

# COMPORTAMIENTO MORFOLOGICO DE LA GRANULACION FOTOSFERICA EN EL ENTORNO DE LAS MANCHAS SOLARES

Ernesto R. Rodríguez Flores y Rafael Gámez Díaz  
Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, La Habana, Cuba

## RESUMEN

Utilizando imágenes solares obtenidas con elevada resolución espacial se analiza la influencia de los campos magnéticos intensos en las propiedades morfológicas de la granulación fotosférica. Este análisis no arroja variabilidad en los parámetros estudiados (diámetro crítico, dimensión fractal y distribución espacial de los gránulos), lo cual es indicativo que los procesos que determinan estos fenómenos no se alteran con la presencia de manchas solares.

## ABSTRACT

Using high-resolution solar images, we analyze the strong magnetic fields influence in the morphological properties of the photospheric granulation. From this analysis results that critical diameter, fractal dimension and spatial distribution of the granules do not change. It is indicative that the process which determine these phenomena not vary in the sunspots neighborhood.

## INTRODUCCION

Los resultados teóricos [1] y observacionales de las últimas dos décadas se inclinan por la no-existencia de una escala característica y a favor de un comportamiento fractal de la granulación fotosférica [2, 3, 4, 5]. Además, se ha encontrado un diámetro crítico ( $d_c$ ) que define dos grupos de gránulos con diferencias morfológicas significativas [2, 3, 4]. La dimensión fractal de los gránulos pequeños (menores que  $d_c$ ) está cercana al predicho por la teoría de Kolmogorov sobre turbulencias homogéneas e isotrópicas para isobaras, lo cual es indicativo de un origen turbulento para tal grupo [2, 3]. Las propiedades del segundo grupo, de estrecho rango en tamaño, sugieren la convección laminar como generadora del mismo [2, 3, 4].

Por otra parte, la distribución de los gránulos en la fotosfera no es aleatoria. Esta responde a dos patrones espaciales asociados a cada uno de los grupos citados anteriormente [6]. Así, los gránulos pequeños ( $d < d_c$ ) se agrupan formando cúmulos y los grandes ( $d > d_c$ ) se distribuyen formando anillos. Ambos patrones se complementan de forma tal que los cúmulos de los primeros quedan encerrados por los anillos de los últimos [4, 6, 7].

Las manchas solares son la manifestación de la presencia de intensos campos magnéticos generados en las capas profundas del Sol (aproximadamente a 0.2 radios solares). La probable influencia de estos campos magnéticos en las características de la granulación no ha sido considerada previamente, al

analizar su dimensión fractal. Con esa óptica, en este trabajo estudiamos las características de la granulación en el entorno de las manchas solares, donde puede esperarse una modificación sustancial de las condiciones físicas del medio.

## MATERIAL Y METODOS

La primera parte del material tiene su origen en ftoheliogramas tomados en la Estación de Montaña de Pamir (resolución espacial de 0.3"), utilizando un telescopio reflector, con un diámetro en su objetivo de 50 cm y 120 m de distancia focal resultante [8].

Las características del material fotográfico utilizado, así como los parámetros de los registros mencionados fueron las siguientes: sensibilidad de la película de 3 DIN, poder resolutivo de 120 líneas/mm y formato de 120 mm. El ancho de banda empleado fue de 40 nm centrado en los 650 nm y el tiempo de exposición fue de 1.5 ms [9]. La excelencia de los ftoheliogramas (calidad > 30 en la escala del instrumento, reportada en [8]) se aprecia claramente en la nitidez del patrón de la granulación y la resolución espacial de 0.3" alcanzada.

Estos ftoheliogramas fueron digitalizados utilizando un escáner de negativos Arcus 1200 (Agfa). Atendiendo al tamaño de las estructuras más pequeñas a estudiar, dichos negativos fueron cifrados a 300 puntos por pulgada (p.p.p.) y 256 tonos de gris. De estas "imágenes fuentes" fueron seleccionadas las regiones de trabajo, constituyendo así la primera parte del material.

