

De la turbulencia a la hidrología y más allá, o de Platón a Borges y ...

Carlos E. Punte

University of California, Davis

Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas

Universidad de Buenos Aires

Buenos Aires, 24 de septiembre de 2018

“La ciencia no es más que percepción”

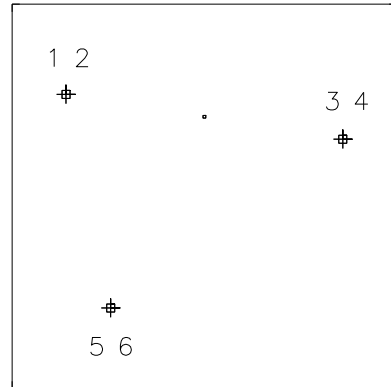
PLATÓN (427 AC – 347 AC)

“Siempre imaginé que el Paraíso sería un tipo de biblioteca”

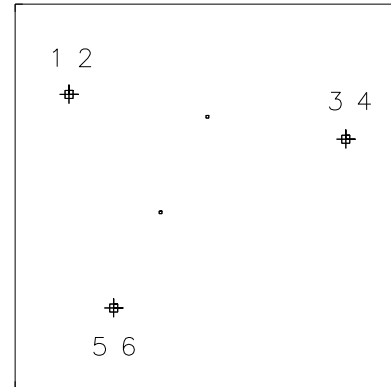
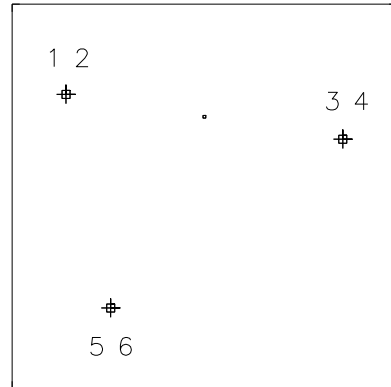
JORGE LUIS BORGES (1899 – 1986)

El juego del caos

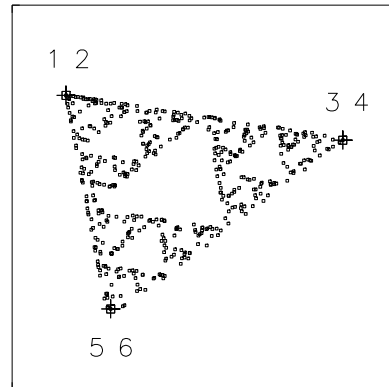
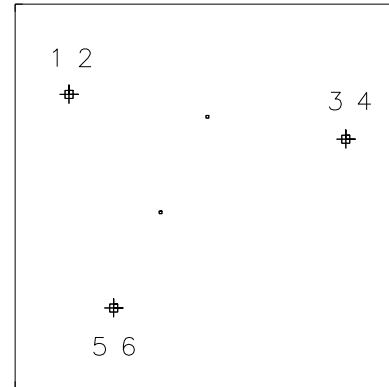
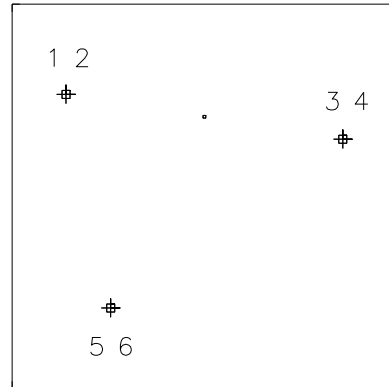
(Barnsley, 1988)



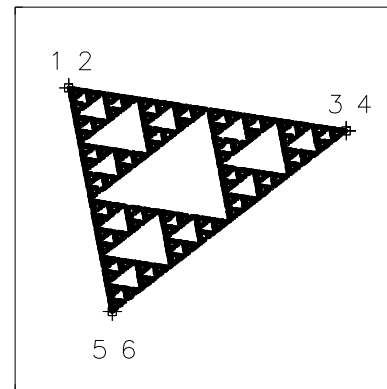
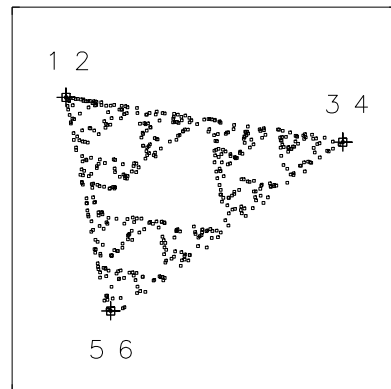
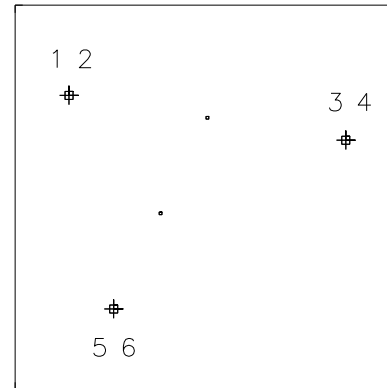
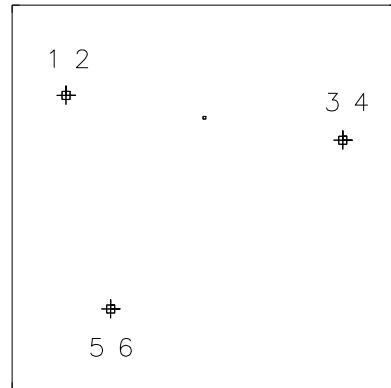
El juego del caos



El juego del caos



El juego del caos





un fractal
Sierpinski

Nuevas reglas

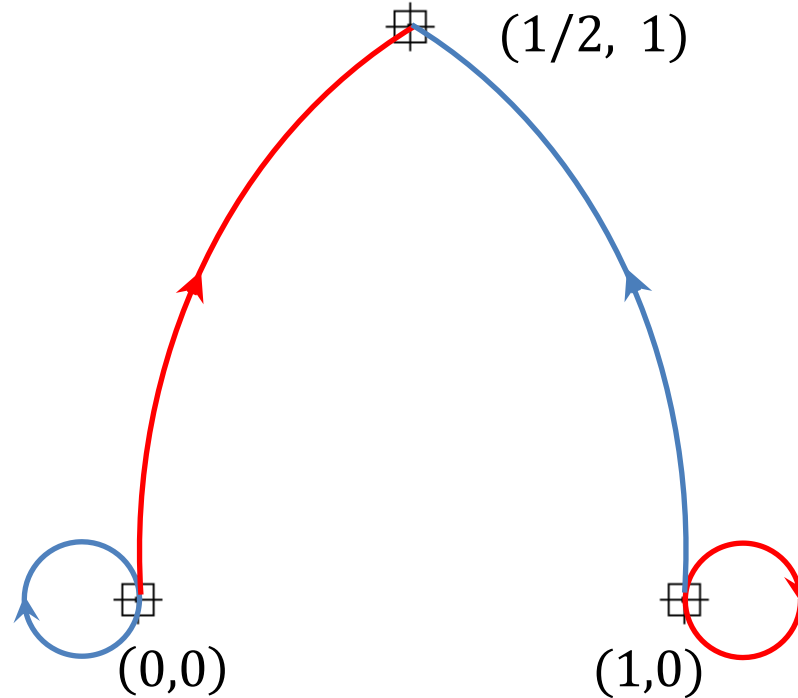
(Barnsley, 1988)

$$w_1(x, y) = \left(\frac{x}{2}, x + d_1 \cdot y \right), w_2(x, y) = \left(\frac{x}{2} + \frac{1}{2}, 1 - x + d_2 \cdot y \right)$$

Nuevas reglas

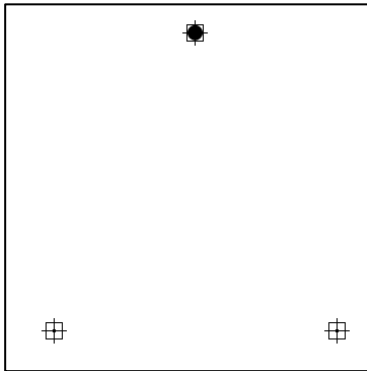
$$\underbrace{w_1(x, y)}_{\leftarrow} = \left(\frac{x}{2}, x + d_1 \cdot y \right), \quad \underbrace{w_2(x, y)}_{\rightarrow} = \left(\frac{x}{2} + \frac{1}{2}, 1 - x + d_2 \cdot y \right)$$



Usando una moneda

$$d_1 = -d_2 = z = 0.5$$

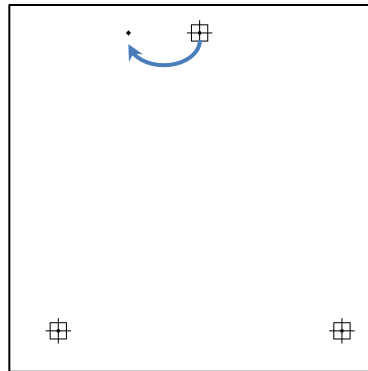
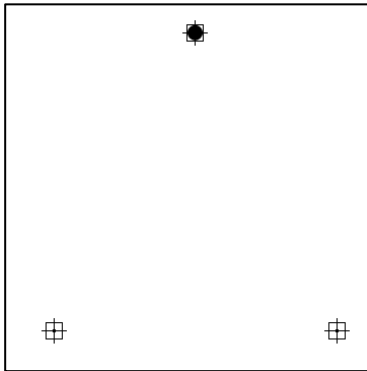
$\leftarrow w_1$ $w_2 \rightarrow$



Usando una moneda

$$d_1 = -d_2 = z = 0.5$$

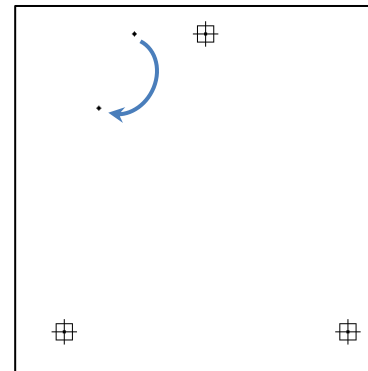
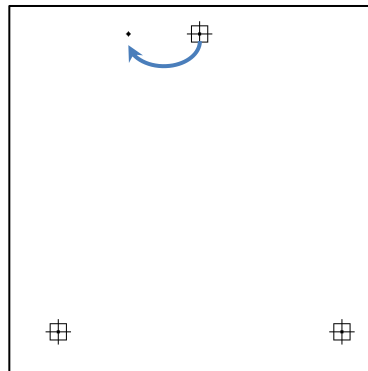
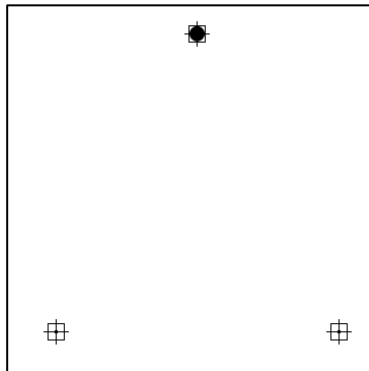
← w_1 w_2 →



Usando una moneda

$$d_1 = -d_2 = z = 0.5$$

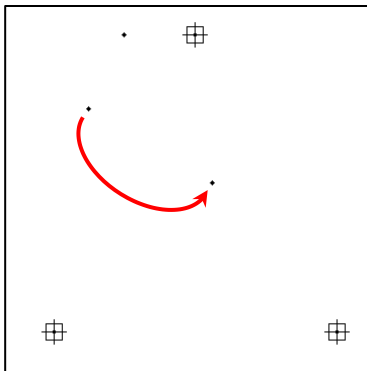
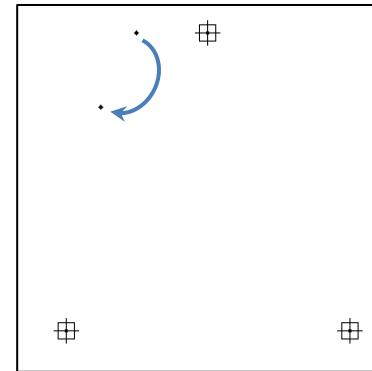
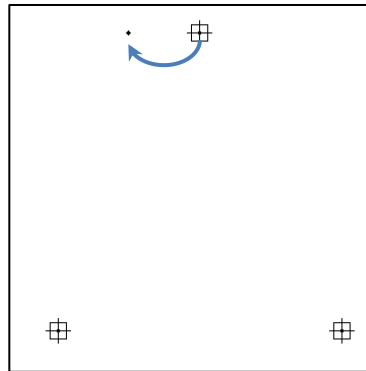
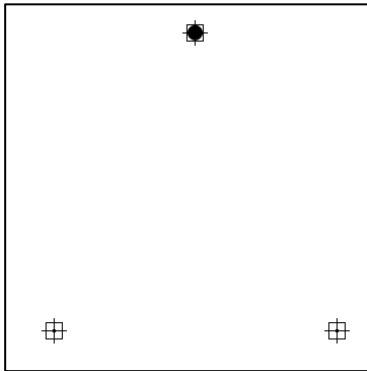
 w_1 w_2 



