

Introducción al Cálculo de Dimensiones Fractales y su Posible Aplicación a los Estudios del Clima

J. Grau¹

M.A. Flores²

J. Massons³

J.M. Redondo²

¹Dep. Mecànica de Fluids, Termodinàmica i Física. EUETIB. UPC

²Dep. Física Aplicada. UPC

³Àrea de Física Aplicada. URV

Introducción

Una de las grandes fuentes de información sobre nuestro entorno, tanto a nivel de geografía física, estudios del clima, predicciones meteorológicas, entre otras, lo forman las imágenes capturadas por las diferentes plataformas de teledetección.

Estas imágenes contienen información que se ha de parametrizar (tipos de cubiertas, nubes, mar, etc.), entidades que por su naturaleza real (en contraposición de ideal), son difícilmente representables por la geometría euclidiana. Podemos calcular la superficie de una nube, pero nos es más difícil caracterizar la estructura que presenta, necesitamos definir parámetros adicionales. En nuestra ayuda sale la geometría fractal.

La geometría fractal amplía el concepto euclidiano de dimensiones enteras a un nuevo dominio de dimensiones fraccionarias [2]. Ahora, con esta nueva herramienta, un objeto puede tener una dimensión mayor que un punto y menor que una línea (por ejemplo una nube de puntos, conjunto de Cantor), entre una recta y un plano (curva de Koch) [1]. Con esta dimensión se mejora su caracterización ya que tiene en cuenta su estructura.

Otro concepto de gran interés es la autosimilitud. Esta parametriza la semejanza de una entidad en diferentes escalas de observación. Si observamos un coche desde muy lejos apreciamos un punto, si nos acercamos a poca distancia aparece una entidad de tres dimensiones i si nos acercamos a pocos centímetros de la superficie encontramos un plano. En este caso no hay una autosimilitud en las diferentes escalas, por otra parte, si observamos la línea de la costa a diferentes escalas, se observa una rugosidad del mismo estilo [2]. Esto también se puede observar en el caso de las nubes donde la estructura irregular se puede observar a diferentes escalas.

Este trabajo presenta una aplicación de la metodología fractal a modo de ejemplo, considerándose más importante la descripción de la metodología.

Datos

El presente estudio se ha realizado sobre imágenes del satélite Meteosat 7 con escenas del presente año capturadas por el receptor PDUS (Primary Data User Station) de la URV.

Este satélite presenta tres canales de observación en el espectro electromagnético. Canal visible (0,3-1,05 μm), canal de vapor de agua en el IR medio (5,4-7,5 μm) en la zona de absorción de vapor de agua y otro en el IR térmico (10-13,10 μm). La resolución espacial presenta un tamaño de punto es de 5 km en el nadir para la imagen de vapor de agua y la de IR térmico. Para la visible la resolución espacial original es de 2,5 km en el nadir, pero se utiliza muestreada a 5 km para coincidir con las otras. Debido a la proyección meteosat de las imágenes este tamaño de punto es mayor en aumentar la latitud y la longitud. De estos tres canales se han utilizado el visible (VIS) y el IR térmico (IR) en el presente estudio.

Estas imágenes están centradas sobre la península ibérica con unas dimensiones de 512x512 puntos.

Se han escogido imágenes donde la característica nubosa fuese interesante y donde la iluminación solar fuese buena para las imágenes del visible, horas de mediodía.

