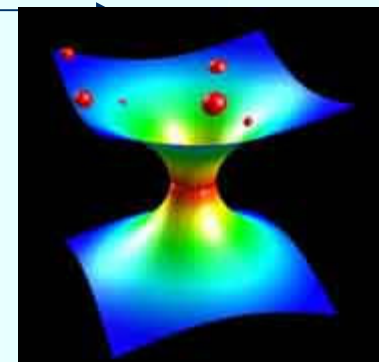
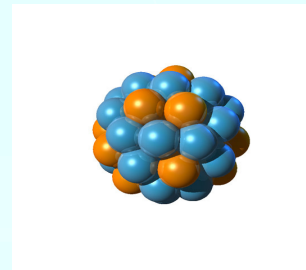
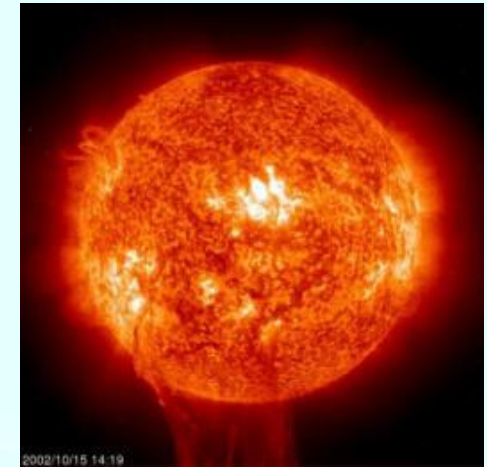
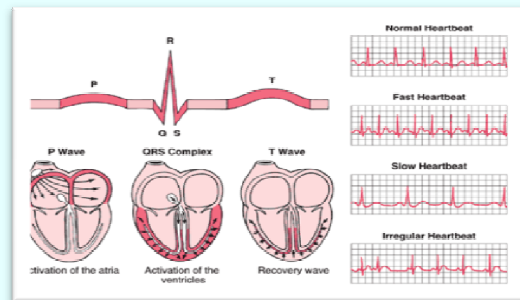


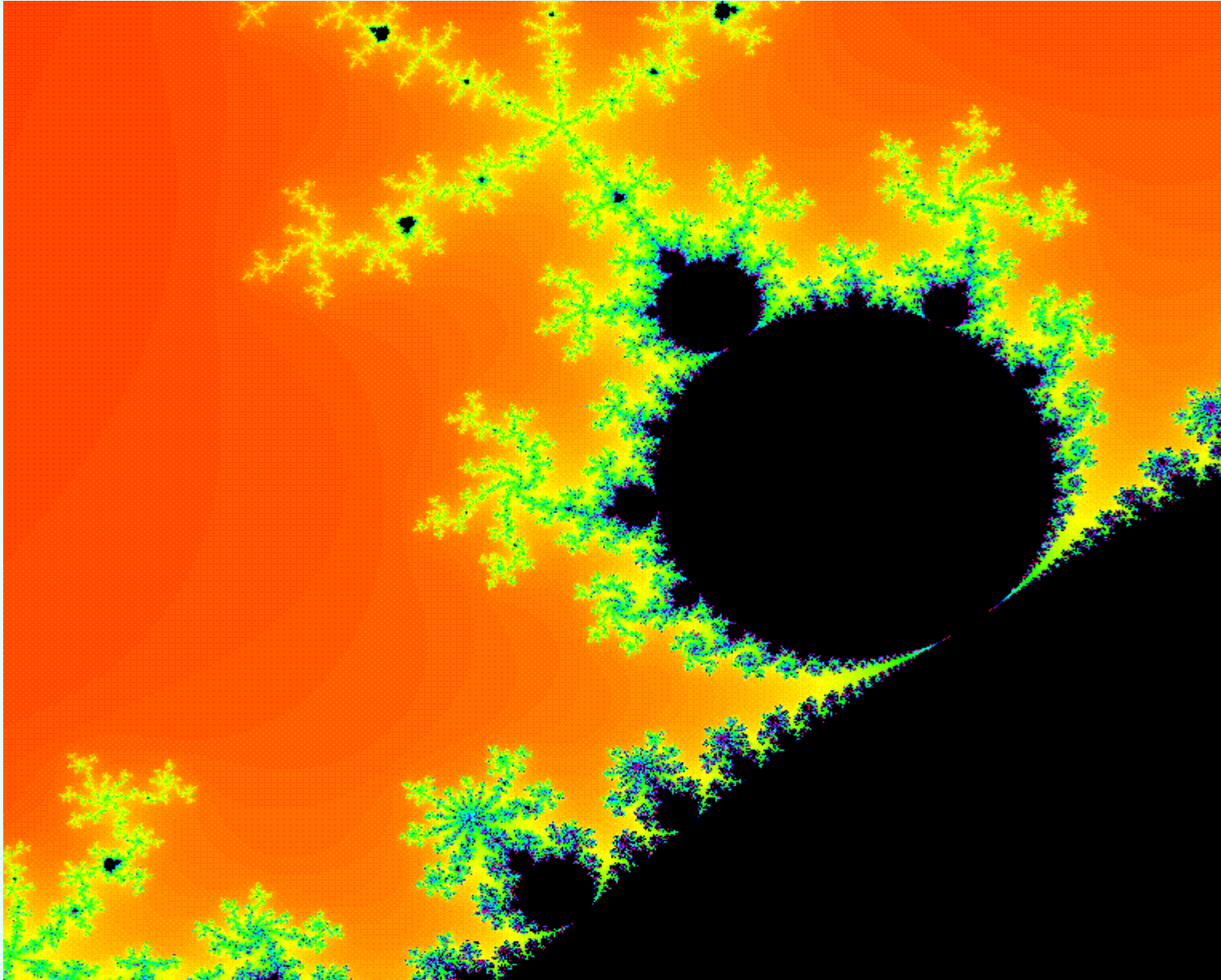


Series de tiempo en la física y en la biología: escuchando las señales de la Naturaleza

A. Frank, ICN y C3, UNAM, México



Nuevo Paradigma: La Complejidad
invariancia de escala: fractales y caos: **prevalecen en la naturaleza**





C3
Proyecto
Transdisciplinario

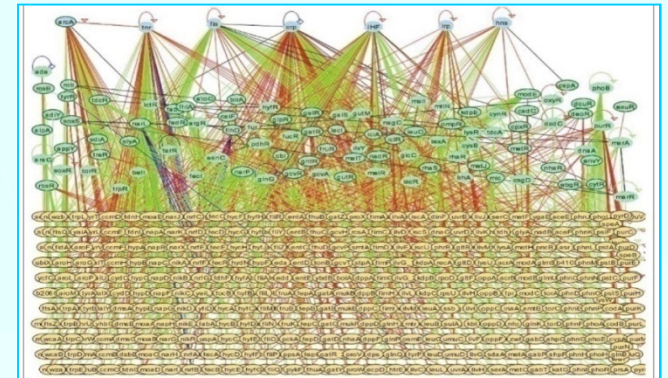


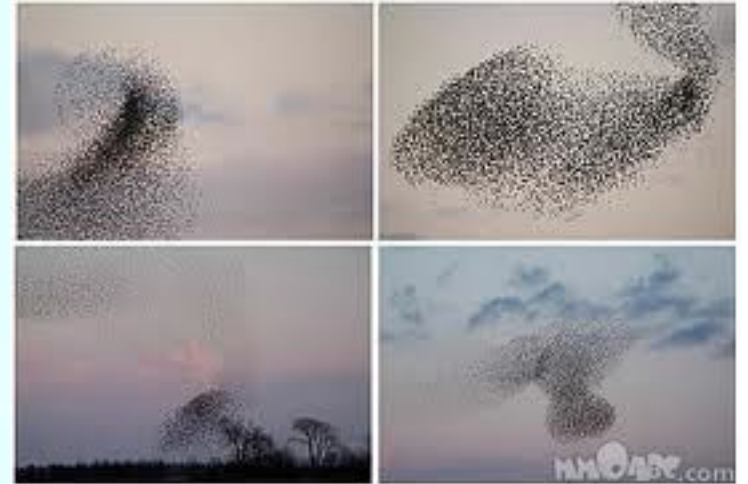
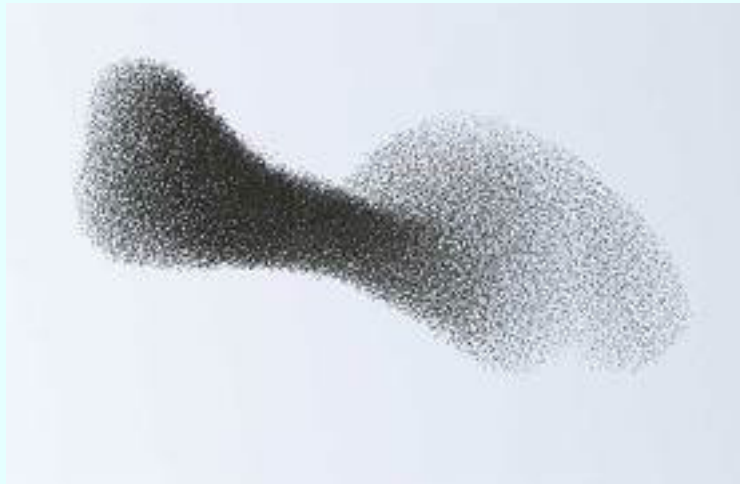
Sistemas Complejos



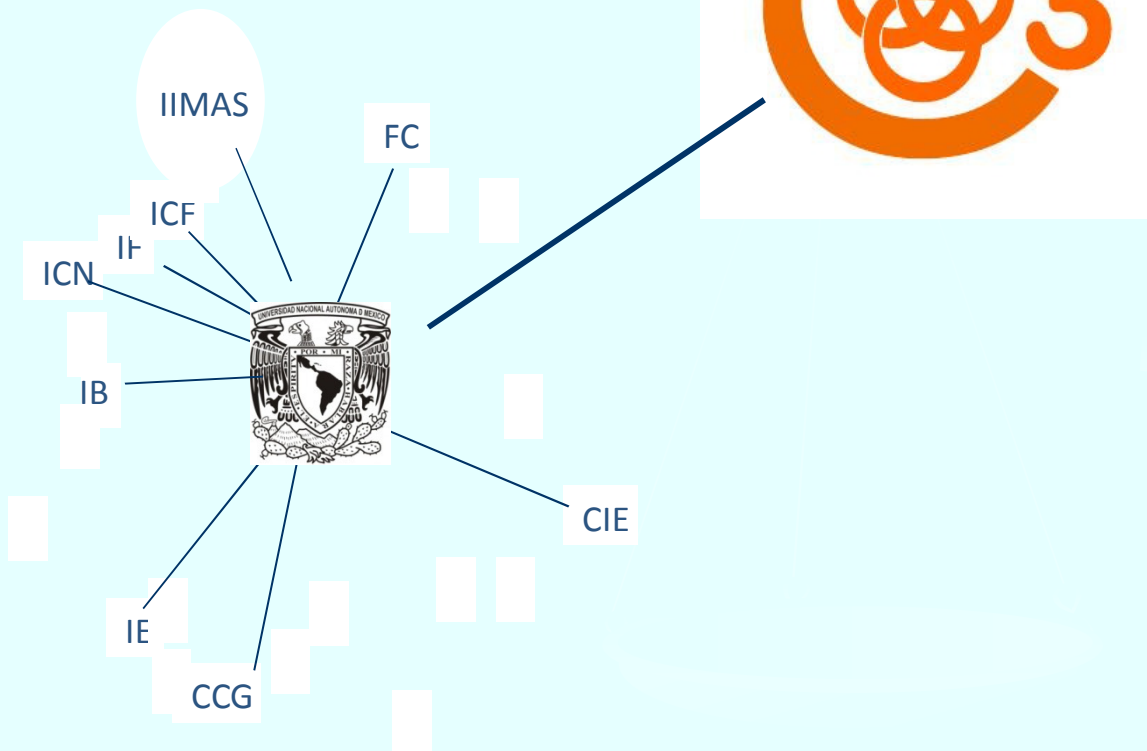
estorninos

¿Cómo **emerge** el comportamiento colectivo, coherente, a partir de interacciones simples?



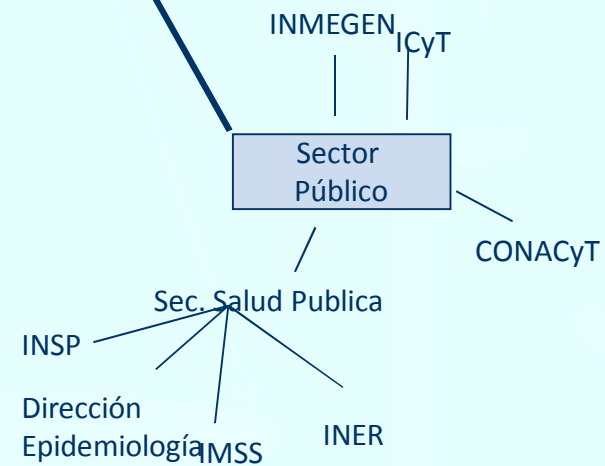
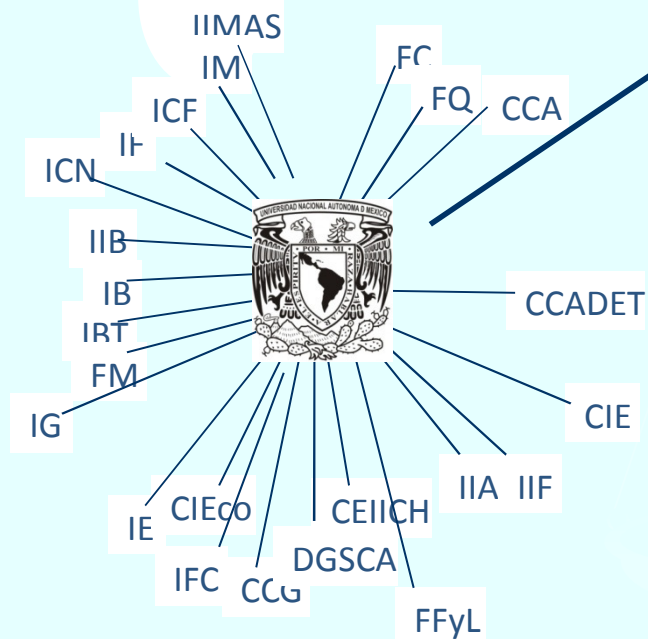


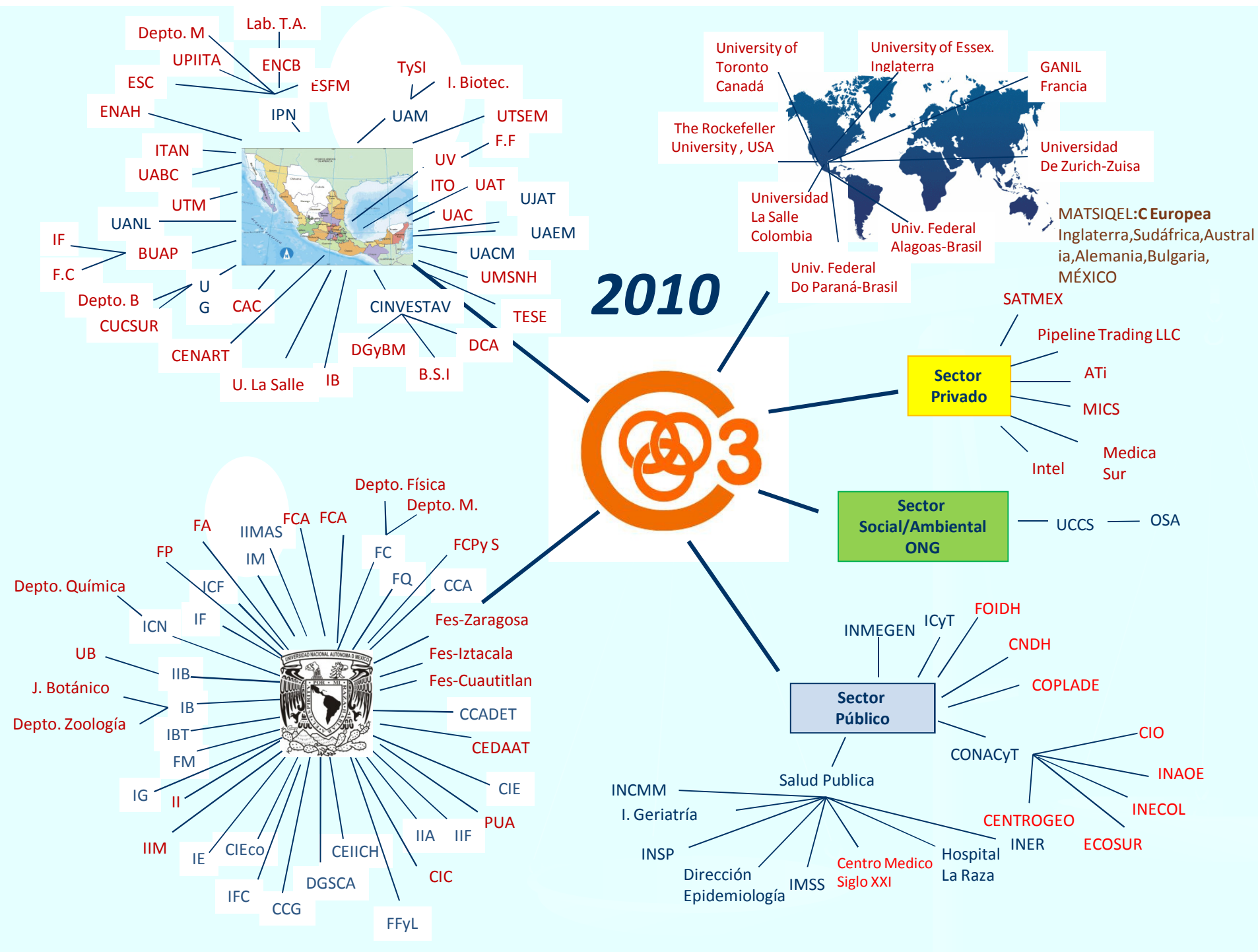
Los participantes originales

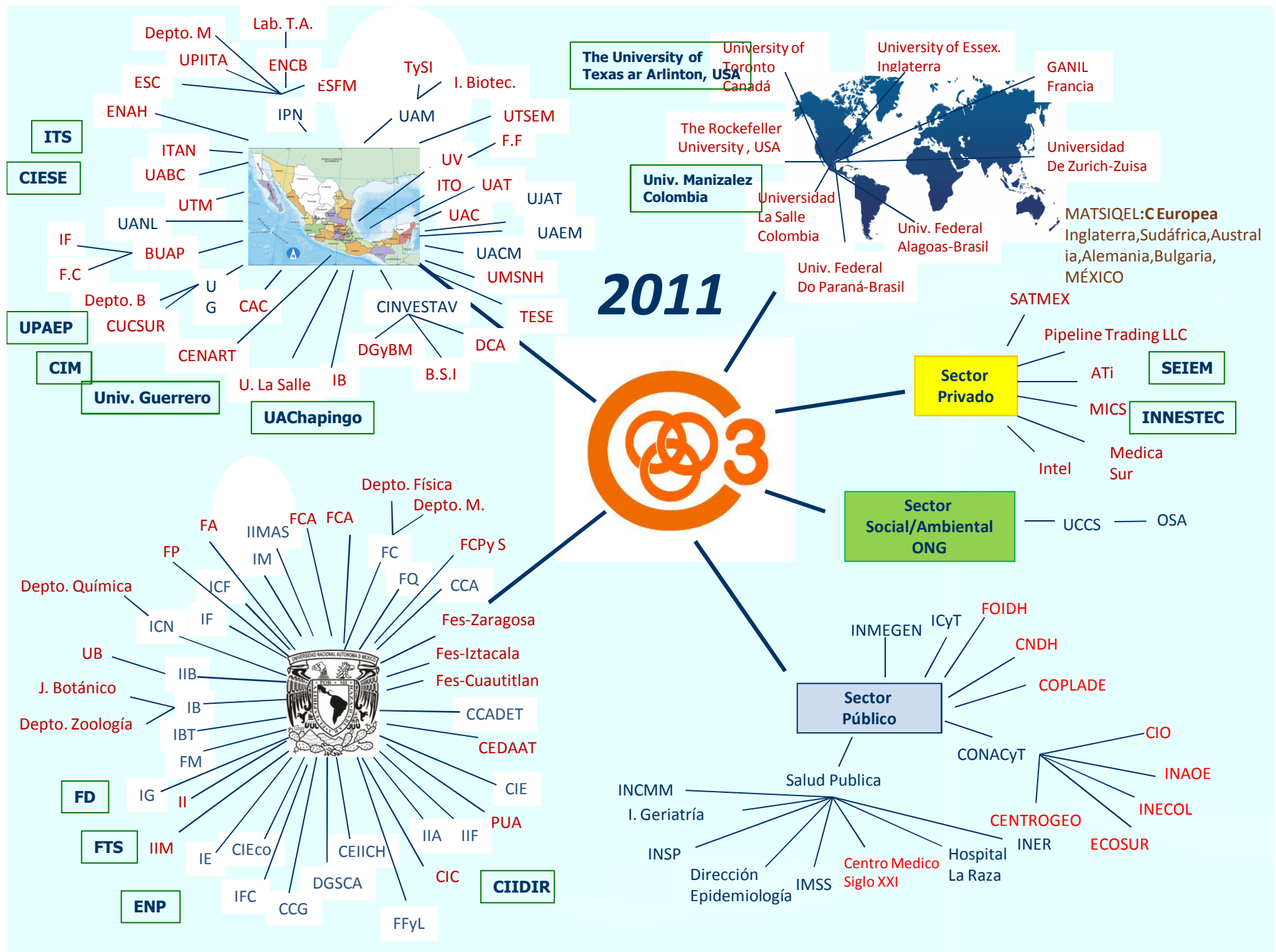




2009









Algunos Proyectos Específicos: enfermedades respiratorias: sistema ciudadano de alarma epidemiológica

Proyecto patrocinado por el ICyT del D.F. \$1,000,000 (+ \$1m)



Sistema Ciudadano de
Monitoreo de Enfermedades
RESPIRATORIAS



¡Tu participación
es importante!