Usando una moneda

$$d_1 = -d_2 = z = 0.5$$

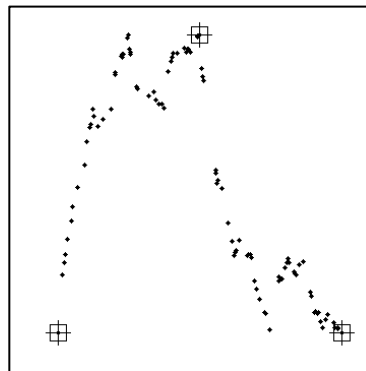
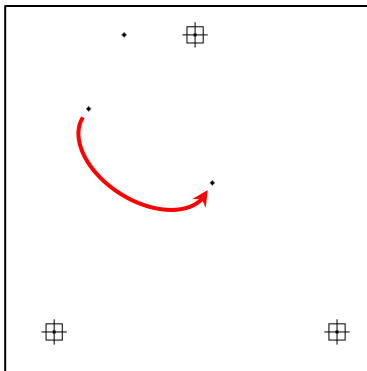
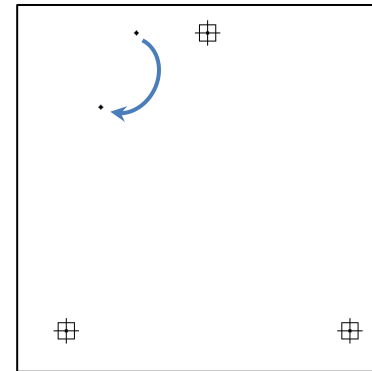
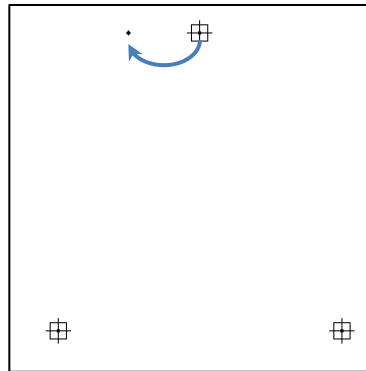
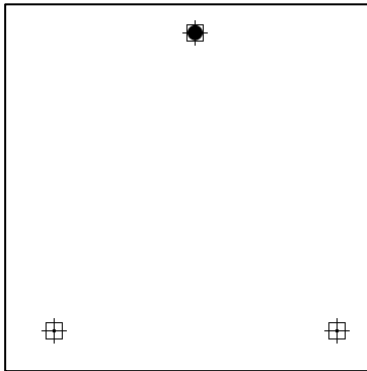
 w_1 w_2 



Usando una moneda

$$d_1 = -d_2 = z = 0.5$$

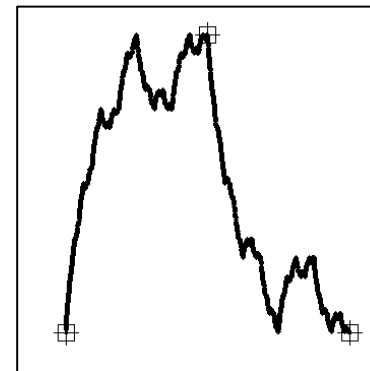
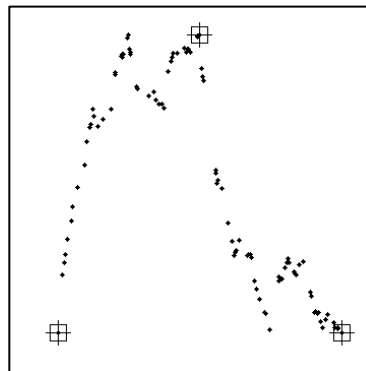
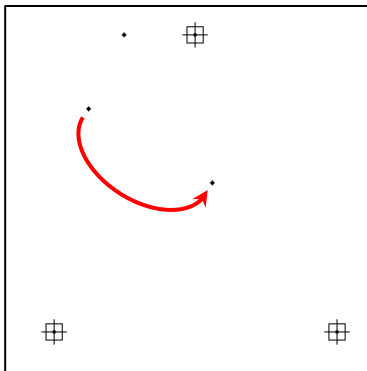
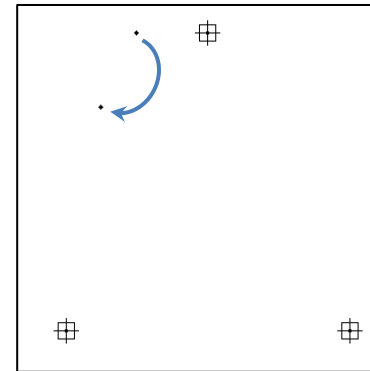
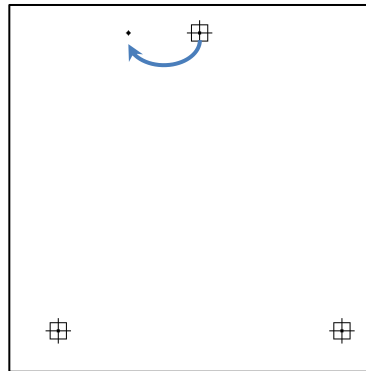
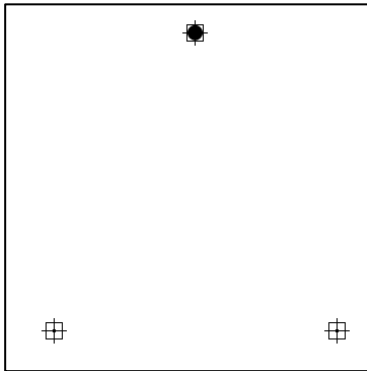
← w_1 w_2 →



Usando una moneda

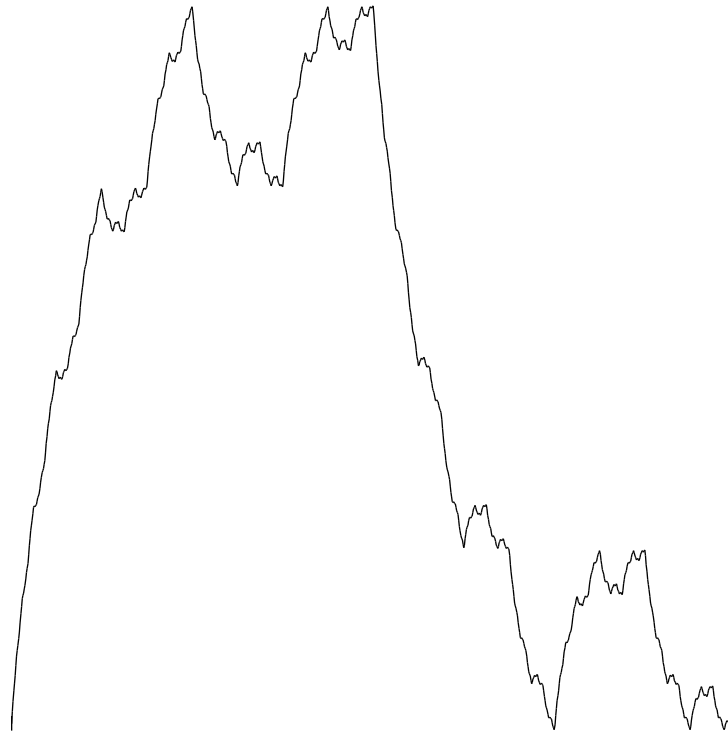
$$d_1 = -d_2 = z = 0.5$$

← w_1 w_2 →



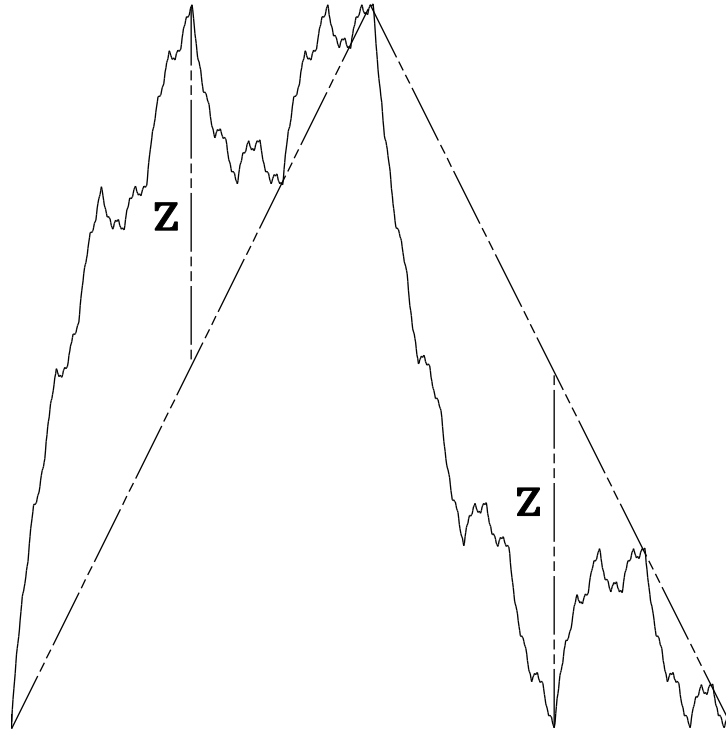
montaña
fractal

La montaña sin azar



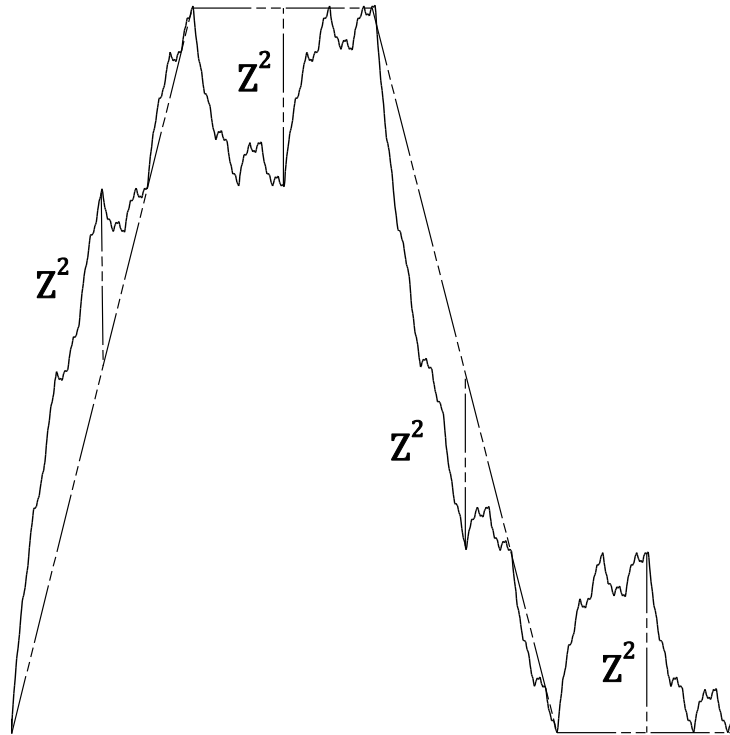
buscando superficies para estudiar la evolución de los ríos...

La montaña sin azar



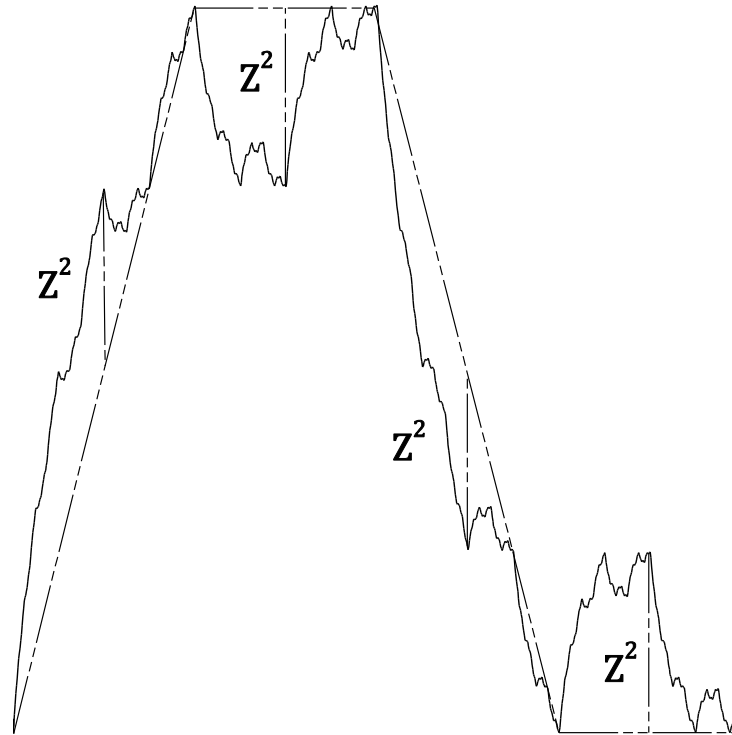
una los puntos del principio, la mitad y el final
luego vaya **arriba** y **abajo** una cantidad z desde la mitad

La montaña sin azar



una de izquierda a derecha y vaya **arriba** y **abajo** la cantidad z^2

La montaña sin azar



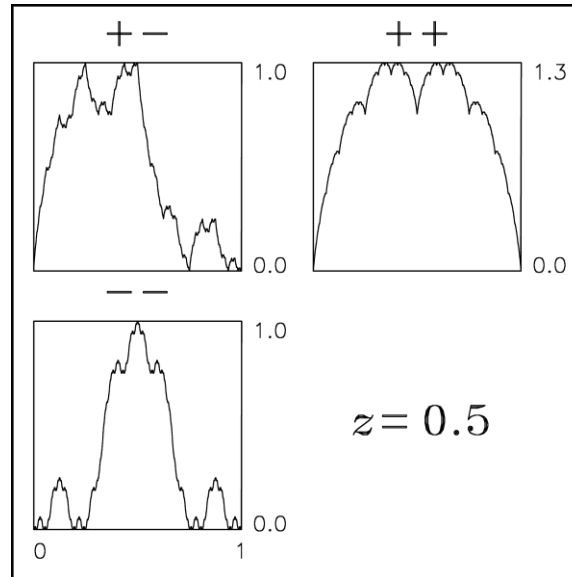
...sale sumando puntos **arriba** y **abajo** en potencias de z

Otros perfiles interesantes

(Barnsley, 1988)

$$w_1(x, y) = \left(\frac{x}{2}, x + d_1 \cdot y \right), w_2(x, y) = \left(\frac{x}{2} + \frac{1}{2}, 1 - x + d_2 \cdot y \right)$$