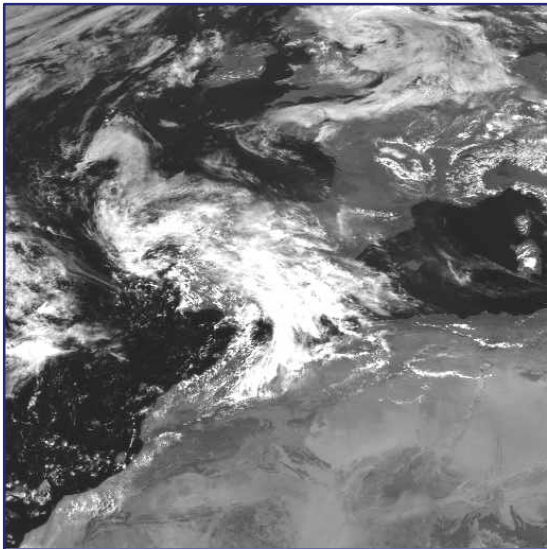


Imagen visible. 1 de mayo de 2000 a las 12:00 GMT

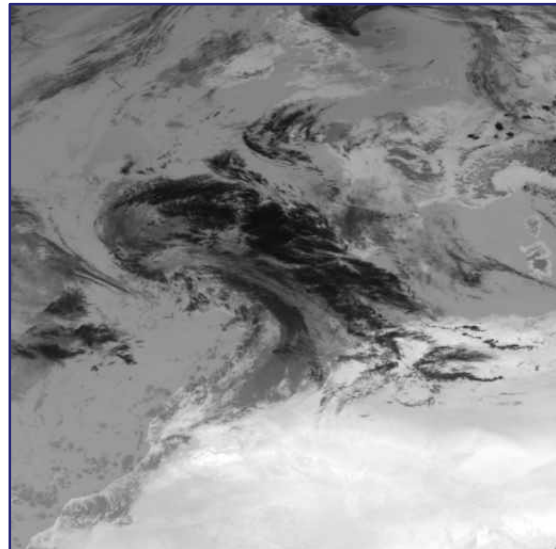


Imagen IR. 1 de mayo de 2000 a las 12:00 GMT

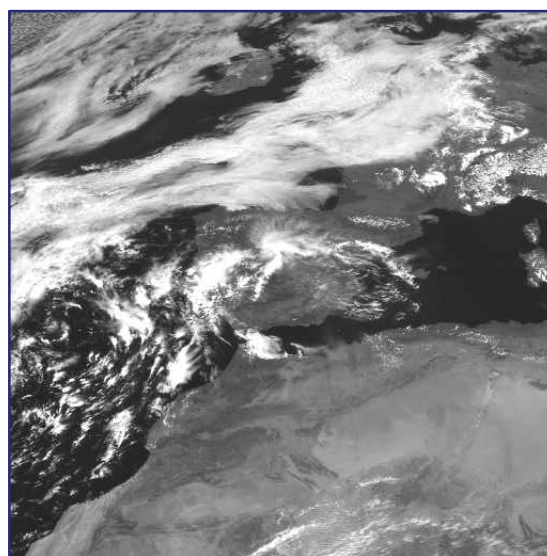


Imagen visible. 3 de mayo de 2000 a las 12:00 GMT

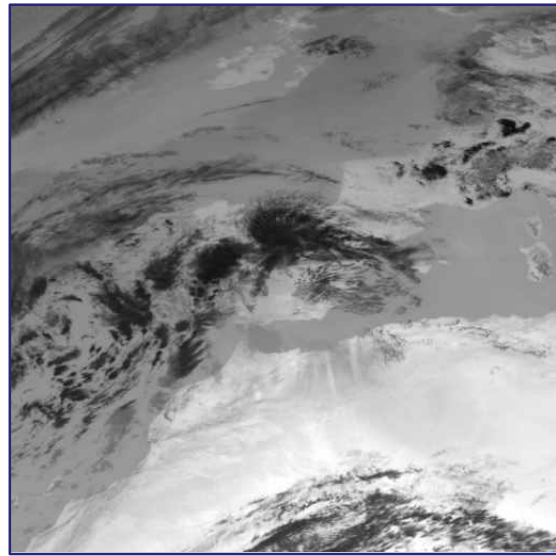


Imagen IR. 3 de mayo de 2000 a las 12:00 GMT

Metodología

Las imágenes originales del receptor PDUS tienen que ser sometidas a un primer procesamiento para corregir la posición solar y el tamaño del punto.

La corrección solar utiliza el coseno del ángulo cenital solar para normalizar la iluminación a una posición vertical. La geometría de observación no varía debido a la posición geoestacionaria del satélite, partiendo ya de una imagen georeferenciada.

