

Ejemplo de aplicación de la Dimensión Fractal en Medicina

El cáncer de mama es la enfermedad de las mujeres más común en el mundo moderno. Las estadísticas muestran que el riesgo de la mujer de desarrollar este tipo de patología es de 1/8. La mamografía es la herramienta más eficaz para la detección y diagnóstico de lesiones de mama. En las últimas décadas, los exámenes médicos se convirtieron en un acto regular, por lo que la cantidad de mamografías interpretadas por un radiólogo han aumentado dramáticamente. Como resultado, se está llevando a cabo desde hace dos décadas un movimiento científico para desarrollar un Diagnóstico Asistido por Ordenador de Mamografías (CADM).

Uno de los componentes más importantes en un CADM es clasificar la lesión. La similitud entre el tejido de la mama y de los fractales generados sintéticamente se muestra en la Figura 1 (Sari-Sarraf et al., 1996) sugieren que las propiedades fractales, tales como la dimensión fractal, puede ser utilizado como un clasificador.

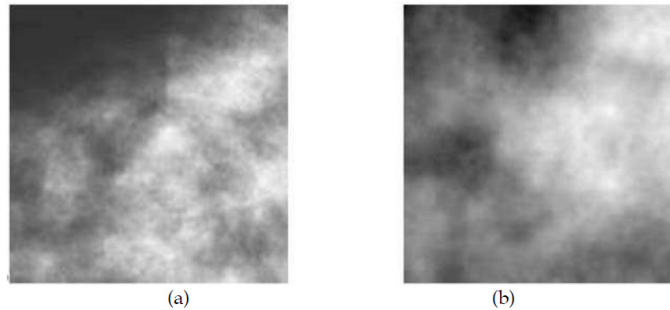
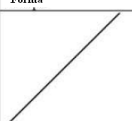
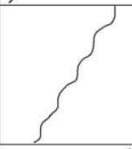
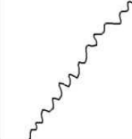


Figura. 1. Similitud entre el tejido mamario (a) y fractales generados sintéticamente (b)

La *dimensión fractal* mide la complejidad de un objeto. Este indicador crece a medida que la forma es más irregular, como se puede ver en la siguiente tabla. Esta observación será muy útil para poder caracterizar lesiones mamográficas.

Tabla 1. La dimensión fractal crece a medida que la forma es más irregular

Forma	Dimensión Fractal
	Df = 1
	Df = 1.27
	Df = 1.46

Clasificación BI-RADS

BI-RADS (Breast Imaging Reporting y Data System) es un sistema muy complejo propuesto por el Colegio Americano de Radiología (ACR) para clasificar las lesiones mamográficas. La finalidad del sistema BI-RADS es estandarizar el reporte mamográfico para reducir la confusión en la interpretación de imágenes de mama y facilitar el seguimiento de los resultados. El sistema BI-RADS consta de cinco categorías de 1 a 5; cada uno de ellas caracteriza un tipo de lesión mamográfica e implica una acción determinada como tratamiento.

Resumidamente, las cinco categorías son:

- BI-RADS 1 - la categoría se refiere a los casos negativos
- BI-RADS 2 - también describe una lesión negativa, pero en este caso el intérprete podría desear describir un hallazgo
- BI-RADS 3 - la tercera categoría se refiere a un hallazgo probablemente benigno, en este caso se sugiere un corto intervalo de seguimiento.
- BI-RADS 4 - caracteriza a las lesiones que no tienen las características morfológicas de cáncer de mama, pero tienen una probabilidad definida de ser malignas. En esos casos, el radiólogo puede recurrir a una biopsia.
- BI-RADS 5 - caracteriza a las lesiones que tienen una alta probabilidad de ser cáncer

Hipótesis y experimentos

Al categorizar una anomalía mamográfica, el radiólogo tiene que observar varias propiedades de la lesión:

- El contorno de la forma
- Localización
- Dimensión
- Densidad
- El número y *bilarity* de las anomalías
- La presencia o ausencia de microcalcificaciones asociadas.

Una de las características más importantes es la forma del contorno de: un contorno regular se asocia a un caso benigno, mientras que una forma irregular que caracteriza a una lesión maligna. Como muestra en la Tabla 1, la dimensión fractal crece con la irregularidad de la forma, lo que podría ser un elemento esencial de observación con el fin de clasificar a las lesiones BI-RADS 4, sin necesidad de más investigaciones o biopsias.

La dimensión fractal puede proporcionar una herramienta para la clasificación: las lesiones con un contorno regular son más probablemente benignas, mientras que las lesiones con un contorno de forma irregular apuntan a ser malignas.