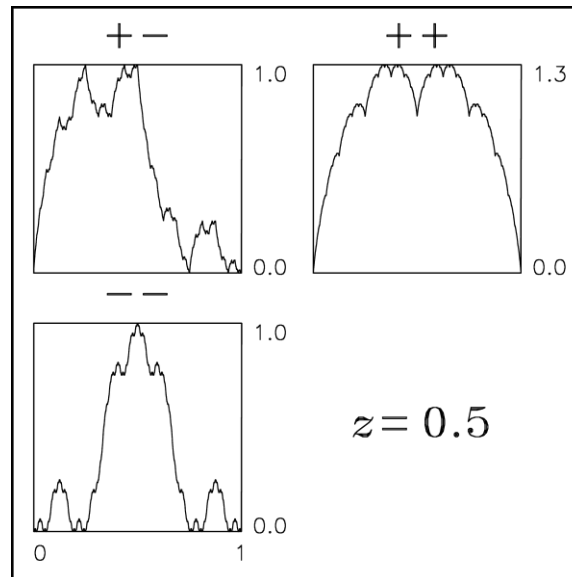
signos:



Otros perfiles interesantes

$$w_1(x, y) = \left(\frac{x}{2}, x + d_1 \cdot y \right), w_2(x, y) = \left(\frac{x}{2} + \frac{1}{2}, 1 - x + d_2 \cdot y \right)$$

signos:



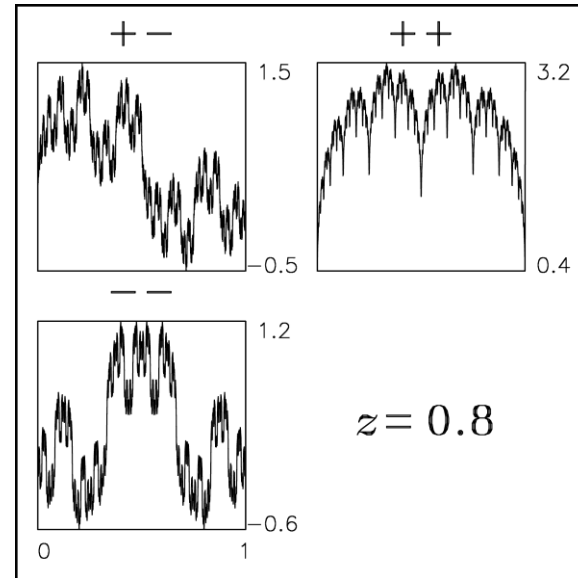
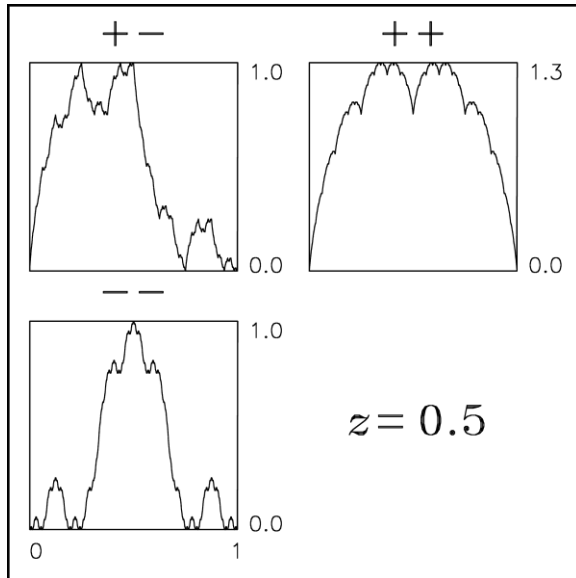
caso + - es la *montaña*

caso - - alterna **arriba** y **abajo**

caso + + siempre va **arriba** y da una *nube*

Otros perfiles interesantes

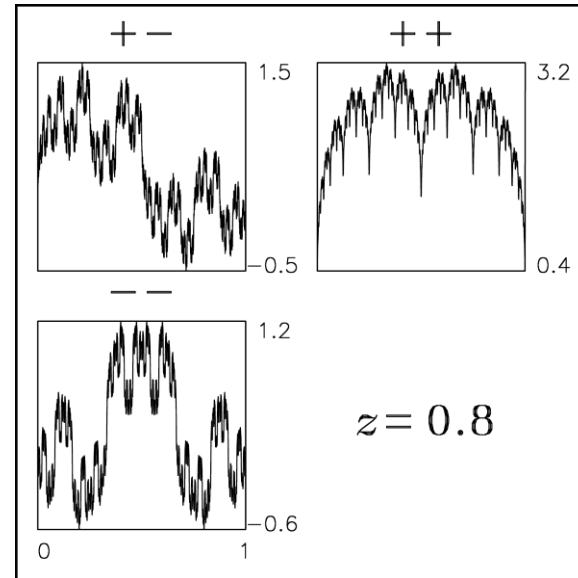
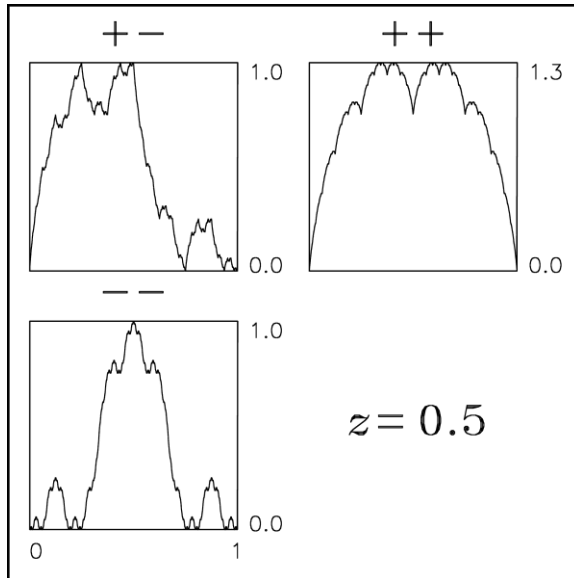
$$w_1(x, y) = \left(\frac{x}{2}, x + d_1 \cdot y \right), w_2(x, y) = \left(\frac{x}{2} + \frac{1}{2}, 1 - x + d_2 \cdot y \right)$$



al aumentar z , los “alambres” llenan más espacio

Otros perfiles interesantes

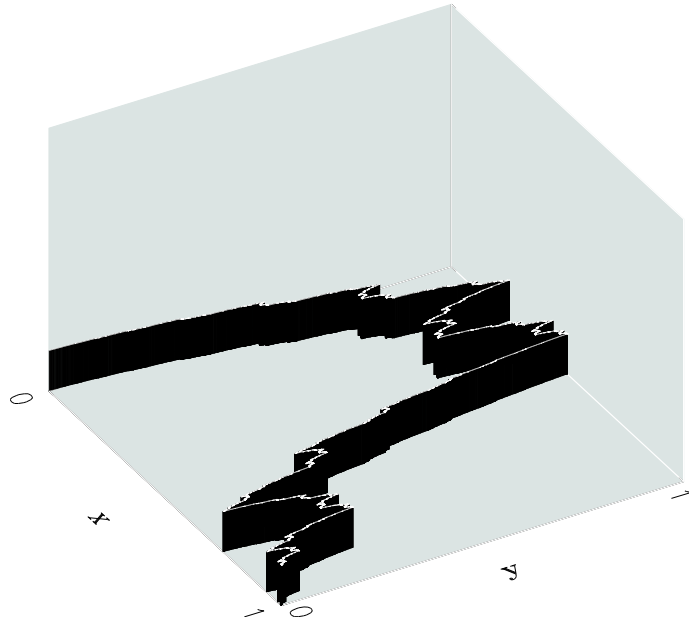
$$w_1(x, y) = \left(\frac{x}{2}, x + d_1 \cdot y \right), w_2(x, y) = \left(\frac{x}{2} + \frac{1}{2}, 1 - x + d_2 \cdot y \right)$$



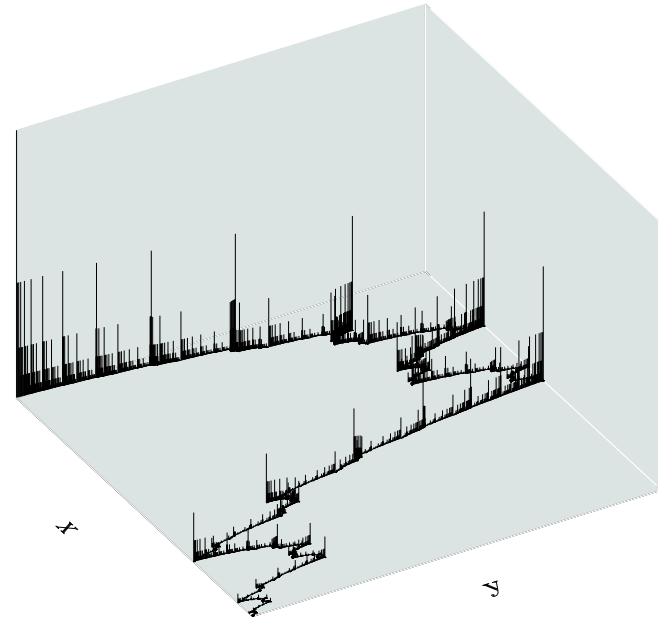
al aumentar z , los “alambres” llenan más espacio
cuando z tiende a 1, sus dimensiones (**fractales**) tienden a 2

Uso de monedas justas y sesgadas

50-50



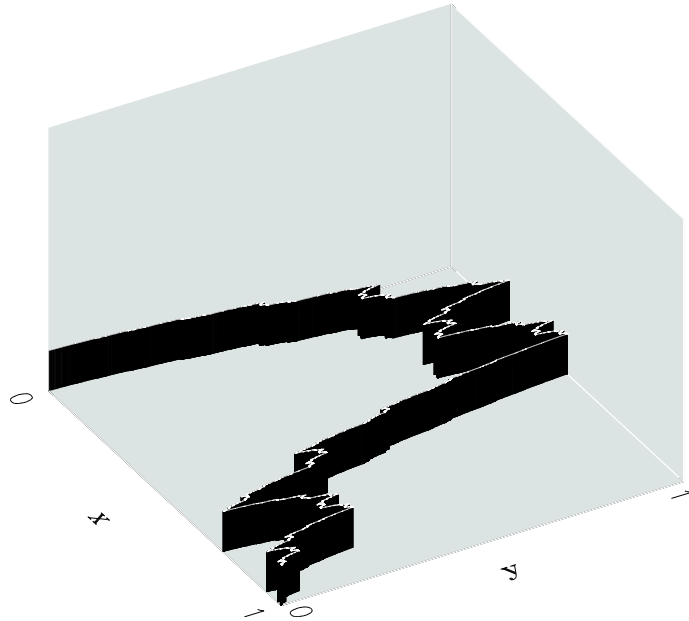
70-30



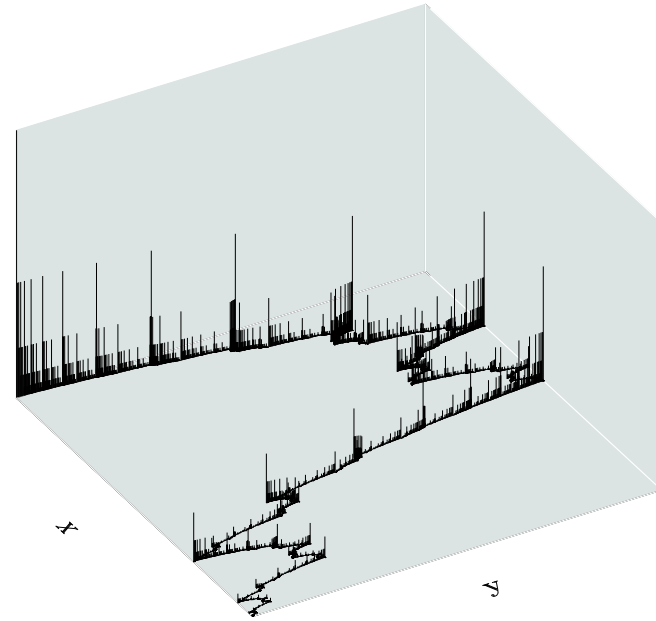
diferentes **texturas** sobre el mismo *alambre* (*Teorema de Elton*)