La otra parte del mismo se obtuvo de la selección de sectores de una imagen cuyo URL es <http://science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/images/sunspot1.jpg>. Esta imagen, obtenida con una resolución espacial de 0.25", constituye un material de excelente calidad reflejada en su alto contraste y mayor uniformidad en toda su área. Esta "imagen fuente" también tiene 300 d.p.i. de resolución y 256 tonos de gris, con lo que se garantizaba la uniformidad de las propiedades de las imágenes de trabajo (Tabla I).

**Tabla I.** Características de las imágenes de trabajo.

Donde: dd-día, mm-mes, aaaa-año,  
 “ - segundos de arco,  
 r - distancia media de los gránulos al centro de la umbra de la mancha principal.

Imagen	dd/mm/aaaa	Area	r
300978de	30/09/1978	30.2"×30.2"	64.5"
021078de	02/10/1978	30.2"×30.2"	64.7"
031078de	03/10/1978	30.2"×30.2"	64.9"
041078de	04/10/1978	30.2"×30.2"	65.0"
051078de	05/10/1978	30.2"×30.2"	65.3"
061078de	06/10/1978	30.2"×30.2"	65.1"
Ggc	07/06/1992	21.0"×21.0"	27.0"
Ggi	07/06/1992	21.0"×21.0"	45.2"
Ggl	07/06/1992	21.0"×21.0"	62.1"

Las herramientas empleadas en este trabajo fueron los procesadores de imágenes DIPSY© (versión 1.0) y UNESCO Bilko para Windows® (versión 2.0. Para el conteo de los gránulos, la medición del área de cada uno de ellos y su perímetro correspondiente se utilizó el programa Areas.exe desarrollado por un investigador del Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica (IMRE) de la Universidad de La Habana.

### Calibración, estandarización y uniformidad de las imágenes

Para la calibración de las imágenes se obtuvieron los valores de corriente oscura y corrección por campo plano, encontrándose que ambos eran mucho menores que un tono de gris en todos los casos. Esto hace que tales valores se consideren despreciables y por ende las imágenes calibradas. Este resultado es de esperar por el amplio espectro de intensidad de nuestras imágenes y la digitalización a 256 tonos de gris.

La estandarización de las imágenes se basó en la cuña densitométrica digitalizada. En la misma cada

franja de la cuña original es representada por su valor medio y su desviación estándar, como resultado del buen ajuste de su histograma a una distribución normal. De esta forma se tomó la imagen patrón como la de mejor cuña, atendiendo a los valores más pequeños de desviación estándar integral y al aprovechamiento del rango de intensidad (poca saturación). Siguiendo este criterio se seleccionó a la imagen 051078 y de la relación entre los valores de intensidad de cada cuña con la patrón se encontró la función de estandarización (con ajuste superiores a 0.98 en todos los casos). De la aplicación de la función de estandarización correspondiente a cada caso resultaron las imágenes estandarizadas.