Un experimento estadístico fue desarrollado en una cantidad de 30 casos. La hipótesis de lesiones clasificadas BI-RADS 4 fue probada sobre estos casos, 18 casos benignos y 12 cánceres proporcionados por el Departamento de Imágenes Médicas de Bucarest. Cada mamografía fue analizada mediante los siguientes pasos:

Paso 1 - El radiólogo traza un FAR (Región centro de atención), mediante el uso de un cursor móvil. El tamaño del área puede ser de 64x64, 128x128, 256x256 o 512x512. La selección debe contener la anomalía y se basa en la experiencia del radiólogo. Mover la selección hacia la izquierda o derecha, superior o inferior no influye en los resultados del análisis.

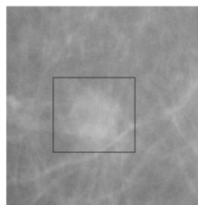


Figura. 2. Un FAR trazado por el radiólogo.

Paso 2 - la imagen se digitaliza mediante el uso de un umbral entre 1-255 niveles de gris: todos los píxeles cuyo nivel de gris es mayor o igual que el umbral se transformarán en píxeles

blancos; el resto se convertirá en negro. En este punto, las formas dentro de la imagen son de color blanco sobre un fondo negro.



Figura. 3. Las FAR se digitalizan, los píxeles blancos son parte de la forma sobre un fondo negro.

Paso 3 - el contorno es automáticamente trazado: una vez que la imagen se binariza, el siguiente paso es trazar un esbozo de las áreas blancas: todos los píxeles blancos que tienen al menos un negro vecino se convertirá en parte del contorno (cada píxel tiene 8 vecinos: N, NE, E, SE, S, SV, V, NV). El resto de los píxeles se transforma en píxeles negros.

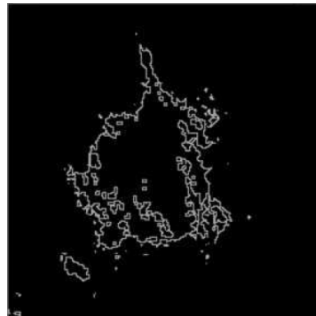


Figura. 4. Se traza el contorno – un contorno de las áreas blancas.

Paso 4 - Se calcula la dimensión fractal del contorno mediante el algoritmo box-counting. El resultado es 1.36.

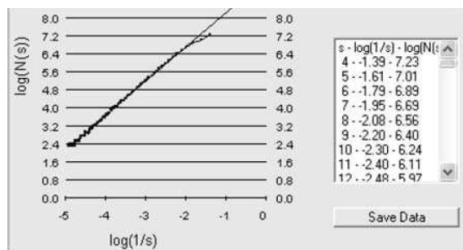


Figura. 5. El algoritmo box-counting da la dimensión fractal de 1.36.

Los resultados de 30 casos de lesiones clasificadas BI-RADS 4 son los siguientes: las lesiones benignas tienen dimensiones fractales más bajas, entre 1-1.50, pero las lesiones malignas tienen mayores dimensiones, entre 1.35-2.

Tabla 2. Las dimensiones fractales en 30 lesiones mamográficas

Lesiones	Dimensión Fractal	Casos
Benignos(18)	<1.4	16 (89%)
	>1.4	2 (11%)
Malignos (12)	<1.4	1 (8%)
	>1.4	11 (92%)

En la Figura 6 se presenta el resultado estadístico basado en el estudio fractal. Las dimensiones fractales correspondientes a 16 casos benignos están situadas por debajo del umbral 1.4, mientras que sólo en dos casos benignos tienen mayores dimensiones, por su parte, 11 casos malignos tienen una mayor dimensión fractal, por encima de 1.4 y sólo un caso está por debajo del umbral de 1.4.

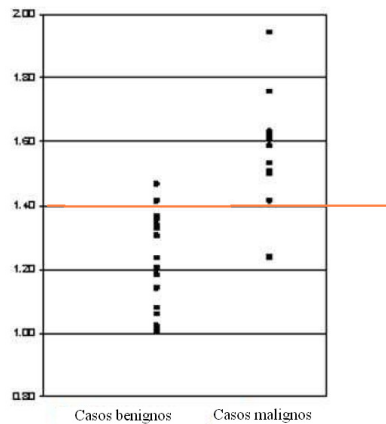


Figura. 6. Distribución de las dimensiones fractales en 30 lesiones mamográficas.

3.2.3 Conclusiones

La aplicación presentada, desde la biomedicina, implica técnicas no invasivas basadas en el procesamiento de imágenes mamográficas. El método permite el diagnóstico de tumores mamográficos y se basa en dos observaciones:

- La dimensión fractal crece a medida que la irregularidad del objeto crece;
- El esquema regular de una lesión está asociado a una lesión benigna, mientras que el contorno irregular está asociado a una lesión maligna

La hipótesis de que los tipos de cáncer tienen mayores dimensiones fractales que las lesiones benignas se puso a prueba en 30 casos y los resultados son alentadores.