COLABORA INFORMACIÓN SOBRE LA INFLUENZA VE LOS RESULTADOS ACERCA DE ESTA PÁGINA

CUESTIONARIO

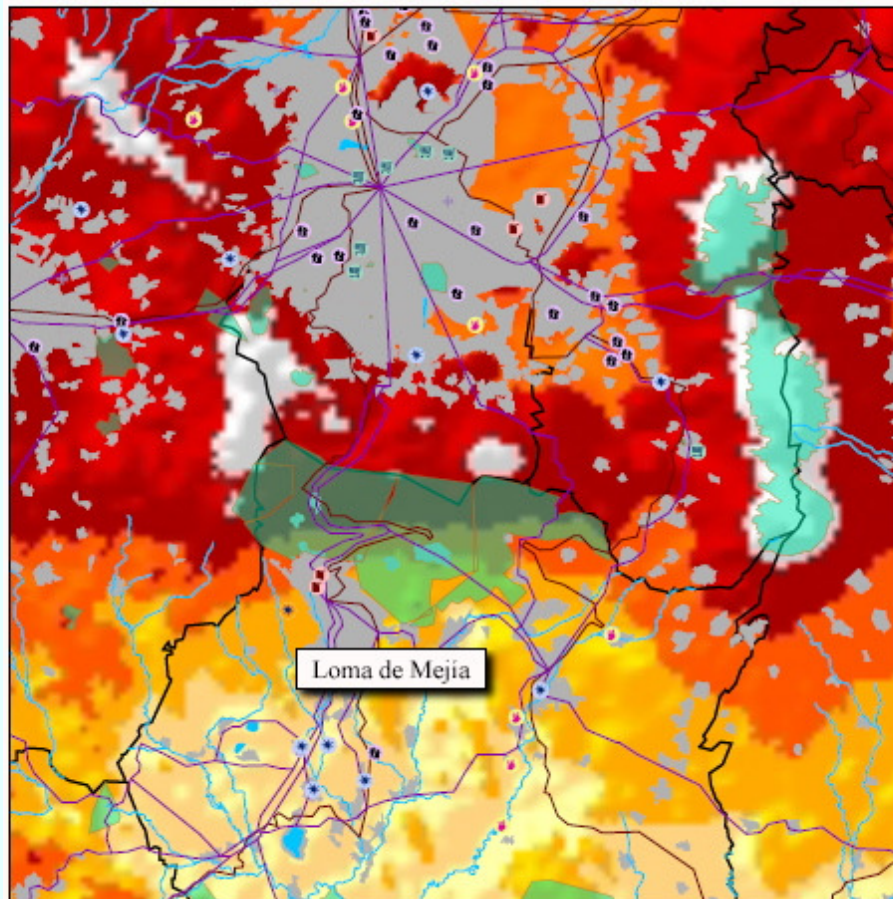
En los **últimos siete días**:

¿Cuáles de estos síntomas se te presentaron?

- ☐ Dolor al tragar
- ☐ Dificultad para respirar
- ☐ Debilidad
- ☐ Diarrea
- ☐ Vómito
- ☐ Dolor de articulaciones (coyunturas)
- ☐ Dolor muscular
- ☐ Irritación de los ojos
- ☐ Tos
- ☐ Dolor de cabeza
- ☐ Congestión o escurrimiento nasal

Si no tuviste ninguno de esos síntomas, puedes salir del cuestionario dando clic [Aquí](#)

Vinculación formal con el sector socio-ambiental a través de la UCCS.
Prototipo de servidor de mapas del OSA-UCCS/C3

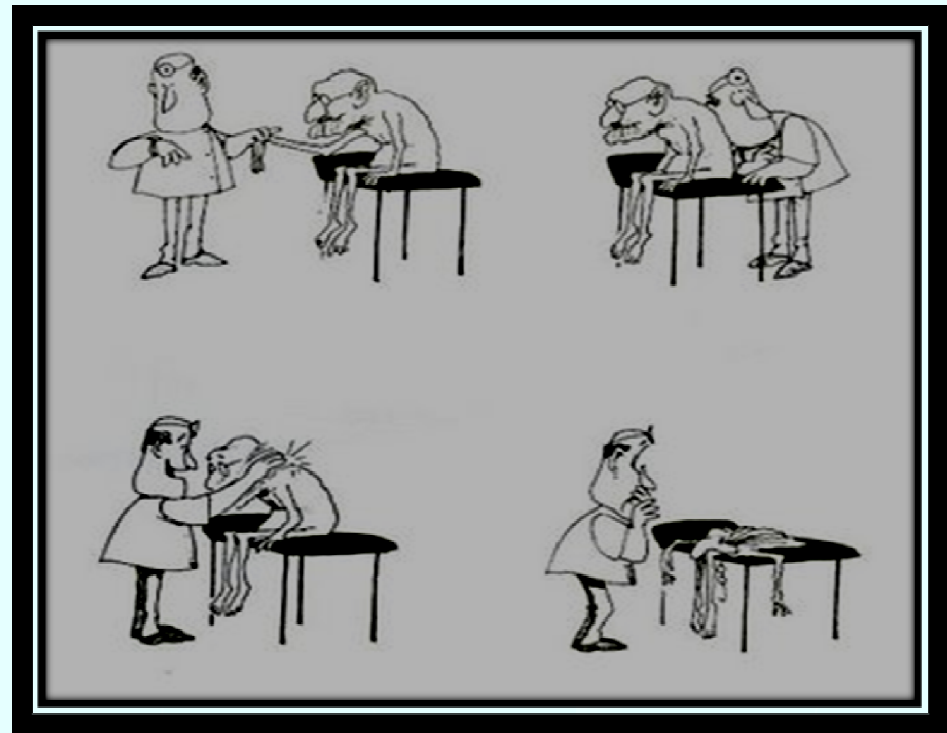
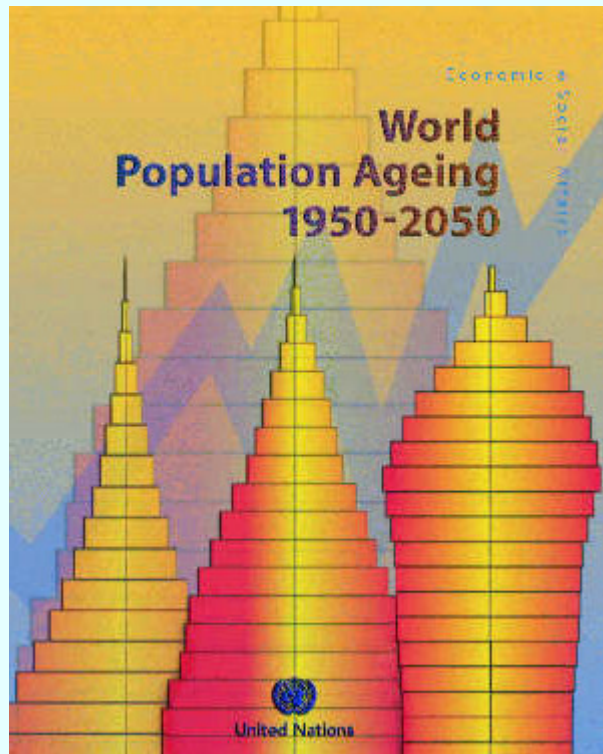


Categoría	Agua
Motivo del conflicto	Contaminación
Expediente	
Estado	Morelos
Municipio	Cuernavaca
Lugar del conflicto	Loma de Mejía
Dirección	
Empresa o institución responsable	
Descripción del problema	La lucha para impedir la construcción y op un relleno sanitario en una zona de recarga gran biodiversidad en Cuernavaca
Datos adicionales	La empresa Promotora Ambiental S.A. (P. gobierno municipal se obstinan en instalar



Fragilidad

Proyecto patrocinado por la FP7 de la Unión Europea 250,000 Euros
Solicitud de proyecto a la Secretaria de Salud



La fragilidad es un biomarcador que mide y predice la morbilidad y mortalidad en personas mayores. Se ha interpretado como la acumulación de daños aleatorios por el organismo que no se reparan más. Financiamiento: Conacyt, Papiit, Programa Marie Curie FP7 : **MATSIQEL: "Models for Ageing and Technological Solutions for Enhancing the Quality of Life"**: C de Investigación en Inglaterra, Sudáfrica, Australia, Alemania, Bulgaria y México.

CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

Polígonos Proyectos C3

1-	1.1443
2-	1.8835
3-	1.4905
4-	1.3391
5-	1.0714
6-	1.4861
7-	1.1063

Total 9.5212 Ha

Simbología general

- Zona Núcleo
- Zona de Amortiguamiento
- Edificios
- Ciudad Universitaria
- Manzanas



0 125 250 500 750 1,000
Metros



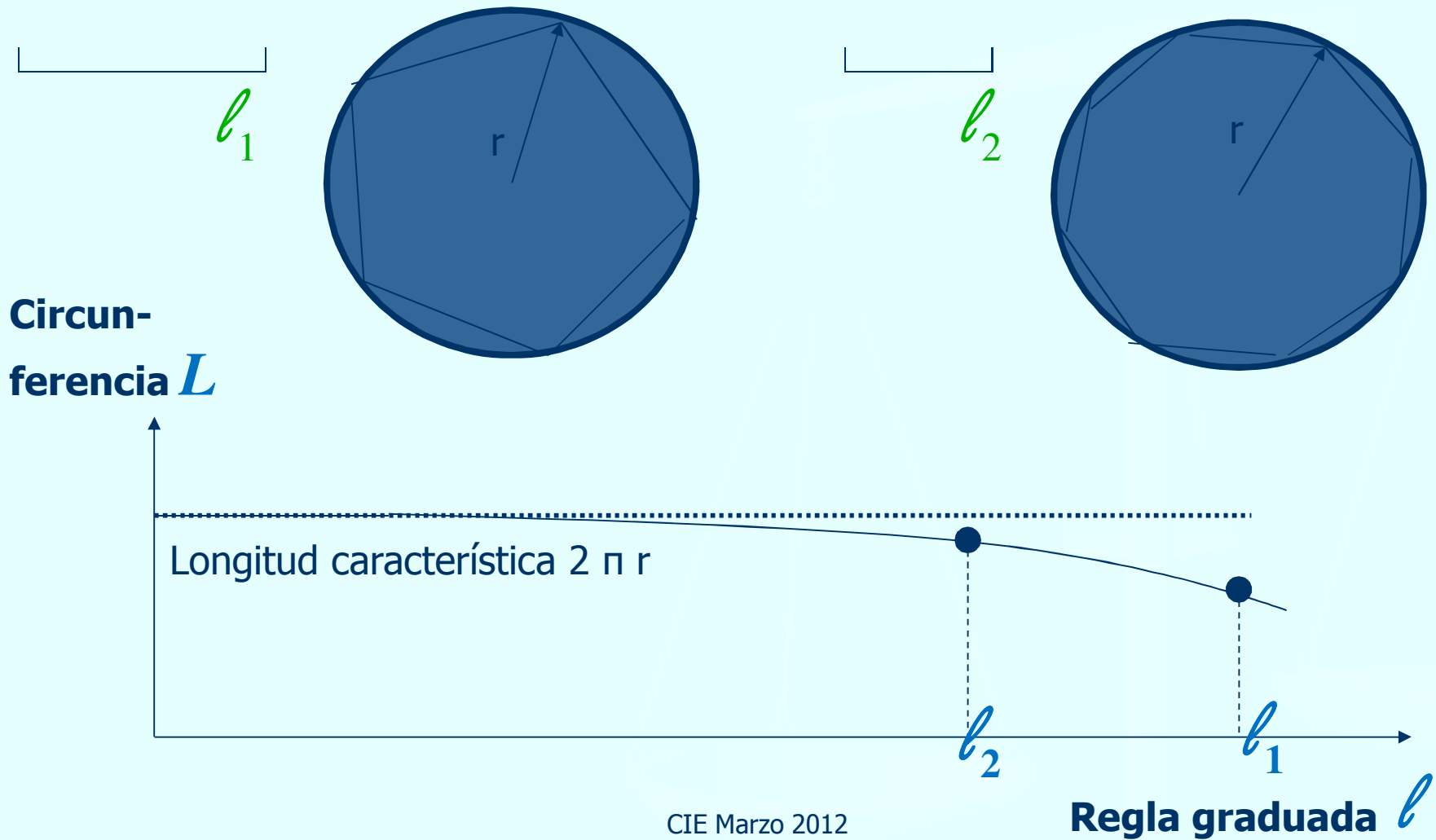
¿ Pueden encontrarse patrones en el desorden ?



Autosimilitud y dimensión fractal

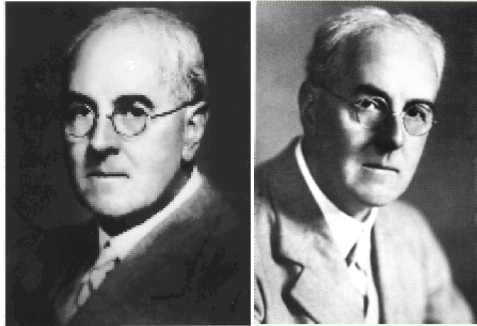
Medir circunferencias con una regla graduada

Un círculo



Medir circunferencias con una regla graduada

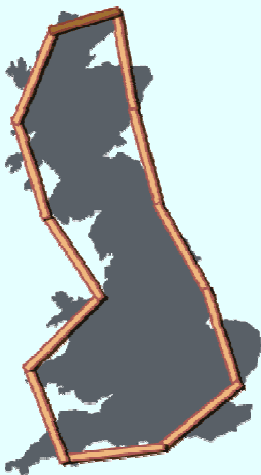
El perímetro de una costa



Lewis Fry RICHARDSON

1881 – 1953

http://en.wikipedia.org/wiki/How_Long_Is_the_Coast_of_Britain%3F_Statistical_SelfSimilarity_and_Fractional_Dimension



Unidad 200km
Longitud 2400km

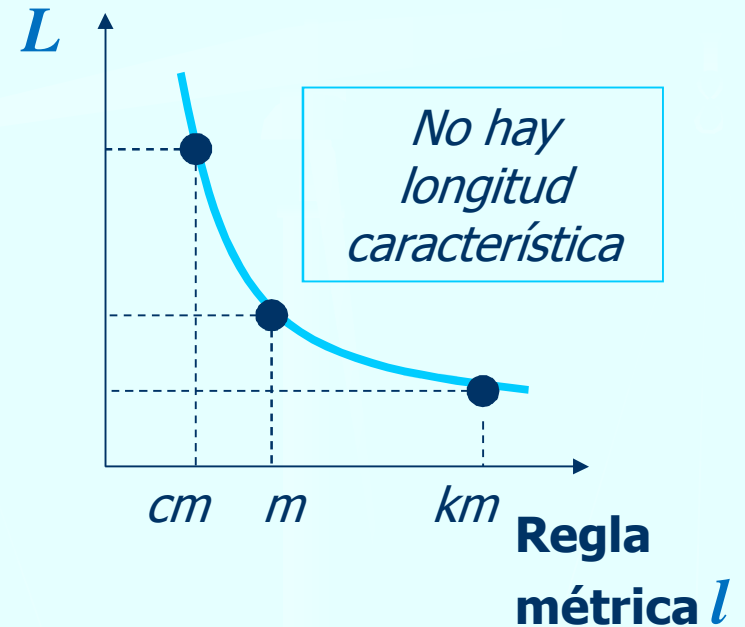


Unidad 100km
Longitud 2800km



Unidad 50km
Longitud 3400km

Longitud de costa

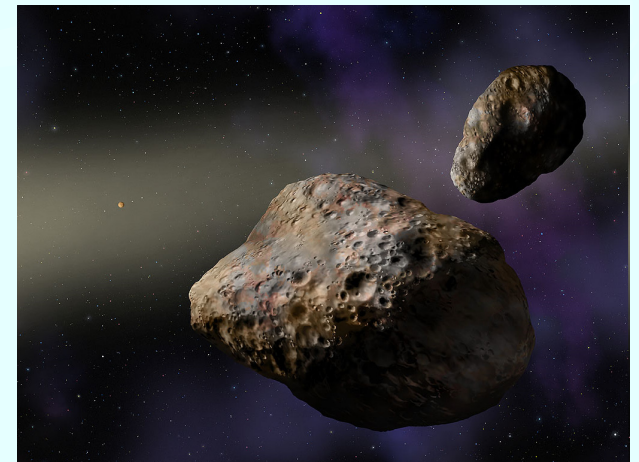


$$L \sim l^{1-d}$$

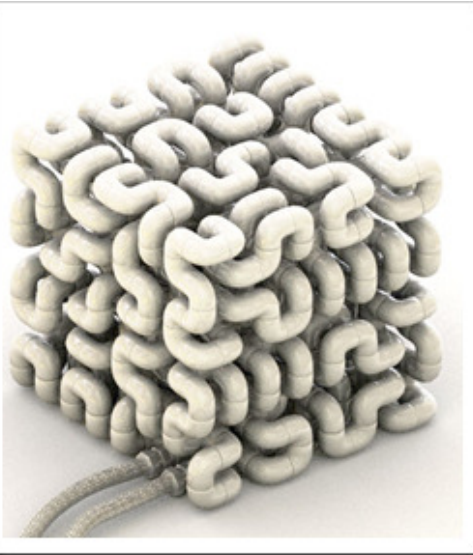
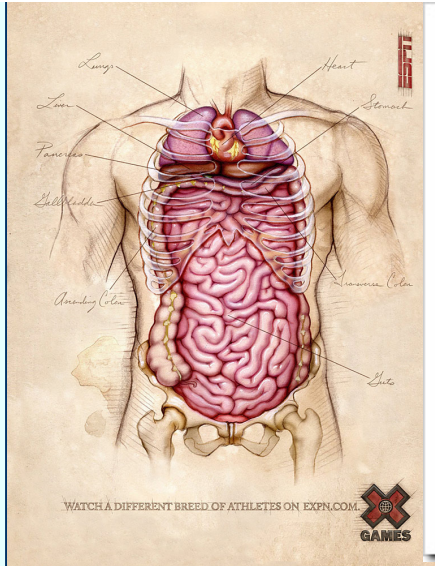
Con p.ej. $d = 1.21$, que es la *dimensión fractal*

Objetos sin dimensión característica

Imposible de adivinar sus dimensiones sin una referencia



Órganos con Estructura Fractal:

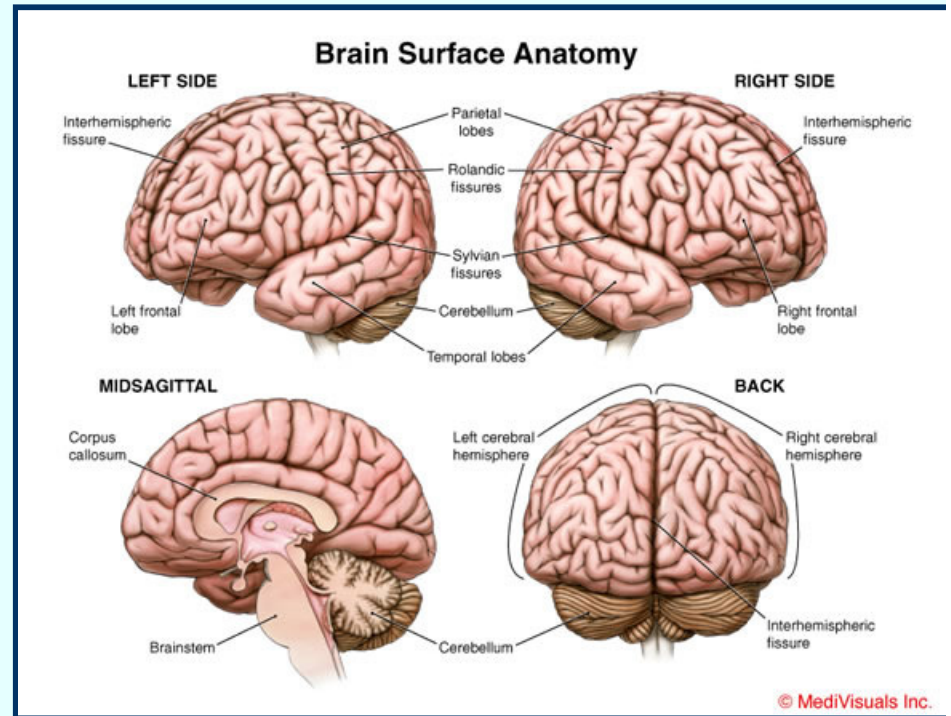
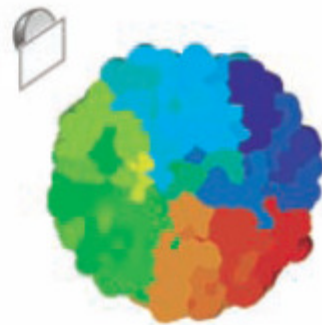


DNA

Fractal
globule



Cross-section view



Marzo 2012

Significado de la dimensión fractal del ADN

Encontraron una dimensión fractal para el ADN dentro del núcleo de la célula con $2.2 < d < 2.6$, que indica cuánto la estructura tridimensional del ADN se parece a una **esfera perfectamente lisa** ($d=2$) o a una **superficie infinitamente rugosa** ($d=3$).