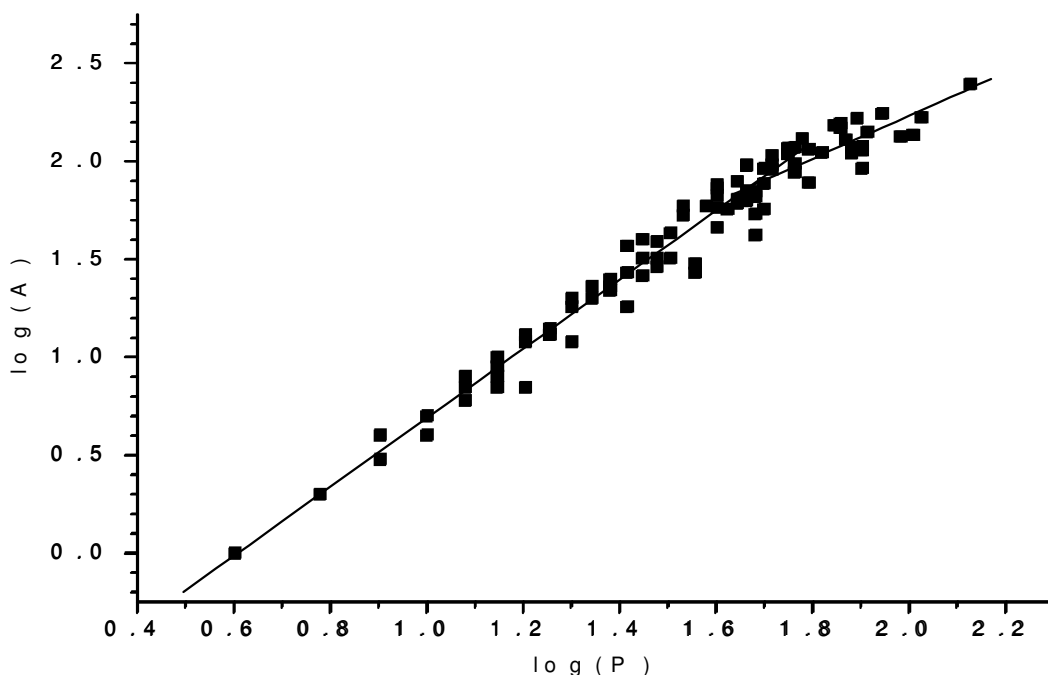
Para uniformizar las imágenes se promedió cada una de las imágenes involucradas. Luego, se restó la imagen virgen estandarizada a su promediada. Así se eliminaba el efecto de no-uniformidad (baja frecuencia), quedando solamente las altas frecuencias que eran portadoras de la información "intensidad de las regiones de granulación".

### RESULTADOS Y DISCUSION

Para el análisis del comportamiento de algunas magnitudes morfológicas en presencia de fuertes campos magnéticos se analizaron las imágenes Ggc, Ggi y Ggl (ver características en la Tabla I). Se midió el diámetro y el perímetro de todos los gránulos contenidos en cada una de ellas y se obtuvo la relación área - perímetro para cada caso (Tabla II). Una representación gráfica de tal relación para una de las imágenes se muestra en la Figura 1.

La inspección visual muestra que la relación área – perímetro cambia a partir de cierto valor (ver ejemplo en la Figura 1). Un resultado similar se ha encontrado en otros trabajos, en los que este cambio se sitúa entre 1.35" y 1.45", identificando al mismo con el diámetro crítico [2, 3, 4]. Considerando lo anterior, tomamos intervalos por encima de 1.45" (1.866 en el eje de las abscisas) y por debajo de 1.35" (1.804 en el eje de las abscisas) del valor de cambio (ver ejemplo en la figura 1) y calculamos el intercepto de las relaciones para encontrar el diámetro crítico de la granulación en nuestras imágenes. De forma complementaria se probó que las regresiones que describen ambos intervalos son distintas (nivel de significación de 0.01), según la prueba de proporción de varianzas.

La dimensión fractal de los gránulos la calculamos haciendo uso de la relación  $P \sim A^{D/2}$  [2]. En la misma, **P** es el perímetro del gránulo, **A** su área y **D** su dimensión fractal. Los resultados encontrados (resumidos en la Tabla II), son cercanos a lo reportado en la literatura [2, 3, 5].



**Figura 1.** Gráfico log – log que muestra la relación entre el perímetro (P) y el área (A) de cada uno de los 111 gránulos contenidos en la imagen Ggl. En éste se observa un cambio de pendiente en el punto (1.648; 1.856). Por debajo de este punto, la relación se ajusta según  $Y = 1.77 X - 1.08$  (con  $r = 0.992$  y  $\sigma = 0.08$ ). Para el intervalo por encima de ese punto, la relación es  $Y = 1.10 X + 0.04$  (con  $r = 0.786$  y una  $\sigma = 0.1$ ). Donde  $Y = \log A$  y  $X = \log P$ .