El segundo paso es la realización de una clasificación de las cubiertas para poder seleccionar la zona de interés. Este proceso de clasificación utiliza el histograma bidimensional de las imágenes visible e IR con la finalidad de poder segmentar las cubiertas de interés [3].

Sobre las imágenes que contienen exclusivamente cubiertas de nubes se realiza una selección de la zona de cálculo y se procede a aplicar el método Box-counting para hallar la correspondiente caracterización fractal. Debido a la naturaleza de 2D del método, para las imágenes en intensidades de gris (NDG), es preciso que se realice un análisis a diferentes intervalos de trabajo realizando una caracterización multifractal.

Método Box-counting

El método box-counting [4] se basa en correlacionar las observaciones a diferente escala de la misma escena. Estas se parametrizan midiendo la superficie recubierta por el conjunto de puntos válidos de observación a diferentes escalas.

Las mediciones se realizan mediante un recubrimiento de cajas (box) sobre la escena con el posterior recuento de las que contienen motivos del dominio de trabajo.

Este proceso itera el recuento de cajas variando las dimensiones de estas de forma sistemática. El resultado es una relación del número de cajas de costado E que se utilizan (o la longitud del costado L dividida por E, L se suele normalizar a 1) y el número de cajas que recubre la escena de interés N(E). Si la relación de estos dos términos es:

$$N(E) = \left(\frac{1}{E}\right)^D$$

D indica la dimensión fractal de la escena. Si no se cumple la relación indica que a diferentes escalas no se observa autosimilitud.

La forma de obtener D pasa por la representación log-log de N(L) y n(L) obteniendo la pendiente y la correlación.