**Superficie
lisa**



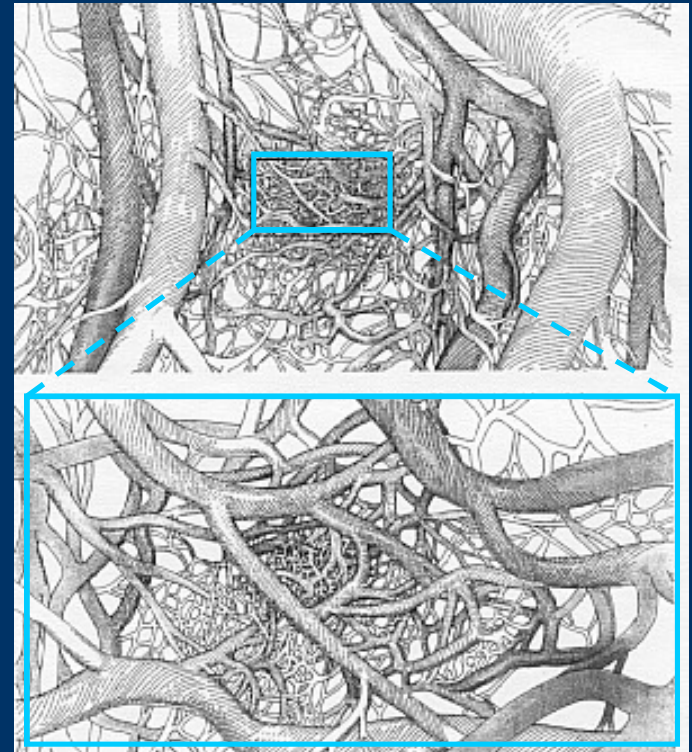
**Superficie
espinosa**



Circulación sanguínea



Dimensión fractal
 $\delta=2.7$
línea que quiere ser
un volumen



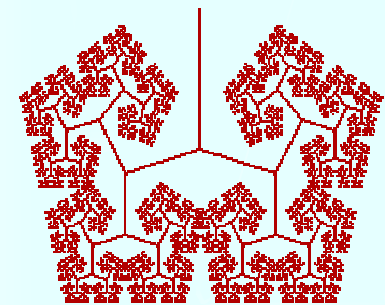
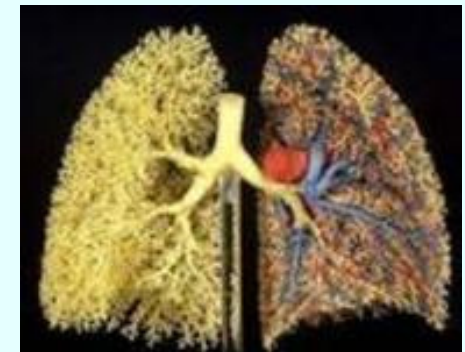
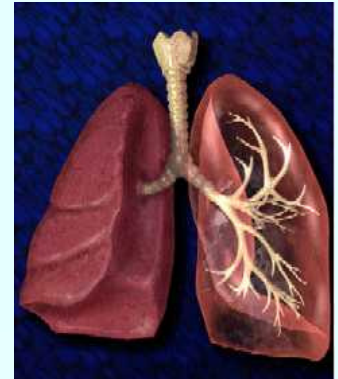
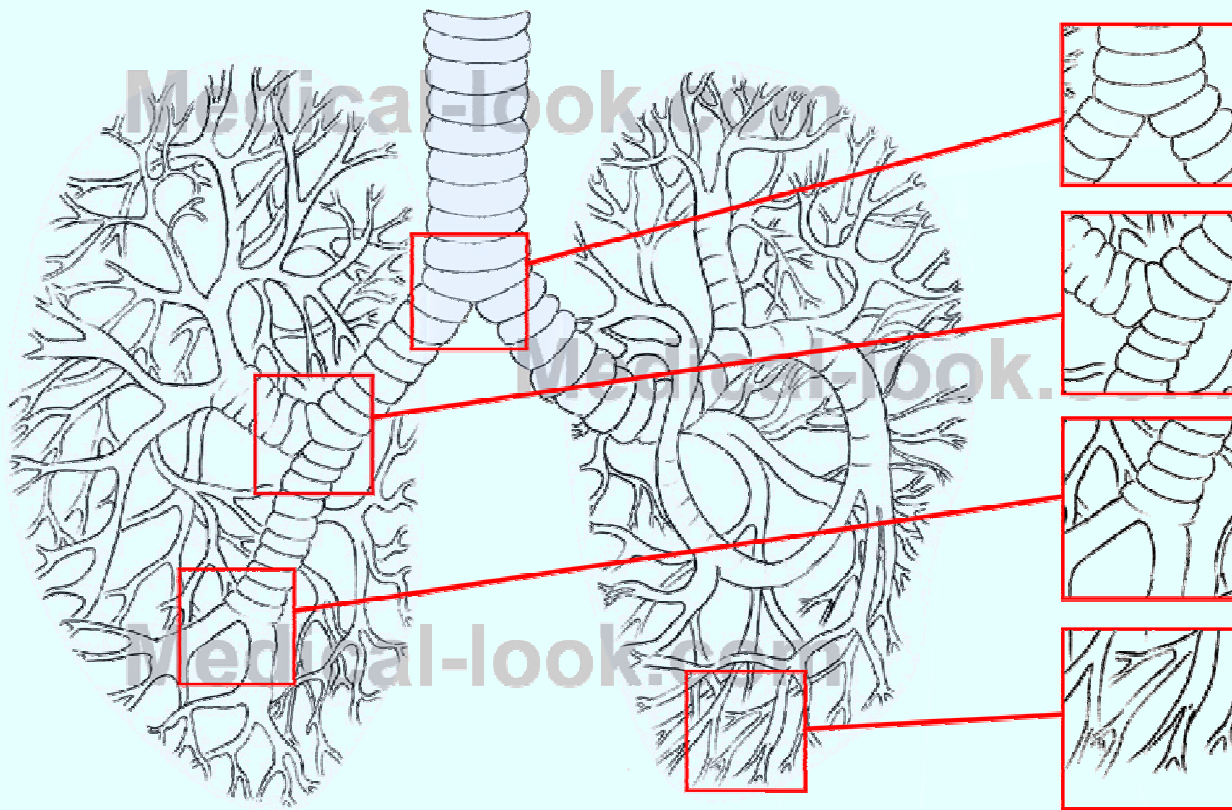
Fractals in blood vessels

<http://www.glimmerveen.nl/LE/Chaos.html>

Körperwelten (Body Worlds) trata de una polémica exposición que muestra a cadáveres y órganos humanos plastificados por un sistema desarrollado por el científico **Gunther von Hagens**. <http://www.bodyworlds.com/en.html>

CIE Mar

Arbol bronquial



Dimensión fractal $\delta \sim 3$... Línea que quiere ser un volumen

http://www.automatedtrader.net/glossary/List_of_fractals_by_Hausdorff

CIE Marzo 2012

Funcion biologica de los tractales

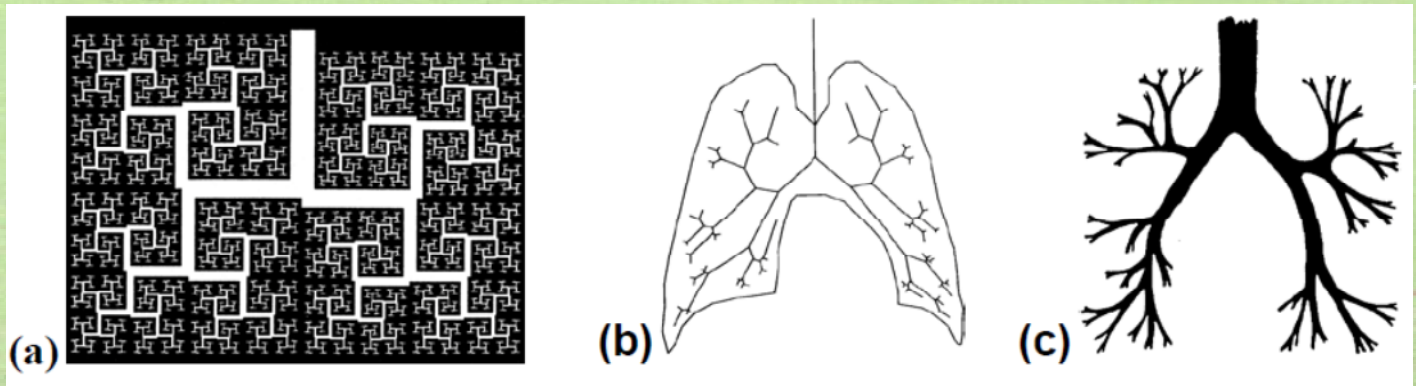
Leyes de escalamiento

cada animal o planta tiene que compensar por su tamaño:
La física de Lilliput

Arboles tienen un **EXTERIOR** irregular para aumentar su superficie para la fotosíntesis

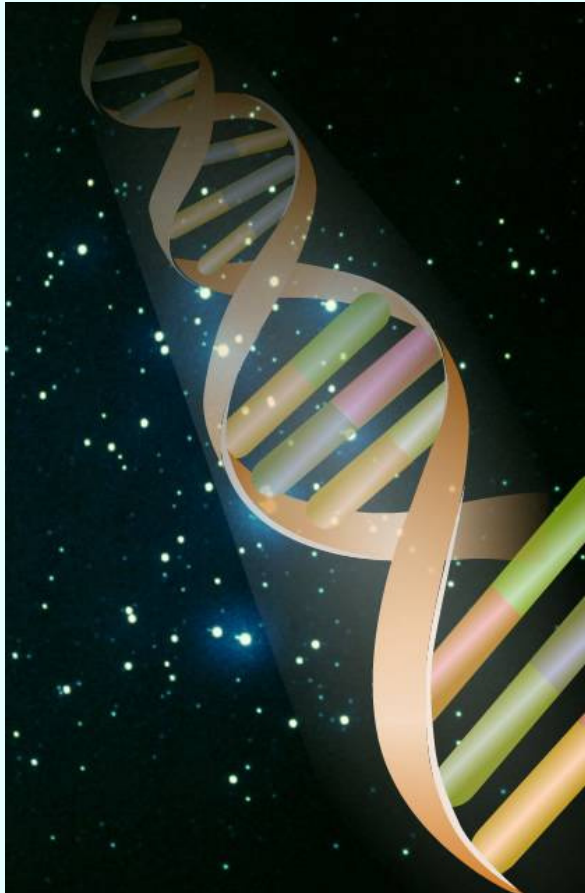


Los **pulmones** "ahuecan" un espacio irregular en el **INTERIOR** para aumentar la superficie disponible para el intercambio de gases... La superficie de los pulmones llega a ser tan grande como un campo de fútbol!



La auto-similitud como un código de ensamblaje

100 000 genes



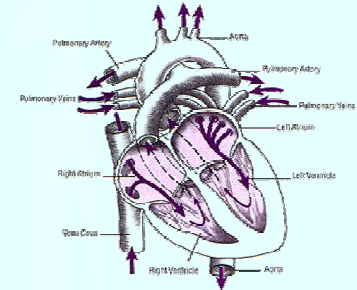
**Aplicación
repetida de
las reglas**

**ADN define
conjunto de reglas**

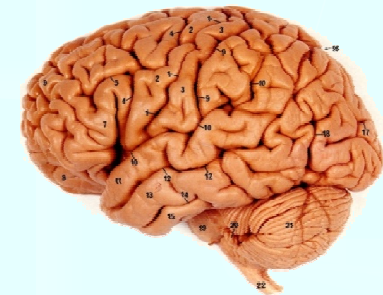
- 1) Economía
- 2) Estabilidad
contra errores

Estructuras auto-similares

**1 000 000 vasos sanguíneos
en el corazón**



**100 000 000 000
Nervios en el cerebro**



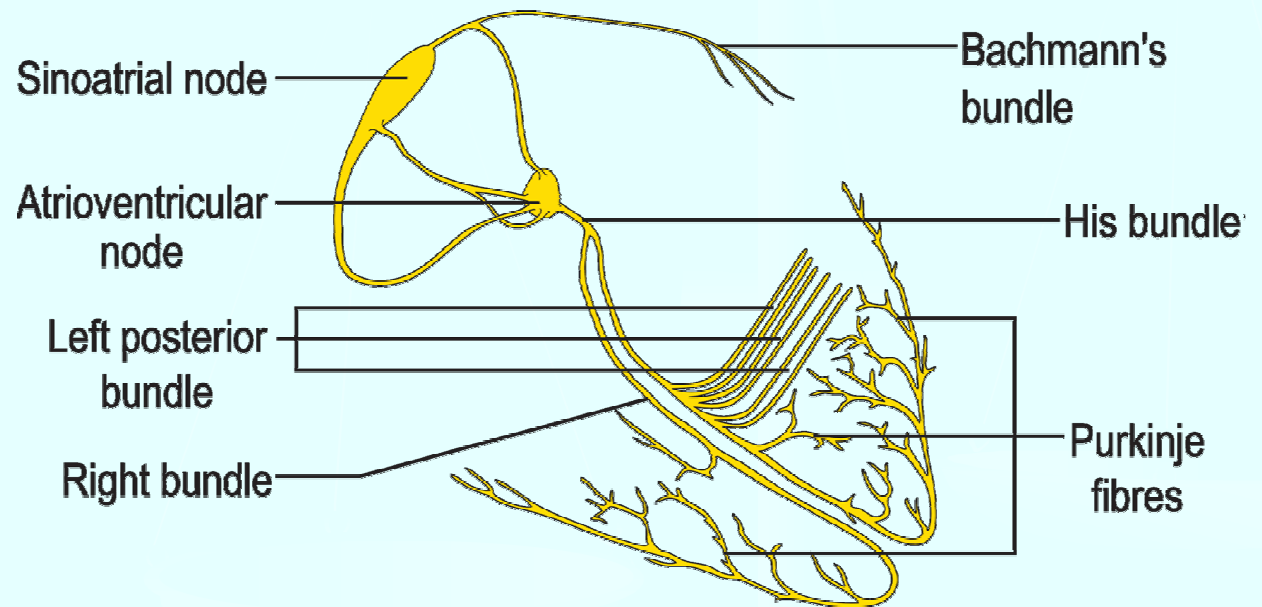
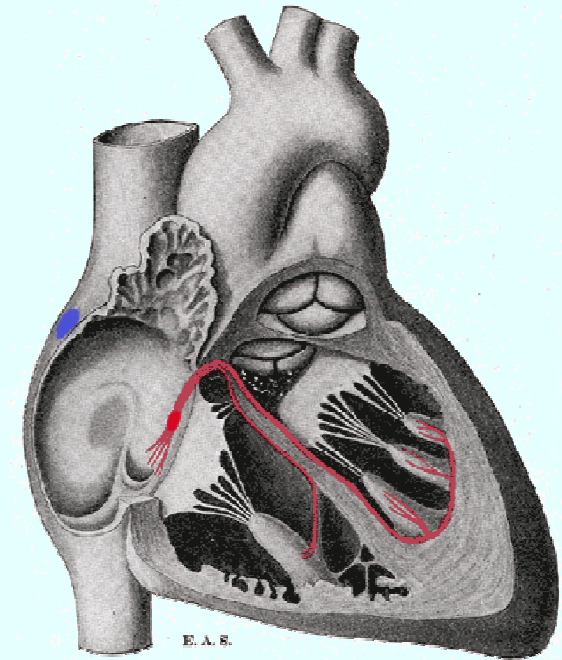
Larry S. Liebovitch

"Fractals and chaos simplified for the life sciences"

CIE Marzo 2012

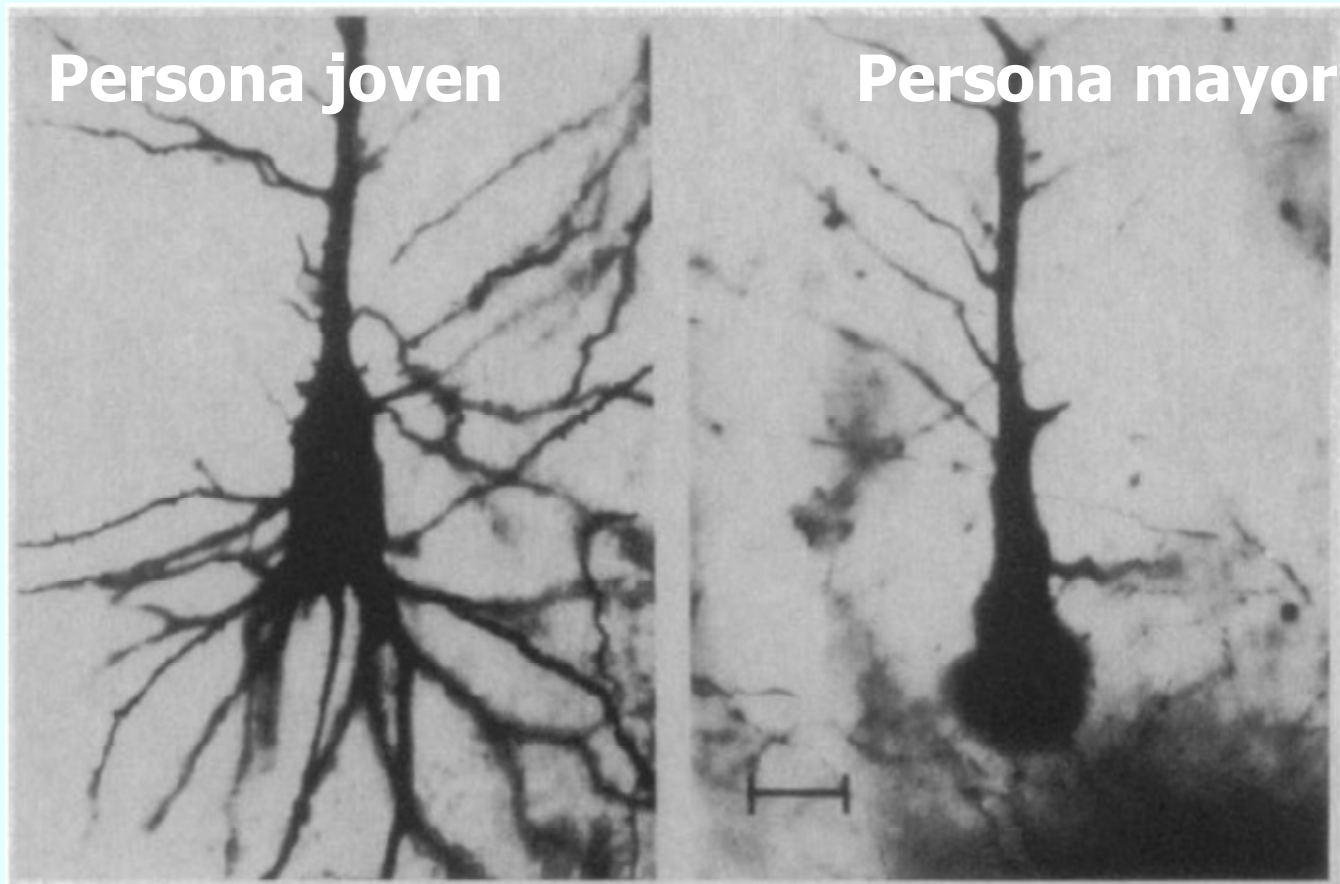
Redundancia de la robustez

Por la **redundancia** que es inherente en las **repeticiones de la misma estructura a muchas escalas** siempre más pequeñas, órganos fractales tienen una **robustez marcada**. P.ej. el corazón puede padecer daños considerables al **sistema de conducción eléctrica** y sin embargo continúa funcionando con relativamente pocas disfunciones mecánicas



Goldberger et al., Sci. Am.
262 (1990) 42.
[http://en.wikipedia.org/wiki/
Bundle_of_His](http://en.wikipedia.org/wiki/Bundle_of_His)

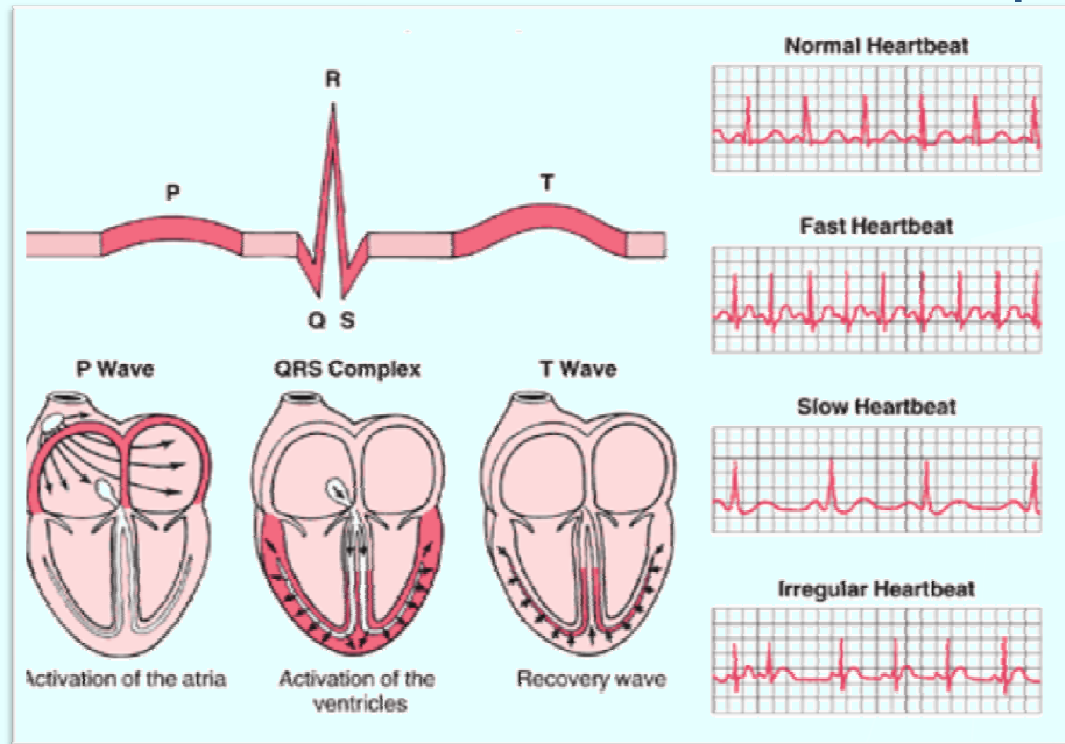
Érdua de fractalidad espacial en los órganos Sistema Nervioso



