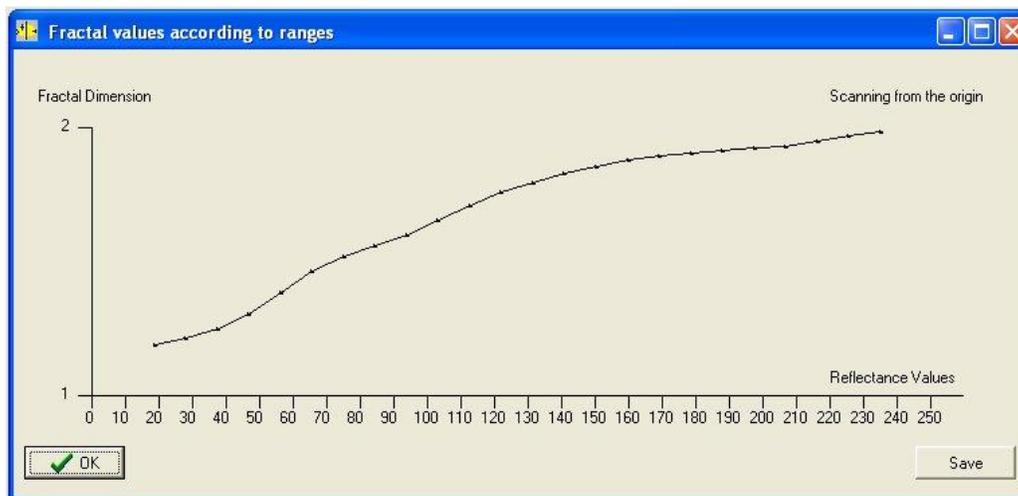


Figura 87. Barrido a partir del origen.

Como en los casos anteriores, cada uno de estos diagramas se puede salvar. Estos resultados ayudan a segmentar la imagen original o las imágenes provenientes de diferentes tipos de tratamiento en tonos de gris.

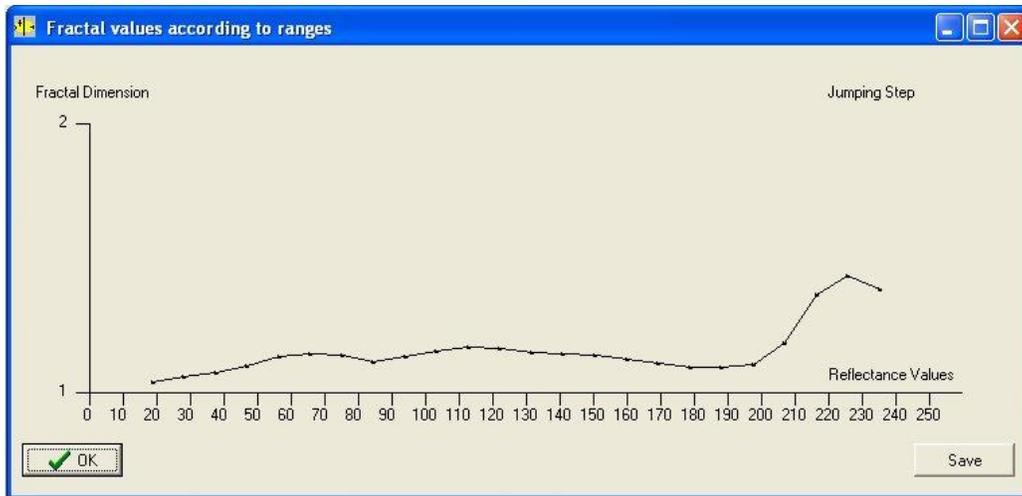


Figura 88. Valor de la dimensión fractal dentro de un rango de tonos de gris.