Uso de monedas justas y sesgadas

50-50



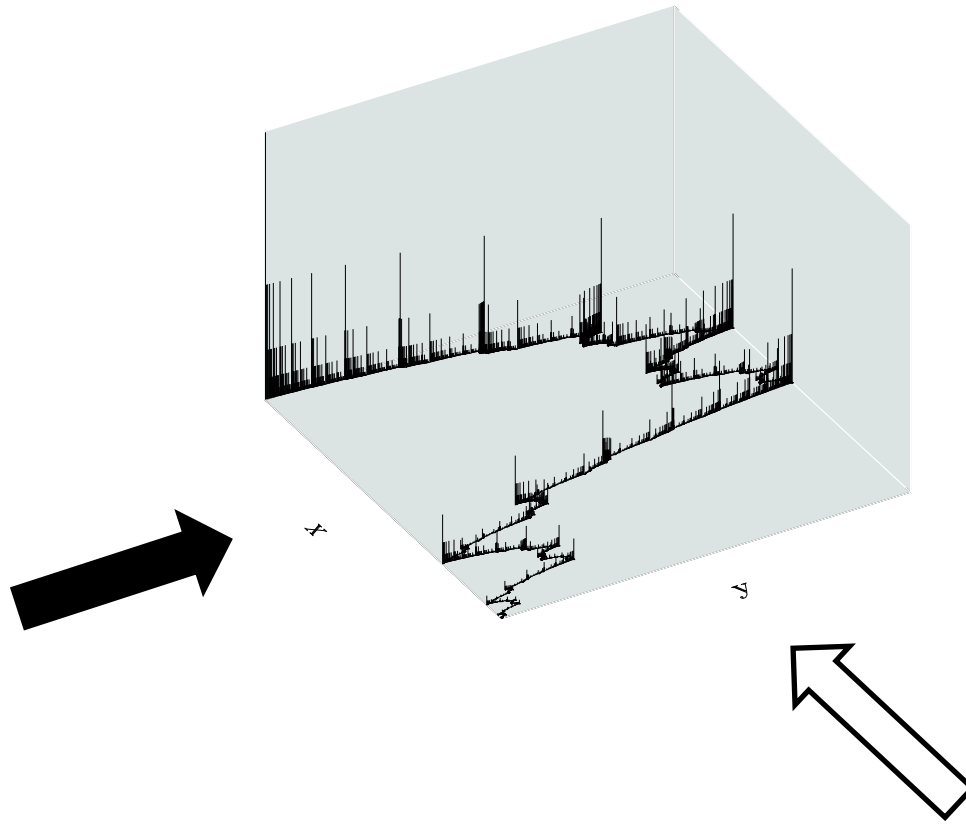
70-30



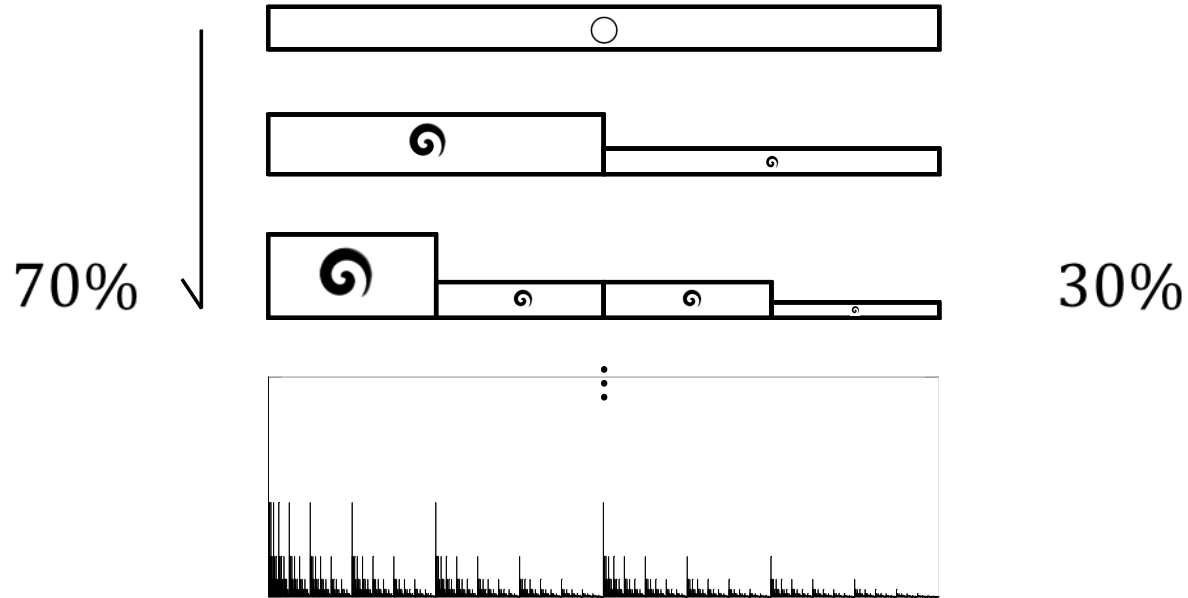
diferentes **texturas** sobre el mismo *alambre* (*Teorema de Elton*)

¿qué se ve desde los dos ejes?

¿Proyección sobre x ?

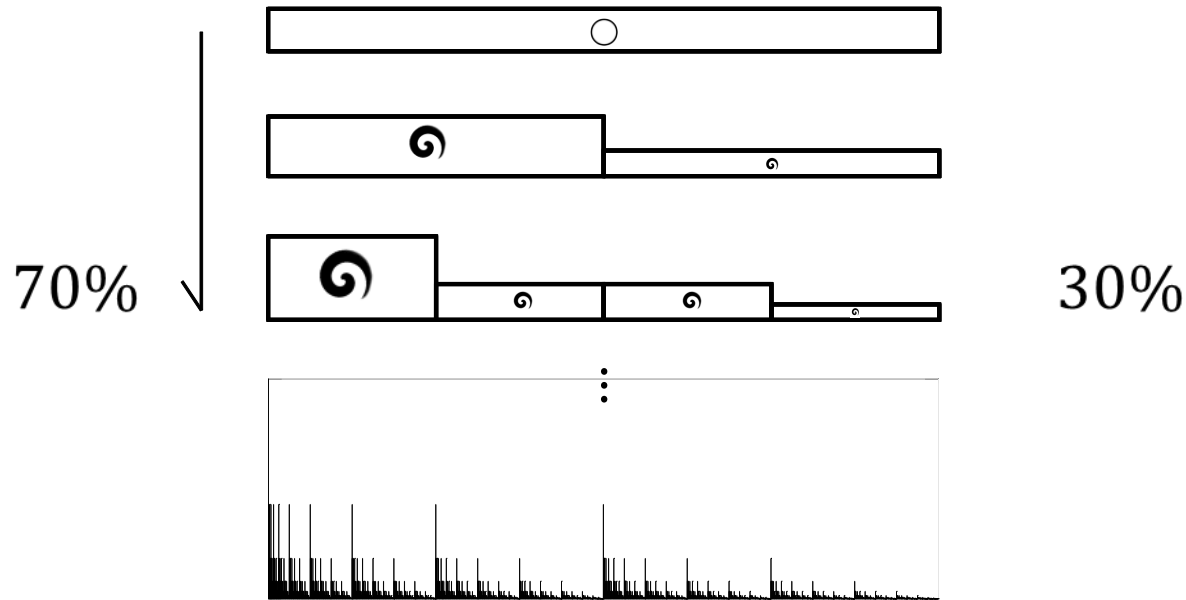


Desde x: turbulencia y multifractales



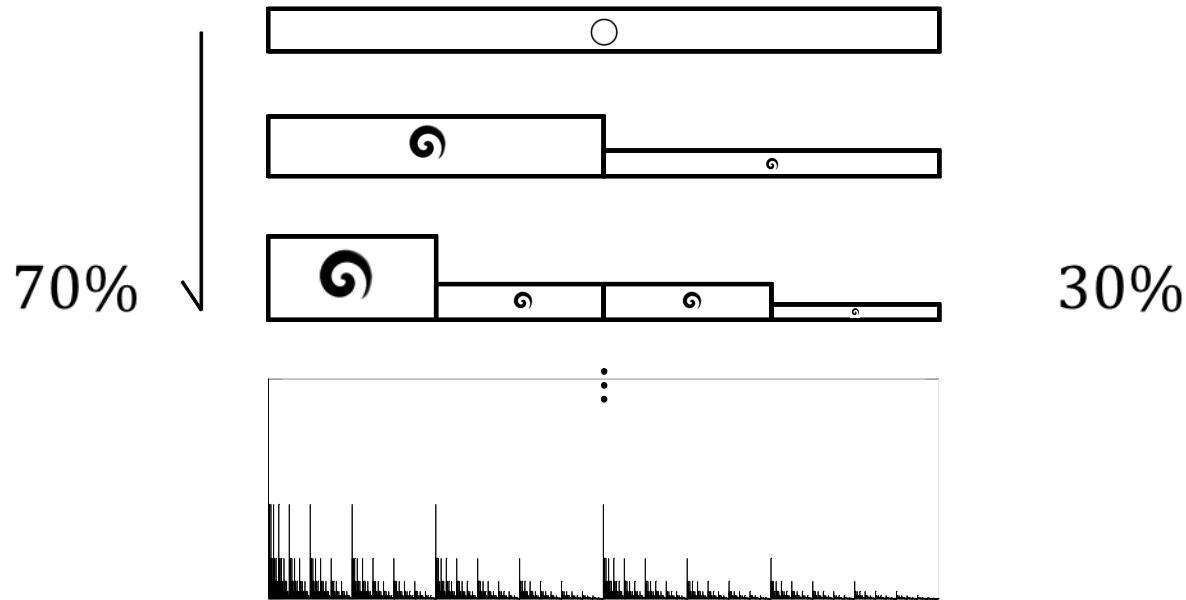
Desde x: turbulencia y multifractales

(Meneveau & Sreenivasan, 1987)



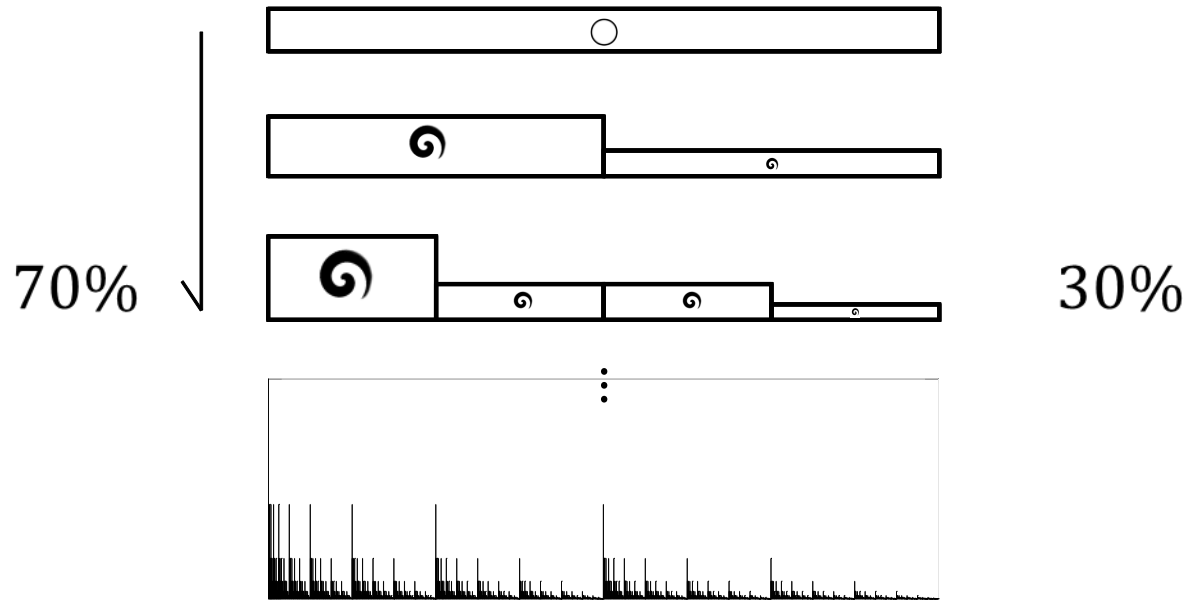
una cascada de **remolinos** que genera **violencia**

Desde x: turbulencia y multifractales



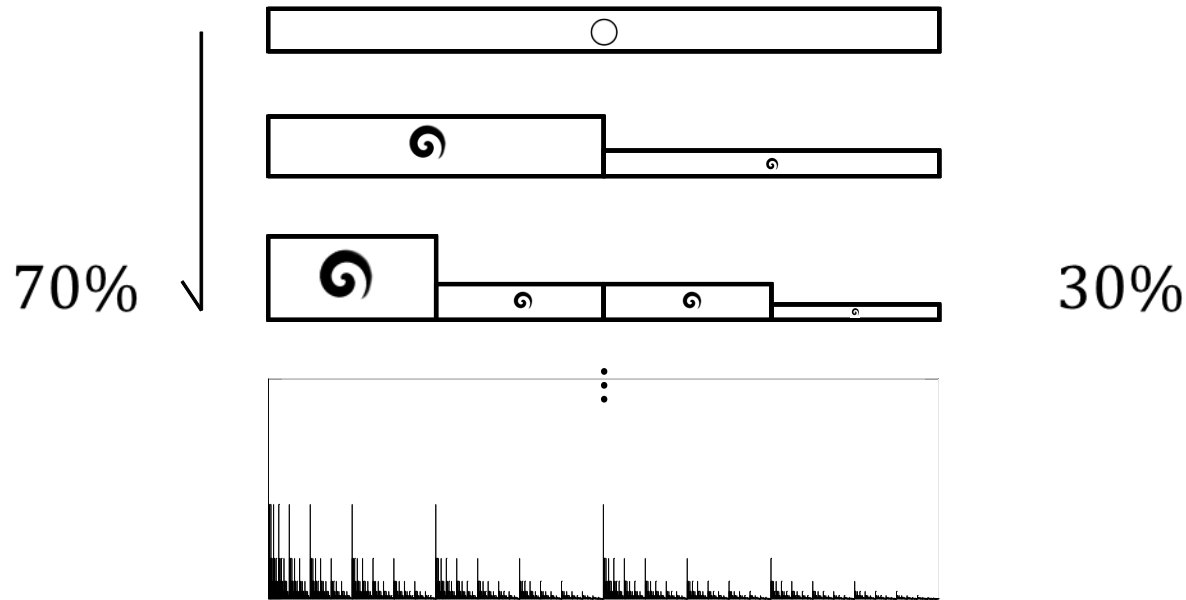
una cascada de **remolinos** que genera **violencia**
fragmentación progresiva dando lugar a **espinas** y **polvo**

Desde x: turbulencia y multifractales



una cascada de **remolinos** que genera **violencia**
fragmentación progresiva dando lugar a **espinas** y **polvo**
un proceso **universal** que termina en la **disipación**