Lipsitz & Goldberger, JAMA 267 (1992) 1806

Dinámica: Series de tiempo biológicas fractales

Serie de tiempo ECG

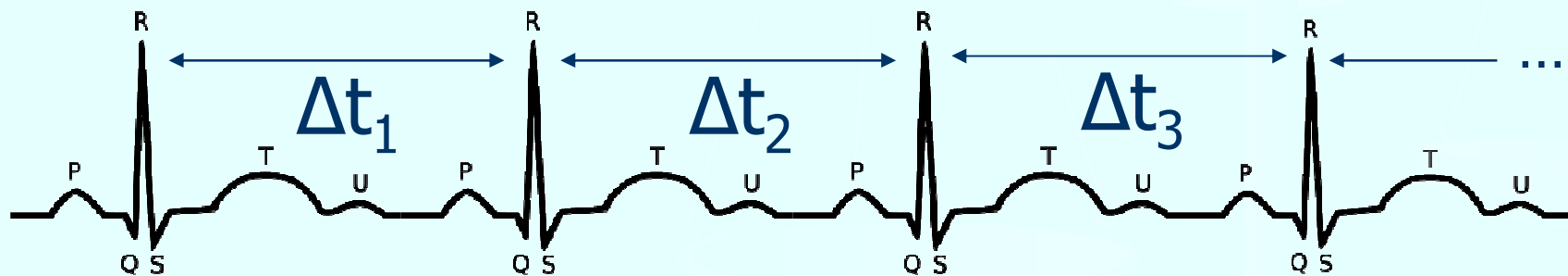


Series de tiempo

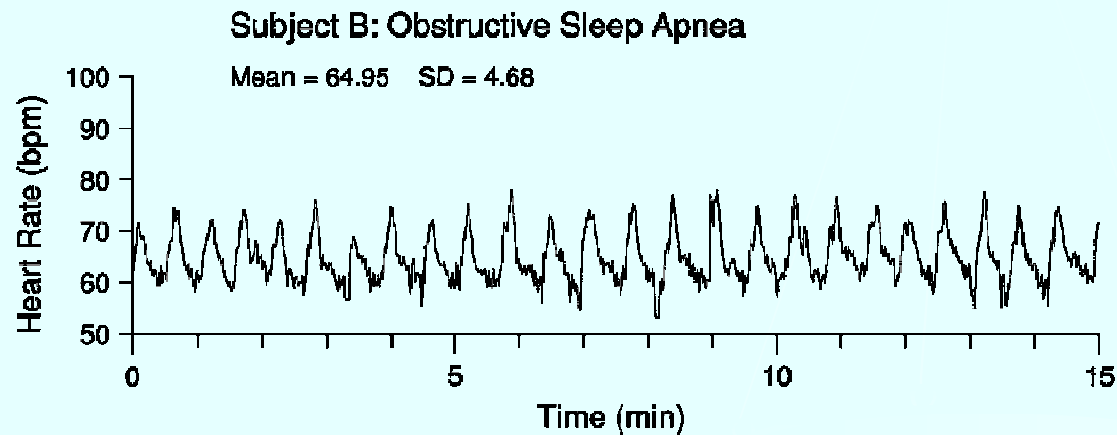
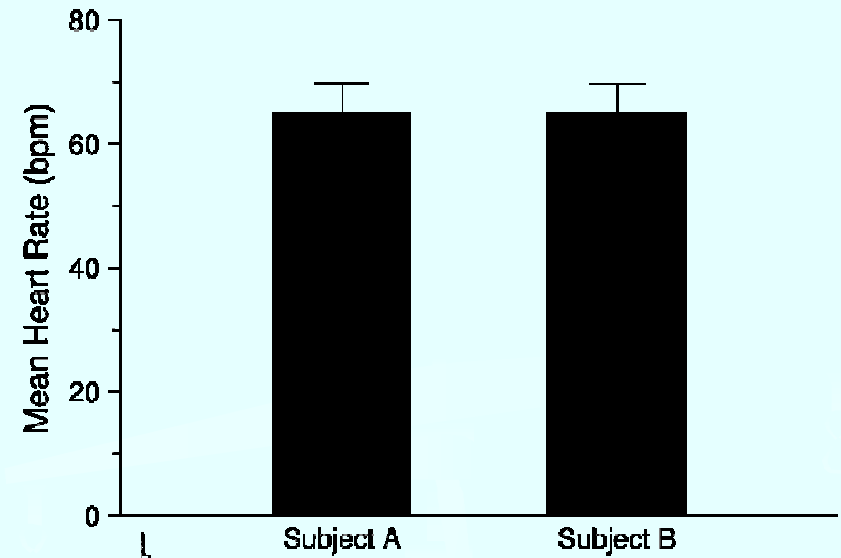
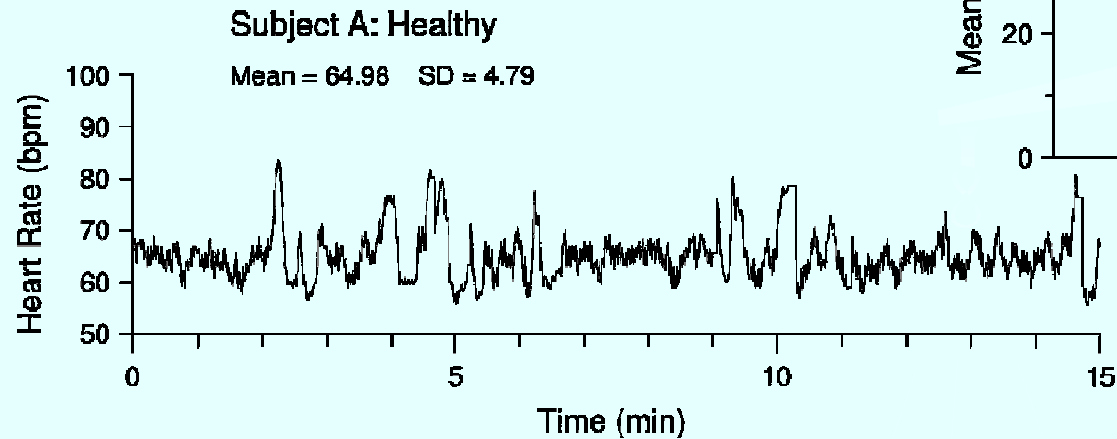
Intervalos RR
 $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \dots \Delta t_n$

Fluctuaciones

$$\frac{\Delta t_i - \overline{\Delta t}}{\overline{\Delta t}}$$



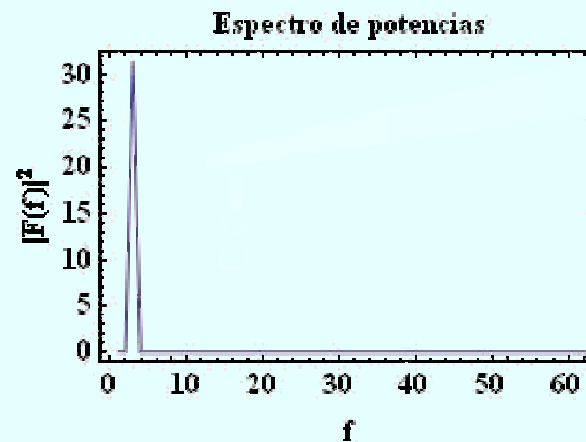
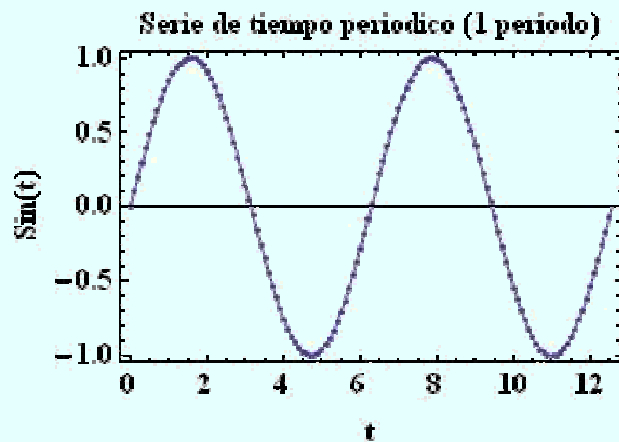
Tomar el pulso



Goldberger, Proc. Am. Thor. Soc. 3 (2006) 467.

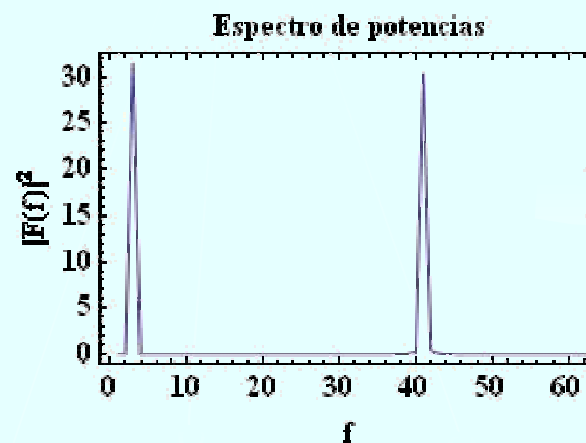
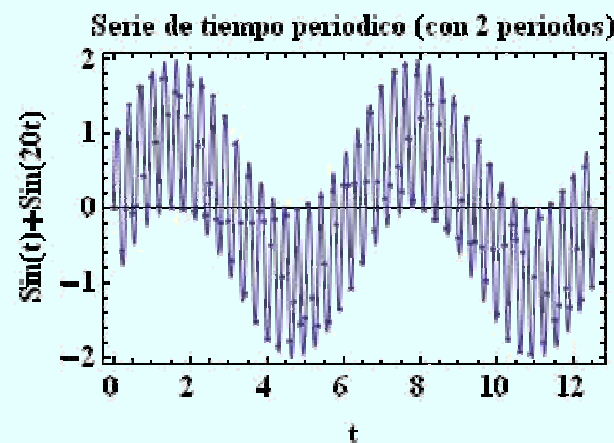
¿Cómo analizamos estos sistemas?

Análisis espectral de señales periódicas



Espectro de potencias

Da la contribución de cada frecuencia en la señal.



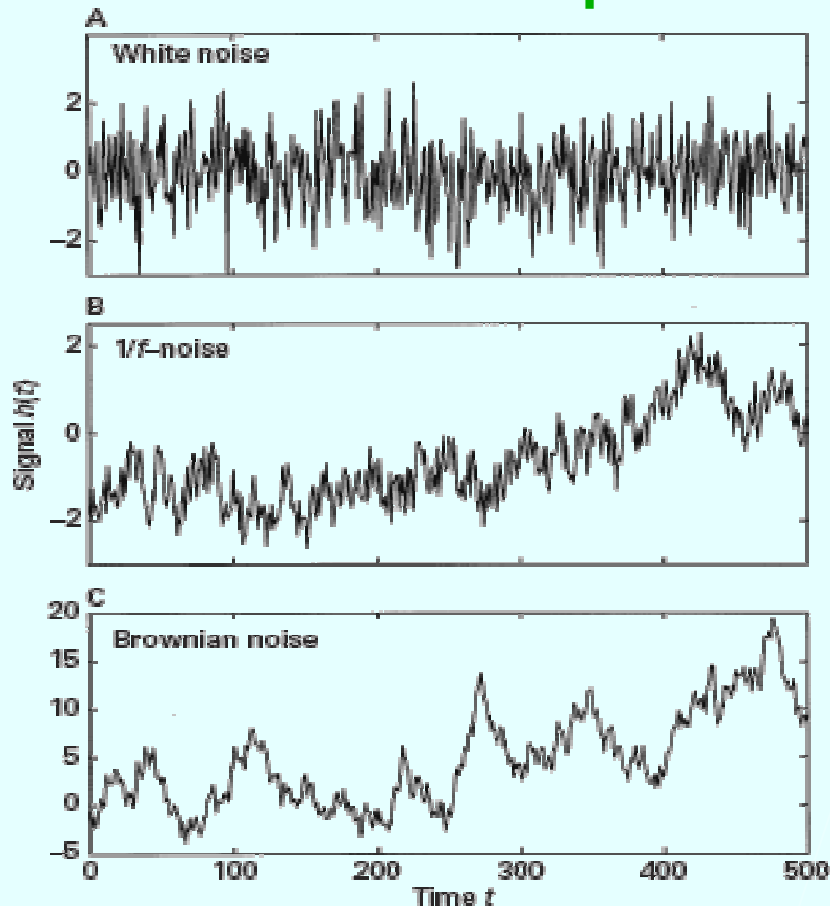
El espectro de potencias es la transformada de Fourier al cuadrado

$$PS(f) = |F(f)|^2$$

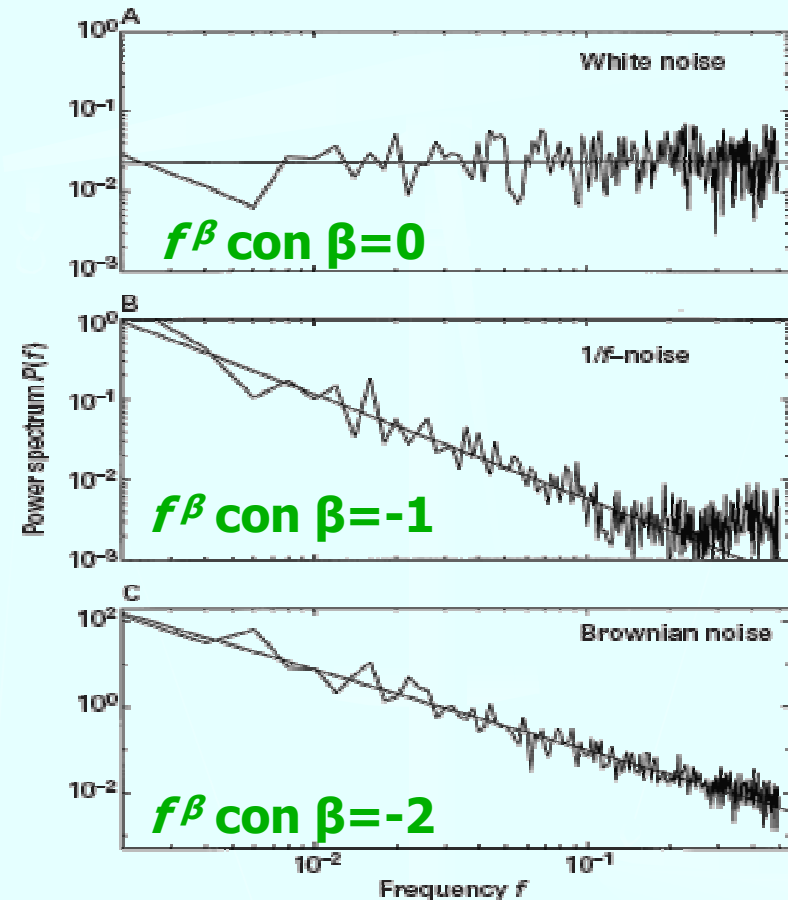
Análisis espectral

de señales no-periódicas correlacionadas

Serie de tiempo



Espectro de potencias correspondiente

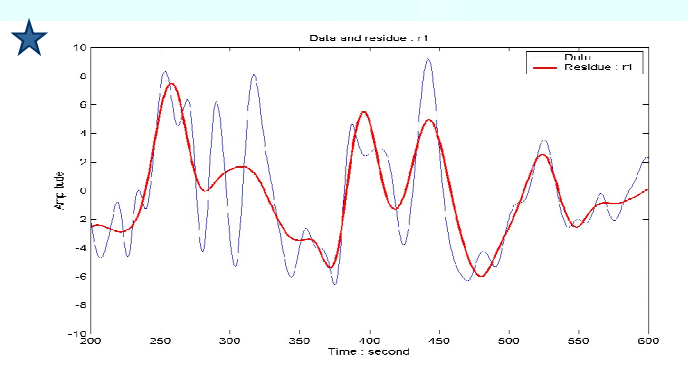
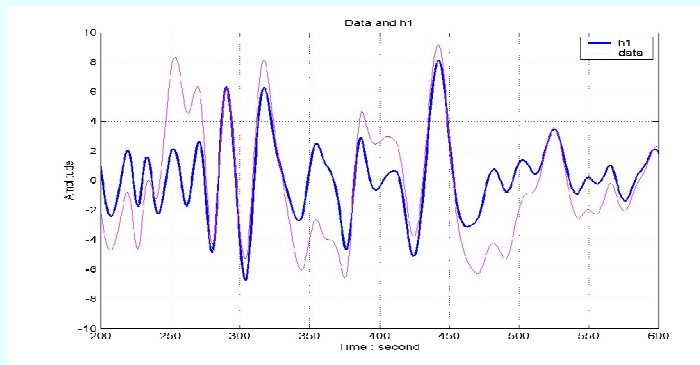
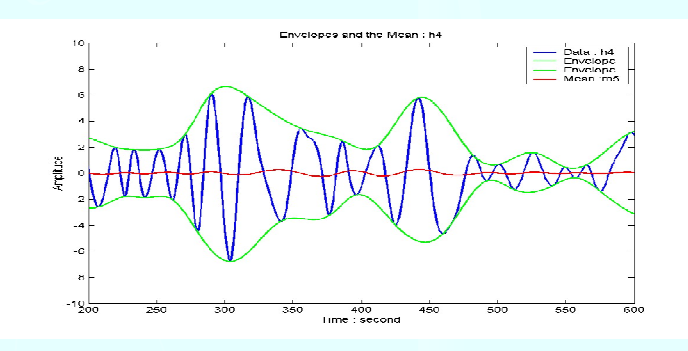
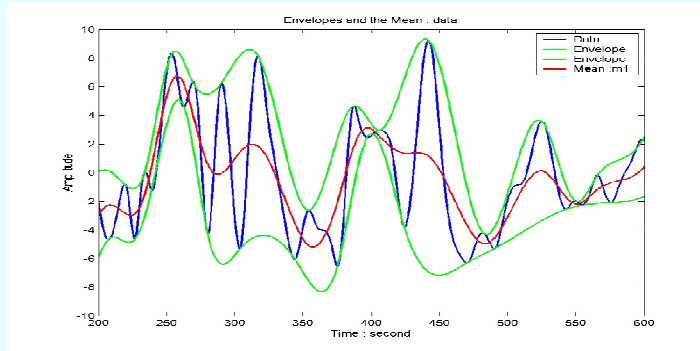
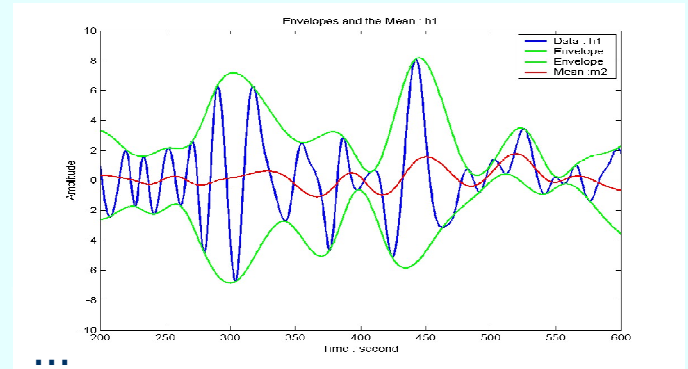
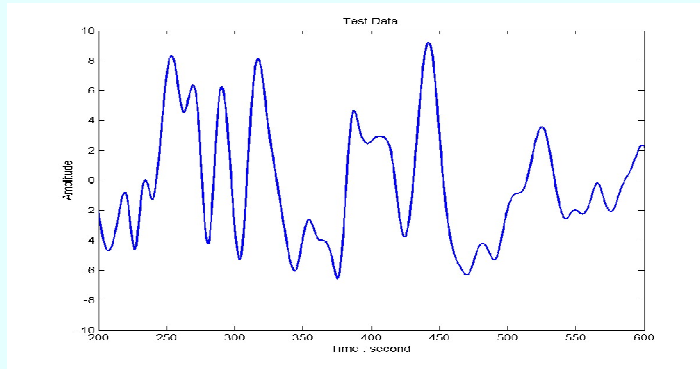


<http://www.physionet.org/tutorials/fmnc/index.shtml>

Gisiger, Biol. Rev. 76 (2001) 161.