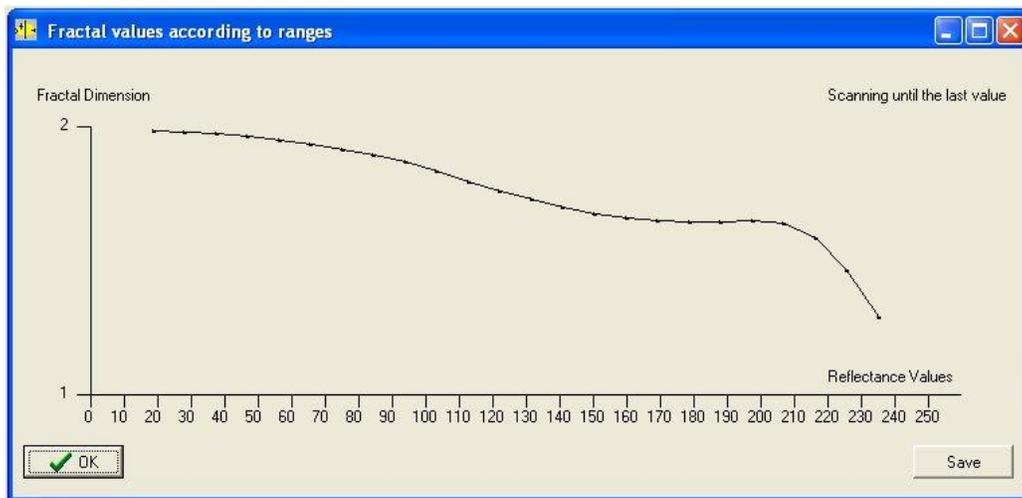


Figura 89. Barrido con el máximo como punto de referencia.

## Menu “About”

El menú “**About**” tiene dos comandos. El primero se relaciona con el copyright del producto y el segundo (***Infos***) da informaciones generales sobre los rasgos principales del producto, sus limitaciones y las configuraciones requeridas.

## Menu “Window”

El menú “**Window**” concierne el arreglo de las imágenes utilizando las funciones ***Cascade***, ***Tile***, ***Previous*** y ***Next***.

## Botones de comando de la barra de herramientas

Hay 9 botones de comando en la barra de herramientas (Fig. 90)..

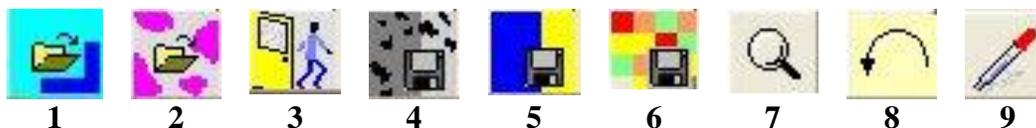


Figura 90. Los 9 botones de comando.

El primer botón (*Open Gray Tone File*) permite abrir una imagen en tonos de gris. Tiene la misma función que el comando **Open Gray Tone Image** en el menú “Files”.

El segundo botón (*Open Binary File*) permite abrir una imagen binaria. Tiene la misma función que el comando **Open BinaryImage** en el menú “Files”.

El tercer botón (*Exit*) que se activa cuando se abre una imagen cierre la sesión. Tiene la misma función que el comando **Exit** en el menú “Files”.

El cuarto botón (*Save Original Transform Image*) se activa cuando un tratamiento modifica la imagen original en tono de gris (por ejemplo a partir de la función **Thresholding** del menú “Tools”) y permite salvar las modificaciones de la imagen original.

El botón 5 (*Save Binarized Image*) se activa cuando se genera una imagen binaria o una imagen etiquetada lo que permite salvar esta imagen.

El botón 6 (*Save Resulting Image*) se activa cuando a partir de un tratamiento sobre la imagen original se genera una nueva imagen (por ejemplo, la dimensión fractal local, la rugosidad o las ondoletas de Morlet).

El botón 7 (*Zoom*) se activa cuando se abre una imagen y corresponde a la función Zoom. Se debe botar que el uso del zoom indica entre otros en la banda superior de la imagen cual es el factor de incremento o de decremento.