La imagen "área de interés" de la figura 1 está en el archivo 'dibujo.bmp'

```
c=imread('c:\datos\dibujo.bmp');
```

Se transforma a niveles de gris

```
C=rgb2gray(c);
```

Se umbrala

```
BW = im2bw(C, 0.65);
```

```
imshow(BW);
```



Se hallan el contorno con la siguiente función

```
function V=vecinos(BW)
S=size(BW);
for i=2:S(1)-1,
    for j=2:S(2)-1,
        if BW(i,j)==1,
            b=cerc(BW,i,j);
            if sum(b)~=8, V(i,j)=1; end
        else,
            V(i,j)=0;
        end
    end
end

function b=cerc(a,row,col)
%a=magic(10) % Create sample data for demo.
%row = 3; % Assign the center location
%col = 5;
% Extract the 8 neighbors.
b = [a(row-1,col-1:col+1) ...
a(row, col-1) a(row, col+1)...
a(row+1,col-1:col+1)]
```

Mediante *imshow(V)*:



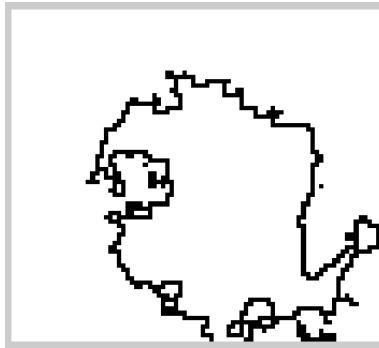
Se puede invertir la imagen con el siguiente segmento

```
S=size(V);
```

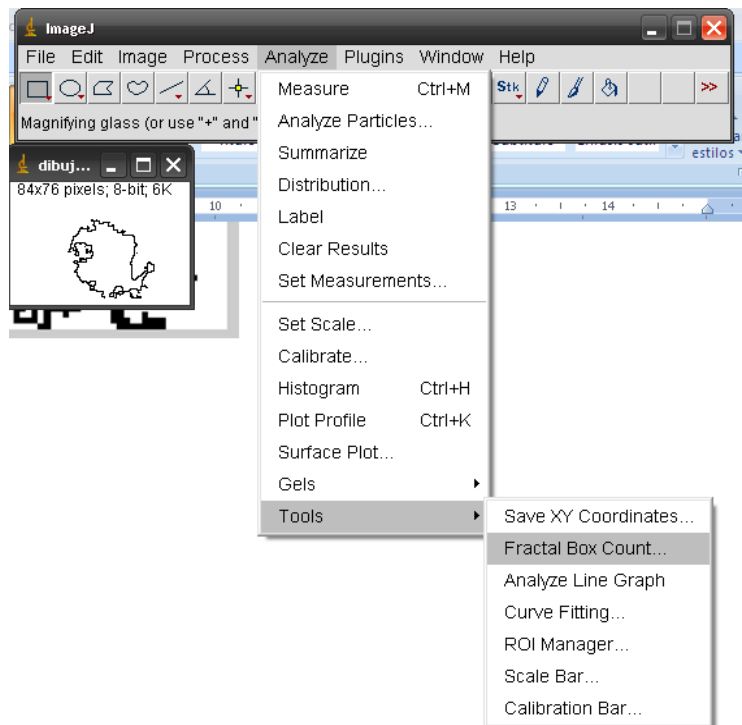
```

for i=1:S(1), for j=1:S(2),
    if V(i,j)==1; A(i,j)=0; else A(i,j)=1; end
end
end
imwrite(A,'c:\datos\dibujo2.bmp')

```



y calcular la dimensión fractal con **ImageJ**



Lo que da como resultado **DF= 1.395**.

Resumen de comandos Matlab:

```

% El "área de interés" de la figura 1 está en el archivo 'dibujo.bmp'
c=imread('c:\datos\dibujo.bmp');
% Se transforma a niveles de gris
C=rgb2gray(c);
% Se umbrala
BW = im2bw(C, 0.65);

```

```
imshow(BW);  
% Se haya el contorno  
v=vecinos(V);  
% Se invierte la imagen  
S=size(V);  
for i=1:S(1), for j=1:S(2),  
    if V(i,j)==1; A(i,j)=0; else A(i,j)=1; end  
end  
end  
% Se salva el resultado en dibujo2.bmp  
imwrite(A,'c:\datos\dibujo2.bmp')
```

Nota: Para este trabajo se ha tomado como referencia el artículo:

Sztojánov, I., Crişan, D., Popescu Mina, C., Voinea, V. *"Image Processing in Biology Based on the Fractal Analysis"*. Politehnica University of Bucharest, Romanian-American University, Bucharest, University of Bucharest. 2009