CIE Marzo 2012

Otras Metodologías: EMD: Descomposición en Modos Elementales

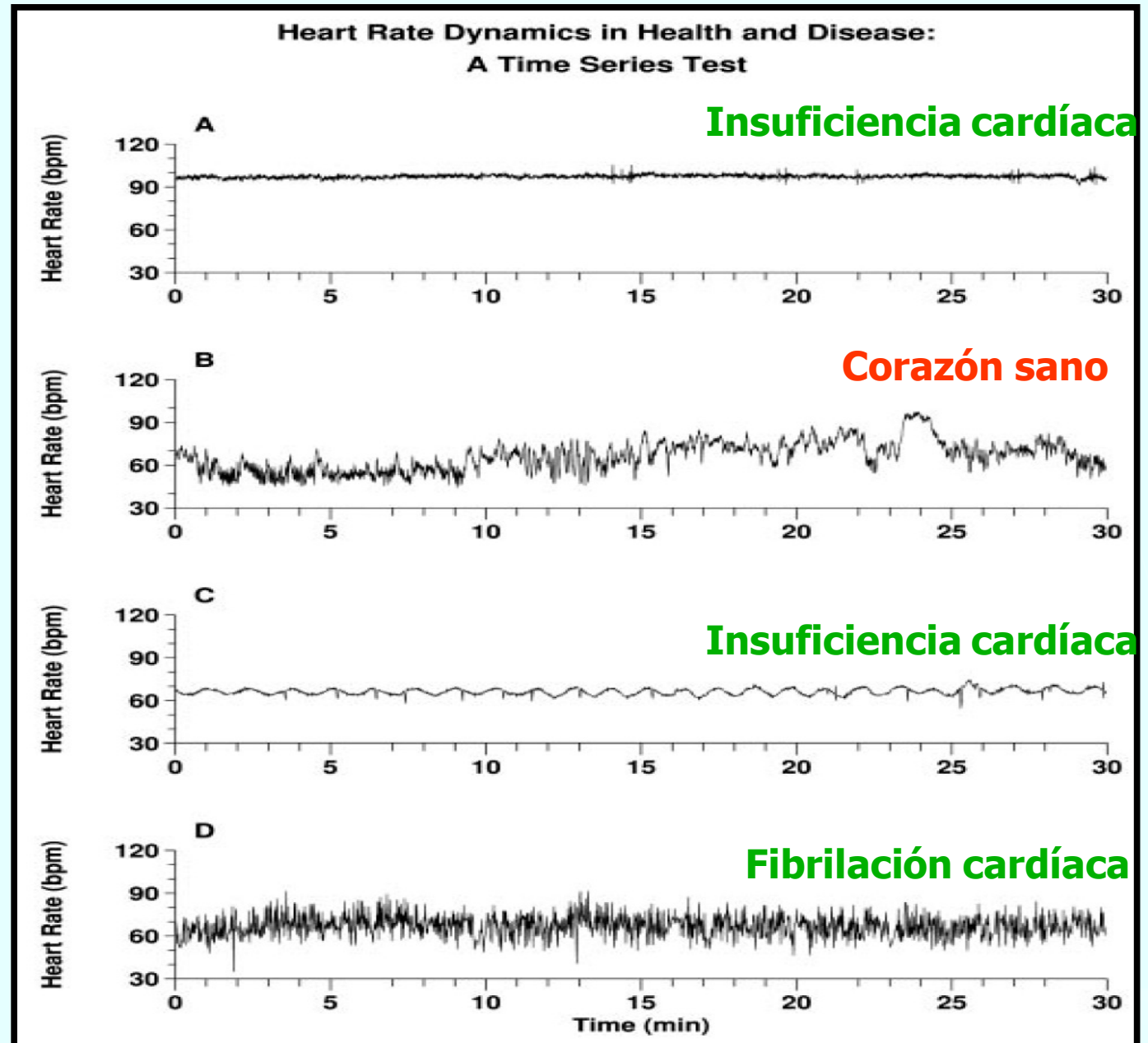


IMF

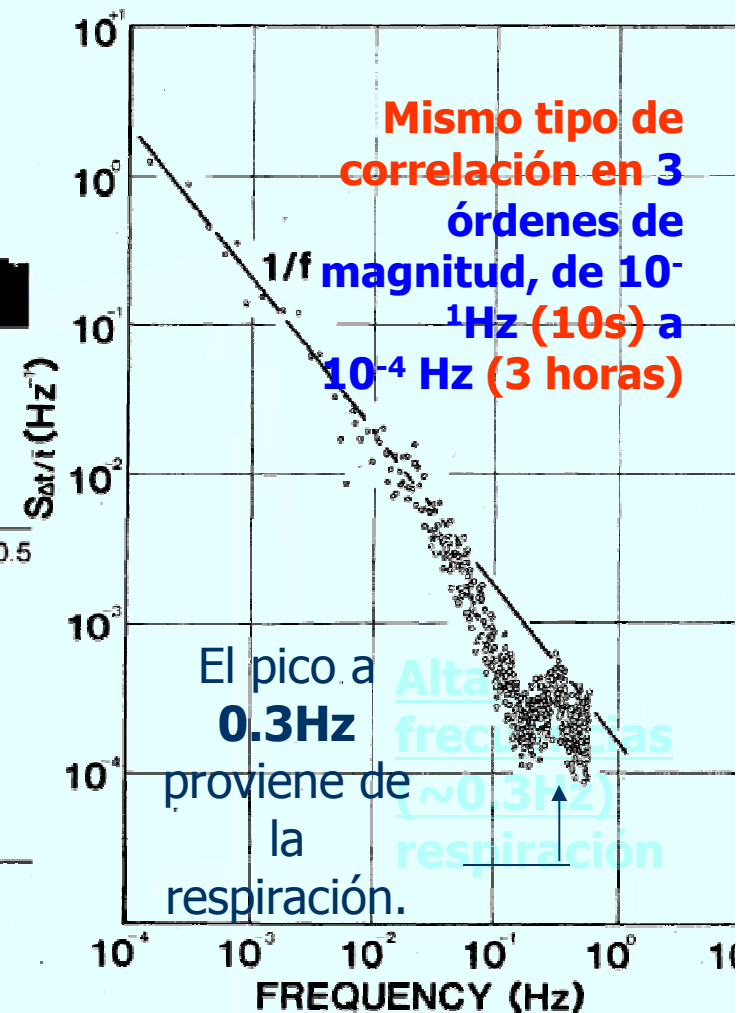
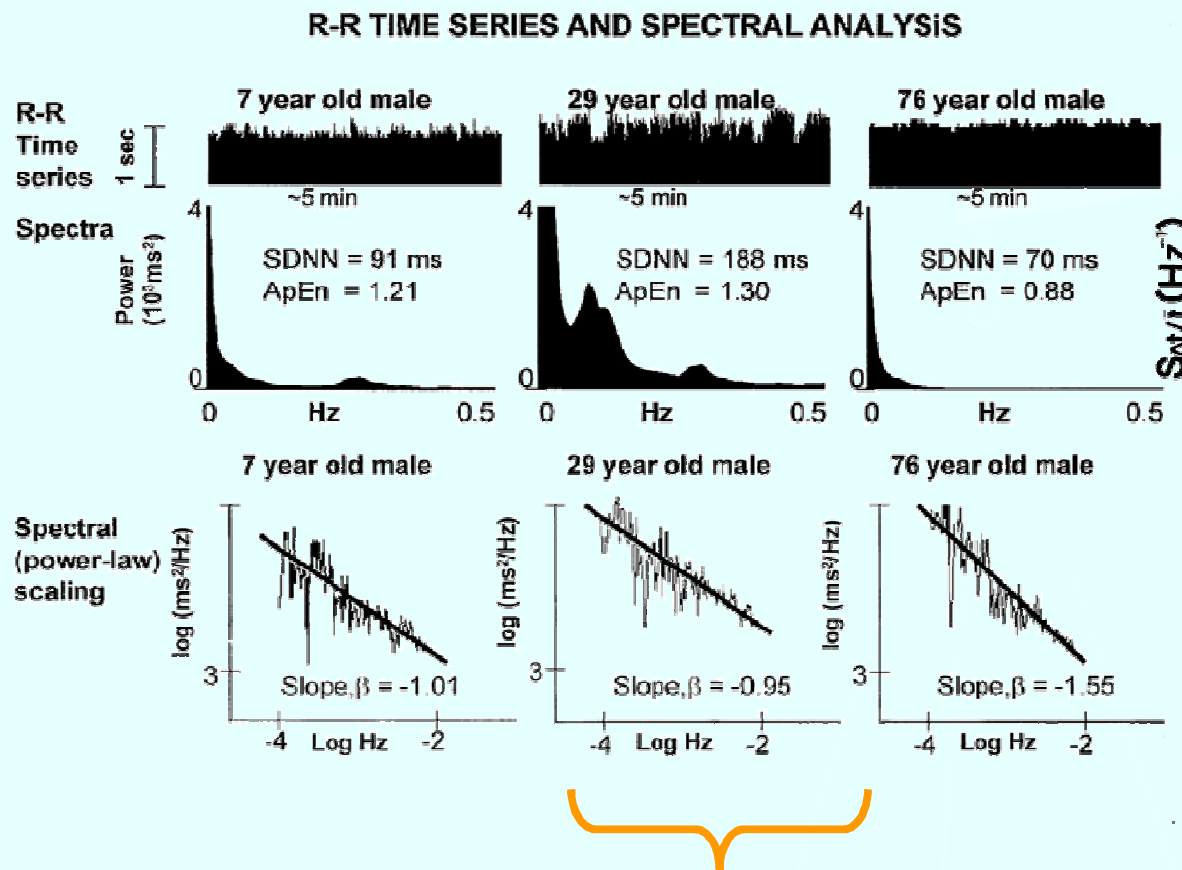
series de tiempo cardíacas

[http://reylab.
bidmc.harvar
d.edu/
people/Ary.ht
ml](http://reylab.bidmc.harvard.edu/people/Ary.html)

Goldberger et
al., PNAS 99
(2002) 2466



Enfermedad y tratamiento



Pikkujämsä et al.,
Circulation 100 (1999) 393.

Fondo global de muchas frecuencias que contribuyen "armoniosamente"

CIE Marzo 2012

Ejercicio y criticalidad

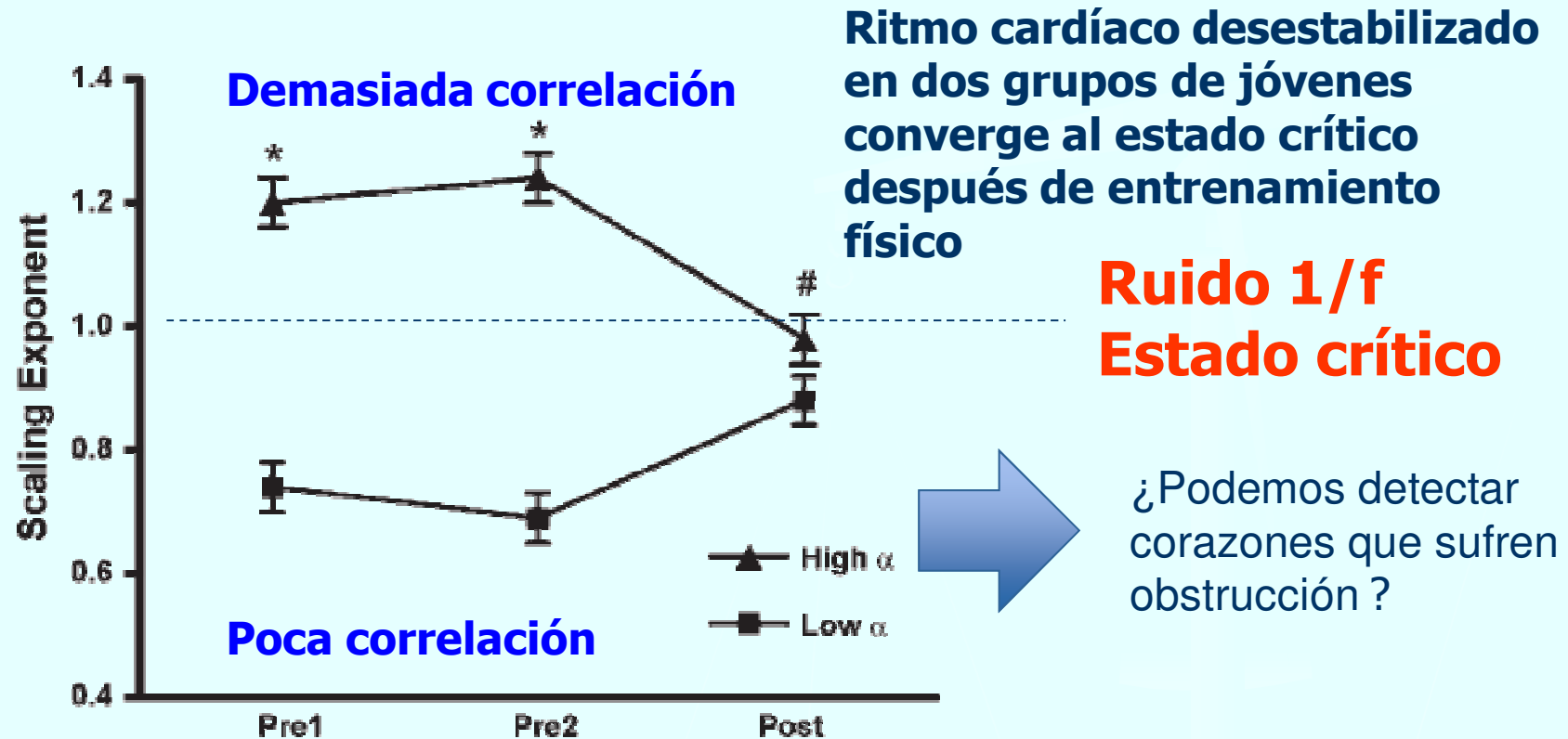
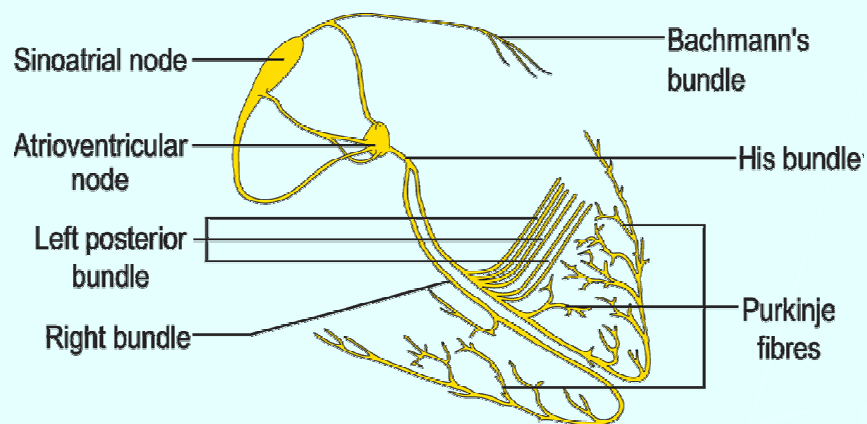
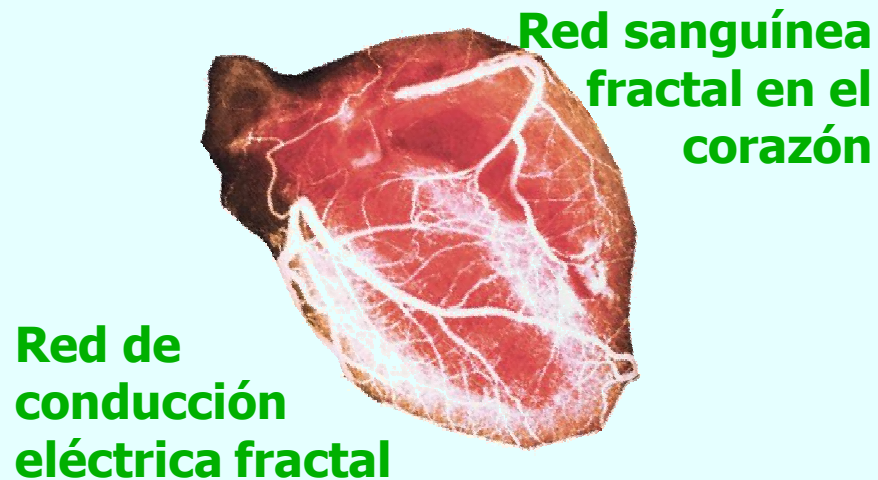


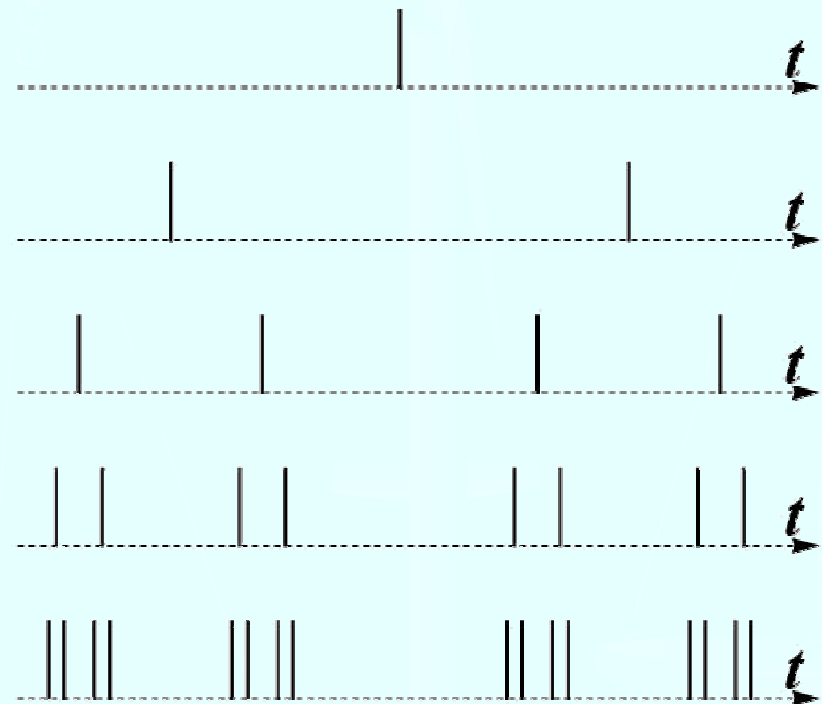
Fig. 1. Short-term scaling exponent (α_s) at baseline (Pre1), following a 4-wk time control period (Pre2) and following 6 wk of resistance training in men with low α_s and high α_s . *Significant group differences ($P < 0.05$). #Significant group $\times$ time interaction ($P < 0.05$).

Heffernan,
J. Appl. Physiol. 105 (2008) 109

Fractalidad espacial genera fractalidad temporal



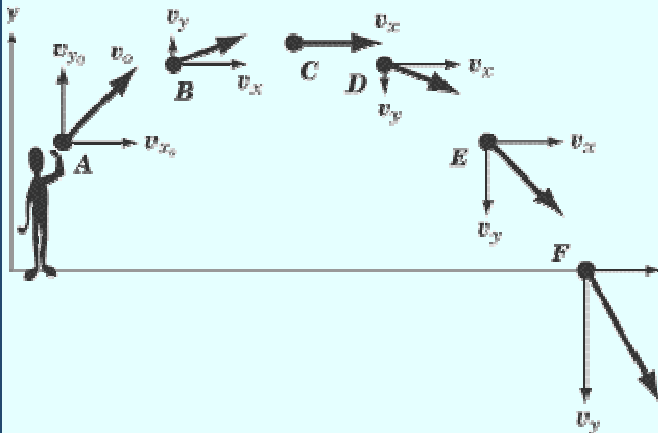
Pulso eléctrico que circula por la red de conducción y que se divide cuando pasa por bifurcaciones repetidas



Orden, desorden y fractales

Orden determinismo

En el espacio y el tiempo
p.ej. Trayectoria de proyectil



La física permite hacer predicciones

Frontera

**Complejidad y
Caos**

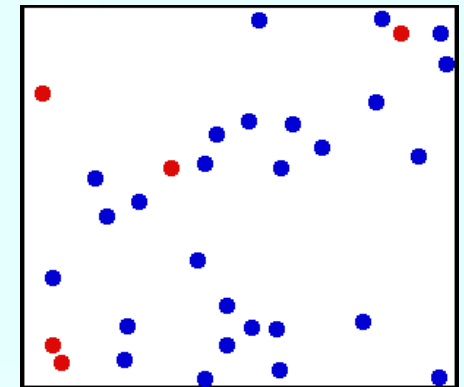
p.ej.

Vida?

*Pocas variables
comportamiento
complejo*

Desorden y lo aleatorio

En el espacio y el tiempo
p.ej. Moléculas de un gas



**La física permite sólo
el cálculo de probabilidades**

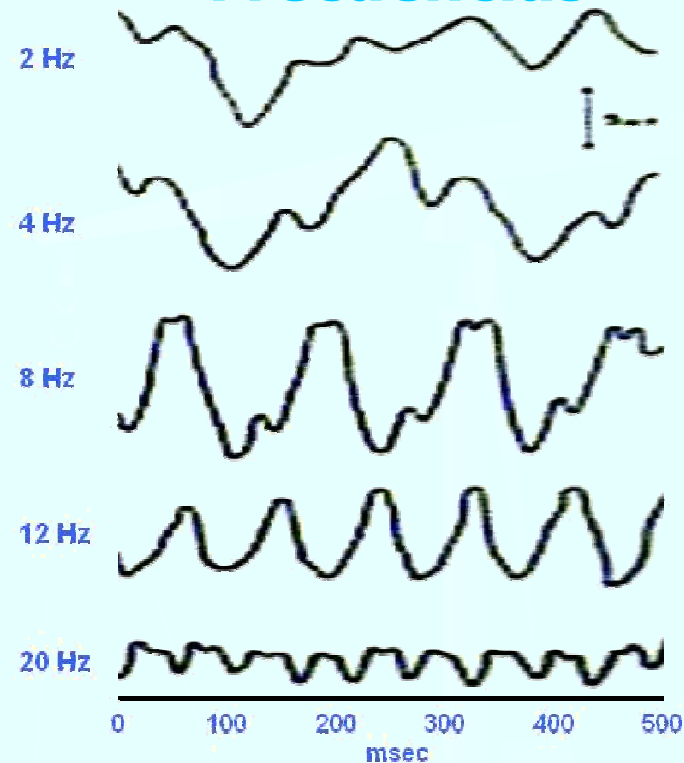
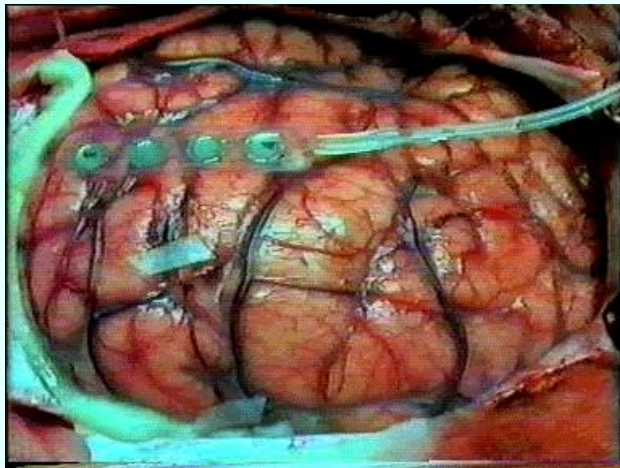
http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetic_theory

Señales: Series de Tiempo



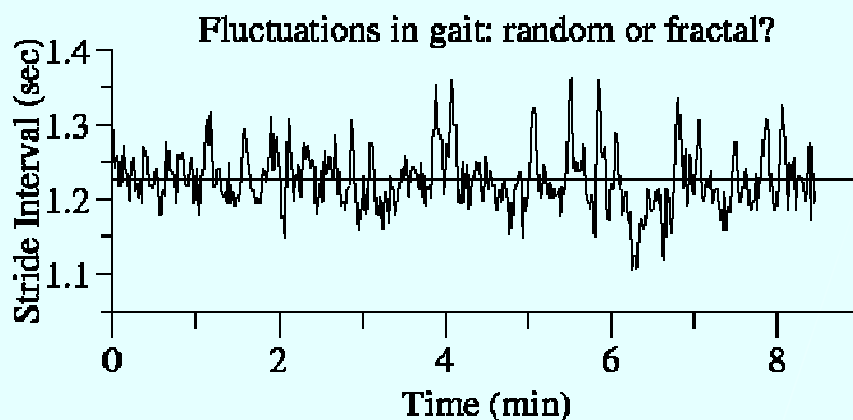
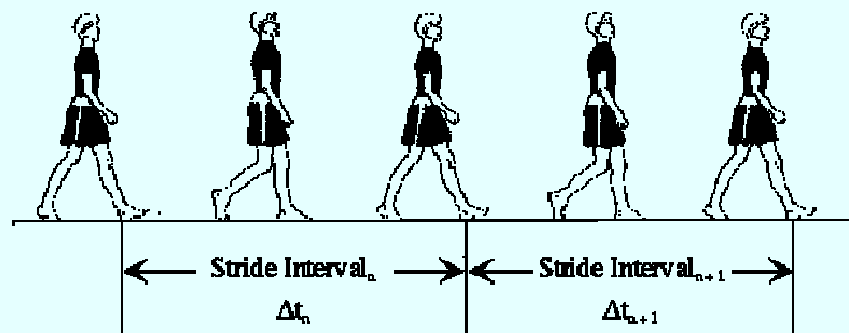
Otros Ejemplos: Electroencefalograma (EEG)

EEG a Varias Frecuencias

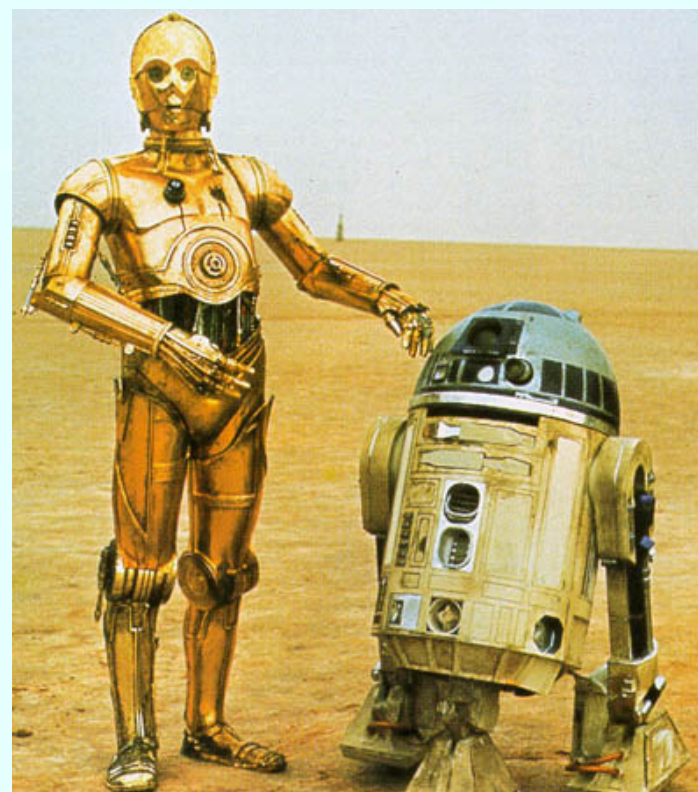


**Efecto de envejecimiento,
enfermedad puede detectarse con
cambios en parámetros?**

Otros Ritmos: La marcha es voluntaria o involuntaria?