El botón 8 se activa cuando se aplica la función **Pins** del menú “Tools”. Permite regresar al estado anterior.

Finalmente el botón 9 (*Pipette*) se activa cuando se crea una imagen etiquetada. Permite atribuir un color a cada forma etiqueta; cuando se hace un clic sobre una objeto la ventana de los colores se abre.

Por otro lado, el cursor (flecha) indica cual es el valor del píxel y su posición en línea y columna. Estas indicaciones aparecen en la banda inferior que también muestra cual es el tamaño de la imagen (líneas y columnas).

## El informe General

Se menciona todos los tratamientos efectuados a partir de la imagen original. También se indica el nombre de las imágenes guardadas y donde se ubican, así como el nombre de los diagramas y el lugar se salvaron. Se da aquí un ejemplo.

FROG.Version 1  
Jean-Francois PARROT  
Copyrigh Geographical Institute, UNAM, Mexico

Global Report concerning the treatments applied to the image  
C:\images\A\Ver2a.raw

Image Size:  
lines 298 columns 449

### GLOBAL 3D FRACTAL DIMENSION

measured in a square zone (298 x 298)  
Fractal Dimension = 2.964930  
Correlation Coefficient = 0.250846

### BINARIZATION

applied to the original image

Min = 180 Max = 255  
Item Value = 1  
Background = 255  
Isolated pixels eliminated  
Item: pixels number = 25549 percentage = 19.09  
Background: pixels number = 108253 percentage = 80.91

### LINEAL FRACTAL DIMENSION

Horizontal scanning  
applied to the binary image  
Code of the item: 1

Number of traces: 298  
Mean slope = -0.684368  
Fractal dimension = 1.684368  
Global slope = -0.667339  
Fractal dimension = 1.667339

Horizontal Segment Counting Diagram registered  
in the file C:\images\A\Linfract.xls

## BOX COUNTING

applied to the binary image

Type of Treatment (Treatment 1):

cutting the image in a testing border range

Value of the range: 20

Size of the resulting image:

lines = 288 column = 432

Number of dividers in the resulting image: 15

dividers : 1 2 3 4 6 8 9 12 16 18 24 36 48 72 144

Code of the studied item = 1

Fractal Dimension = 1.626092

Box Counting Diagram registered

in the file C:\images\A\Box\_counting.xls

## PROGRESSIVE BOX COUNTING TREATMENT

Step = 0.500000

Fractal Dimension = 1.558034

Progressive Box Counting Diagram registered

in the file C:\images\A\Progressive Box\_counting.xls

## LABELING

applied to the binary image

Min Size = 400 Max Size = 37351

Number of items = 4

item 1 number of pixels 410 percentage versus image = 0.31 percentage versus  
items = 1.67

item 2 number of pixels 21740 percentage versus image = 16.25 percentage  
versus items = 88.37

item 3 number of pixels 1471 percentage versus image = 1.10 percentage  
versus items = 5.98

item 4 number of pixels 981 percentage versus image = 0.73 percentage versus  
items = 3.99

## RESIZING BOX COUNTING

applied to the labeled image

Treatment applied to all the 4 items

Item number 1 Number of pixels 410 Fractal Dimension = 1.5209

Item number 2 Number of pixels 21740 Fractal Dimension = 1.7110

Item number 3 Number of pixels 1471 Fractal Dimension = 1.6323  
Item number 4 Number of pixels 981 Fractal Dimension = 1.7106

## FRACTAL DIMENSION OF THE PERIMETER

applied to the labeled image

Treatment applied to all the 4 items

Item 1 Slope -0.652654	Ratio 1.652654
Item 2 Slope -0.615903	Ratio 1.615903
Item 3 Slope -0.639421	Ratio 1.639421
Item 4 Slope -0.470469	Ratio 1.470469

## PERIMETER ORIENTATION

applied to the labeled image

## PATTERN RECOGNITION

applied to the labeled image

Size of the researched items:

Minimum: 400 Maximum: 37351

Corresponding .xls File registered

in the file C:\images\A\Patern Parameters.xls

Number of items = 4

## PARAMETERS OF THE ITEM 1

Initial surface (in pixels) = 410 (in meters) = 410.000000  
Gravity center  $i = 15$   $j = 69$   
Perimeter (in pixels) = 183 (in meters) = 183.000000  
Recalculated Surface (in pixels) = 318.500000 (in m<sup>2</sup>) = 318.500000  
Perimeter Length (in pixels) = 287.508000 (in meters) = 287.508000  
Rodondity (in pixels) = 81.680488  
Ratio perimeter/surface (in pixels) = 44.634146 (euclidian) = 90.269388  
Convexity Index = 44.711014  
Convex Perimeter = 108  
Perimeter Convexity Index [RCI] = 59.016393  
Number of Holes = 3  
Number of hole pixels = 5  
Size of the Holes :  
min = 1 max = 3 mean = 1  
Porosity Rate (Percentage) = 1.204819  
Convex Porosity Rate (Percentage) = 0.545256  
External Convexity Index = 45.256270

External Perimeter Convexity Index = 62.068966  
Perimeter (in pixels) = 183  
Radius of the corresponding circle = 10.068848  
Perimeter of the corresponding circle = 63.264437  
RATIO = 2.892620  
External Perimeter (in pixels) = 265.126000(in meters) = 265.126000  
External RATIO = 4.190759

## PARAMETERS OF THE ITEM 2

Initial surface (in pixels) = 21740 (in meters) = 21740.000000  
Gravity center i = 145 j = 230  
Perimeter (in pixels) = 4872 (in meters) = 4872.000000  
Recalculated Surface (in pixels) = 19304.000000 (in m2) = 19304.000000  
Perimeter Length (in pixels) = 7352.674000(in meters) = 7352.674000  
Rodondity (in pixels) = 1091.829991  
Ratio perimeter/surface (in pixels) = 22.410304 (euclidian) = 38.088862  
Convexity Index = 29.809815  
Convex Perimeter = 949  
Perimeter Convexity Index [RCI] = 19.478654  
Number of Holes = 117  
Number of hole pixels = 3200  
Size of the Holes :  
min = 1 max = 952 mean = 27  
Porosity Rate (Percentage) = 12.830794  
Convex Porosity Rate (Percentage) = 4.387829  
External Convexity Index = 34.197644  
External Perimeter Convexity Index = 25.517612  
Perimeter (in pixels) = 4872  
Radius of the corresponding circle = 78.387844  
Perimeter of the corresponding circle = 492.525348  
RATIO = 9.891877  
External Perimeter (in pixels) = 5330.240000 (in meters) =  
5330.240000  
External RATIO = 10.822265

## PARAMETERS OF THE ITEM 3

Initial surface (in pixels) = 1471 (in meters) = 1471.000000  
Gravity center i = 136 j = 395  
Perimeter (in pixels) = 429 (in meters) = 429.000000  
Recalculated Surface (in pixels) = 1256.500000 (in m2) = 1256.500000  
Perimeter Length (in pixels) = 630.608000 (in meters) = 630.608000  
Rodondity (in pixels) = 125.112848  
Ratio perimeter/surface (in pixels) = 29.163834 (euclidian) = 50.187664  
Convexity Index = 40.736638  
Convex Perimeter = 226

Perimeter Convexity Index [RCI] = 52.680653  
Number of Holes = 16  
Number of hole pixels = 65  
Size of the Holes :  
min = 1 max = 39 mean = 4  
Porosity Rate (Percentage) = 4.231771  
Convex Porosity Rate (Percentage) = 1.800055  
External Convexity Index = 42.536693  
External Perimeter Convexity Index = 66.863905  
Perimeter (in pixels) = 429  
Radius of the corresponding circle = 19.998909  
Perimeter of the corresponding circle = 125.656853  
RATIO = 3.414060  
External Perimeter (in pixels) = 460.762000(in meters) = 460.762000  
External RATIO = 3.666827