Como se puede ver en la citada tabla, no se aprecian diferencias significativas entre la dimensión fractal de los gránulos cuyo diámetro es inferior al crítico. Lo cual es indicativo de que la dimensión fractal de los gránulos pequeños no varía significativamente con la distancia a las manchas solares. Otro tanto ocurre con la dimensión fractal de los gránulos grandes en la vecindad de estudio. El diámetro crítico, por su parte, permanece constante para las tres distancias analizadas. Esto se puede traducir en que el mecanismo cinético predomina sobre el magnético y que el movimiento convectivo del plasma es el factor decisivo en la variabilidad de esta magnitud para estos casos.

**Tabla II.** Resultados de la relación área (A) – perímetro (P) para Ggc, Ggi y Ggl. Donde:  $r$  – ajuste,  $\sigma$  – desviación estándar,  $N$  – número de gránulos,  $D$  – dimensión fractal. El subíndice 1 (2), se refiere a la primera (segunda) recta, con  $Y = \log A$  y  $X = \log P$ .

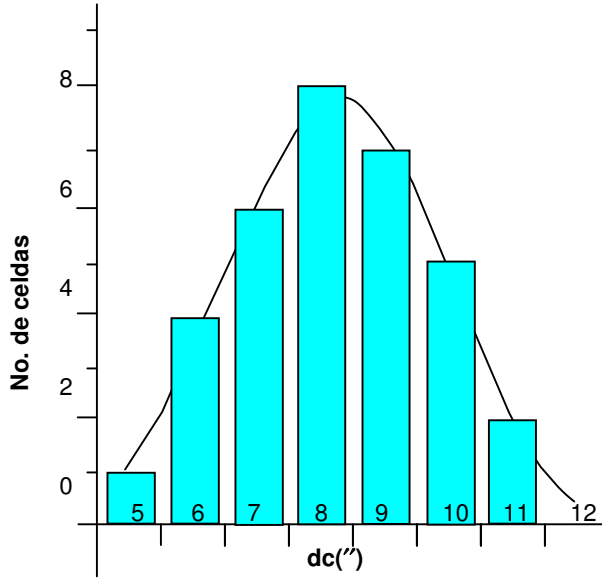
Imagen	Ggc	Ggi	Ggl
Primera recta	$Y = 1.75 X - 1.04$	$Y = 1.76 X - 1.08$	$Y = 1.77 X - 1.08$
$r_1$	0.997	0.994	0.992
$\sigma_1$	0.05	0.07	0.08
$N_1$	52	77	77
$D_1$	$1.14 \pm 0.01$	$1.14 \pm 0.01$	$1.13 \pm 0.02$
Segunda recta	$Y = 1.19 X - 0.12$	$Y = 1.07 X + 0.06$	$Y = 1.10 X + 0.04$
$r_2$	0.883	0.895	0.786
$\sigma_2$	0.01	0.09	0.1
$N_2$	45	25	34
$D_2$	$1.7 \pm 0.1$	$1.9 \pm 0.2$	$1.8 \pm 0.3$
Diámetro crítico	1.4"	1.4"	1.4"

#### Distribución espacial de la granulación fotosférica en las cercanías de las manchas solares

Para abordar este estudio, utilizamos las imágenes de trabajo que tienen su fuente en ftoheliogramas (resolución espacial 0.3") y cuya distancia a la umbra de la mancha principal del grupo es aproximadamente constante. Estas imá-

genes (Tabla II), fueron binarizadas a un valor umbral suficiente para definir las zonas de mayor intensidad de los gránulos grandes (segundo grupo), que representan a su vez los más brillantes [4, 6]. Una distribución de tamaños de las celdas formadas por estos gránulos aparece en la Figura 2.

La medición de estas celdas se realizó por el método clásico empleado en la determinación del diámetro de los gránulos por varios autores [10, 11]. Como se podrá apreciar de la Figura 2, la distribución de tamaño de las celdas se ajusta a una normal. El resultado de tales mediciones se resume en la Tabla III.



**Figura 2.** Distribución de tamaños de las celdas (Dc) formadas por los gránulos brillantes contenidos en la imagen 031078de.