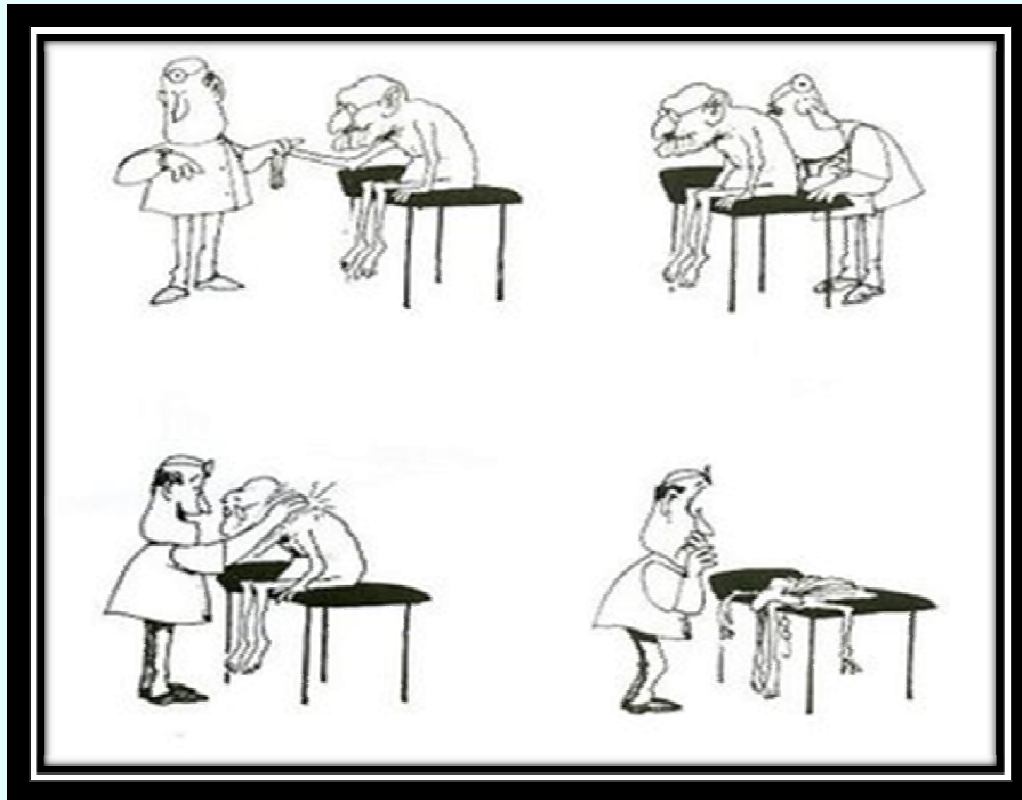
Goldberger et al., *Physionet*,
<http://physionet.org/tutorials/fmnc/node11.html>



Hasta ahora no se ha logrado programar un robot que camine como un hombre.

Nuevo enfoque médico: la complejidad

Geriatría y el problema de la fragilidad



[1] Rockwood, *What would make a definition of frailty successful?* Age and Ageing 34 (2005) 432.

[2] Lipsitz y Goldberger, *Loss of complexity and aging: potential applications of fractals and chaos theory to senescence*, J. Am. Med. Ass. 267 (1992) 1806.

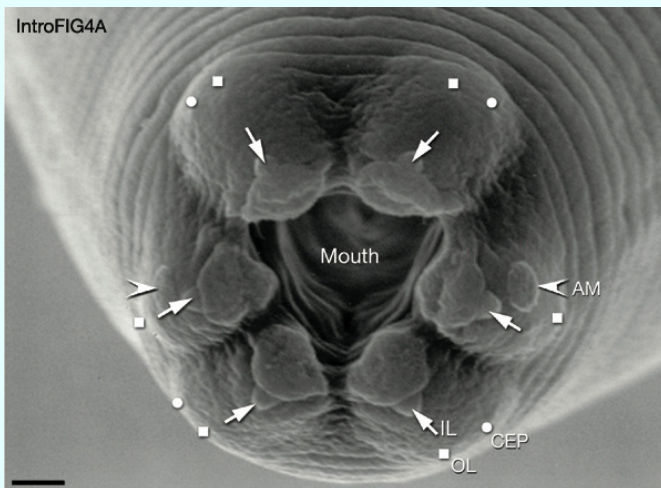
- La **fragilidad** es la vulnerabilidad no-específica por resultados en la salud, causado por factores múltiples como enfermedades, el envejecimiento y malos hábitos [1]
- Probablemente se puede explicar como **déficits acumulados** que causan (i) el mal biológico o (ii) interfieren con el acoplamiento entre funciones diferentes [2]
- **Posible conexión con estructura fractal de los órganos** que pueden acumular muchos defectos pero que a largo plazo pierden su robustez (Colaboración ICN-UNAM y Instituto de Geriatria)

Un modelo más simple

La fragilidad en C Elegans



<http://en.wikipedia.org/wiki/Caenorhabditis>



<http://shirleywho.wordpress.com/2008/09/21/departamental-retreats-academia-with-a-twist-of-karaoke/>

<http://www.wormatlas.org/ver1/handbook/anatomyintro/anatomyintro.htm>

CIE Marzo 2012

Serie de tiempo del area de la faringe de C elegans: análisis por pixeles

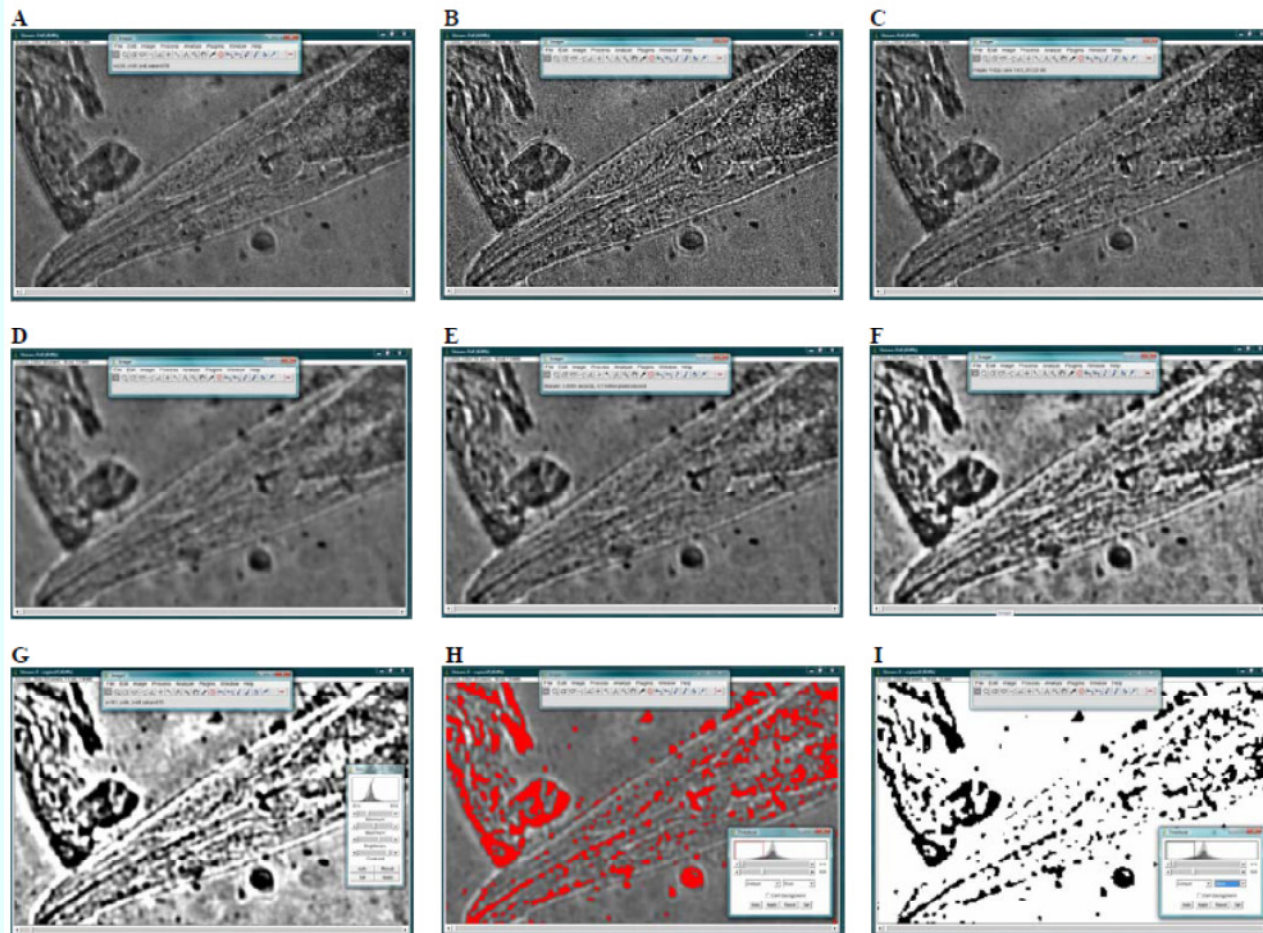
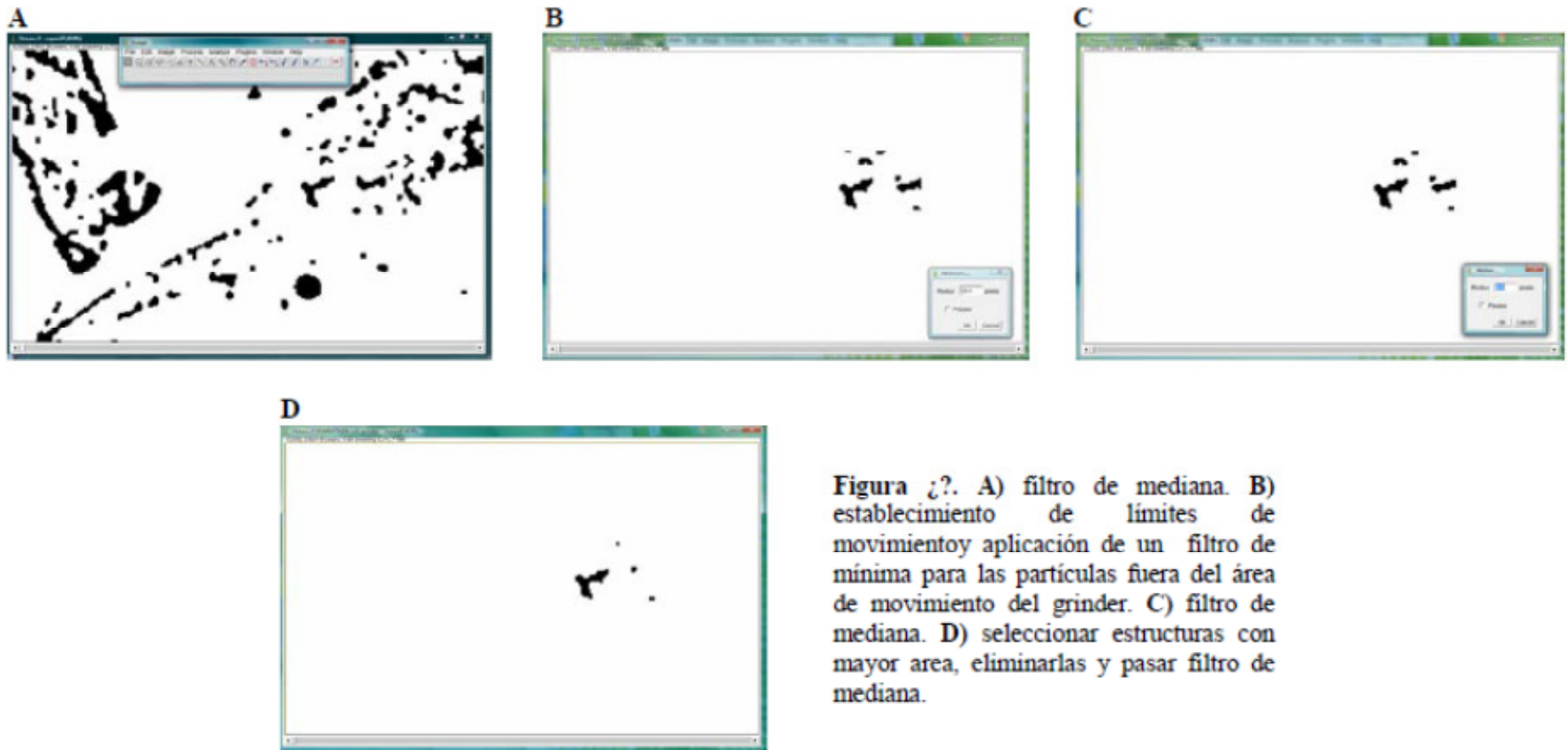


Figura ¿?. Método para la segmentación de las imágenes. A) imagen original. B) afilar la imagen. C) filtro de mediana. D) filtro pasobanda. E) afilar la imagen. F) realzar el contraste. G) modificar brillo y contraste. H) calibrar el umbral de las imágenes. I) segmentar la imagen.

Serie de tiempo del area de la faringe de C elegans



Ixchel Garduño Alvarado, *Tesis de licenciatura*

CIE Marzo 2012

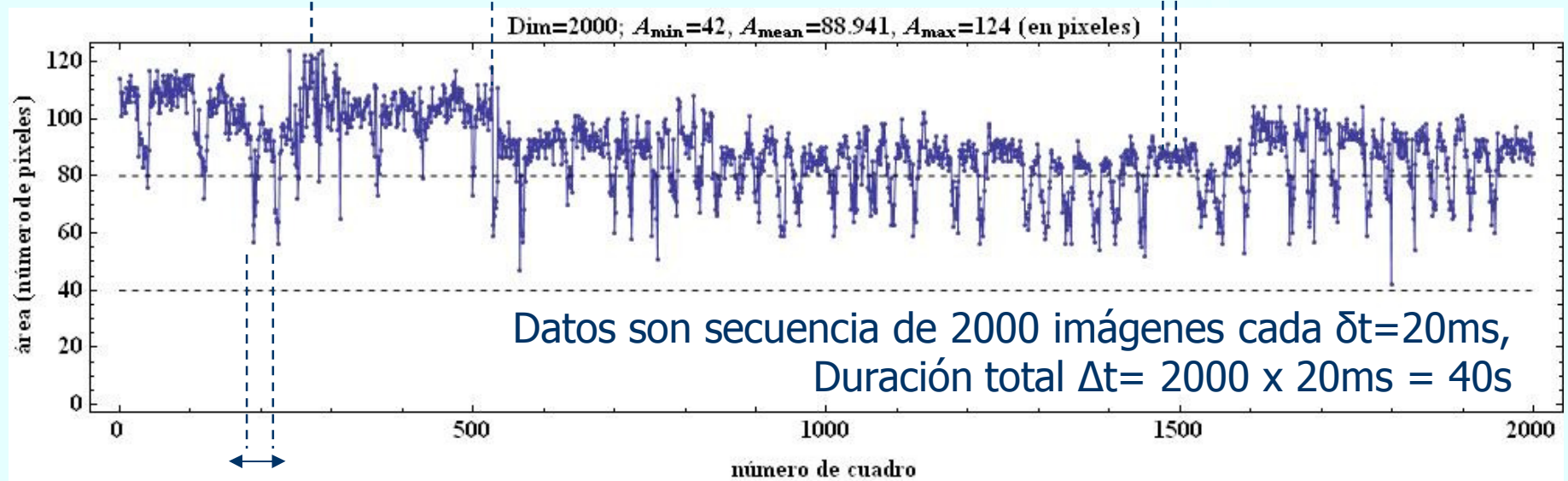
Serie de tiempo

Correlaciones de tres escalas

Movimiento del gusano?
 τ_1 ($f=1/100$ imágenes)

Fluctuaciones en la toma del video?
Fluctuaciones en el procesamiento digital de
los imágenes?

τ_3 ($f=1/\text{imágenes}$)



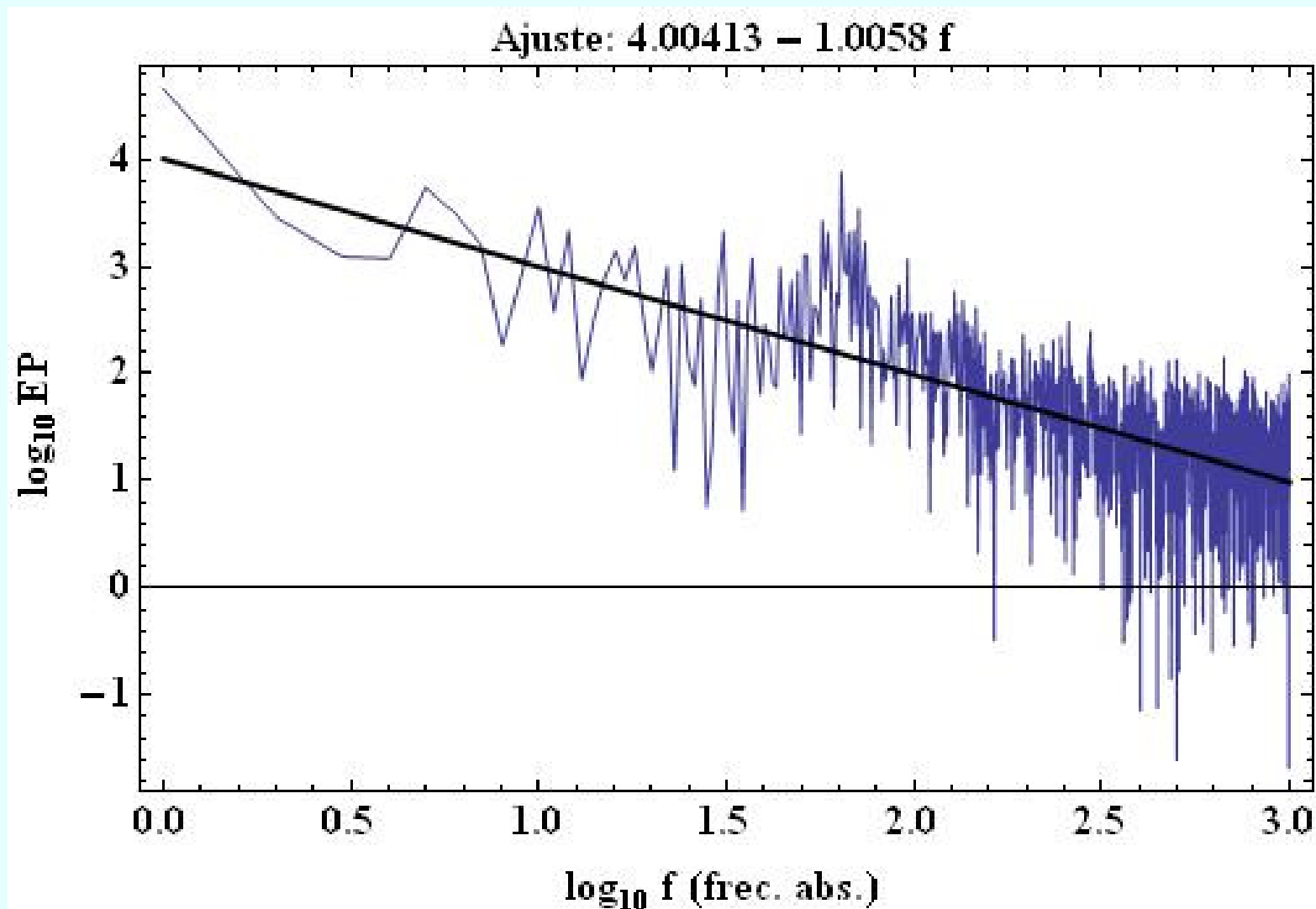
τ_2 ($f=1/10$ imágenes)

Contracciones
de la faringe

Ixchel Garduño Alvarado, *Tesis de licenciatura*

CIE Marzo 2012

Pendiente del Eplog



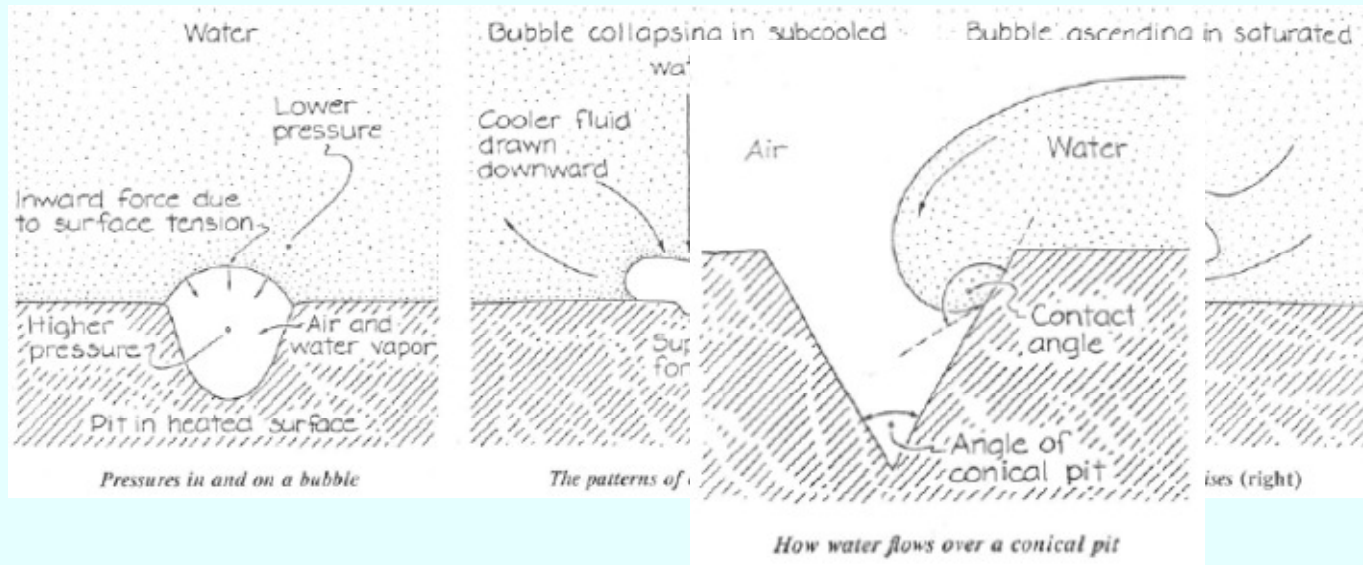
Criticalidad: cambios de fase

La Canción de la olla hirviente

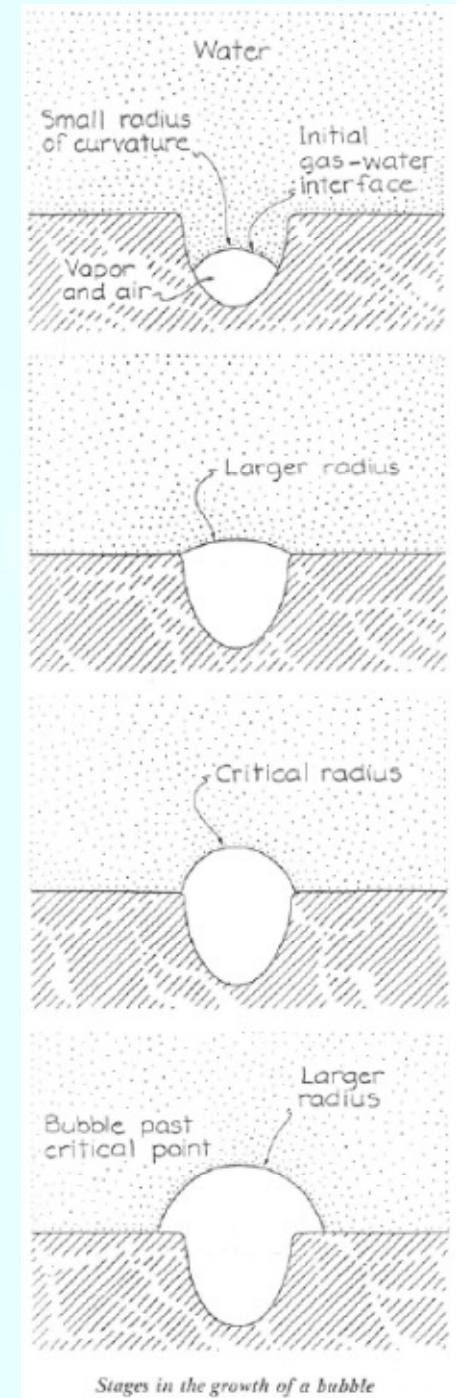
Podemos comprobar si las señales 1/f se manifiestan en un proceso físico de cambio de fase?