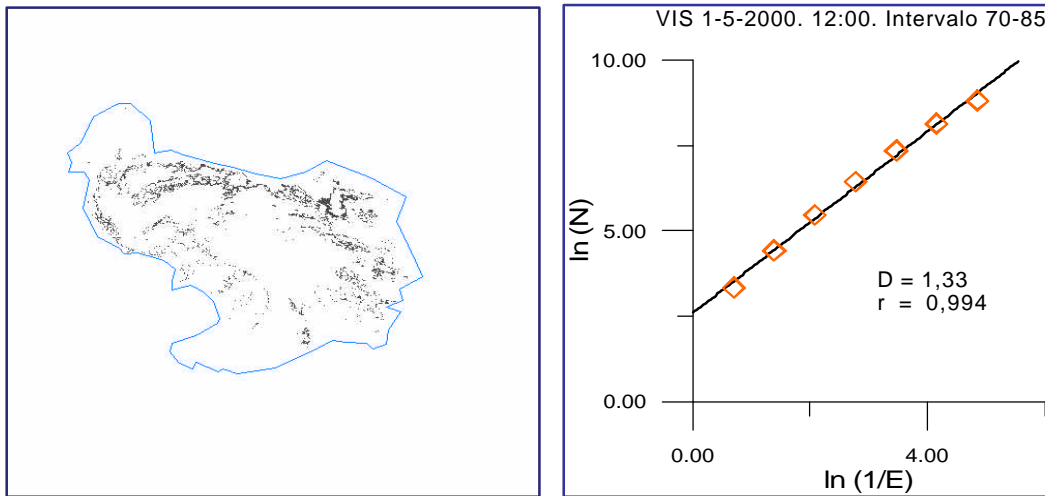


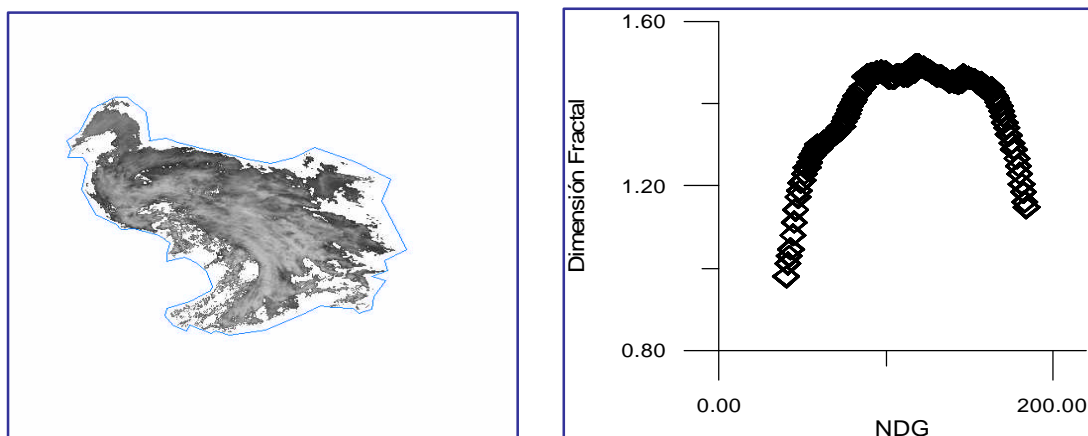
Imagen visible. 1 de mayo de 2000 a las 12:00 GMT intervalo de cálculo 70-85

Caracterización multifractal

Las zonas de interés de las imágenes están formadas por diferentes puntos cada uno de los cuales tiene un nivel de gris. Cuando se selecciona la zona de cálculo se debe indicar también los rangos de nivel de gris a considerar. Si lo que interesa es estudiar un rango de niveles amplio se puede analizar directamente todo el intervalo apareciendo el problema que el hecho de considerar todos los puntos por igual impide que se pueda aprovechar la información de cómo están distribuidos.

Para realizar un análisis más detallado es más interesante la realización de un análisis multifractal [5]. Éste se encarga de estudiar un determinado dominio de puntos y un determinado intervalo de niveles de gris, pero, en lugar de estudiarlo como un único intervalo, se analiza a partir de subintervalos más pequeños que lo recubran por completo. Para cada uno de los subintervalos se realiza un análisis de la dimensión fractal. El resultado del análisis es un conjunto de dimensiones fractales de los subintervalos que dan lugar a una caracterización multifractal.

Ejemplo de dominio de trabajo y análisis multifractal



Resultados

La metodología antes descrita se ha aplicado a diferentes cubiertas nubosas correspondientes a imágenes del presente año. A continuación se detallan los resultados obtenidos en dos imágenes características que presentan dos cubiertas claramente diferenciadas.

El análisis se ha realizado utilizando un intervalo que incluya todos los valores clasificados como nubes de la zona de trabajo. Para la imagen del día 1 el intervalo 40-200 para el visible i el 20-130 para el IR con un subintervalo de cálculo de 15. Para la imagen del día 3 se utilizan los mismos valores.