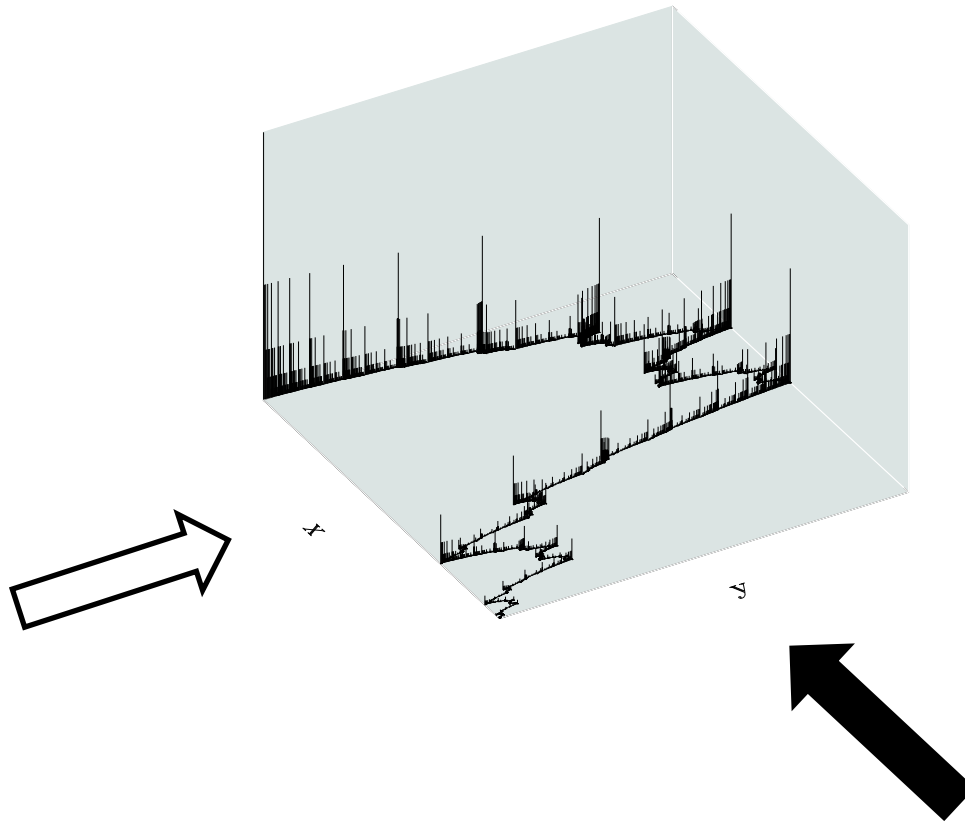
Desde x: turbulencia y multifractales



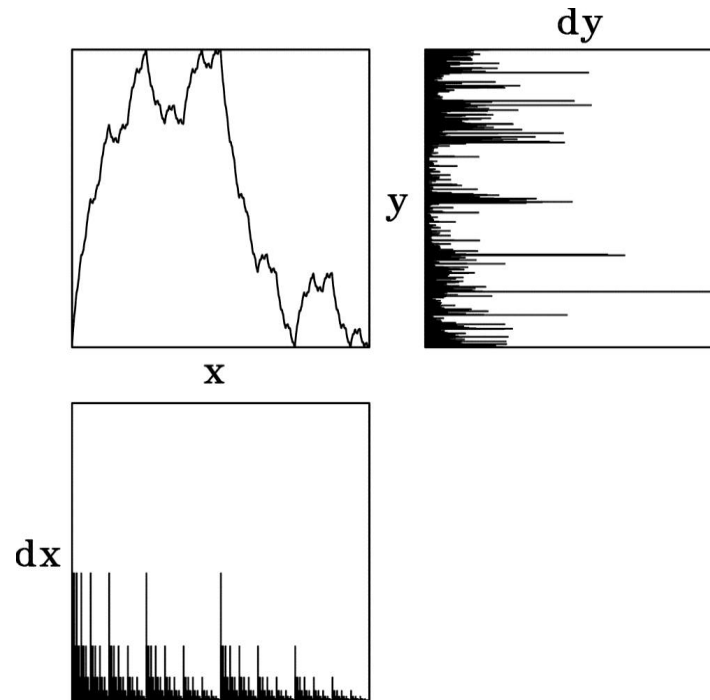
las espigas son el **histograma** de puntos hallados al iterar:

$$w_1(x) = \frac{x}{2}, w_2(x) = \frac{x}{2} + \frac{1}{2}, \text{ usando la } \mathbf{moneda\ sesgada}$$

¿Proyección sobre y ?

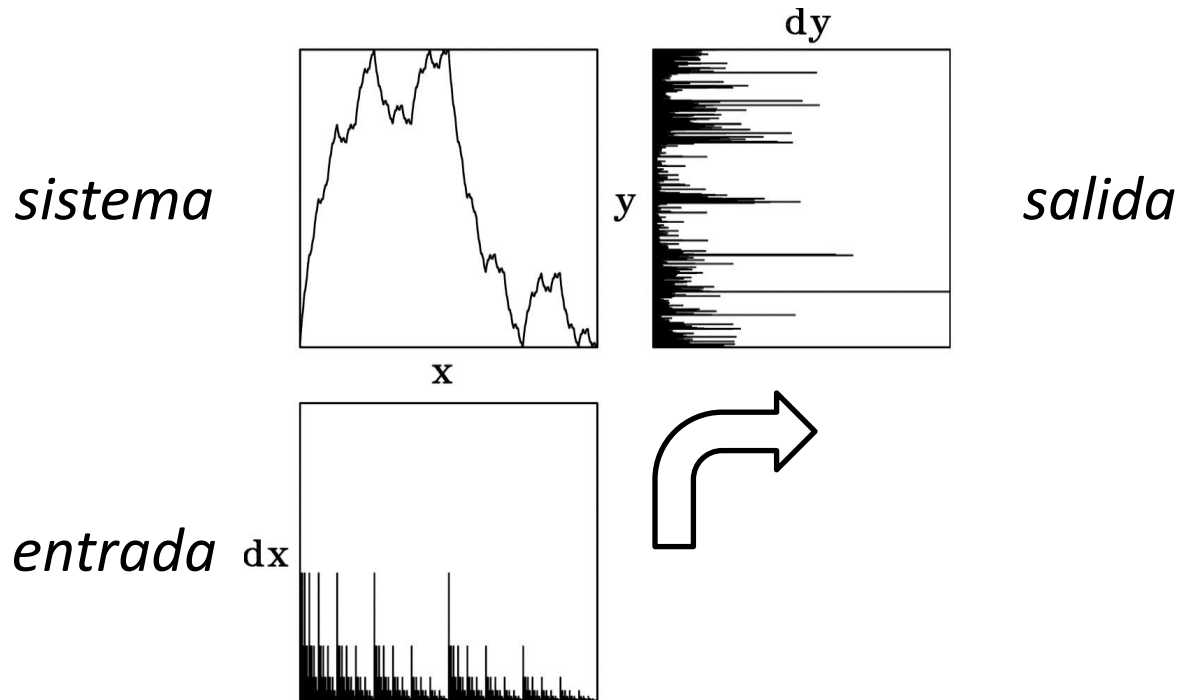


Desde y : de Platón a la complejidad

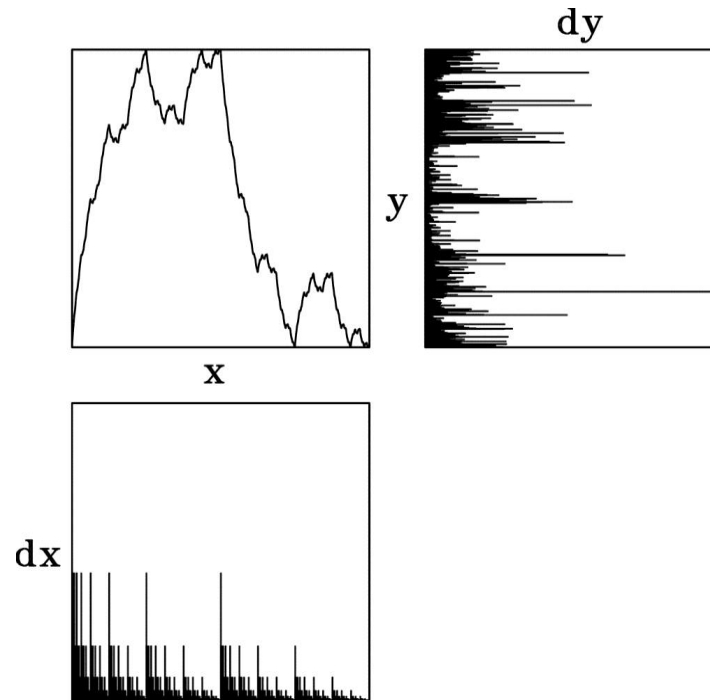


Desde y: de Platón a la complejidad

(Puente, 1992, 1994)

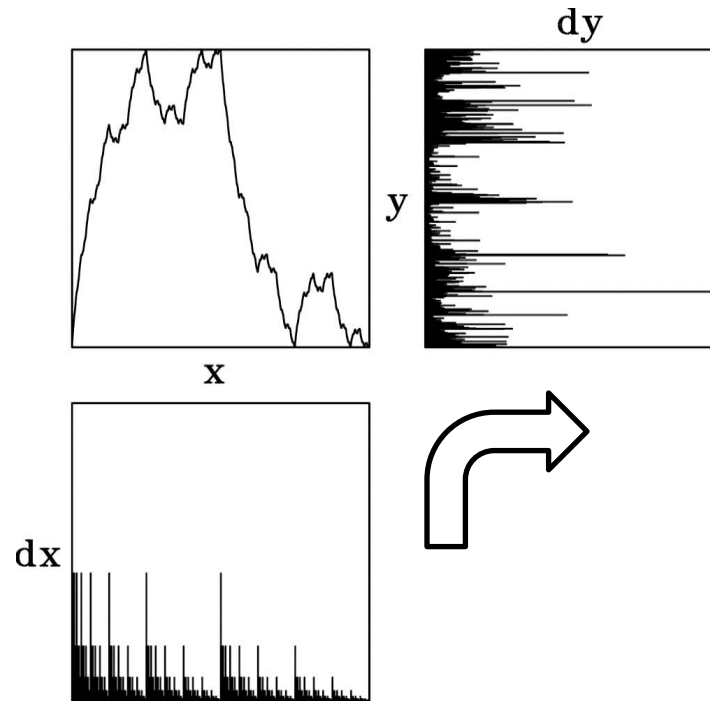


Desde y : de Platón a la complejidad



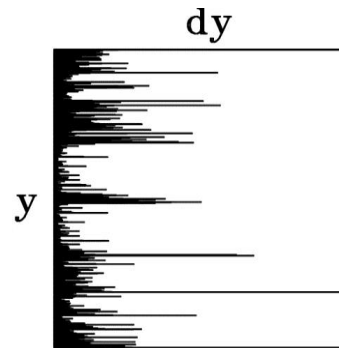
dx “*ilumina*” el alambre y dy es su “*sombra*”

Desde y: de Platón a la complejidad



dx “*ilumina*” el alambre y dy es su “*sombra*”
 dy es una **transformación** de la **turbulencia**

Desde y : de Platón a la complejidad

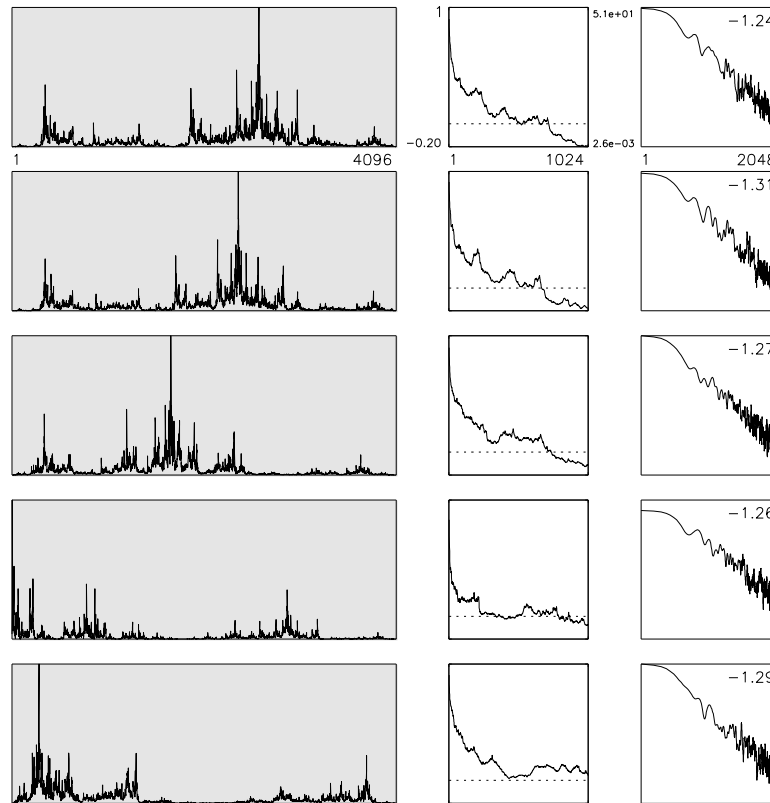


dx “*ilumina*” el alambre y dy es su “*sombra*”

dy es una **transformación** de la **turbulencia**

la proyección dy parece **aleatoria**, pero es **determinista**

¡Sombras nada más!

