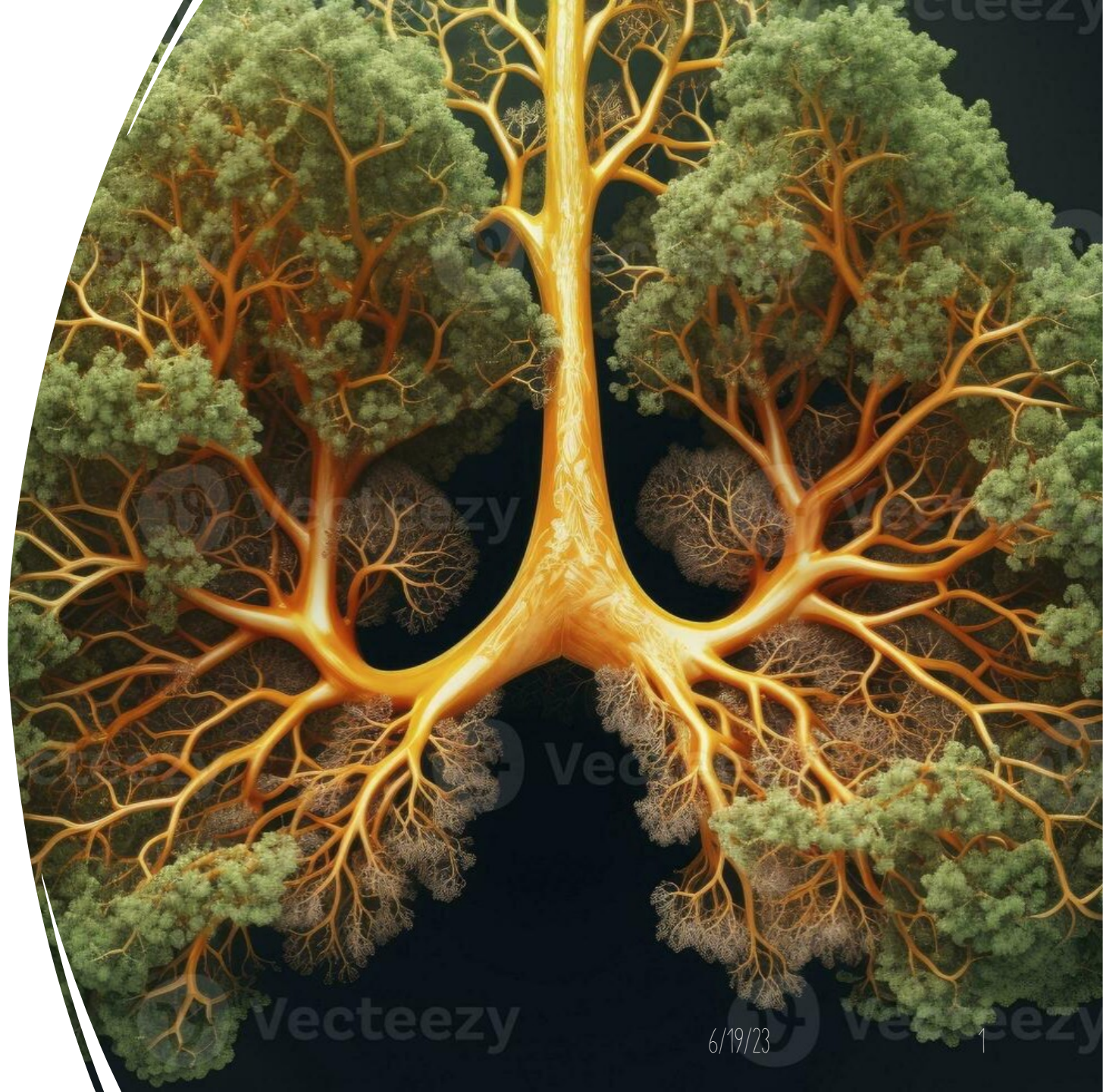


Pulmones y Fractales

CURSO 2023

Dr. Ricardo L. Armentano

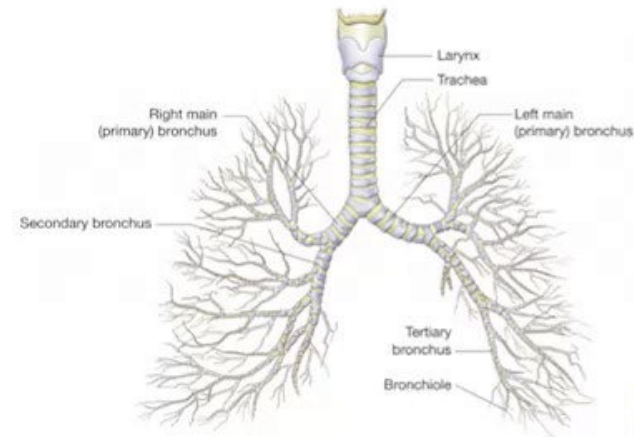


Introduccion

- El tórax alberga numerosos nervios, arterias y venas, el esófago, el corazón y los pulmones. Con una regla o cinta métrica, puede comprobar que su tórax y abdomen miden aproximadamente 20 pulgadas de largo, 15 pulgadas de ancho y 7 pulgadas de grosor. Si mide sus pulmones, pueden medir aproximadamente 12 pulgadas de largo, 6 pulgadas de ancho y tres pulgadas de grosor.
- Dentro de los pulmones hay vías para el aire, o bronquiolos. Cuando inspiramos, estos conductos llevan el aire a unas cámaras microscópicas, los alvéolos, donde se produce el intercambio gaseoso dentro de los lechos vasculares. Imagínese que tomara las vías y las colocara de extremo a extremo. La longitud sería de aproximadamente 1500 millas, la distancia entre Nueva Orleans y Boston. Los diminutos alvéolos responsables del intercambio gaseoso se cuentan entre 300 y 500 millones.
- ¿Y los intestinos? Si se estirara el intestino delgado, mediría entre 3 y 4 metros de largo. Si se estiraran los intestinos gruesos, medirían aproximadamente 1,5 metros de largo.
- Riñones: Cada riñón contiene aproximadamente 1 millón de nefronas que miden 1-2 pulgadas de largo. Si sumáramos la cantidad total de nefronas del cuerpo y su longitud media, tendríamos 2.000.000 de pulgadas, lo 31 millas!
- ¿Qué significa esto? El cuerpo es un universo de tejidos diseñados para satisfacer sus necesidades: desde hacer llegar el oxígeno a cada célula de nuestro organismo y ajustarlo a la demanda, como en nuestro sistema respiratorio y circulatorio, hasta eliminar los residuos gaseosos, líquidos y sólidos mediante la expiración, la micción y la defecación, pasando por absorber los nutrientes del entorno que consumimos y desintoxicar cualquier forma nociva de los alimentos, incluido el azúcar (sistema digestivo y hepático) y adaptarse a los factores estresantes y producir precursores hormonales (sistemas endocrino y metabólico).

