

# La geometría fractal en los sistemas agroambientales

La formación matemática que se imparte en los diferentes títulos de la ETSI Agrónomos presenta características comunes a otras ingenierías pero también algunos rasgos específicos. Como en otras ingenierías, esta formación está vinculada en parte a la utilización de modelos físicos altamente matematizados. Además, el ingeniero agrónomo debe dar respuesta a desafíos que ponen en juego otras disciplinas, como las ciencias biológicas o las ciencias de la naturaleza. Estas ciencias muchas veces requieren de nuevas teorías matemáticas para alcanzar sus objetivos, lo que representa nuevos retos para las matemáticas tanto en el campo de la docencia como en el de la investigación. A modo de ejemplo, vamos a centrarnos aquí en el uso de una teoría matemática con importantes aplicaciones a los sistemas agroambientales. Esta teoría matemática es la geometría fractal, nacida a principios del siglo pasado.

Si observamos las formas geométricas de la naturaleza y en particular aquellas que se aprecian en el suelo y las plantas, percibiremos que son, en general, extremadamente complejas e irregulares. Esta irregularidad geométrica se manifiesta, por ejemplo, en las partículas que forma el suelo, en la geometría espacial del espacio poroso, en la distribución de los organismos que viven en su interior, en las raíces de las plantas o en la distribución geométrica de la cubierta vegetal. Además, estas formas geométricas se presentan en una amplia gama de escalas.

Una forma de abordar esta complejidad geométrica consiste en examinarla

a diferentes escalas para detectar posibles relaciones funcionales entre dicha complejidad geométrica y la escala utilizada para observarla. Existe una clara evidencia basada en numerosas observaciones empíricas que muestra que en la naturaleza, la longitud, el área o el volumen de las formas geométricas que percibimos no permanecen constantes cuando cambia la escala de medida: cuando éstas disminuyen, aquellas aumentan. Además, se observa que al disminuir la escala, estas irregularidades siguen un mismo patrón geométrico. La imagen de la parte inferior izquierda ilustra este comportamiento tal y como se observa en el híbrido de brécol y coliflor, conocido como romanescu o brócoli romanescu (*Brassica oleracea*).

La geometría fractal ofrece un marco conceptual para cuantificar y simular este tipo de irregularidades. Las formas geométricas fractales presentan características similares a diferentes escalas. Ello se debe a que se construyen mediante la iteración de una misma estructura geométrica que se repite a todas las escalas de observación. Un ejemplo de este tipo de objetos es la esponja de Menger, quien lo descubrió en 1926. Se trata de una estructura extremadamente porosa que recuerda una esponja. La forma inicial es un cubo y la operación que se repite consiste en dividir el cubo en 27 cubos idénticos eliminando 7 de ellos, uno en el centro de cada cara y uno más en el centro del cubo inicial. Esta operación se repite en cada uno de los 20 cubos restantes y así sucesivamente. La esponja de Menger es autosemejante porque puede dividirse en partes iguales

que son réplicas reducidas de la estructura completa.

La utilización de la geometría fractal como instrumento para mejorar nuestra comprensión de la naturaleza y su uso en la ingeniería agrónoma plantea un doble desafío. Por una parte, se requiere detectar comportamientos similares a los de los objetos fractales. Esto se lleva a cabo determinando leyes de escala de tipo potencial. Y por otra, es preciso construir modelos fractales que nos permitan comprender, corroborar, simular y predecir.

Los modelos geométricos fractales entran leyes de escalamiento que permiten validar dichos modelos y, además, constituyen un elemento esencial a la hora de simular procesos que se desarrollan en estructuras geométricas complejas como las que encontramos en el suelo.

En las últimas décadas se ha introducido la tomografía axial computerizada de rayos X para visualizar la estructura interna del suelo y caracterizar su estructura fractal. La imagen que aparece más abajo muestra una reconstrucción del espacio poroso a partir de la tomografía de un cilindro (7,5 cm de radio y 20 cm de altura) de suelo natural inalterado. Esta técnica no destructiva tan utilizada en el ámbito médico aportará nueva información para poder desarrollar modelos de la estructura del suelo que sean más precisos y realistas.

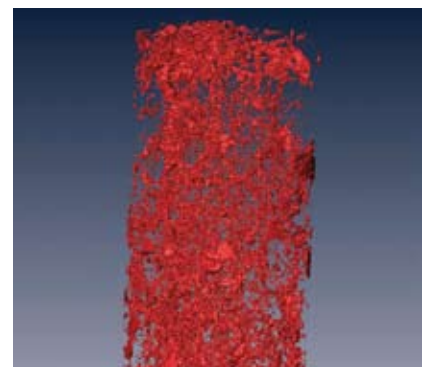
**Fernando San José Martínez**  
*Profesor titular*  
*Departamento de Matemática Aplicada*  
*ETSI Agrónomos*



Brócoli romanescu.



Esponja de Menger.



Reconstrucción del espacio poroso del suelo / G. de Investigación PEDOFRACT.