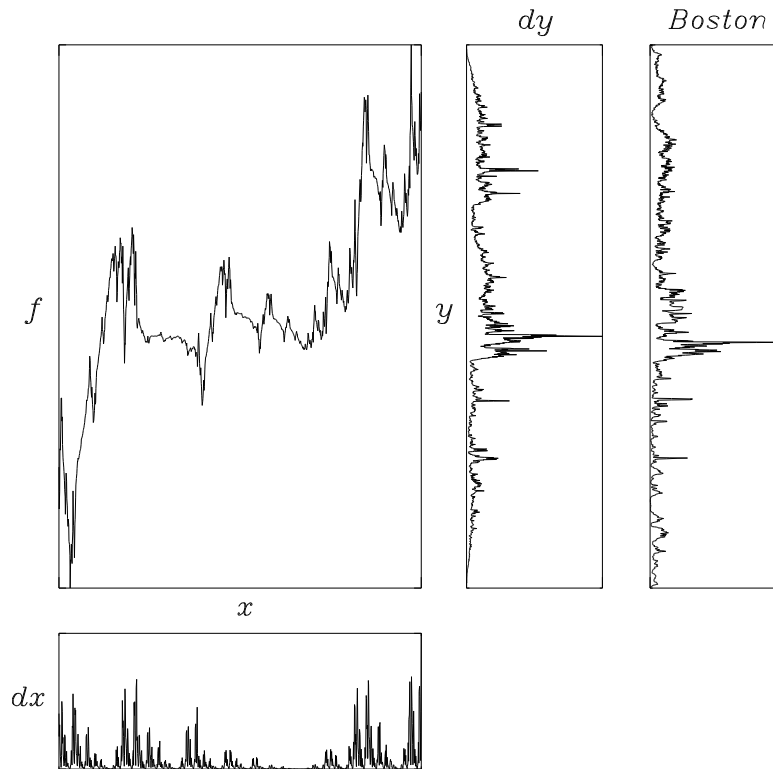


variando los parámetros de la construcción

...tienen formas y estadísticas similares a datos **naturales**

Una tormenta en Boston

(Puentes & Obregón, 1996)

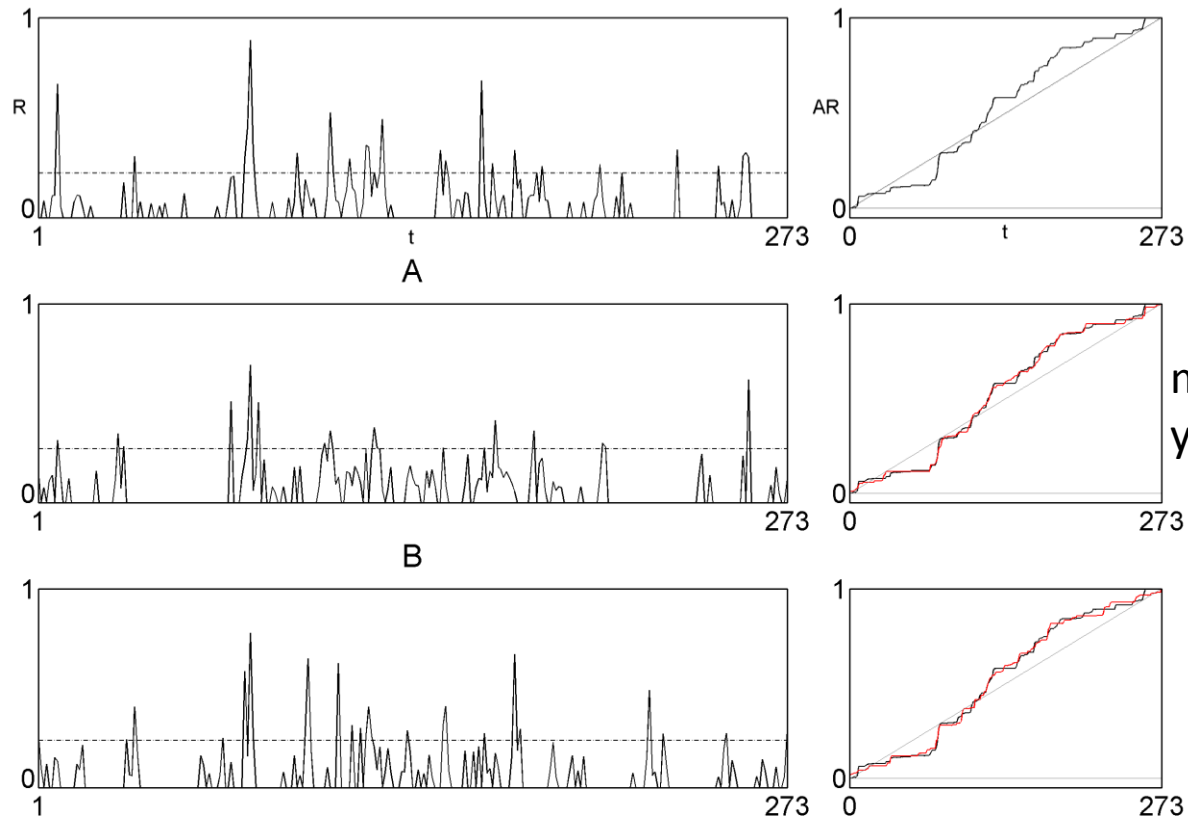


un modelo (izquierda) de datos reales (derecha)

el modelo preserva características **estadísticas y caóticas**

Lluvia en Laikakota, Bolivia

(Maskey et al., 2015)

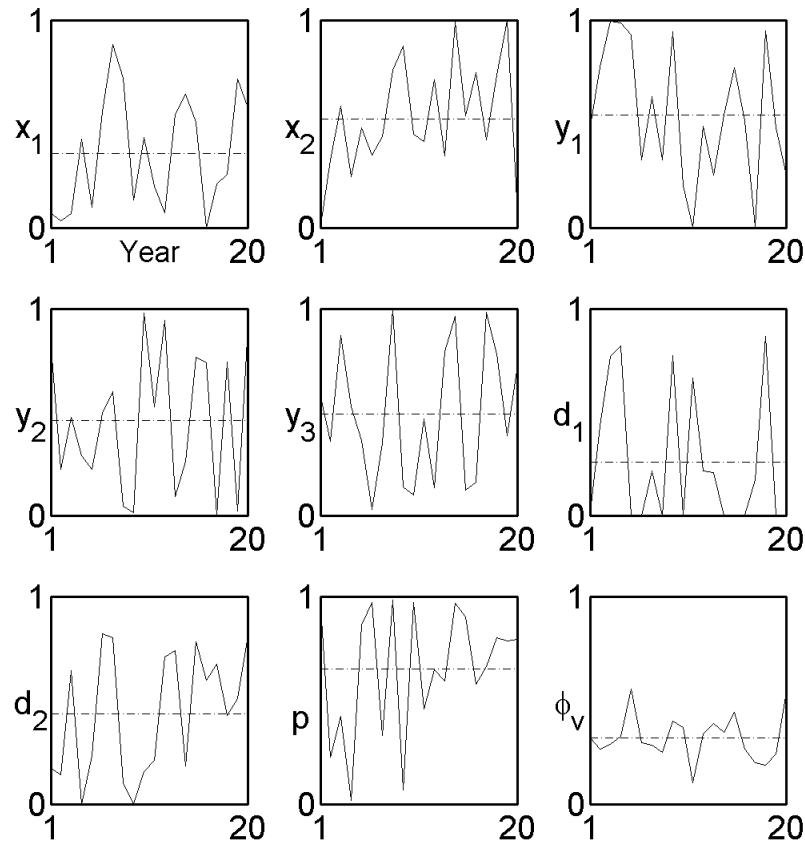


modelo Cantoriano
y con un umbral

RMSEAR 1.4, 1.8%; MAXEAR 4.4, 3.5%
medida en 1965 – 66, compresión 25:1

Lluvia en Laikakota, Bolivia

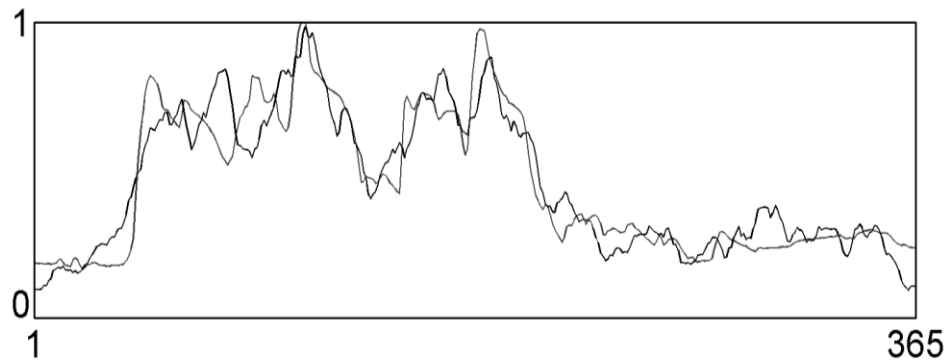
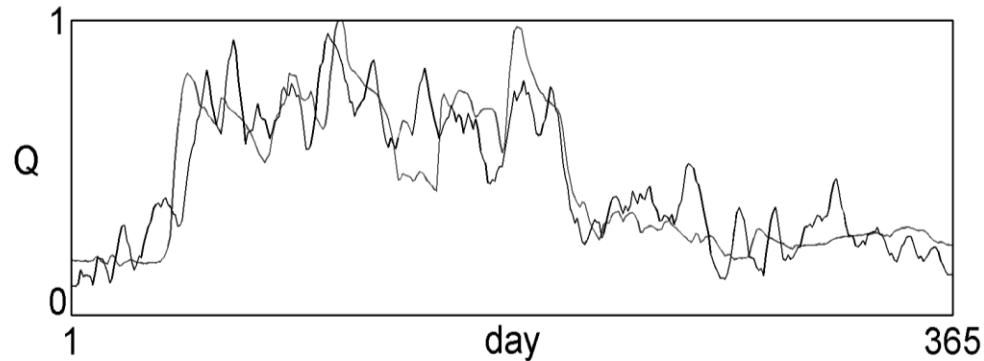
(Maskey et al., 2015)



para estudiar la complejidad de la lluvia y el cambio climático
útil para simular y desagregar lluvia...

Caudales en Sacramento

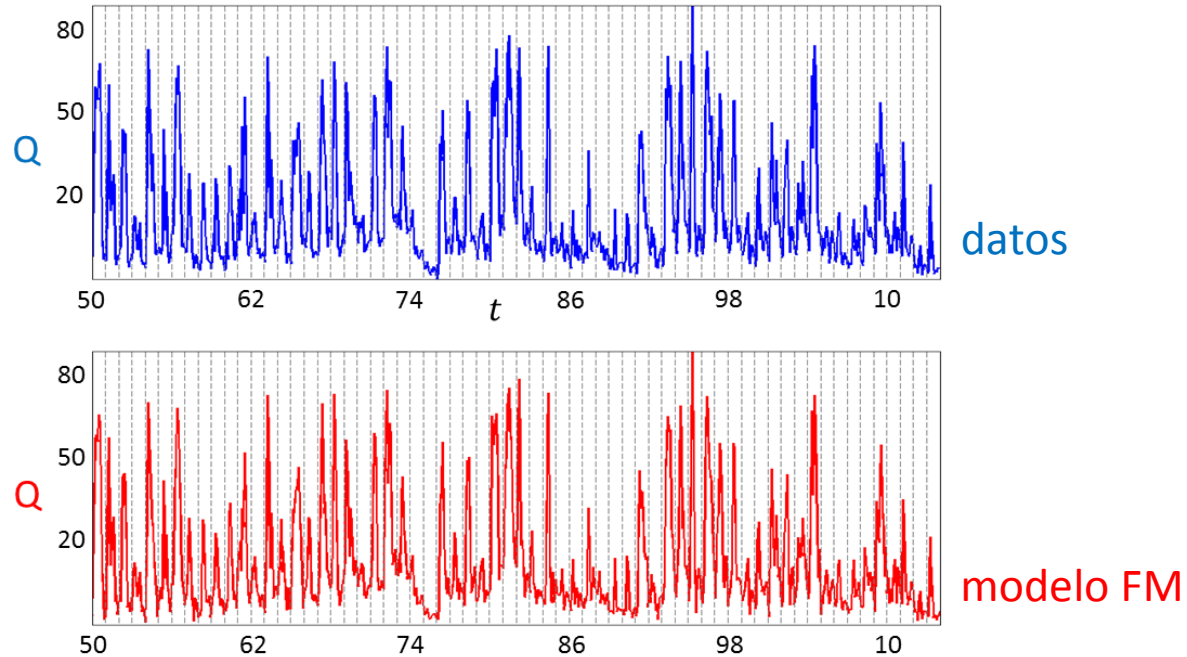
(Maskey et al., 2016)



dos modelos *fractal-multifractal* para un año típico
los registros **acumulados** están muy bien ajustados

Caudales en Sacramento

(Maskey et al., 2016)



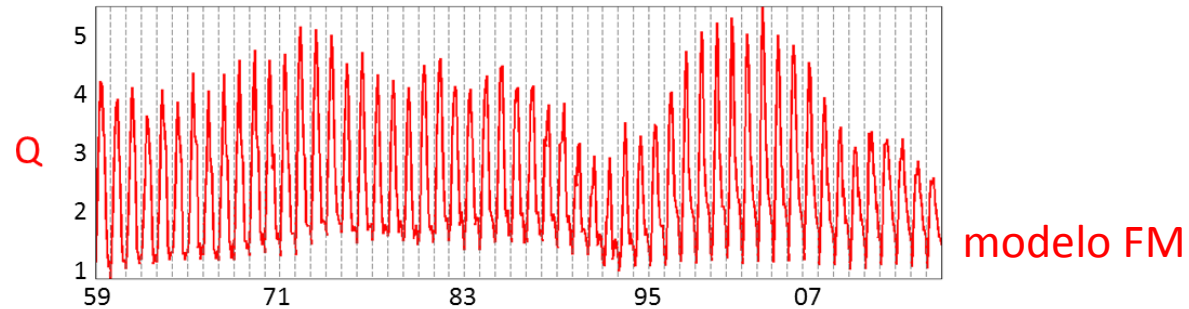
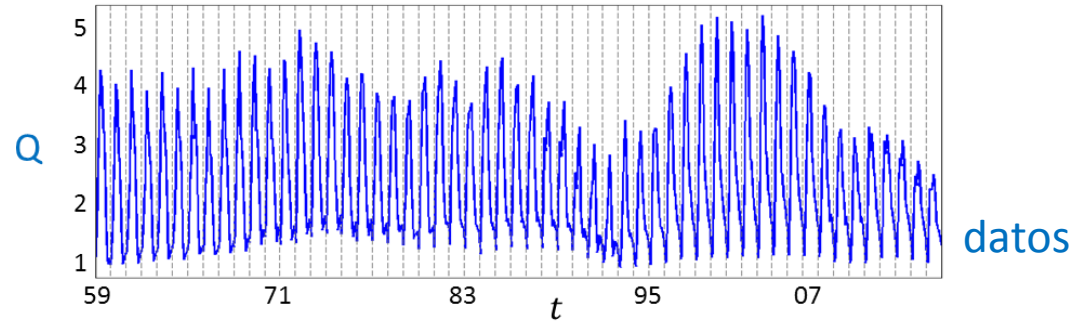
alambre 3 mapas, escala en $10^3 \times \text{cfs}$