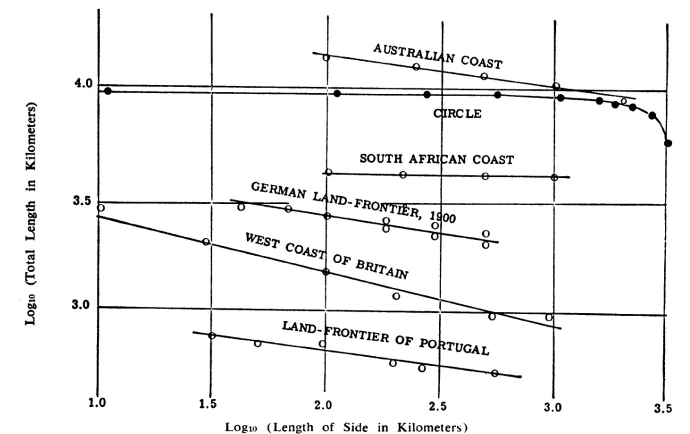
Pulmones y fractalidad

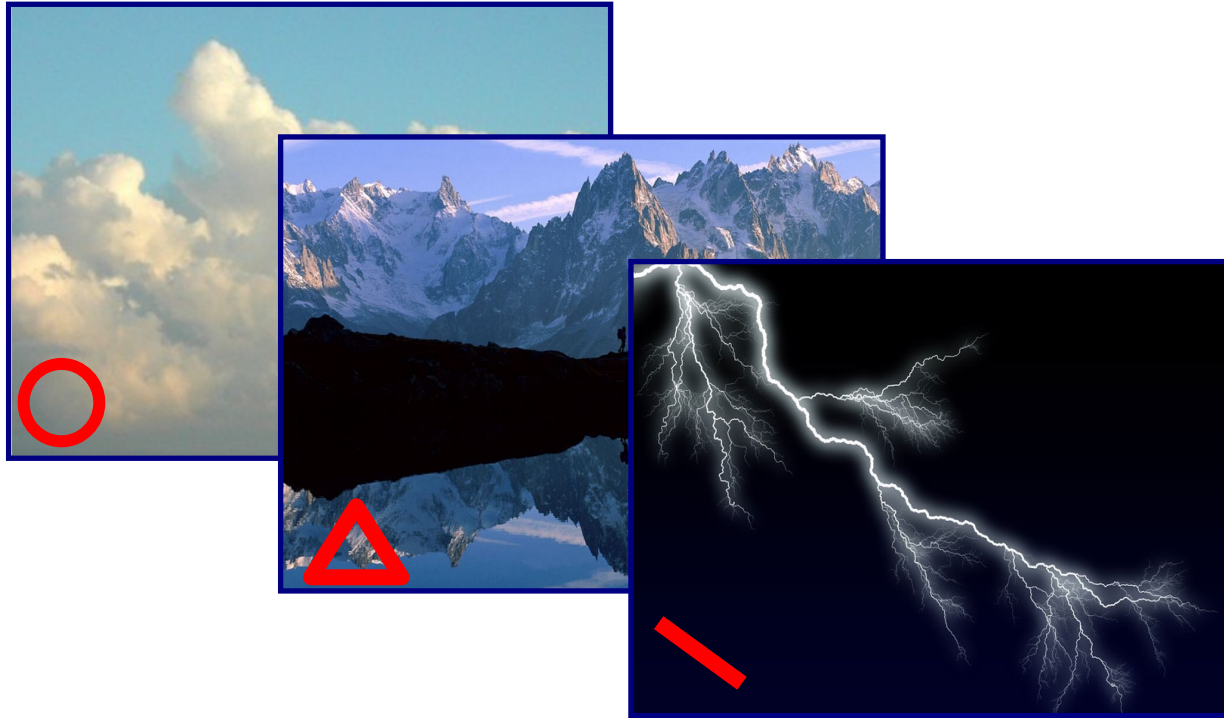
- Debido a la naturaleza compacta de nuestros pulmones, gracias a los fractales, nuestros pulmones son más eficientes. Los alvéolos son los pequeños sacos de aire de los pulmones cuya principal tarea es hacer circular el oxígeno en la sangre. El tiempo en que se produce la circulación en los alvéolos es directamente proporcional a la superficie de los alvéolos pulmonares. Las investigaciones demuestran que la superficie de un pulmón de mamífero adulto es de 750 pies cuadrados y, aun así, tienen un volumen pequeño.
- En conjunto, los pulmones muestran propiedades de geometría fractal. Asimismo, en los bronquios y bronquiolos se observa la propiedad de bifurcación.



Fractales y complejidad en fisiología respiratoria

- Esta unidad curricular trata de la simetría y los fractales, haciendo hincapié en las estructuras fractales del pulmón.
- Los fractales están relacionados con ideas realmente interesantes. Imagine la costa de Europa. Si la recorres con una regla de una milla de longitud, obtendrás una medida satisfactoria. Ahora bien, supongamos que al día siguiente se vuelve a medirla con una regla de un metro, ¿se obtendría otra medida satisfesa? ¿Cuál de las dos mediciones le daría una medida mayor? Dado que la costa es irregular, con la regla de un metro se llega mejor a las esquinas y grietas, por lo que la medición sería mucho más satisfactoria.



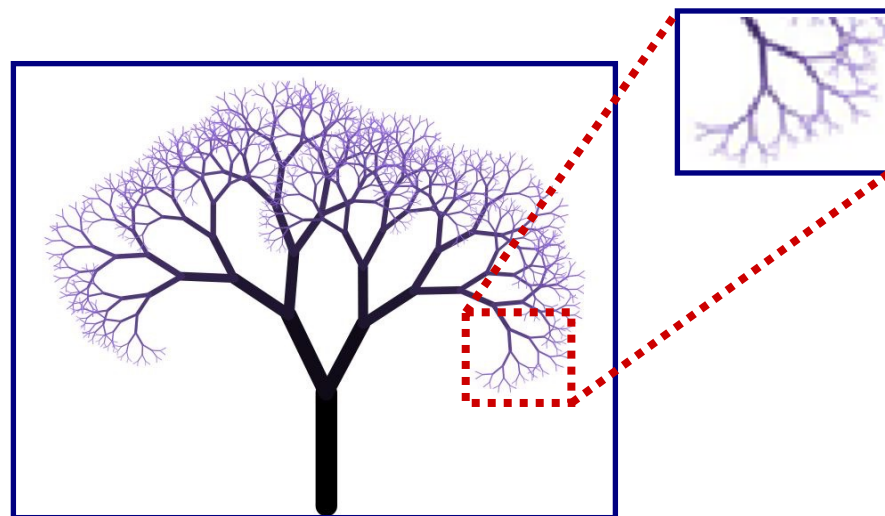


*“... las nubes no son esferas, las montañas no son conos
los relámpagos no son rectas...” (Mandelbrot, 1975)*



¿Qué es un fractal?

- *Un fractal es una estructura **tan irregular** que no puede ser descrita por la geometría tradicional*
- *Presenta la propiedad de **Autosimilaridad**: Bajo distintos grados de magnificación (escalas) se observan construcciones aproximadas de si mismo*



“Una vez que descubra lo que es un fractal, la naturaleza ya no volverá a ser la misma” (Barsnley, 1988)



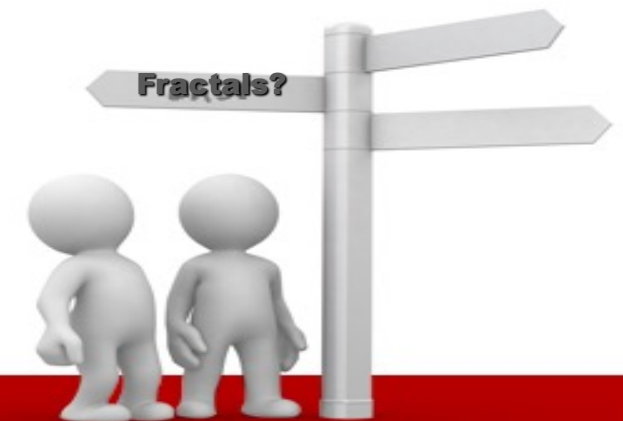
¿Qué es un fractal?