Imagen del día 1 de mayo de 2000, zona de interés

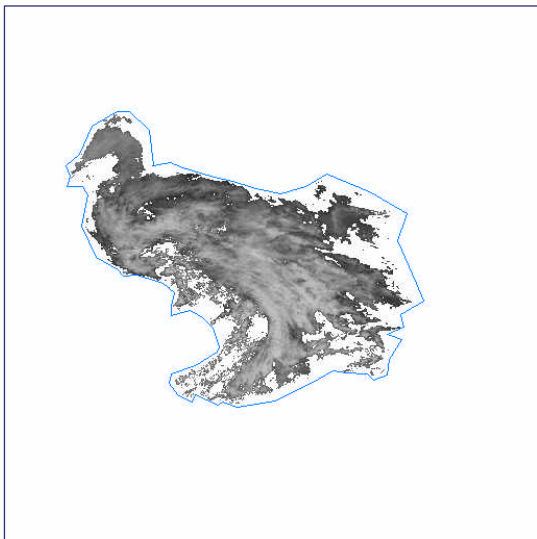


Imagen Visible

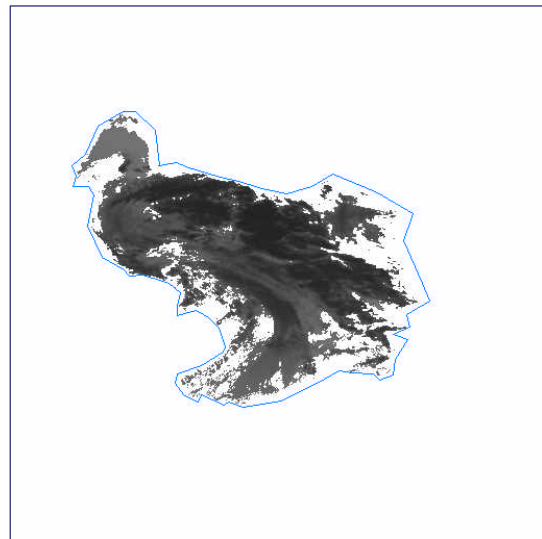
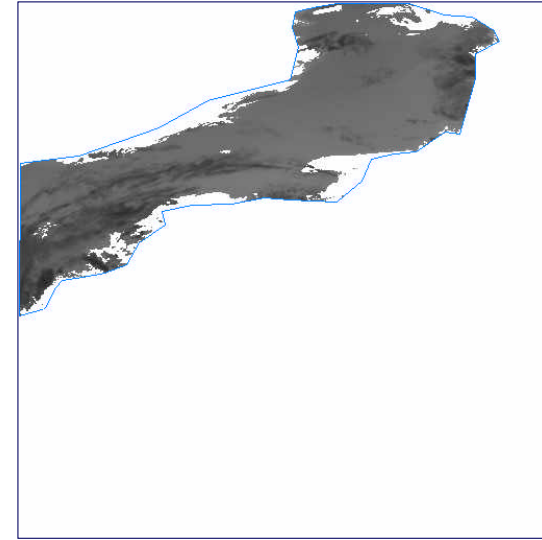
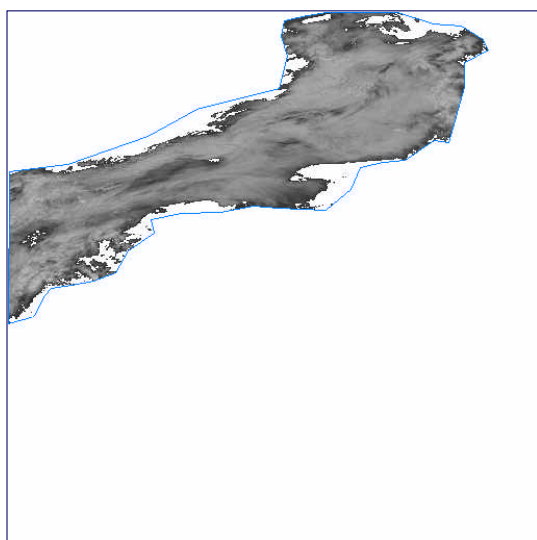


Imagen IR

Imágenes del 3 de mayo del 2000, zona de interés:



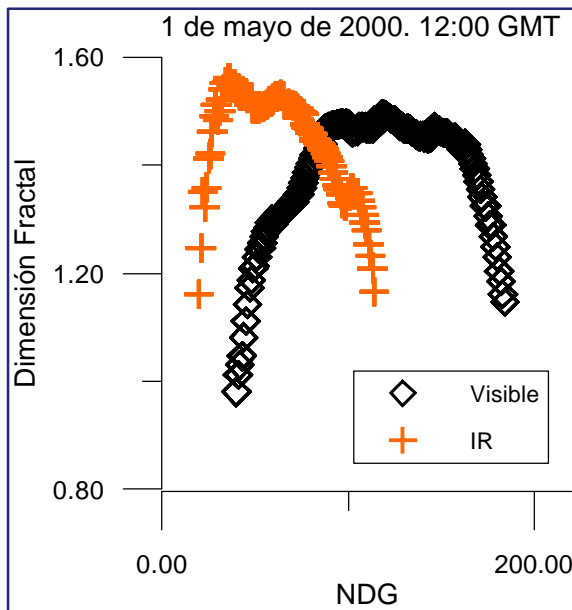


Imagen Visible

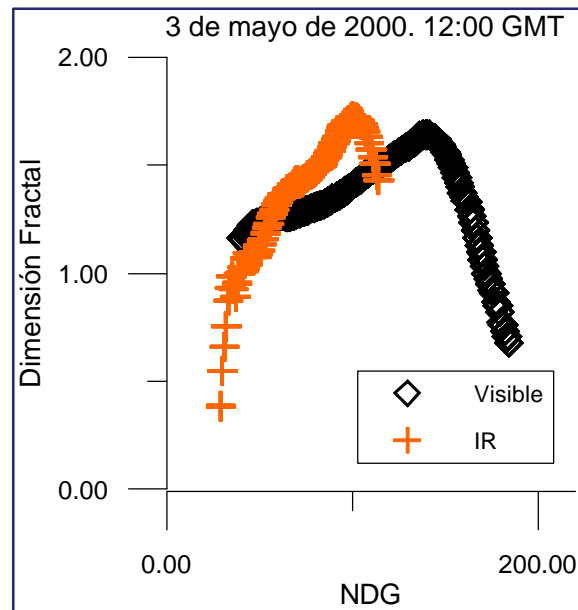


Imagen IR

Día 1 de mayo de 2000

Se pudo observar en las dos caracterizaciones anteriores cómo el análisis de la imagen del día 1 da una caracterización homogénea en la zona de trabajo, tanto para la imagen visible como para la IR. Esto indica una estructura de nube similar para los diferentes intervalos de nivel de gris, intuyéndose una estructura compleja.

Día 3 de mayo de 2000

Por el contrario, en la imagen del día 3 se observa una estructura nubosa con un máximo destacado en el visible y en el IR.

El máximo del visible se encuentra sobre valores de NDG bastante elevados (cerca de 160). Esto da a entender que la nube tiene una estructura uniforme concentrada alrededor de este NDG.

La información del IR nos indica también una concentración de temperaturas que por ser NDG elevados implican temperaturas elevadas (cerca de 5°C).

Conclusiones

Esta metodología presenta una gran ventaja a la hora de parametrizar la estructura de las nubes. El hecho de tener las diferentes dimensiones fractales en función del intervalo de trabajo permite caracterizar la distribución de los puntos que forman las nubes.

Los parámetros importantes són la amplitud del intervalo de NDG, la evolución y los propios valores de la dimensión
La amplitud del intervalo indica que la nube presenta un rango importante de valores de gris.

El valor de la dimensión fractal indica si hay muchos o pocos puntos en el determinado intervalo y la correspondiente dispersión espacial.

La variación de la dimensión fractal de un intervalo a otro indica la estructura de las nubes para los diferentes niveles de gris.

La finalidad del presente trabajo ha estado la presentación de esta metodología de parametrización de geometrías complejas, que por su naturaleza puede ser aplicada a muchas otras caracterizaciones ya que esta metodología expuesta no está enfocada únicamente a las nubes sino que es de un ámbito más general [5].

Referencias

- [1] J. Barrallo, en *Geometría Fractal. Algorítmica y representación* pp. 33-50 (Anaya Multimedia, Madrid 1993)
- [2] B. Mandelbrot, en *The fractal geometry of Nature* (Freeman, New York, 1983)
- [3] J.Massons, D.Domingo and J.Grau “Automatic classification of VIS-IR METEOSAT images” *Computers and Geosciences*, 22, 10, 1137-1146, 1996
- [4] H.-O. Peitgen, H. Jürgens and D. Saupe, en *Fractals in the Classroom: part One – Introduction to Fractals and Chaos*, pp. 240-244 (Springer-Verlag, New York, 1992)
- [5] F. Sepulcre, J. Grau, M. García-Bonafé and A. Moragas, “Fractal Approach to the Study of Chromatin Texture” en *Fractals in Biology and Medicine. Volumen II.* (Birkhäuser., Basel-Switzerland 1997)