RMSEAR $0.8 \pm 0.3\%$; MAXEAR $1.8 \pm 0.5\%$; NSD $63.9 \pm 19.0\%$

por años: 1950-2015

Caudales en Sacramento

(Maskey et al., 2016)



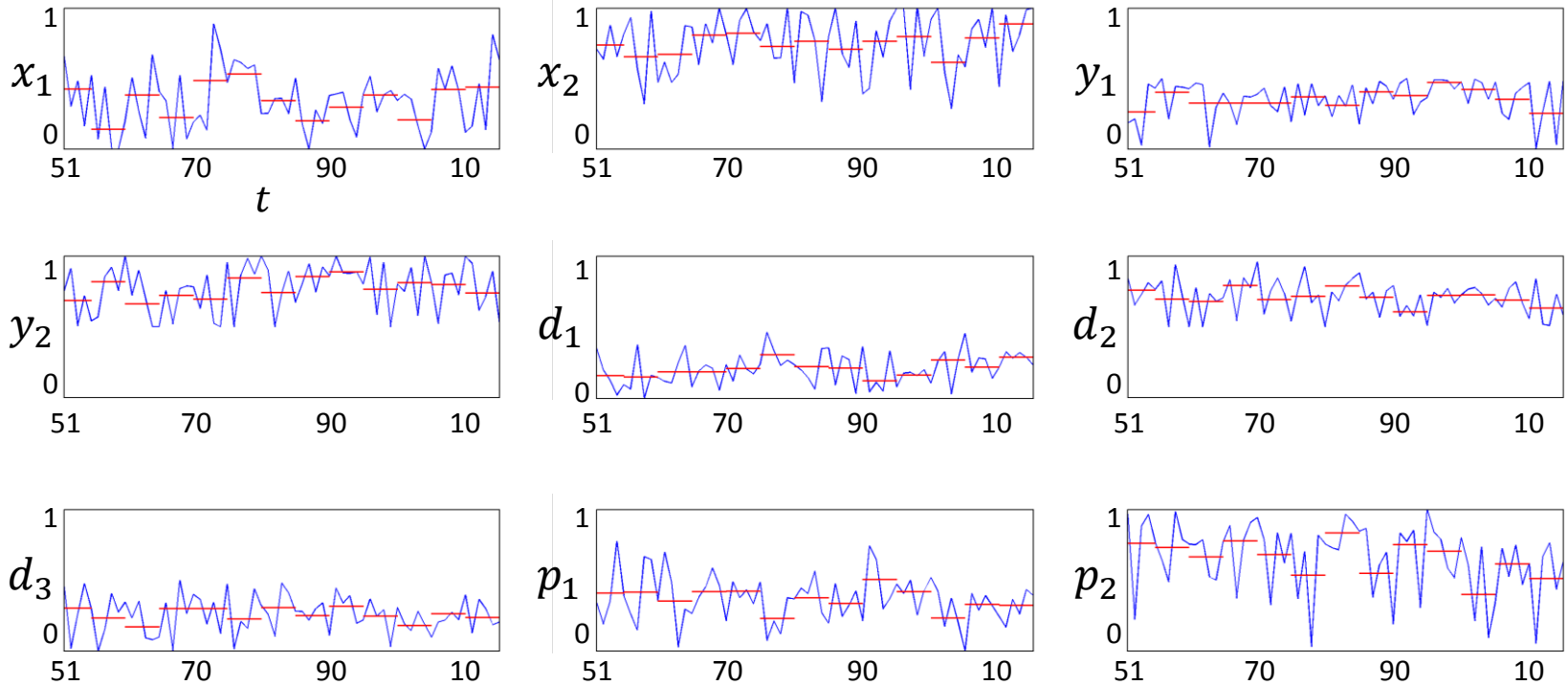
alambre 3 mapas, escala en 10^3 x cfs

RMSEAR $1.8 \pm 0.4\%$; MAXEAR $3.6 \pm 0.7\%$; NSD $92.2 \pm 12.5\%$

por décadas: 1959-2015

Caudales en Sacramento

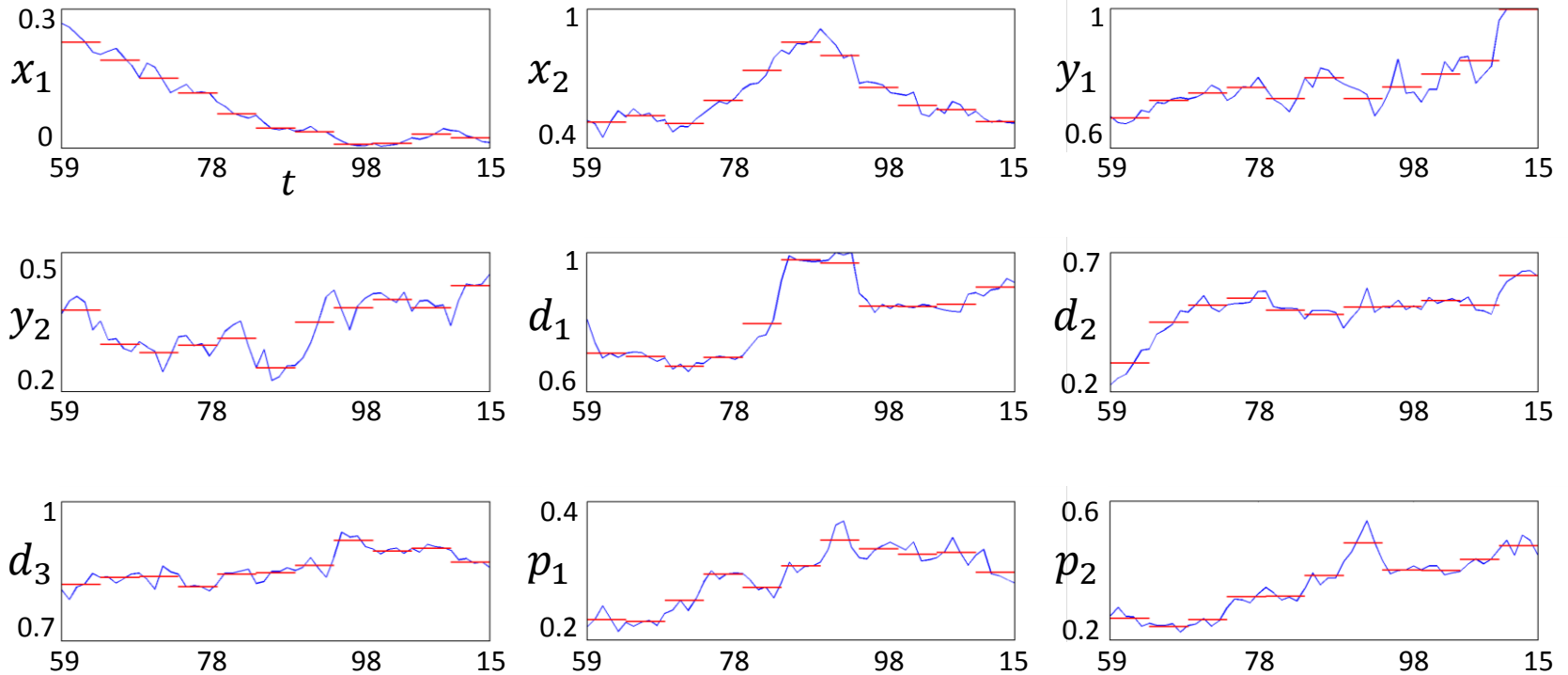
(Maskey et al., 2016)



por años: 1950 – 2015

Caudales en Sacramento

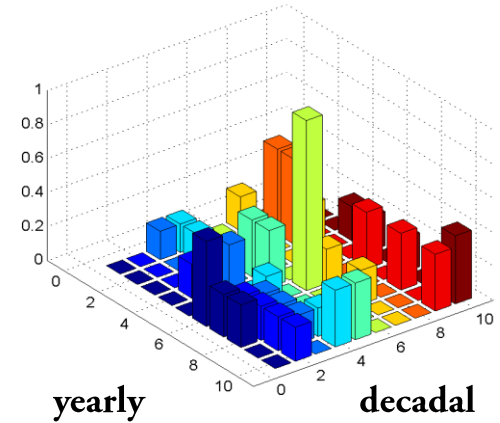
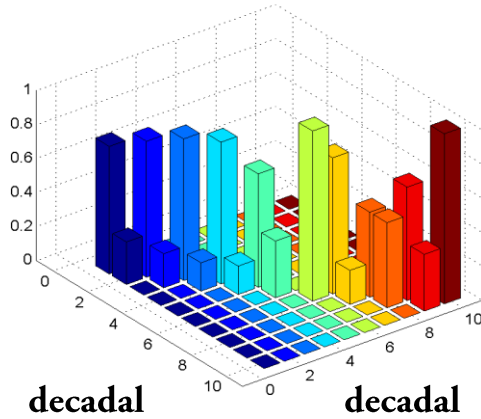
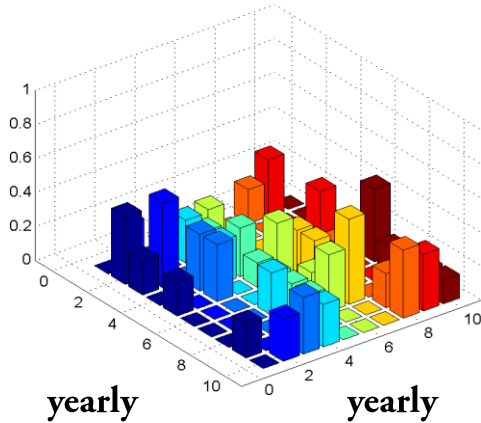
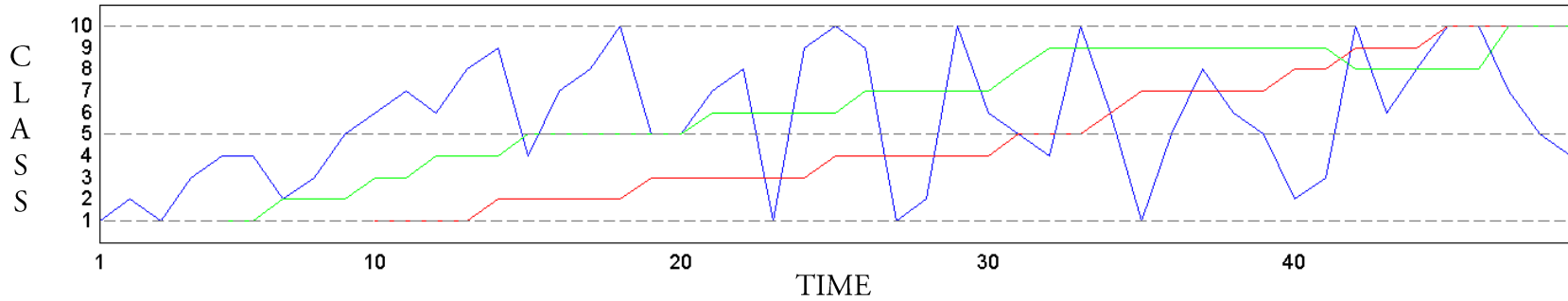
(Maskey et al., 2016)



por décadas: 1959 – 2015

Caudales en Sacramento

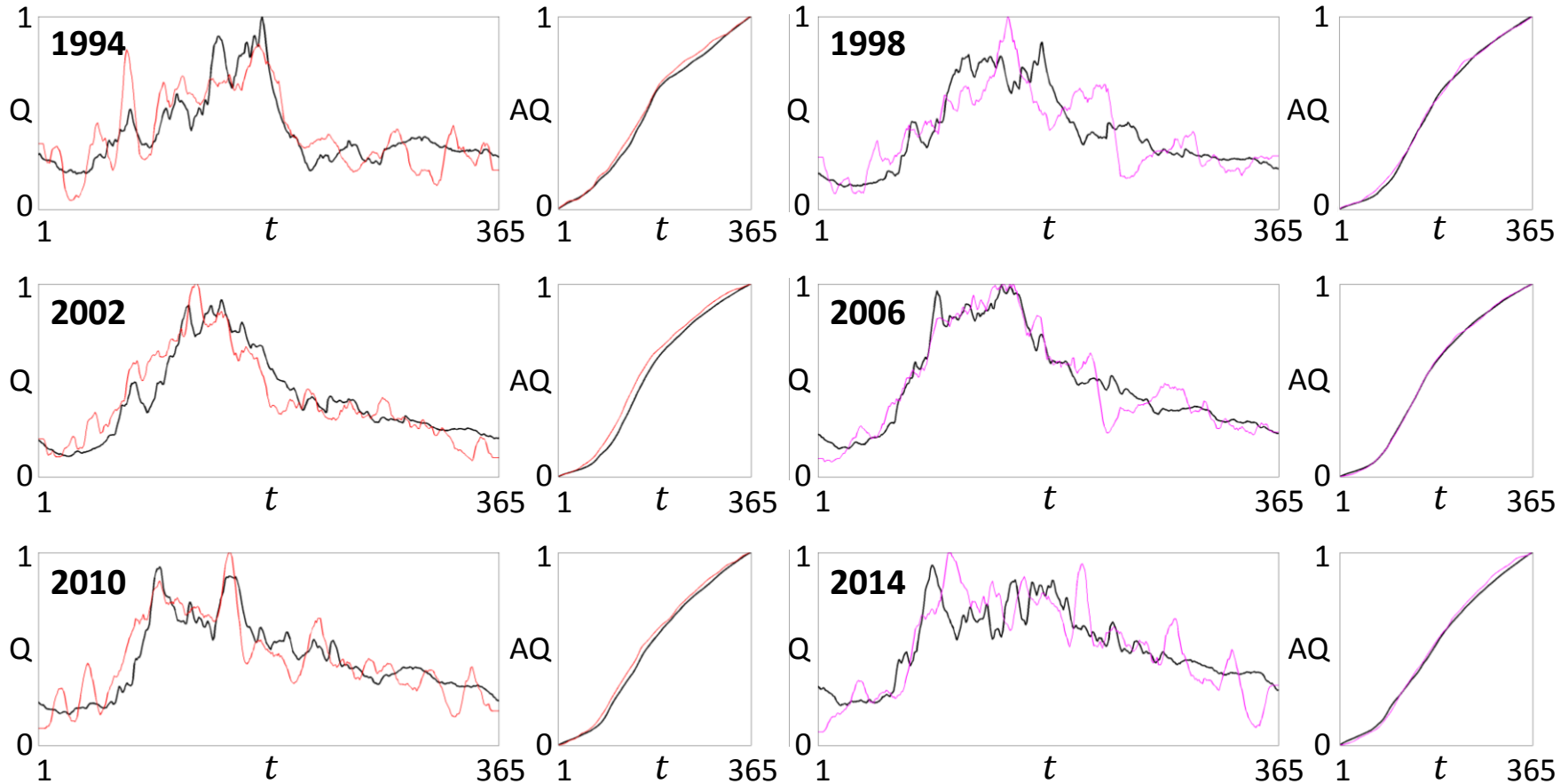
(Maskey et al., 2016)



evolución por clases y matrices de transición

Caudales en Sacramento

(predicciones decadales, serie de tiempo y red neuronal FM & deciles)