- La red arterial y pulmonar
- El árbol traqueo-bronquial
- El sistema His-Purkinje, las fibras cardíacas, etc

En todos ellos se observan características fractales



*“Si la geometría de la red vascular es fractal, ¿no es razonable esperar lo mismo de las funciones fisiológicas?”
(Bassingthwaight, 1988)*



Fractales y biología

- Los objetos geométricos se encuentran inmersos en dimensiones enteras (topológicas): la recta (**D=1**), el plano (**D=2**) y el espacio (**D=3**).
- Los objetos naturales, sin embargo, presentan irregularidades, deformaciones y huecos que los sitúan en una dimensión intermedia **no entera** denominada

DIMENSION FRACTAL (DF)



Brócoli: $DF \approx 2,66$



Costa: $DF \approx 1,20$

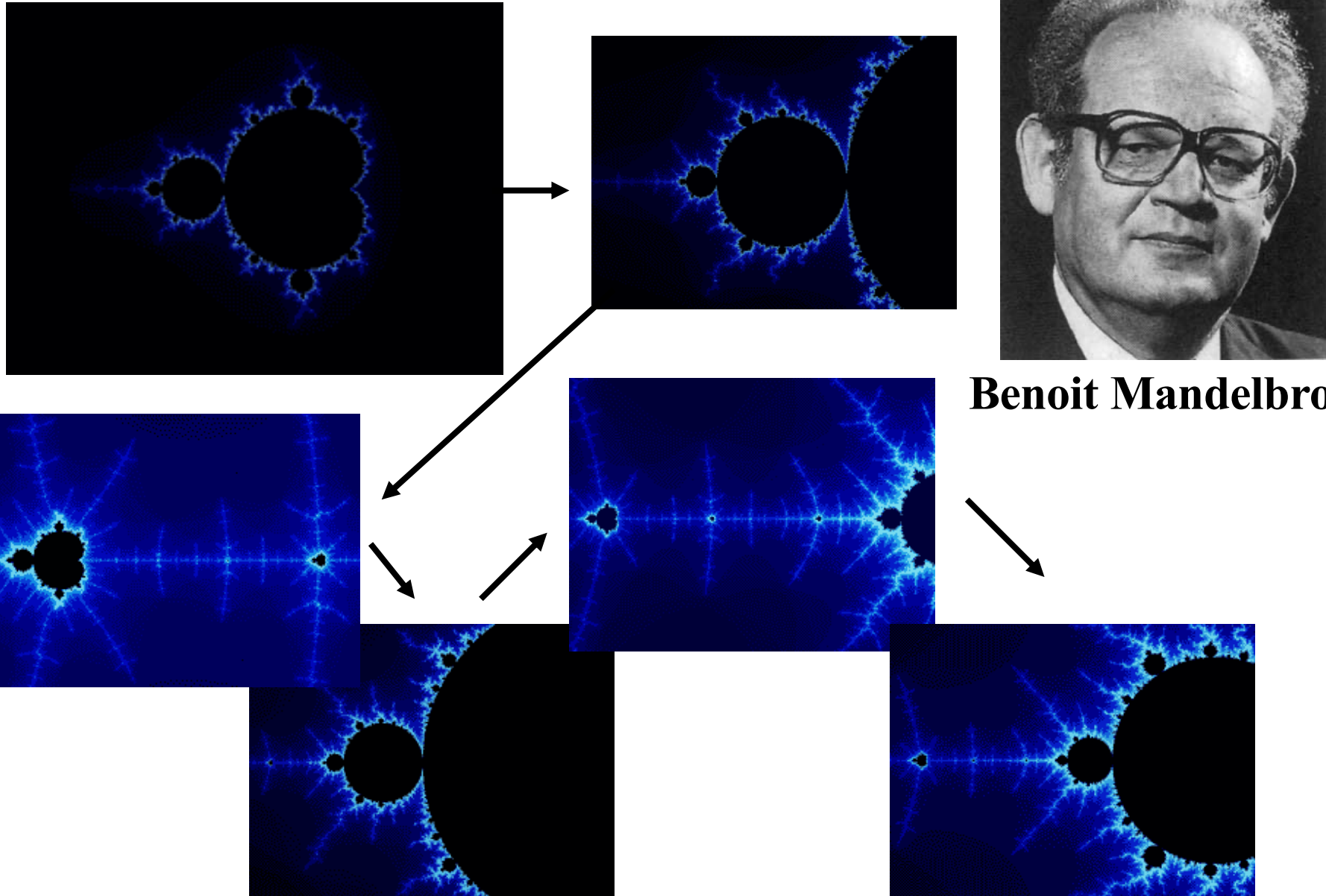


Esponja: $DF \approx 2,80$



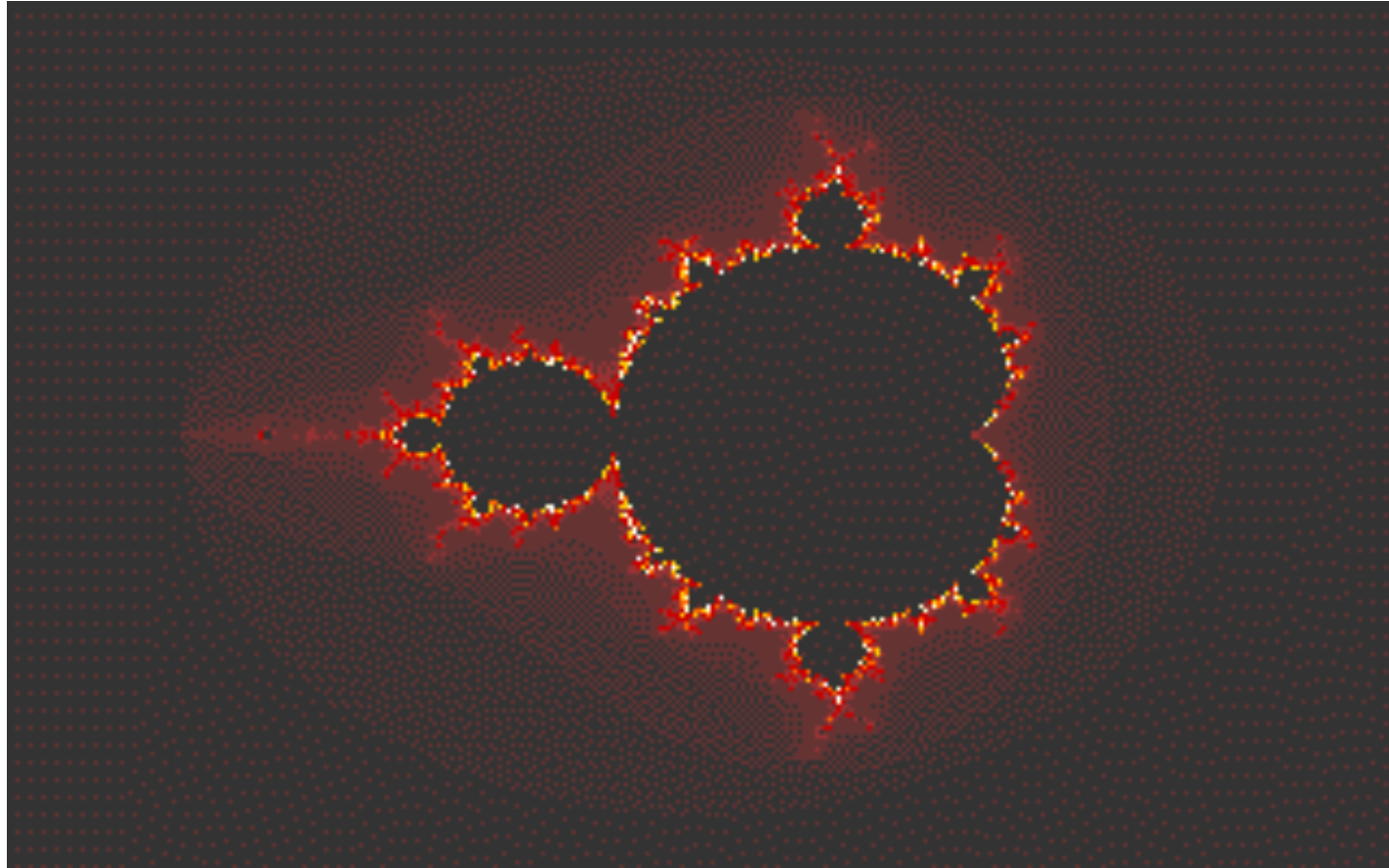
¿Cómo se mide la fractalidad?