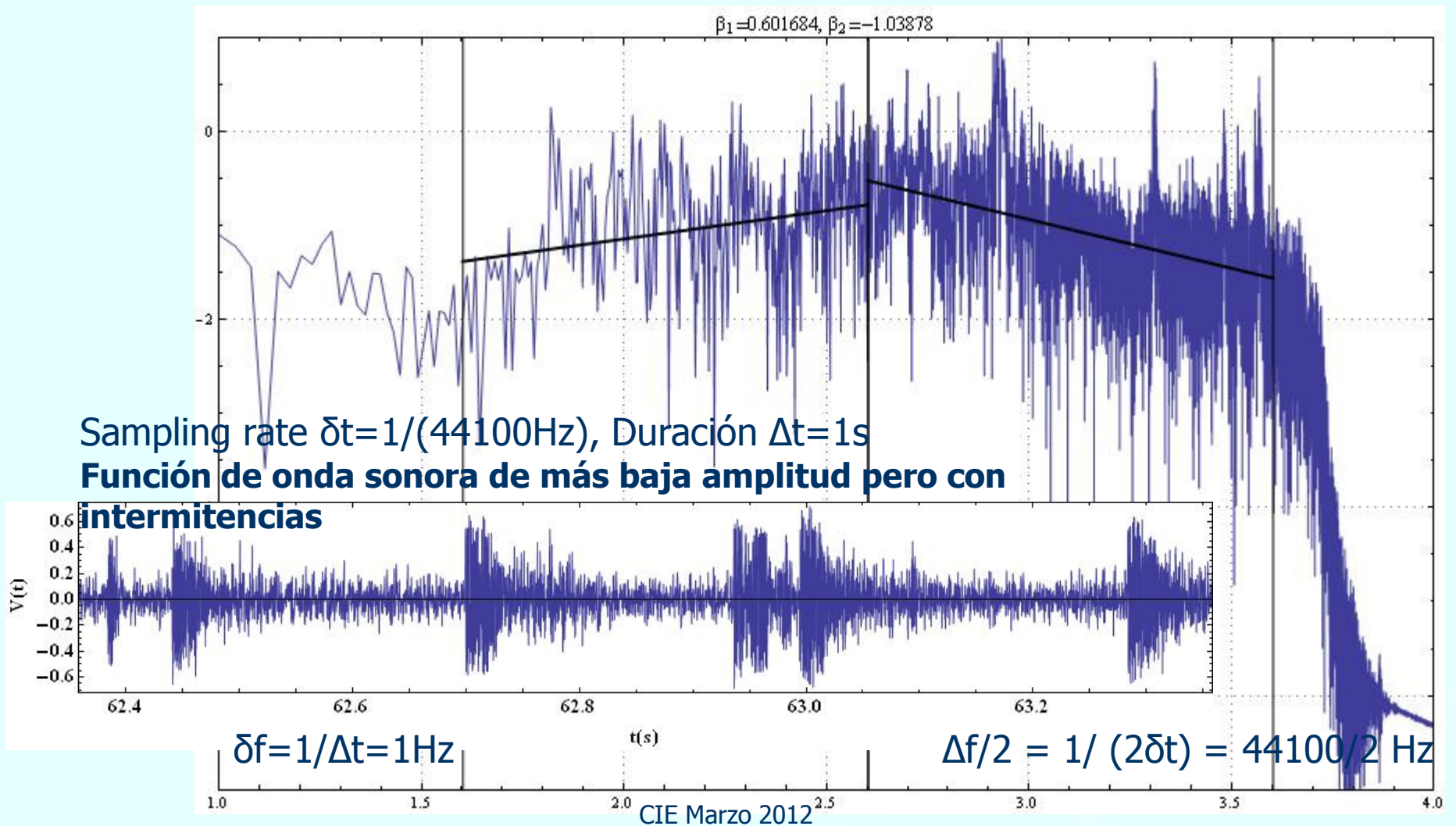
Burbujas que “cantan”



J. Walker, *The amateur scientist: what happens when water boils is a lot more complicated than you might think*,
 Sci. Am. 247(6) (1982) 162-171.



Agua enfriándose inmediatamente despues de la ebullición (ruido 1/f)
segundos 62.4-63.2 del .mp3

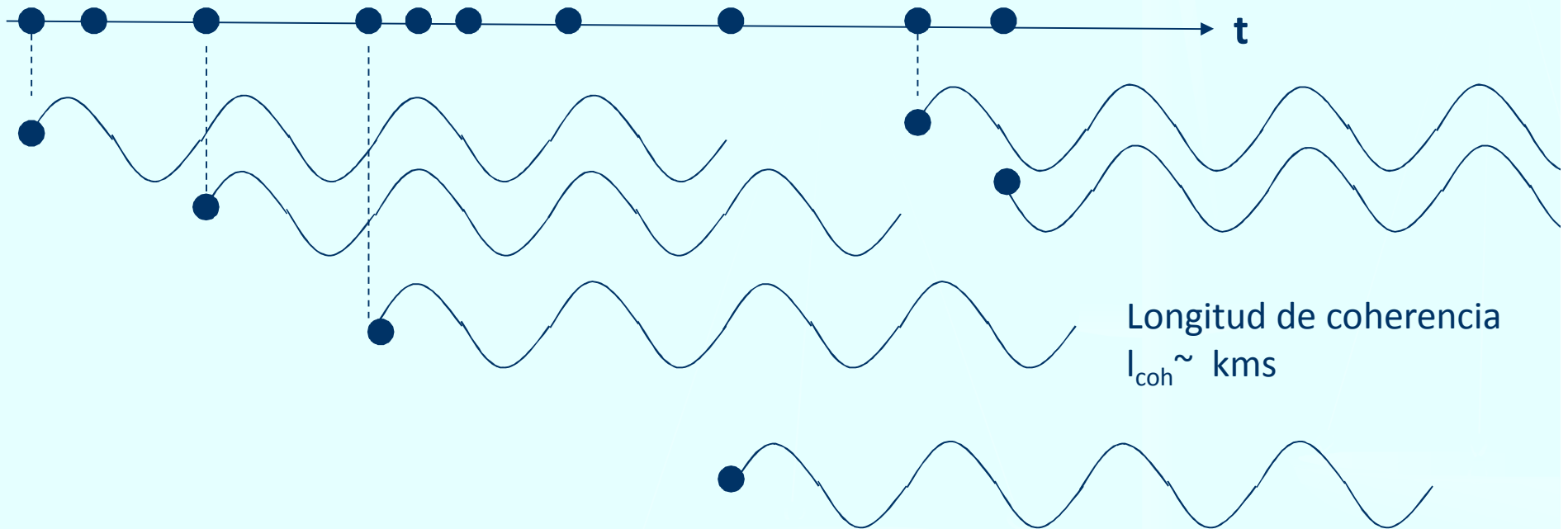


2.2 Diferentes “fases” de la luz

Luz coherente (láseres)

Propiedades:

- Intervalos interfotónicos aleatorios
- Pero fotones viajan en fase.



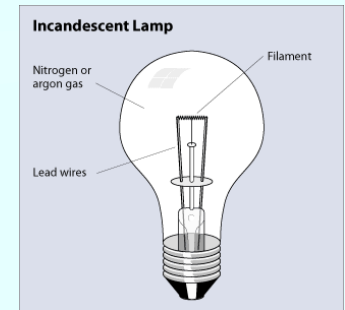
Diferentes “fases” de la luz : térmica, cuántica, coherente(lasers) sol



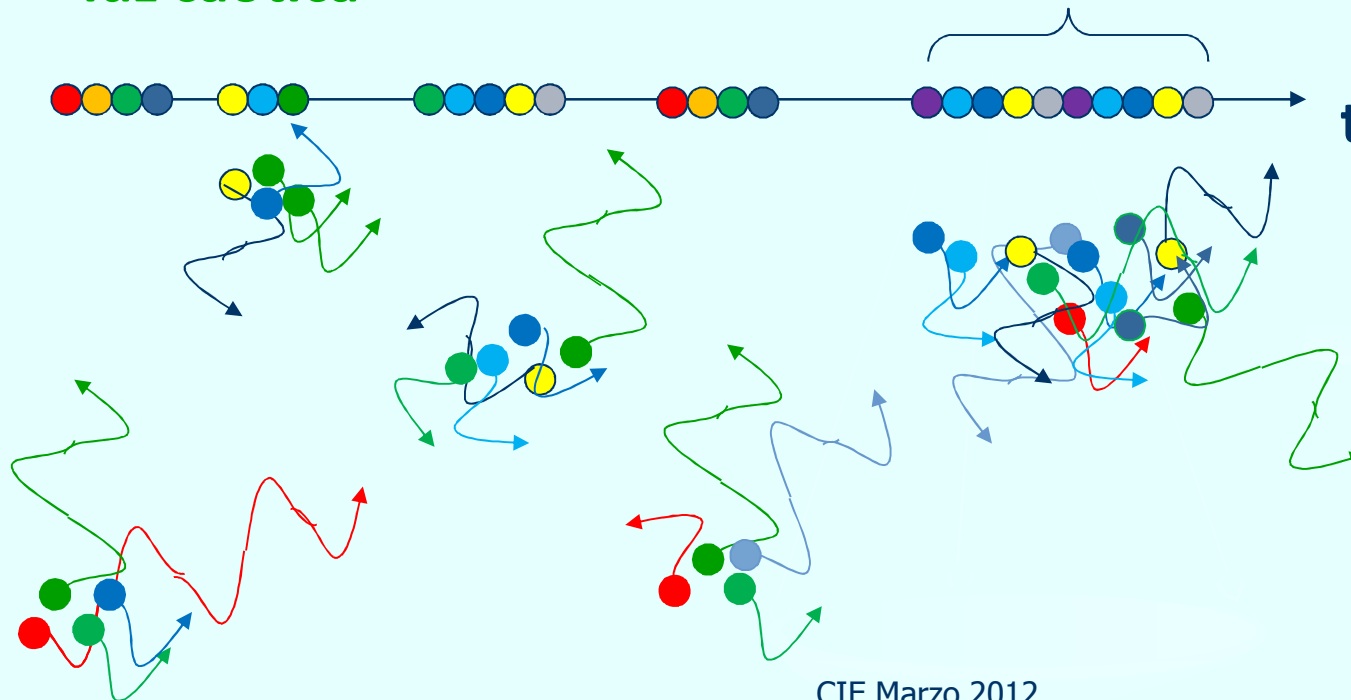
Luz térmica

Anteriormente llamado
“luz caótica”

lampara



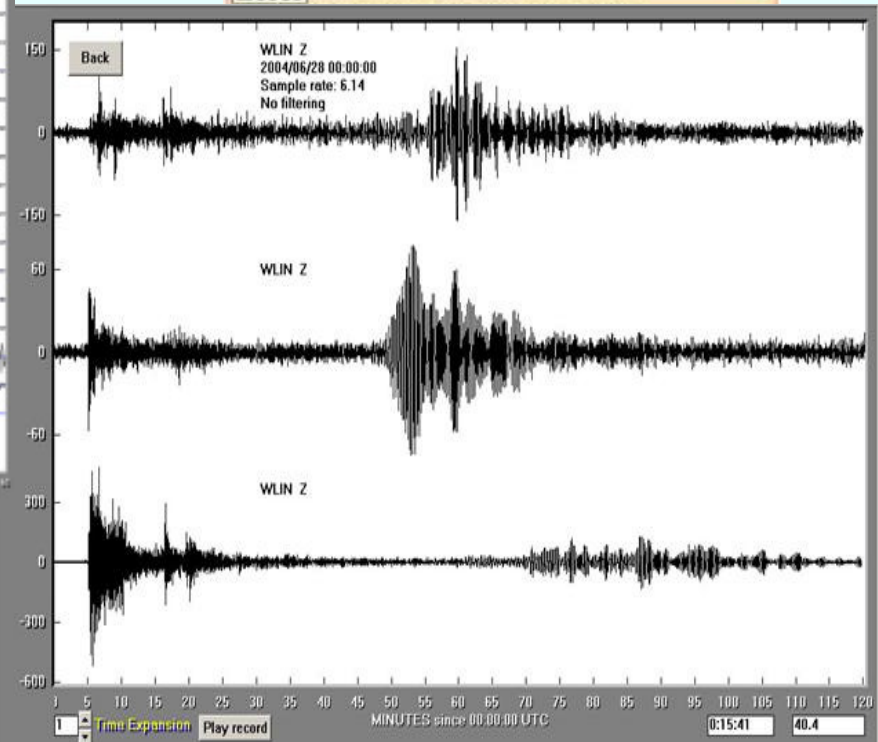
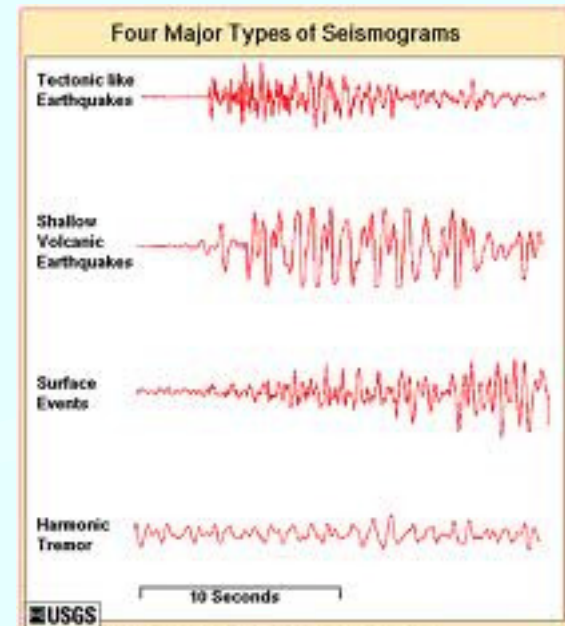
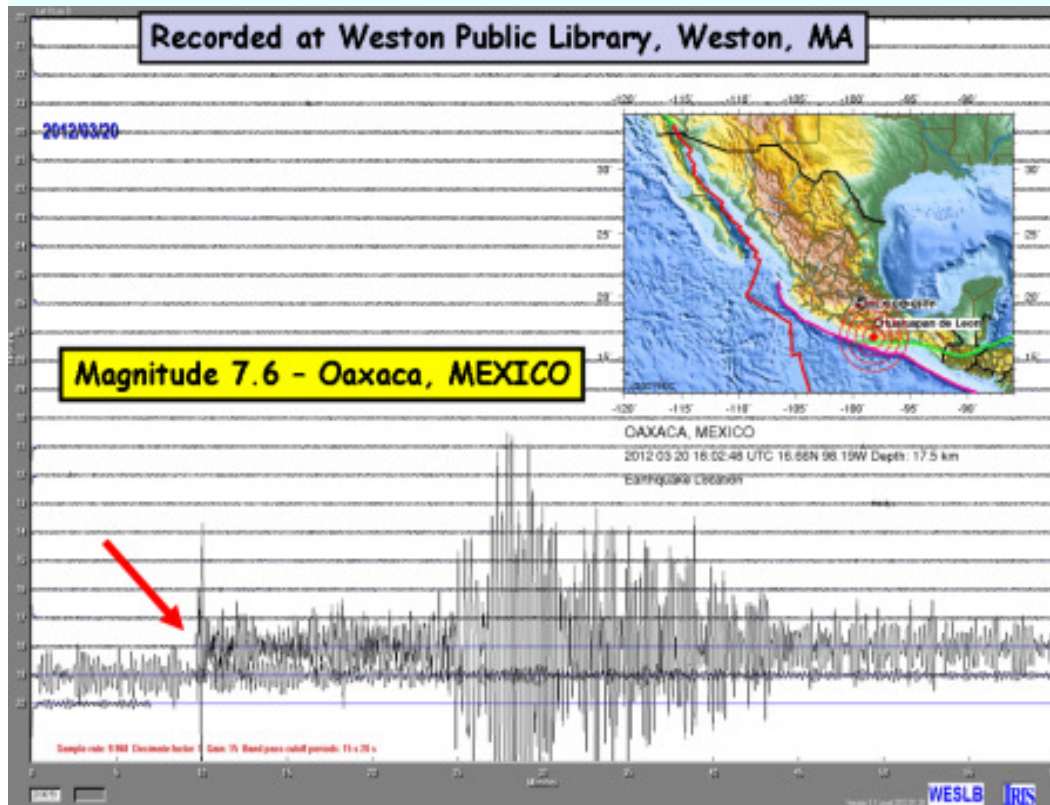
Tiempo de
coherencia
 $\tau_{\text{coh}} = \lambda_{\text{coh}}/c \approx \text{ns}$



Propiedades:

- Muchas frecuencias
- fases diferentes
- viajan en grupitos/
montones/volúmenes de
coherencia

Terremotos: aviso temprano (early warning)

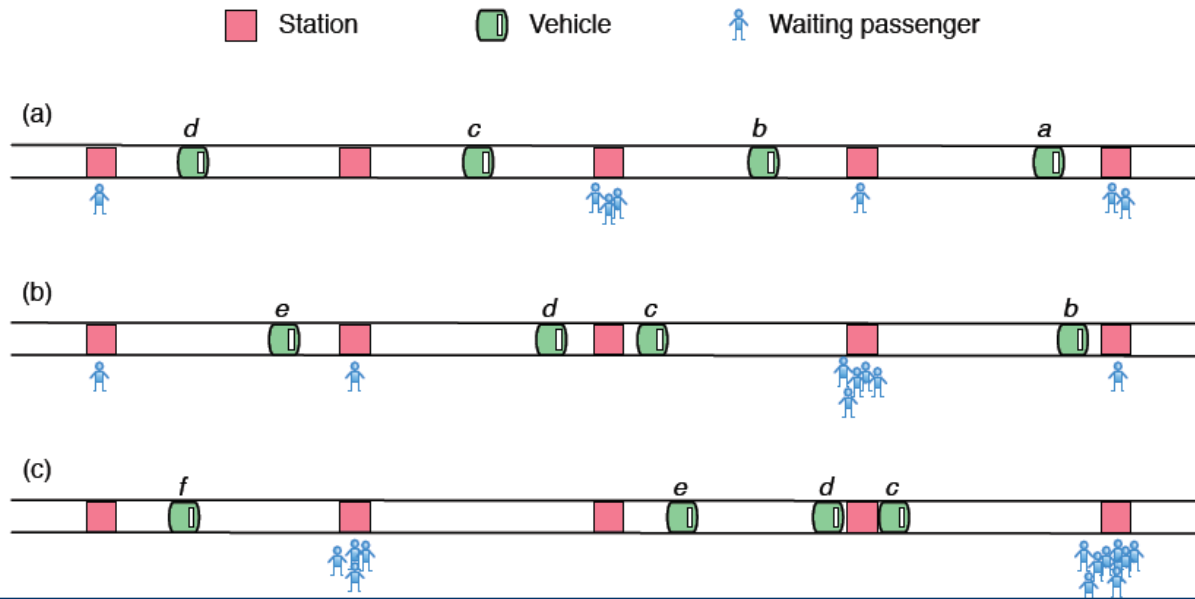


Otros Ejemplos: Un mejor transporte público

Un metro auto-organizado

Trenes aleatorios no son eficientes

Trenes periódicos tampoco lo son



La serie de tiempo ideal es $1/f$?

Semáforos inteligentes:
emergencia
de orden

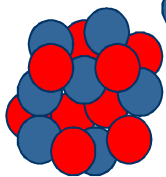
Trenes con retro-alimentación (entre trenes vecinos) optimizan eficiencia:
se adaptan a un flujo de pasajeros cambiante

Transiciones Cuánticas: “Serie de tiempo” de estados excitados nucleares

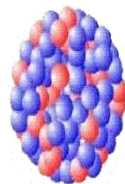
**Espectro muy denso
Sólo estudios estadísticos**

8 MeV
Energía de separación de un nucleón

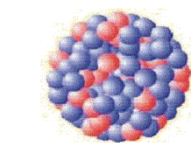
Nucleón individual



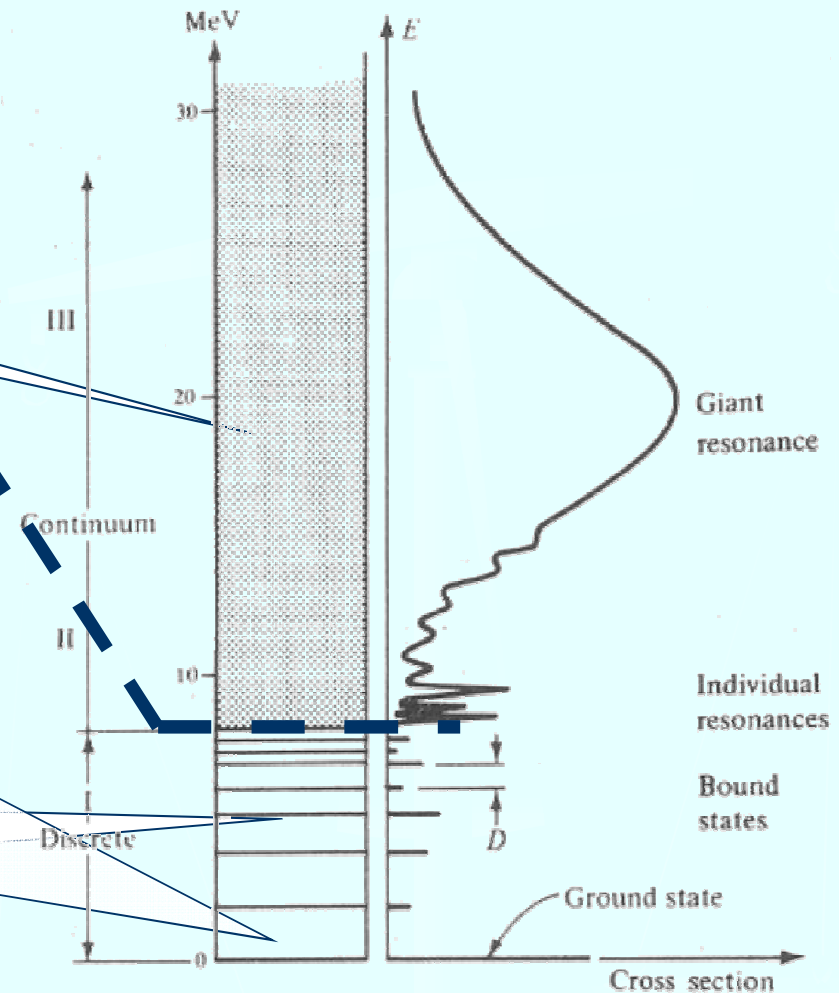
Excitaciones colectivas



Rotaciones



Vibraciones



Sistema auto-organizado por la repulsión de niveles

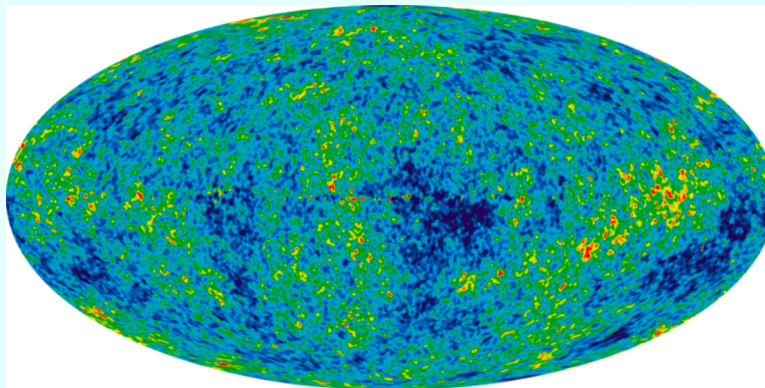
Prime Number Distribution

Qué distribución siguen las fluctuaciones alrededor de la forma logarítmica?