De la Tabla III se observa que todos los valores medios son iguales a 8", comparables a la media dada en [6]. Las desviaciones estándar de cada media (tabla III) no nos permiten detectar diferencias significativas entre estos valores medios ( $\alpha = 0.0001$ ). Por otro lado, la distancia media de cada imagen a las manchas es aproximadamente constante (65") y el valor de inducción del campo magnético en la umbra de la mancha principal es diferente para cada día. Por lo anterior, podemos afirmar que no encontramos una variación del tamaño de estas celdas ante la presencia de fuertes campos magnéticos, en la vecindad analizada. Este resultado concuerda con el obtenido en otro trabajo reciente [7].

#### AGRADECIMIENTOS

Queremos hacer explícito nuestro agradecimiento al Dr. Ramón E. Rodríguez Taboada por la ayuda prestada en la revisión del texto final, así como por sus innumerables sugerencias acerca del mismo

**Tabla III.** Resultado de la medición del tamaño de las celdas de los gránulos brillantes. Donde: r - distancia media de los gránulos de la imagen a las manchas solares, dc - diámetro de las celdas,  $\sigma$  - desviación estándar, N - número de celdas, Bump - inducción del campo magnético en la umbra de la mancha principal.

Imagen	B <sub>ump</sub>	r	dc	$\sigma$	N
300978de	-	64.5 "	8 "	2 "	37
021078de	1600 G	64.7 "	8 "	2 "	36
031078de	2700 G	64.9 "	8 "	2 "	34
041078de	3100 G	65.0 "	8 "	1 "	35
051078de	2800 G	65.3 "	8 "	2 "	32
061078de	2400 G	65.1 "	8 "	1 "	35

#### CONCLUSIONES

No se encontró diferencias significativas ni en la dimensión fractal de los dos grupos de gránulos, ni en el diámetro crítico con la distancia a las manchas solares. Lo anterior es indicativo que los procesos que determinan los dos tipos de convección (turbulenta y laminar) no se alteran con la presencia de manchas solares.

Se encontró que el diámetro promedio de las celdas formadas por los gránulos grandes es de 8". Este rango es comparable a la escala característica del patrón de la mesogranulación. Varios autores han encontrado valores semejantes al mencionado patrón y lo han asociado al mismo [6, 10]. Este trabajo sustenta tal asociación. Del análisis de la distribución espacial de la granulación (manteniendo aproximadamente constante la distancia a las manchas solares), se obtuvo que el diámetro de los anillos formados por los gránulos de mayor tamaño no varía con el campo magnético. Lo anterior es un indicio que el mecanismo responsable de tal comportamiento de los gránulos se encuentra en las capas subfotosféricas, que son regiones donde la energía cinética domina sobre la magnética.

#### REFERENCIAS

- [1] GADUN, A. S. and Y.Y. VOROB'YOV (1995): **Solar Physics**, 159, 45-51.
- [2] ROUDIER, TH. and R. MULLER (1987): **Solar Physics**, 107, 11-26.
- [3] HIRZBERGER, J. et al. (1997): **The Astrophysical Journal**, 480, 406-419.

- [4] RODRIGUEZ, E. R. y R. GAMEZ (2001): "Caracterización de procesos estacionarios en la fotosfera solar", **Informe Científico-Técnico**, IGA, 36 p.
- [5] BOVELET, B. and E. WIEHR (2001): **Solar Physics**, 201, 13-26.
- [6] MULLER, R.; TH. ROUDIER and J. VIGNEAU (1990): **Solar Physics**, 126, 53-67.
- [7] RODRIGUEZ, E. R. y R. GAMEZ (2000): **Memorias de Geoinfo** (CD-ROM).
- [8] PARFINENKO, L. D. and V.F. MIKLALOV (1978): **Solnechye Dannye**, 8, 92-97.
- [9] PARFINENKO, L. D. (1999): Comunicación Personal.
- [10] ODA, N. (1984): **Solar Physics**, 93, 243-255.
- [11] RODRIGUEZ, E.R.; R.E. RODRIGUEZ y J.P. DOVAL (1997): **Memorias de Geoinfo**, 120-123.