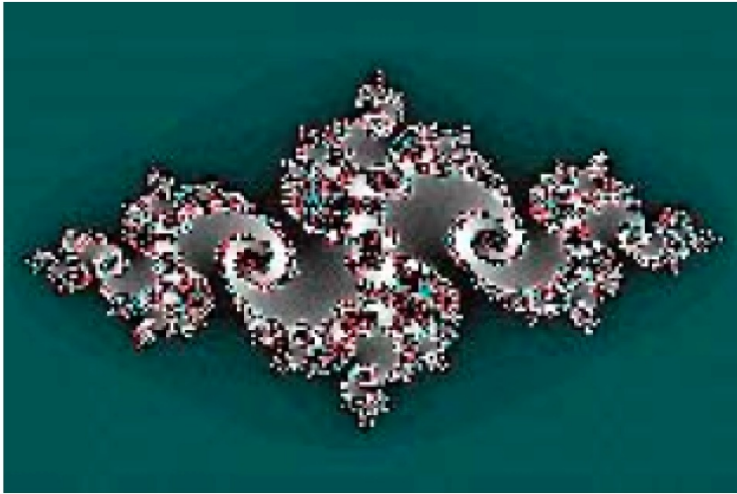
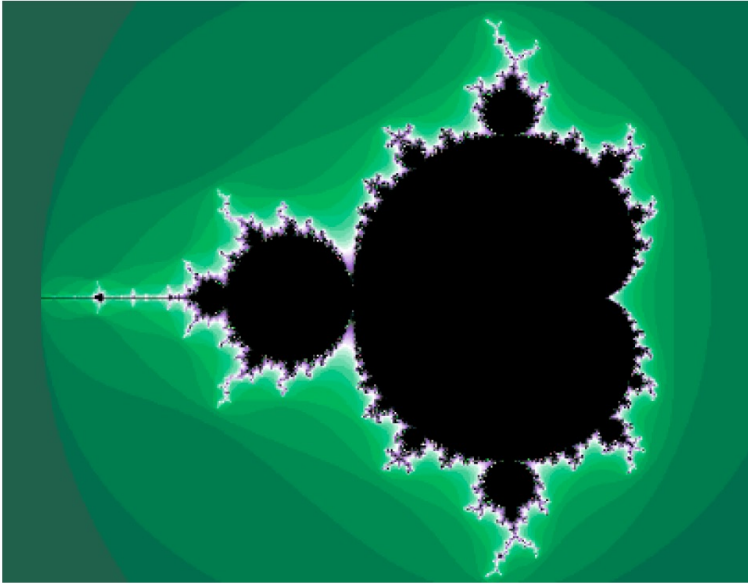
El conjunto de Mandelbrot



Benoit Mandelbrot

$$z_{n+1} = z_n^2 + c$$





• *La geometría Fractal cambiara a fondo su vision de las cosas. Seguir leyendo es peligroso. Se arriesga a perder denitivamente la imagen inofensiva que tiene de nubes, bosques, galaxias, hojas, plumas, flores, rocas, montañas, tapices, y de muchas otras cosas. Jamas volvera a recuperar las interpretaciones de todos estos objetos que hasta ahora le eran familiares."*

• *(Michael F. Barnsley)*

- Los procesos fractales generan fluctuaciones irregulares en múltiples escalas (*complejidad*)



“La pérdida de complejidad de los sistemas es característica de numerosas patologías, incluso del envejecimiento” (*Goldberger, 2002*)



¿Salud vs Enfermedad?

Introducción

Complejidad Fractal

- El sistema cardiovascular (*corazón + red vascular*) exhibe comportamientos **complejos**