#### PARAMETERS OF THE ITEM 4

Initial surface (in pixels) = 981 (in meters) = 981.000000  
Gravity center i = 256 j = 20  
Perimeter (in pixels) = 244 (in meters) = 244.000000  
Recalculated Surface (in pixels) = 859.000000 (in m2) = 859.000000  
Perimeter Length (in pixels) = 366.342000 (in meters) = 366.342000  
Rodondity (in pixels) = 60.689093  
Ratio perimeter/surface (in pixels) = 24.872579 (euclidian) = 42.647497  
Convexity Index = 60.780669  
Convex Perimeter = 151  
Perimeter Convexity Index [RCI] = 61.885246  
Number of Holes = 7  
Number of hole pixels = 15  
Size of the Holes :  
min = 1 max = 7 mean = 2  
Porosity Rate (Percentage) = 1.506024  
Convex Porosity Rate (Percentage) = 0.929368  
External Convexity Index = 61.710037  
External Perimeter Convexity Index = 70.560748  
Perimeter (in pixels) = 244  
Radius of the corresponding circle = 16.535664  
Perimeter of the corresponding circle = 103.896643  
RATIO = 2.348488  
External Perimeter (in pixels) = 309.750000(in meters) = 309.750000  
External RATIO = 2.981328

#### LACUNARITY

applied to the gray tone image

K Min. = 0 K Max. = 10

window size = 1 until 21

K value	window	lacunarity	log X	log Y
0	1	1.202591	0.000000	0.080118
1	3	1.149955	0.477121	0.060681
2	5	1.129629	0.698970	0.052936
3	7	1.116360	0.845098	0.047804
4	9	1.106237	0.954243	0.043848
5	11	1.098040	1.041393	0.040618
6	13	1.091210	1.113943	0.037908
7	15	1.085435	1.176091	0.035604
8	17	1.080454	1.230449	0.033606
9	19	1.076004	1.278754	0.031814
10	21	1.072076	1.322219	0.030226

Correlation Coefficient = -0.999645 R2 = 0.999290

Lacunarity Diagram registered  
in the file C:\images\A\Lagunarity.xls

#### LOCAL ROUGHNESS

Min = 0.000000 Max = 149.888889

Local Roughness registered as: C:\images\A\Local Roughness.bmp

#### MORLET WAVELET

Applied to the Original Image

Morlet wavelet registered as: C:\images\A\Morlet.bmp  
Gray Tone Sequence [GTS] registered  
in the file C:\images\A\GTS.ts

#### EXPLORATION OF THE LINEAL FRACTAL RESPONSE

applied to the original image

Jumping  
Step = 10

10	1.194342
20	1.044659
30	1.063977
40	1.078557
50	1.102408
60	1.139594
70	1.149973

80	1.141853
90	1.118251
100	1.139528
110	1.157846
120	1.172033
130	1.166053
140	1.152563
150	1.146539
160	1.142540
170	1.129868
180	1.110707
190	1.098361
200	1.097775
210	1.108115
220	1.187805
230	1.367198
240	1.439453
250	1.389158

## Observaciones generales

Hice este software agregando una parte de todos los módulos desarrollados en los años anteriores en el ambiente MsDos. Se pretende agregar otros módulos en la siguiente versión. Como se puede notar en este fascículo, se mencionan algunas pocas opciones que no se implementaron todavía en la versión 1 del software FROG.

Para cualquier duda o explicaciones suplementarias, contactarme a las direcciones siguientes:

[parrot@igg.unam.mx](mailto:parrot@igg.unam.mx) y [jfparrot@hormail.com](mailto:jfparrot@hormail.com)

México, el 23 de abril de 2009

Dr. Jean-Francois Parrot  
Laboratorio de Análisis GeoEspaciales,  
Instituto de Geografía,  
Universidad Nacional Autónoma de México  
México D.F.