- **Quantum-like Chaos in Prime Number Distribution and in Turbulent Fluid Flows**
- **A. M. Selvam**
- **Indian Institute of Tropical Meteorology Pune 411 008, India email: selvam@ip.eth.net website: <http://www.geocities.com/amselvam>**
- **1/f or Benford Distribution**
- **$P_n = \text{Log}_{(10)} (1 + 1/n)$**

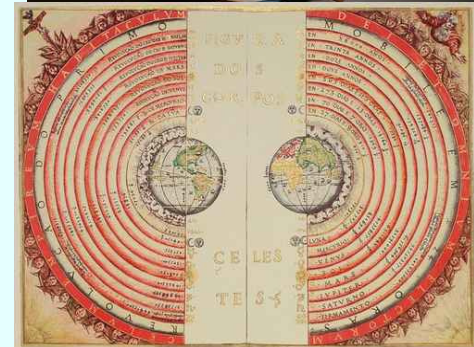
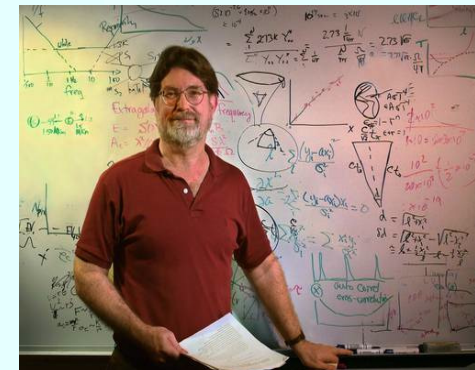
Música y El Eco de la Gran Explosión

- Plato and Aristotle agreed that in some fashion the fine arts “imitate” Nature. However, music is the least imitative of the arts, and a question is *what does music exactly imitate?* Music, or at least its more slowly varying quantities such as loudness and pitch, have been found to obey $1/f$ behavior, a property largely independent of the musical style or the composer. **Music may thus mirror the subtle statistical property of the world of how it evolves in time.**
- Radiación de Fondo (Micro-ondas)



Artículo sobre George Smoot: “La Música del Cosmos”. La Jornada: Miércoles 14 de julio de 2010

CIE Marzo 2012

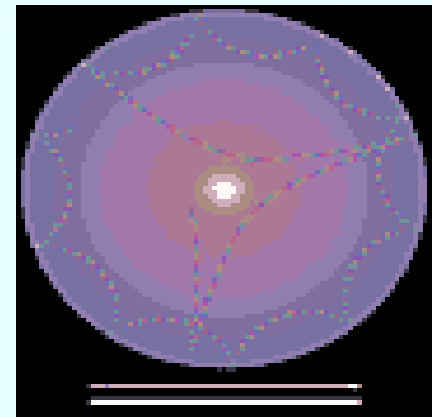
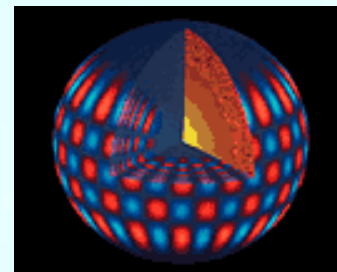
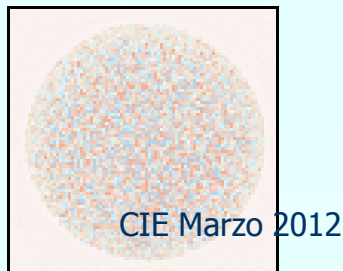
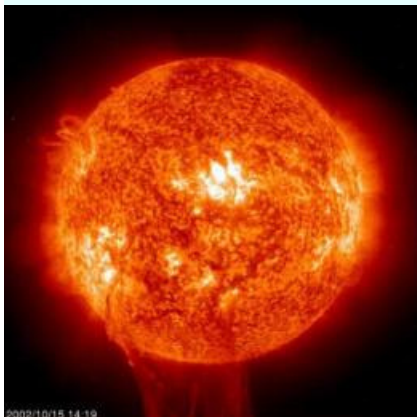


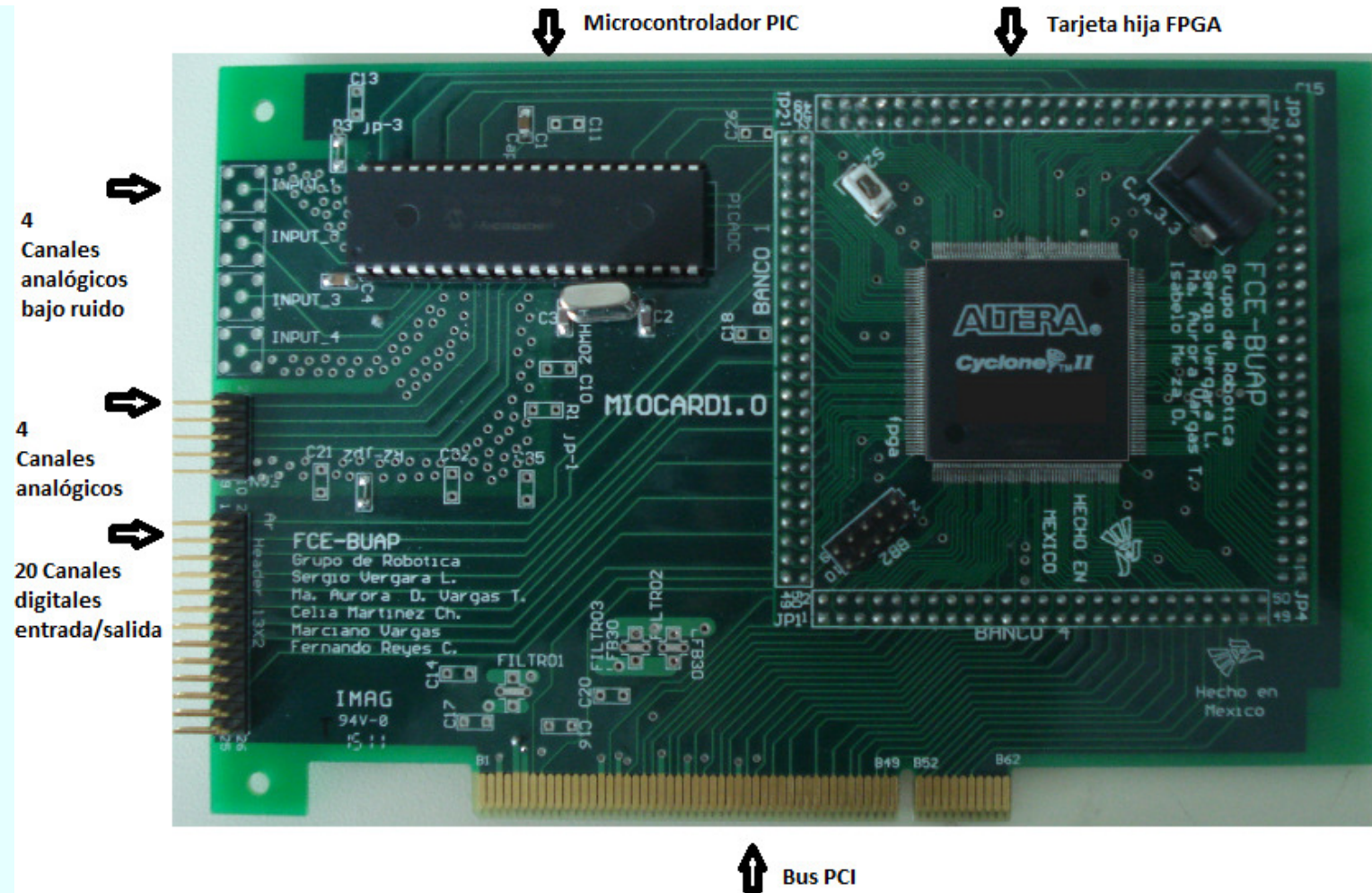
- <http://solar-center.stanford.edu/singing/>

La Música de las Esferas: Sinfonía del Cosmos

- These are solar sounds generated from 40 days of Michelson Doppler Imager data

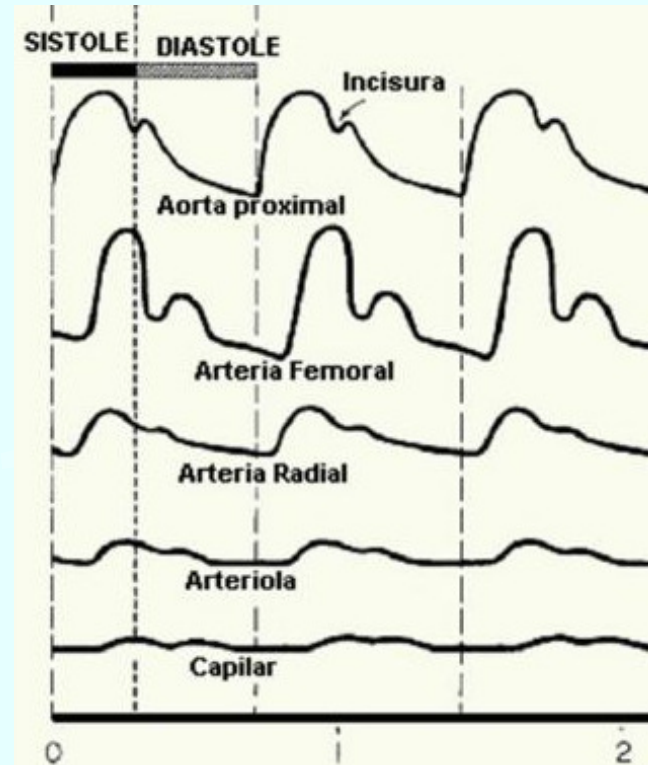
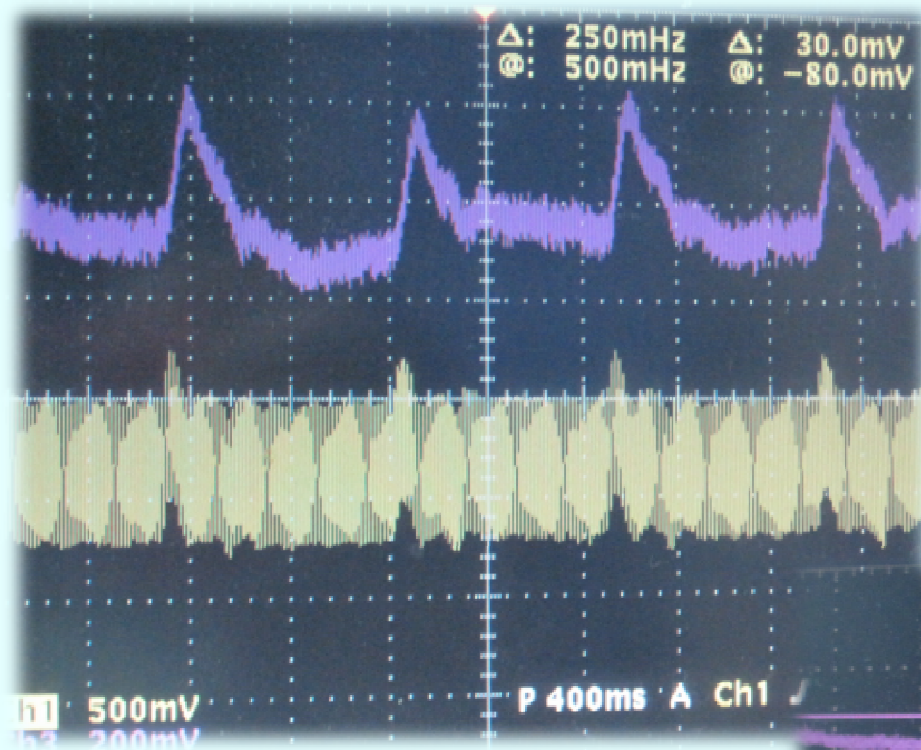
Precise satellite observations of the Sun have been able to measure ("to listen to") acoustical vibrations in the solar atmosphere that help to understand the magnetic phenomena in the solar surface. These superficial plasma vibrations can thus be translated into a "solar music". A new approach now is to translate diverse images of the Universe into audible signals, that may offer new ways to understand the physical phenomena of the Cosmos.



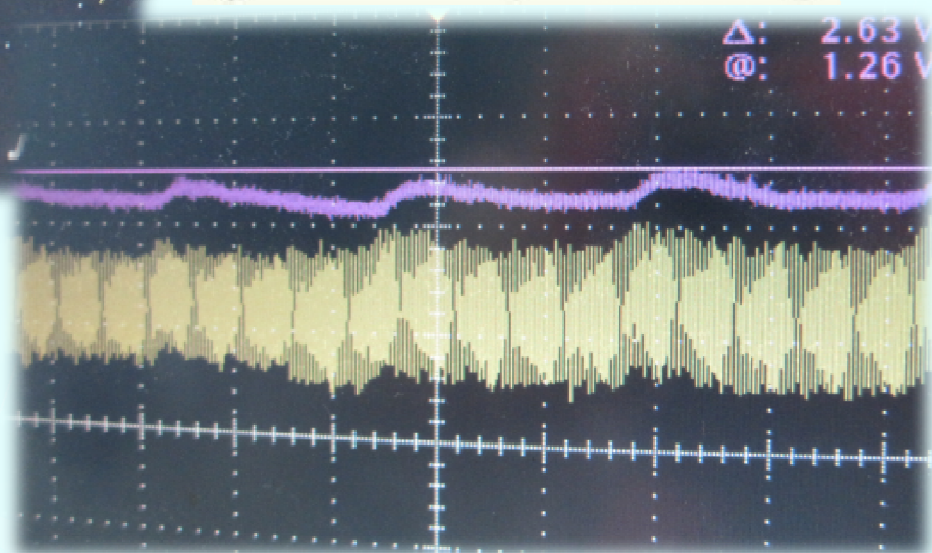


BRAZALETE GERIÁTRICO PARA VIGILANCIA Y ANÁLISIS

SENSOR PIEZOELÉCTRICO



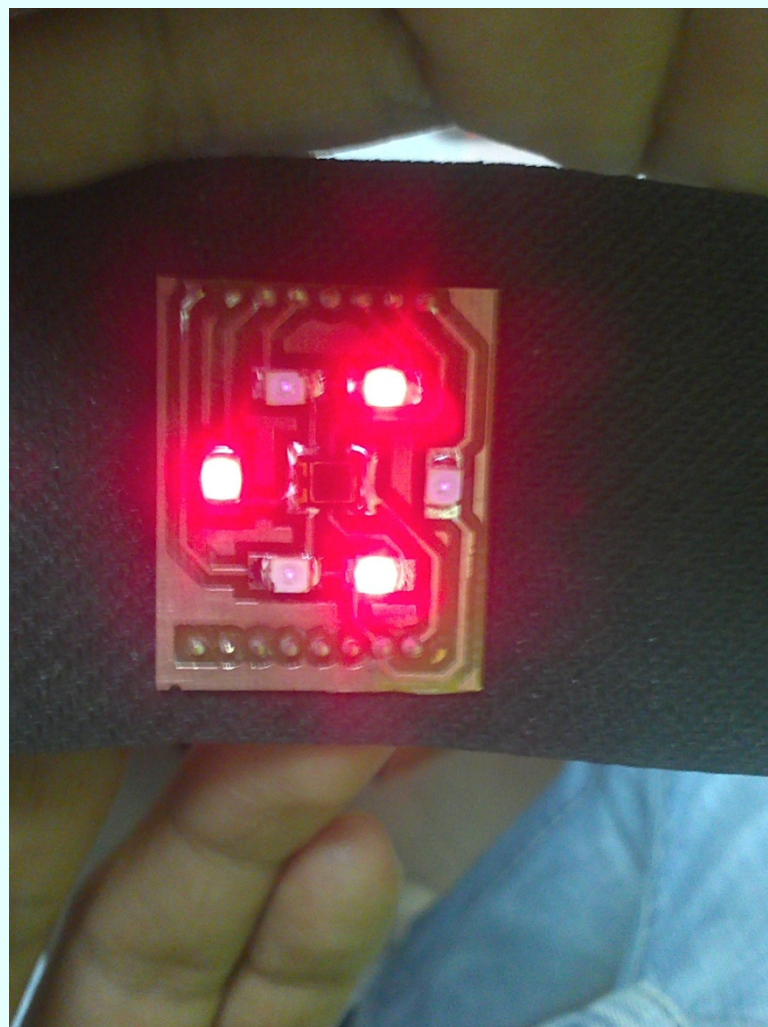
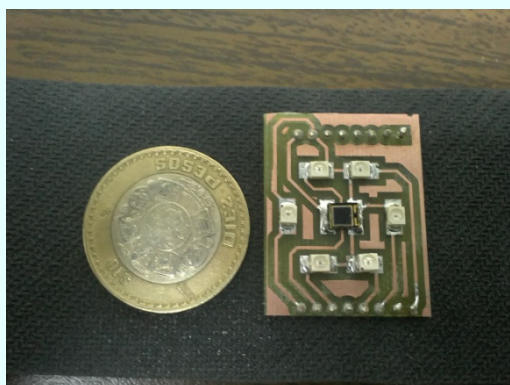
Primeros resultados



ALMACENAMIENTO DE DATOS

- Memoria EEPROM
- Memoria RAM

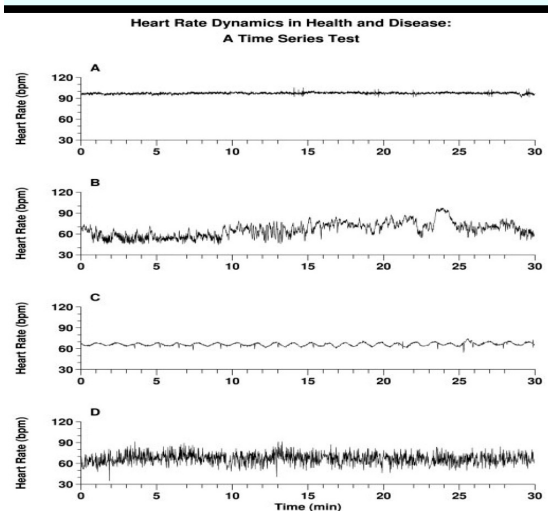




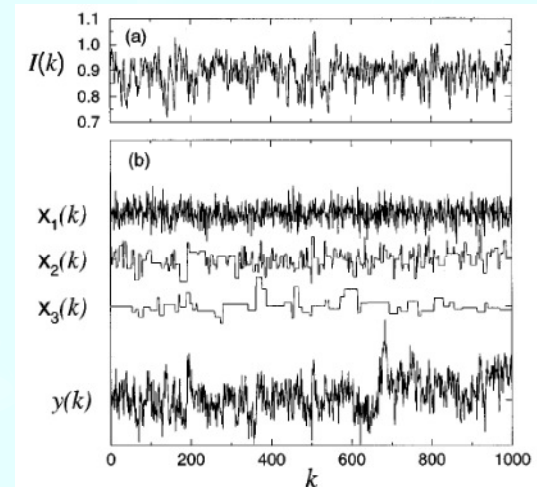
Algunos Proyectos: Matemáticas en Todas Partes

Aviso Temprano- Early Warning

- 1. Proyecto Series de Tiempo en la Medicina. ICN-I. de Geriatria-C3-CIMAT (Conacyt, Papiit-UNAM)
- 2. Proyecto MATSIQEL, M. Curie FP7, Comunidad Europea, Sudáfrica, Australia, México: **Envejecimiento**
- 3. Proyecto de Brazaletes de Monitoreo en tiempo real de Signos Cardíacos: ICN-C3-Matersys- I. de Cardiología (Conacyt)
- 4. Proyecto de Biología de Sistemas, Redes de Regulación y Cáncer (en proceso) CCG, C3, ICN
- 5. **Proyecto de Sismología: C3-I Geofísica UNAM(en proceso)**
- 6. **Cambio Climático.....PINC-UNAM (en proceso)**



CIE Marzo 2012



■ Conclusiones

- Podemos “escuchar” a la Naturaleza y analizar matemáticamente sus señales, que contienen información sobre su funcionamiento, su robustez o fragilidad. “ Aviso temprano” de criticalidad y cambios de fase.
- - En particular, mediante las series de tiempo se puede estudiar una gran variedad de sistemas (sistemas físicos y biológicos, sociales, tales como núcleos, sistemas ópticos, redes genéticas...) dentro de un mismo marco teórico
- Muchos órganos del cuerpo tienen una estructura espacial fractal y cuando son sanos producen señales que también son fractales en el tiempo.
- Las señales biológicas involuntarias se encuentran en un punto crítico (caracterizado por el ruido $1/f$) entre el orden y el desorden. Una desviación del comportamiento crítico puede indicar (o predecir) enfermedades o un estado de fragilidad.

Teoría de Números