**GEOMETRIA
FRACTAL**

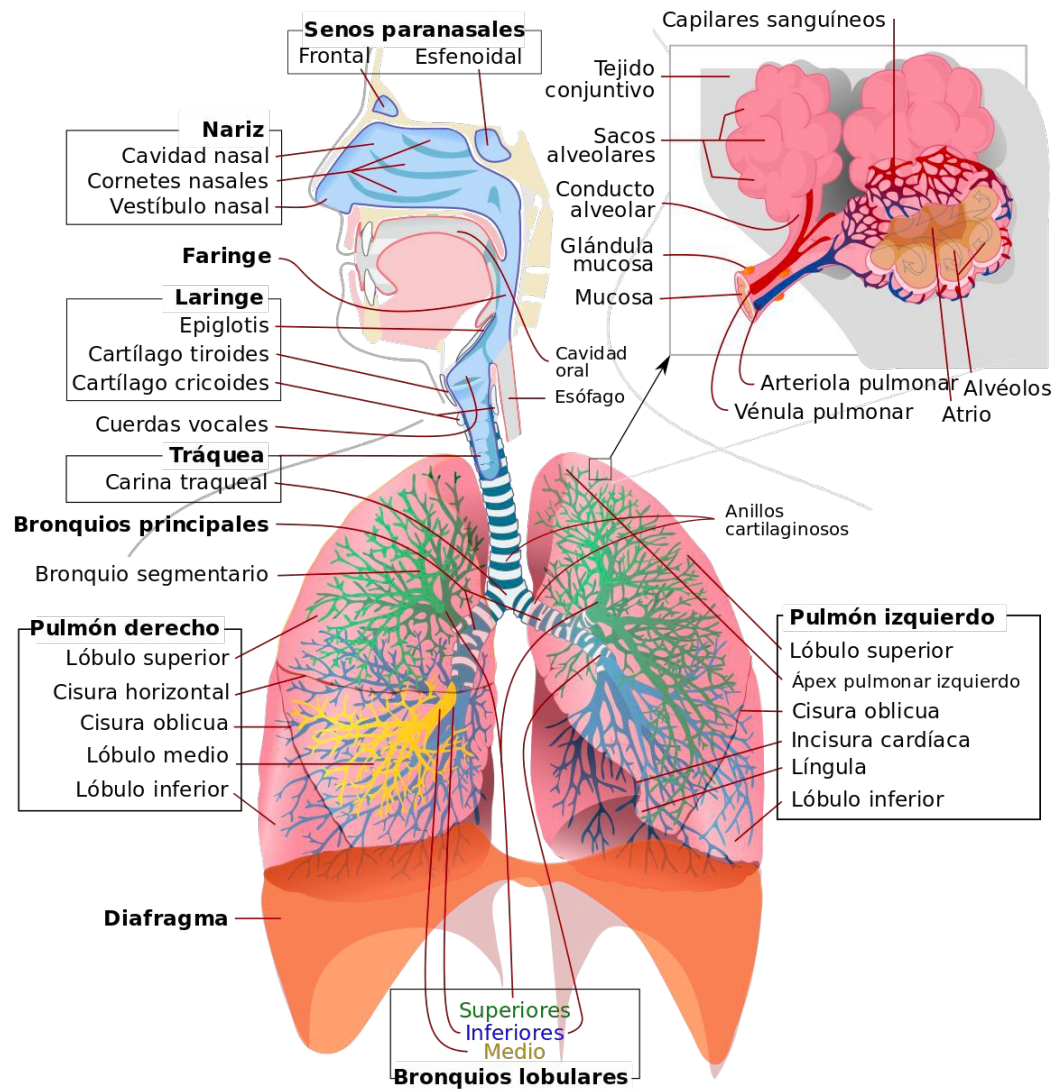
**EVALUACIÓN
TEMPORAL DE ONDAS**

**EVALUACIÓN
ESPACIAL**

**COMPORTAMIENTO
MORFOLÓGICO MULTI-
ESCALA**

**COMPLEJIDAD
FRACTAL**

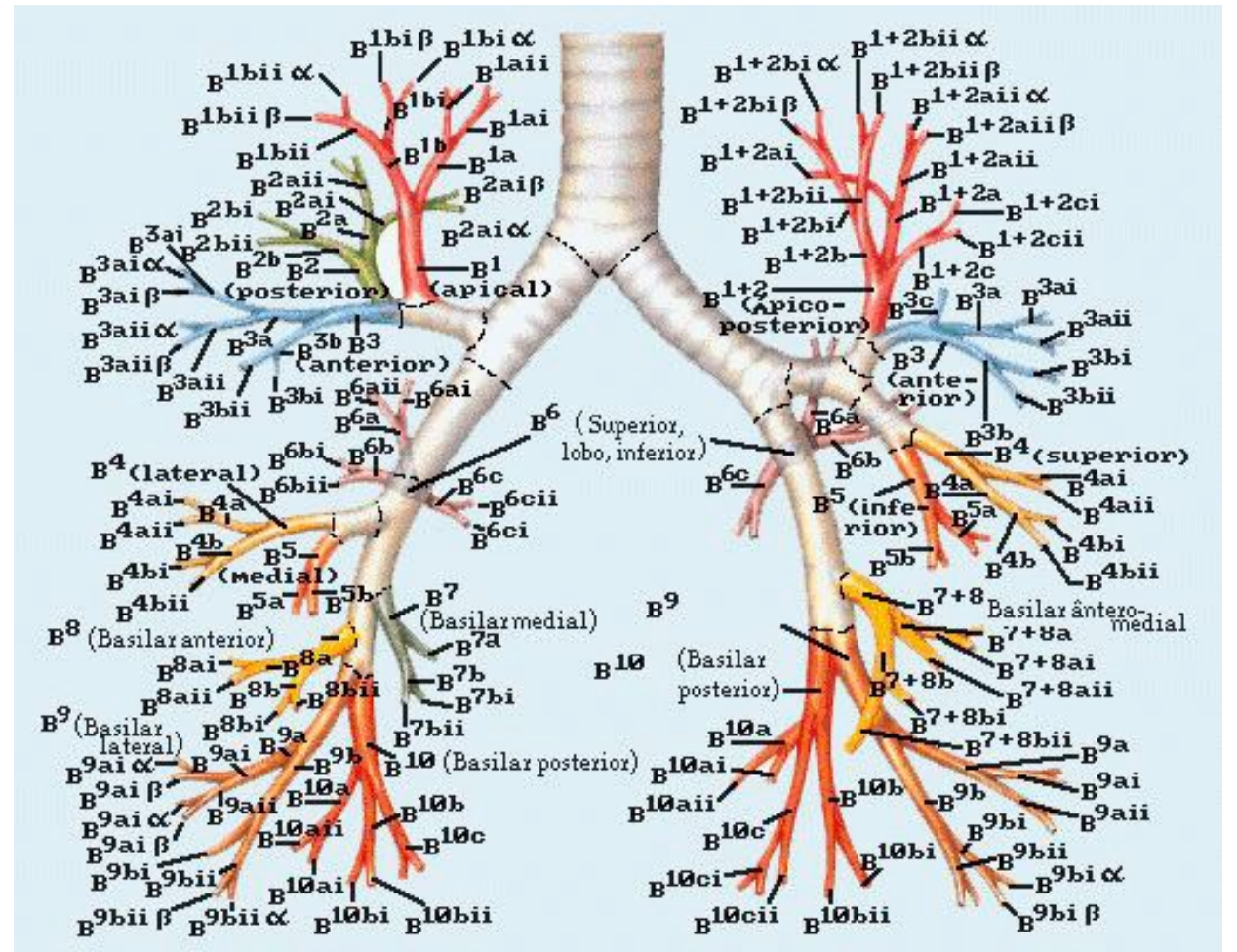
“La disminución de la complejidad fractal en **VFC** resulta un eficiente predictor de mortalidad, incluso sobre indicadores tradicionales” (Sharma, 2003)



Anatomía respiratoria

Estructura del Pulmón humano

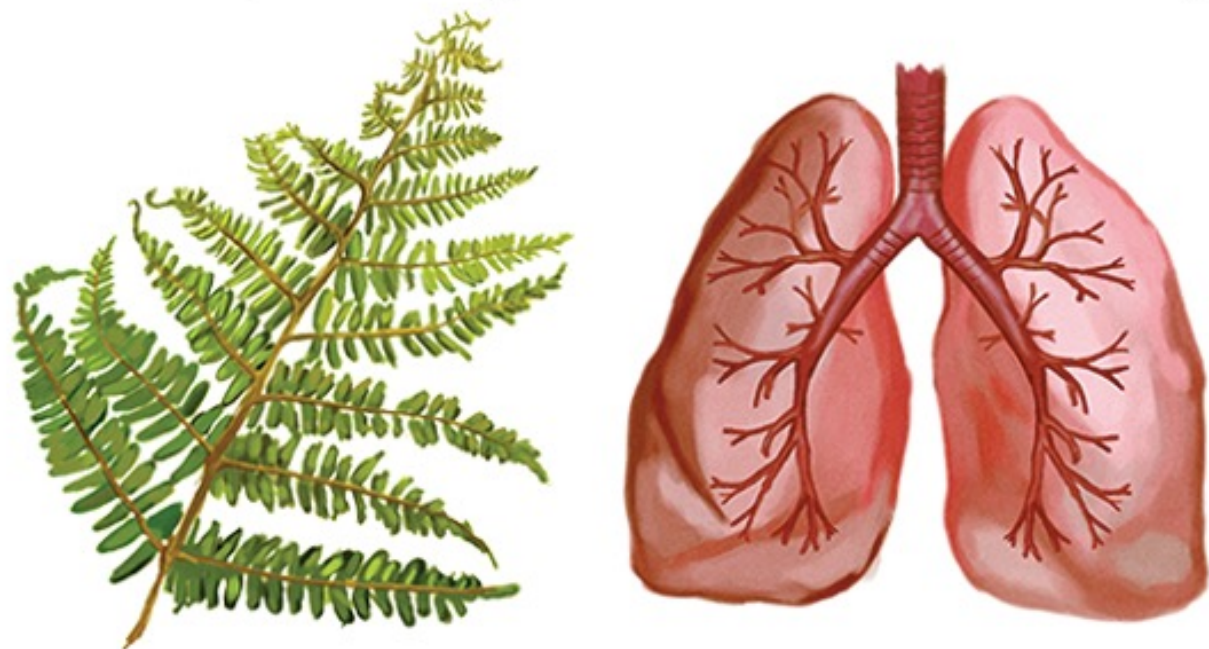
	Nombre de las ramas	Número de tubos en la rama
Zona de conducción	Tráquea	1
	Bronquios	2
		4
		8
		16
Bronquiolos	32	
Zona respiratoria	Bronquiolos terminales	6×10^4
	Bronquiolos respiratorios	5×10^5
	Conductos alveolares	
	Sacos alveolares	8×10^6



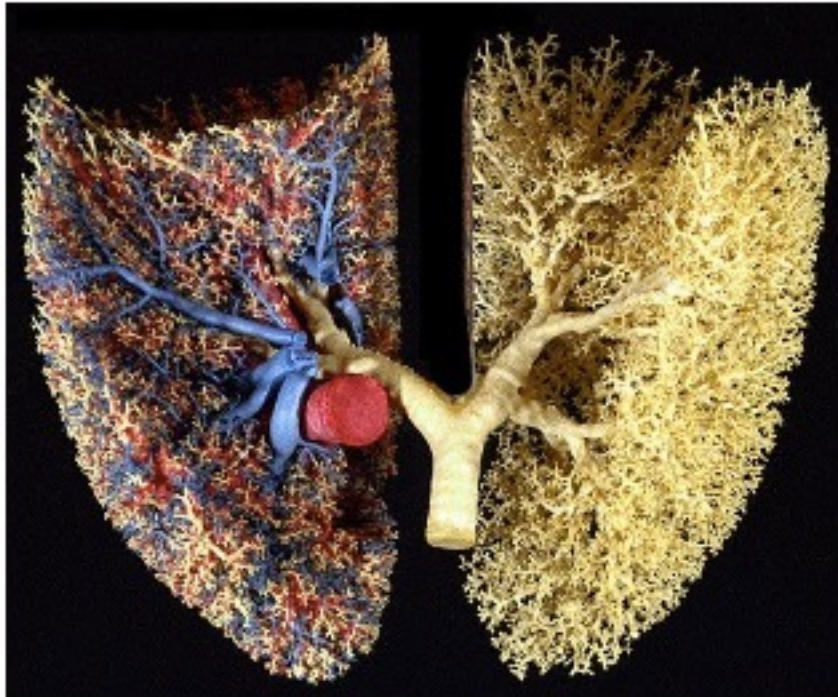
Fractales y pulmones

Si se observa bien la hoja de un helecho, verán que tiene un tallo central y unos tallos secundarios más pequeños que, a su vez, se dividen en tallitos con hojas diminutas. Estos tallitos con hojas diminutas reproducen en su forma, de manera exacta, la hoja grande. Vemos así, que la parte es igual al todo. Es una forma de crecer, de propagarse, que se repite en la naturaleza. Y esa forma que se repite se llama **fractal**.

Esta **estructura fractal** es muy similar a la del sistema circulatorio nuestro y el de los animales. Así que las plantas son fractales por fuera y los animales son fractales por dentro.



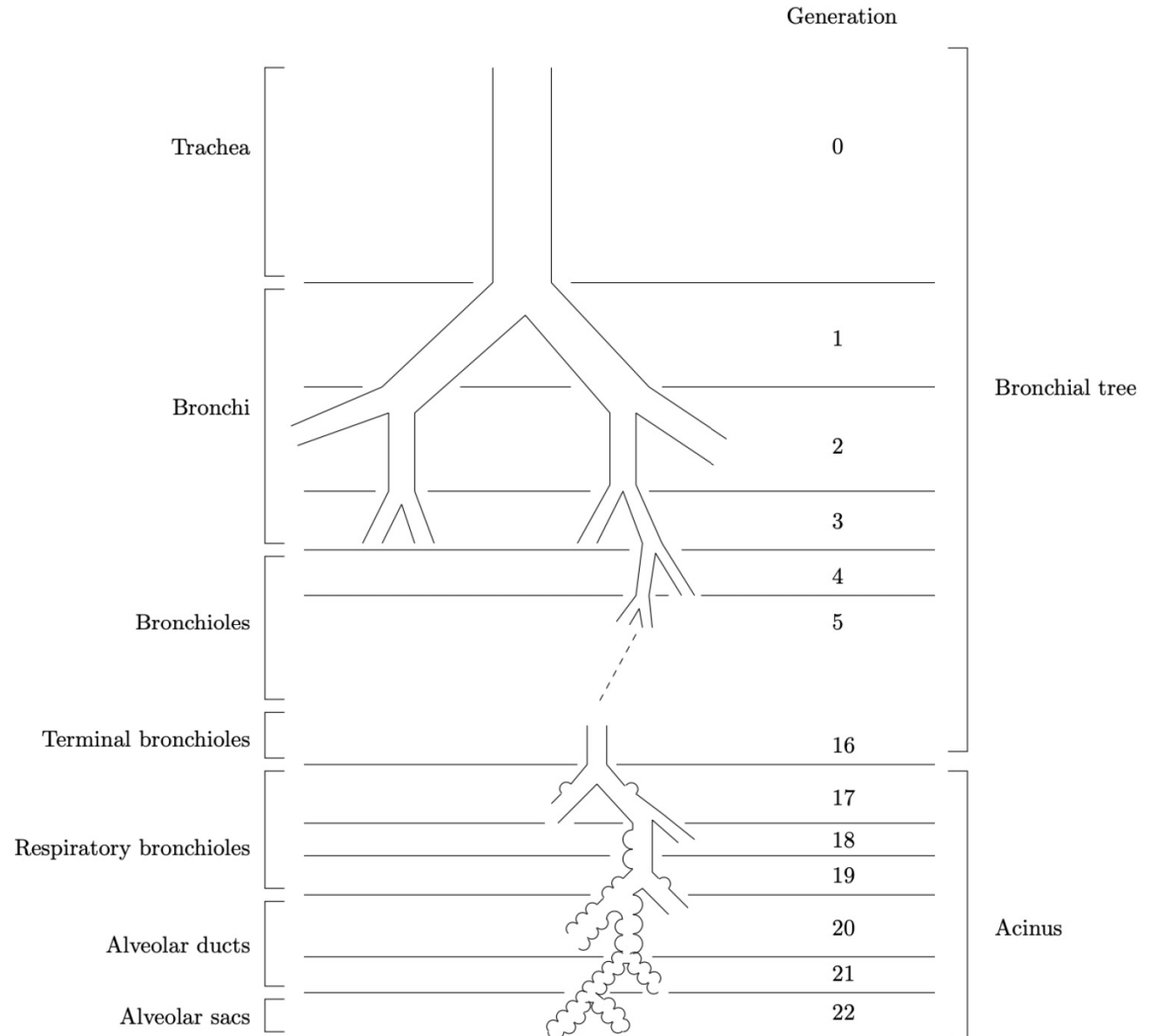
La **estructura** de un pulmón es similar a la de las plantas: una red de tubos que se ramifica. Primero está la tráquea que se ramifica en los bronquios, éstos, a su vez, en los bronquiolos y éstos en los más de 300 millones de alvéolos, formando una estructura similar a la de un árbol. Su parecido con un fractal es lo que les permite maximizar su superficie siguiendo un patrón de crecimiento relativamente sencillo (similar a distintas escalas). Los pulmones, como árboles invertidos (y los árboles, como pulmones invertidos), intercambian gases en la punta de cada rama, donde se encuentran los alvéolos (las hojas). La cantidad de gases que consiguen aprovechar es directamente proporcional a su superficie total. Y aquí es donde viene el dato sorprendente: aunque el volumen de los pulmones humanos es apenas de unos 4 a 6 litros, su superficie ronda los 140 metros cuadrados, algo más de media cancha de tenis. En esto consiste, precisamente, la idea de rugosidad.



Resumen

Si observamos nuestros pulmones, estas estructuras cerradas aparentemente sencillas son ramificaciones y ramificaciones de tubos, arterias, venas y linfáticos, hasta el nivel celular. El tubo principal, la tráquea, se ramifica en los bronquios principales derecho e izquierdo, que a su vez se ramifican en múltiples bronquiolos y luego en bronquiolos sucesivamente más pequeños hasta llegar a los alvéolos. Las mismas iteraciones se producen con los sistemas venoso, arterial y linfático. A medida que las ramificaciones se hacen más pequeñas, se produce una transición de un proceso estructural (mover cosas hacia dentro y hacia fuera) a un proceso funcional (intercambio de gases y movimiento de la sangre). Los alvéolos son principalmente el lugar donde se produce el intercambio de gases desde los sacos aéreos hasta los intrincados vasos donde se unen los sistemas arterial y venoso: desde las arterias pulmonares hasta los sacos aéreos (la sangre rica en dióxido de carbono permite la salida del dióxido de carbono) desde las venas pulmonares (el oxígeno se une a la hemoglobina de las células sanguíneas) y vuelve al lado izquierdo del corazón.



Estructura Fractal Pulmon humano

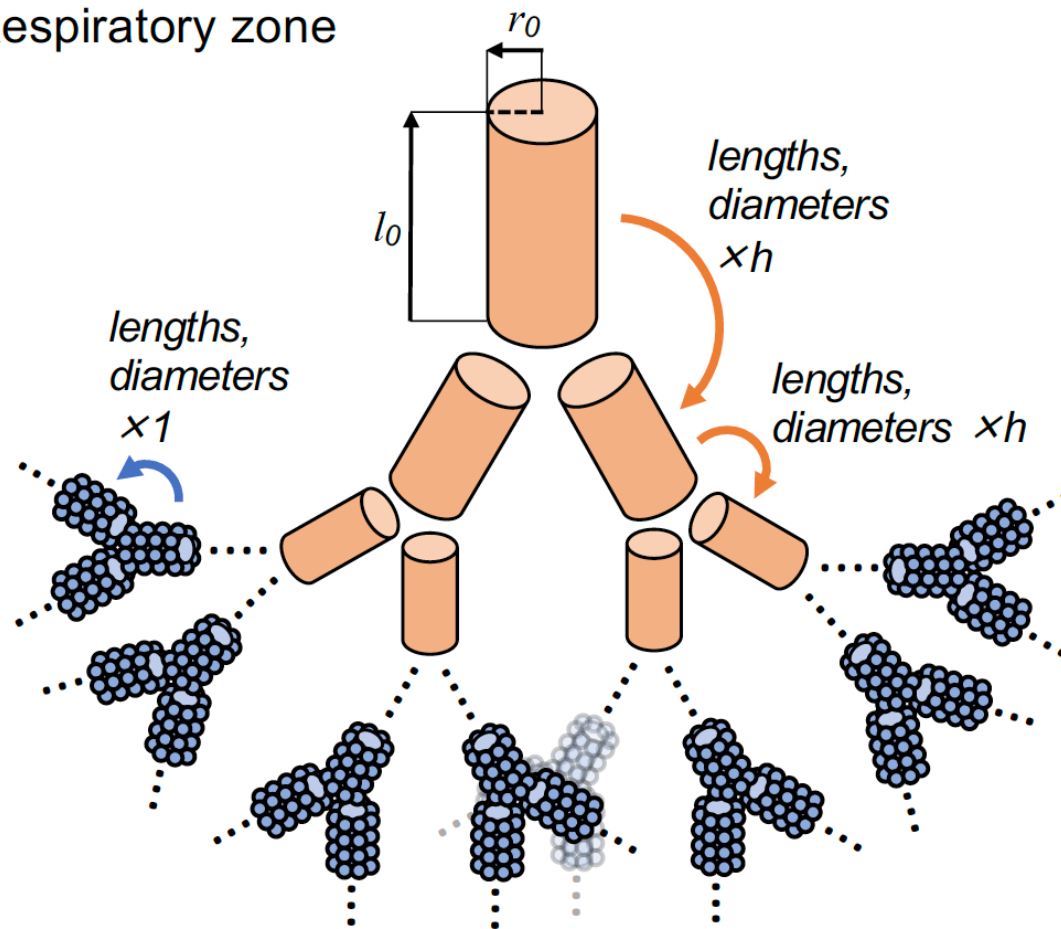


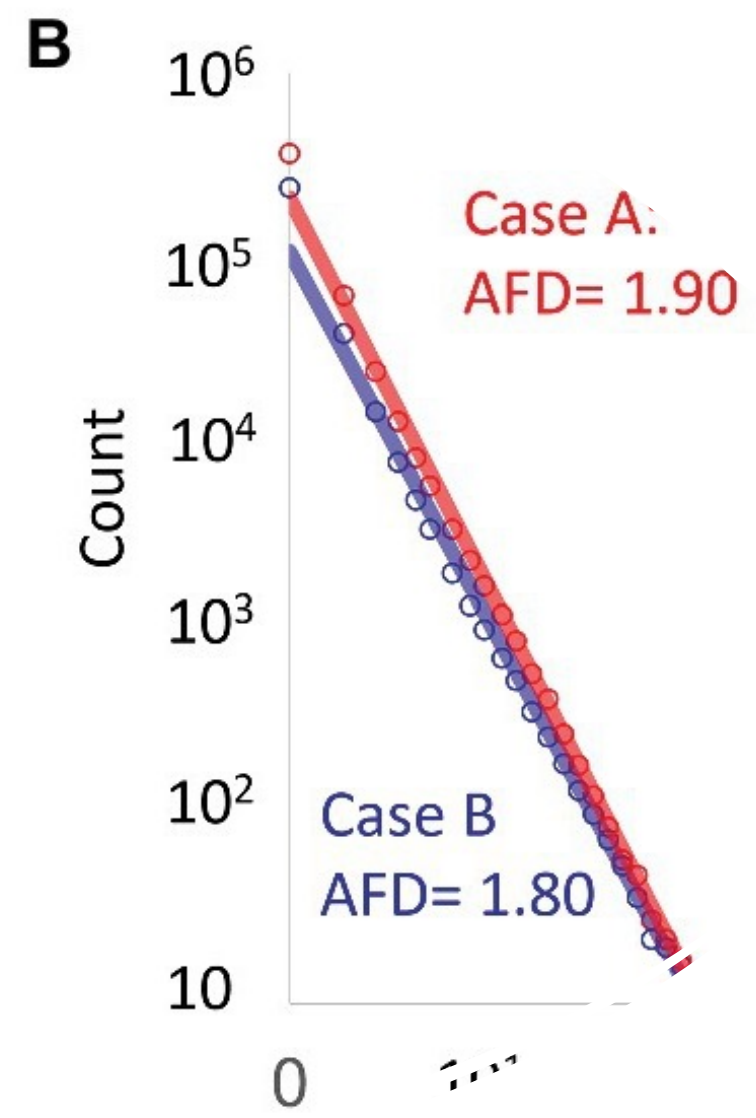
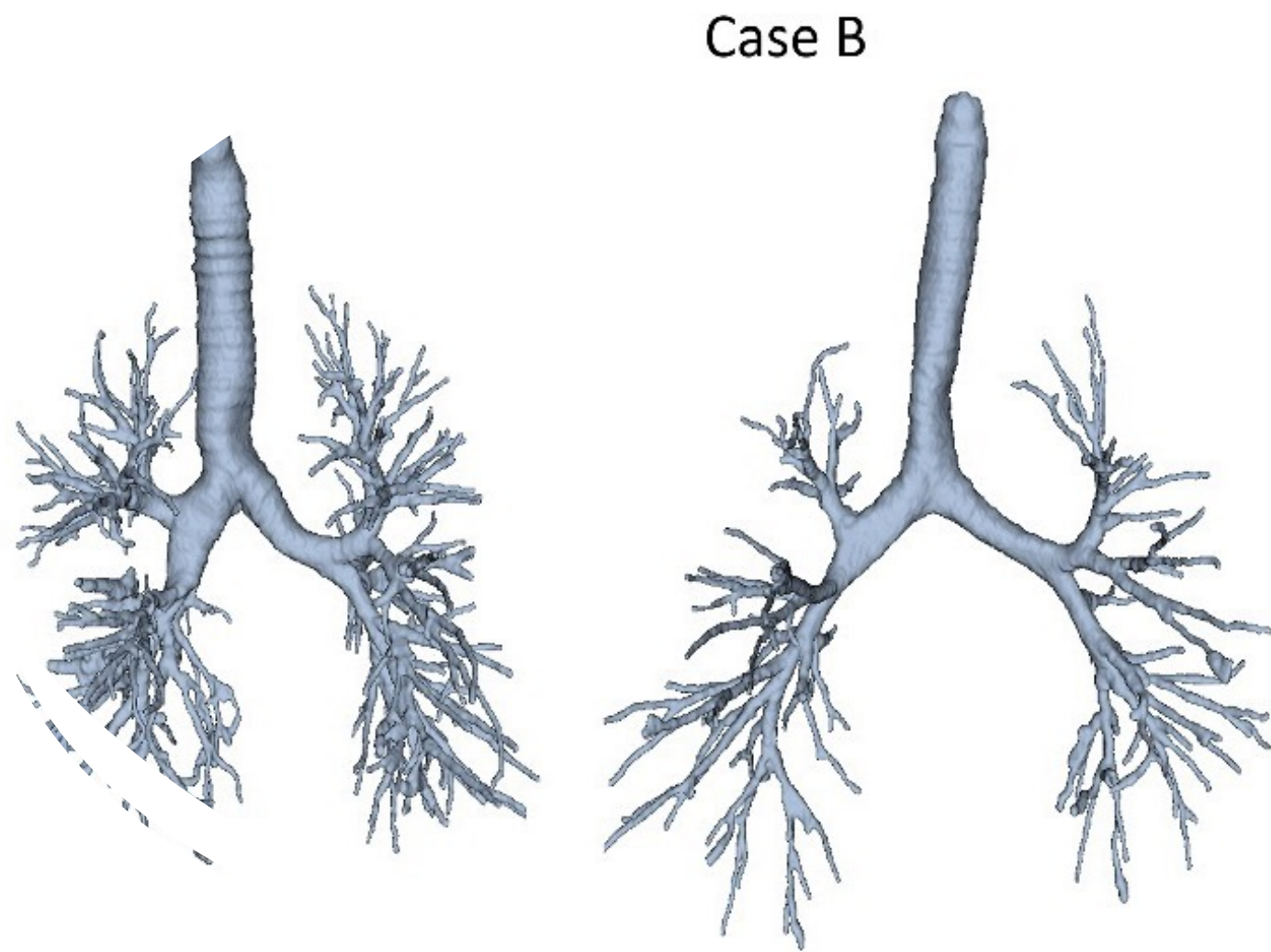


*Molde de acrílico y Broncografía
del árbol bronquial de Rattus
norvegicus.*

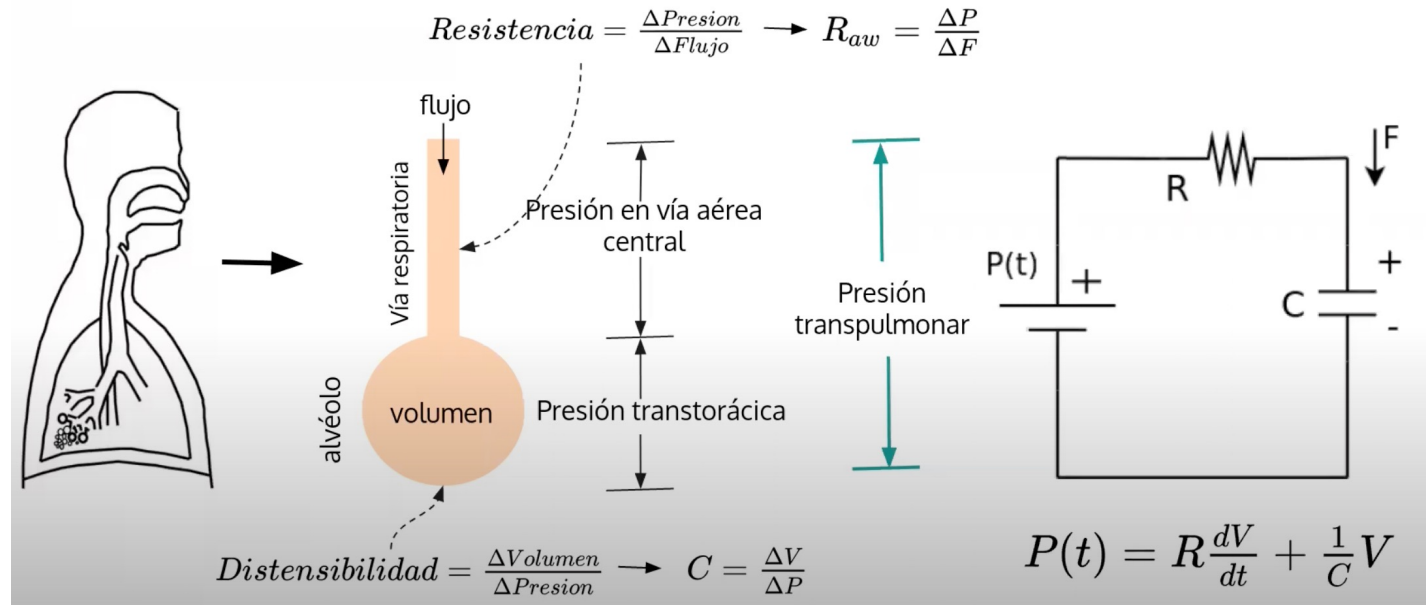
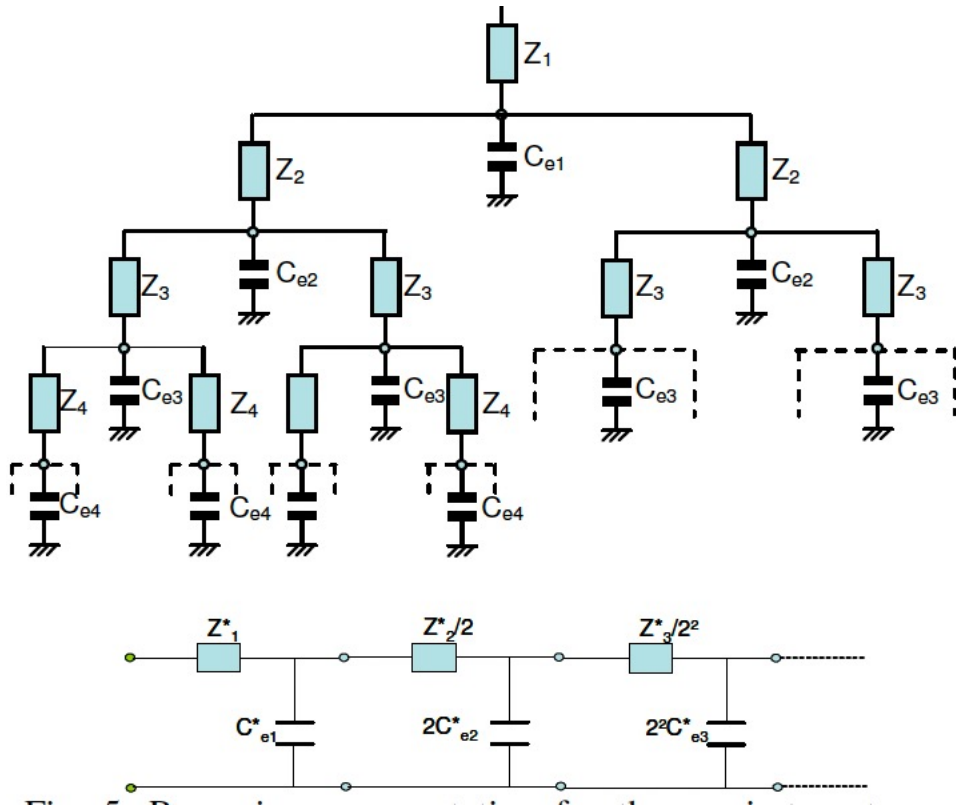
Modelo de pulmon con estructuras autosimilares con bifurcaciones simetricas

-  Conductive zone
-  Respiratory zone





Modelos de Pulmon concentrados y distribuidos



*Fin del curso
teorico 2023*



Temas de Final

- Tema Sistema esquelético y biomecánica de tejidos blandos. La relación tensión-deformación Elasticidad Viscosidad Modelos viscoelásticos. Se deberán procesar datos de presión y diámetro experimentales para encontrar las propiedades mecánicas. Discutir casos clínicos de la hipertensión arterial y el envejecimiento sobre como afectan cada una de las propiedades mecánicas.
- Tema Ciclo Cardíaco. Determinantes de la Función cardíaca. Balance de Energía. Funciones de elastancia variable. Discutir casos clínicos de la hipertensión arterial, la insuficiencia cardíaca y el envejecimiento sobre como afectan cada una de las propiedades mecánicas.
- Tema Análisis de la variabilidad cardiovascular. Se deberá simular las respuestas del sistema CV para condiciones variables de respuesta del barorreflejo.
- Tema Nefrona. Se deberá realizar una descripción del planteo que realiza el modelo Multiplicación a contracorriente y el Modelo central, así como detallar cuáles son los supuestos para cada uno de ellos y sobre qué pilares se basan
- Tema Potencial de acción. Se deberá desarrollar el modelo de disparo neuronal dado por Hodgkin y Huxley a través de las ecuaciones del modelo, comprenderlas y completar la implementación
- Tema Impedancia Arterial. Se deberá desarrollar la caracterización del sistema arterial como red eléctrica explicando la significancia fisiológica de varios parámetros, así como identificar su efecto sobre la red (principalmente su rol en la simulación de estados patológicos tales como la Hipertension y el Envejecimiento). Concepto de filtrado y amortiguamiento del pulso