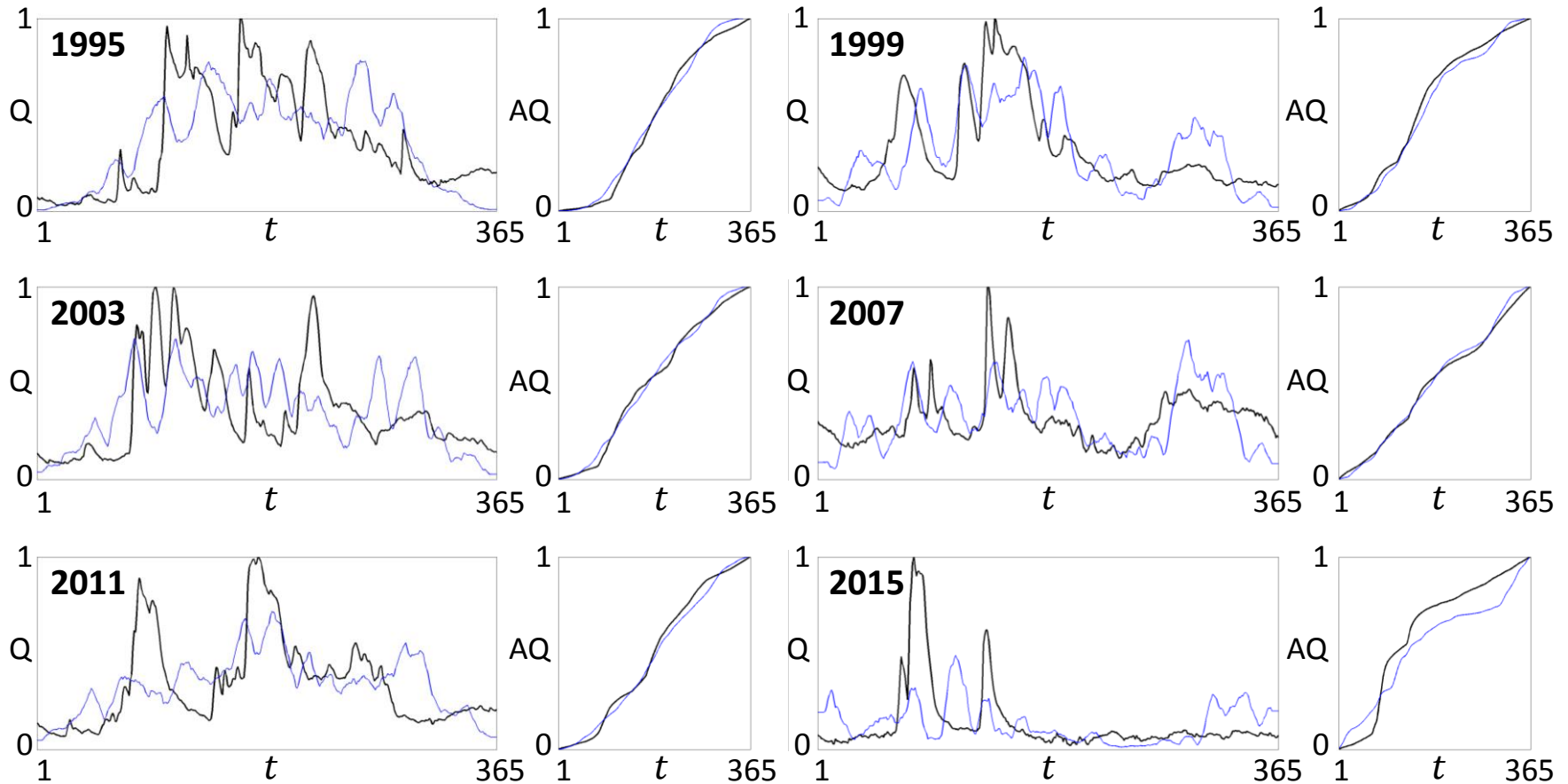


$(2.7 \pm 1.4\%, 5.5 \pm 2.7\%)$ en 22 casos

$(1.4 \pm 0.5\%, 3.4 \pm 1.1\%)$ en 22 casos

Caudales en Sacramento

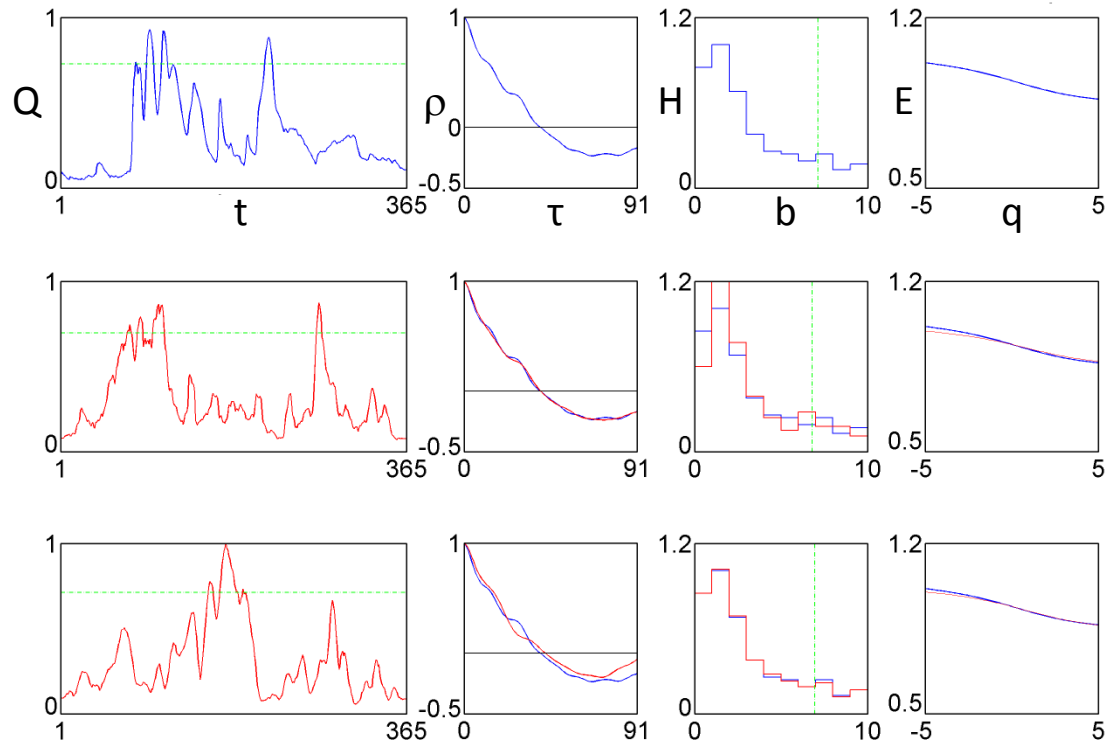
(predicciones anuales, red neuronal FM & valores mensuales)



$(3.6 \pm 1.8\%, 7.6 \pm 2.7\%)$ en 26 casos

Caudales en Sacramento

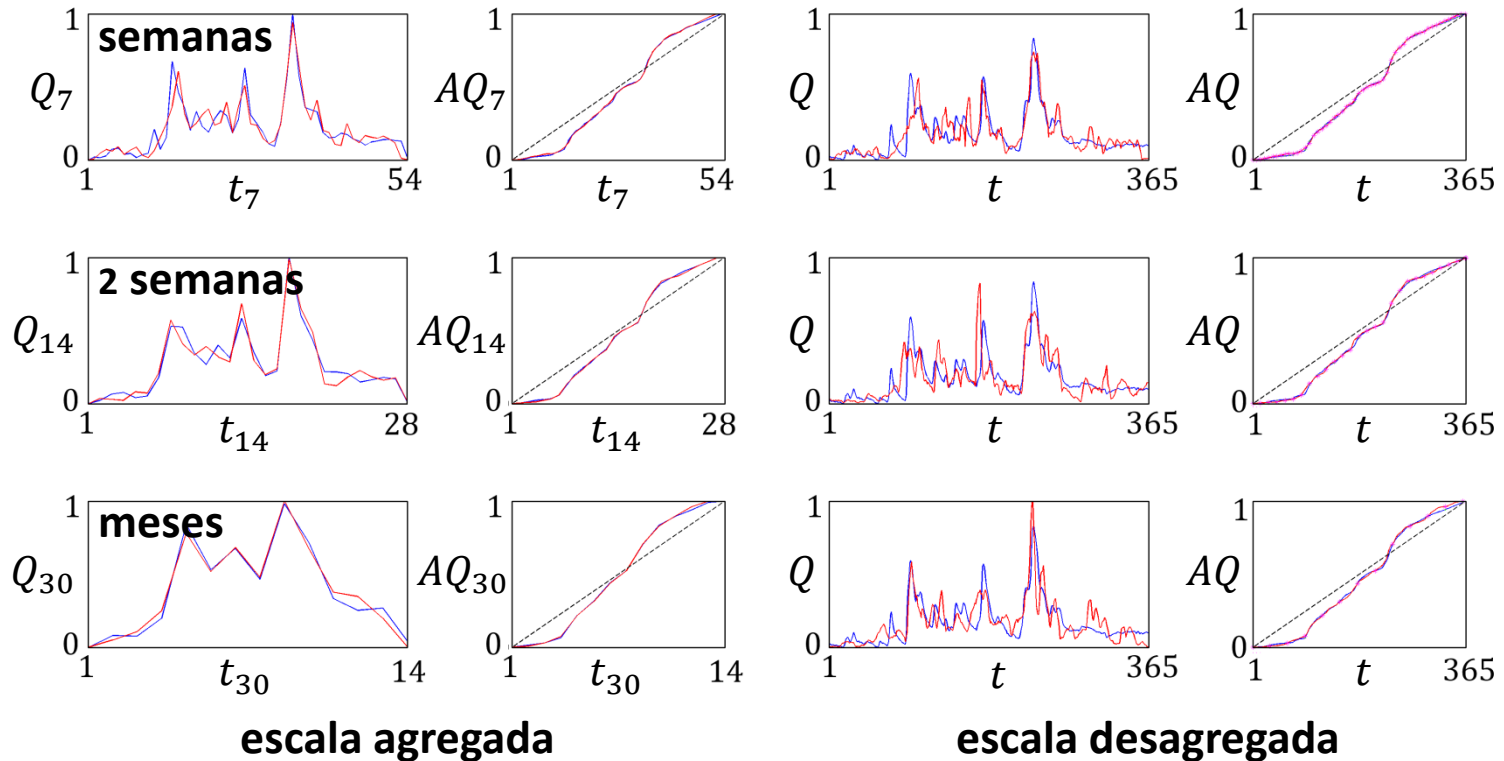
(simulaciones, *datos 2003*, Maskey et al., 2016)



ajustando la función de auto-correlación, el histograma y la entropía
las líneas verdes corresponden a eventos extremos

Caudales en Sacramento

(desagregaciones, *datos 2005*, *FM*, Maskey et al., 2018)



ajustando las funciones acumuladas a escalas agregadas
y calculando el modelo FM a una escala de **días** para desagregar

Más dimensiones

más variables, x desacoplado:

$$w_n \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_n & 0 & 0 \\ c_n & d_n & h_n \\ k_n & l_n & m_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_n \\ f_n \\ g_n \end{pmatrix}$$

Más dimensiones

más variables, x desacoplado:

$$w_n \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_n & 0 & 0 \\ c_n & d_n & h_n \\ k_n & l_n & m_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_n \\ f_n \\ g_n \end{pmatrix}$$

coordenadas polares, parámetros **radiales** y **angulares**:

$$D_n = \begin{pmatrix} d_n & h_n \\ l_n & m_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_n^{(1)} \cdot \cos\theta_n^{(1)} & -r_n^{(2)} \cdot \sin\theta_n^{(2)} \\ r_n^{(1)} \cdot \sin\theta_n^{(1)} & r_n^{(2)} \cdot \cos\theta_n^{(2)} \end{pmatrix}$$

Más dimensiones

más variables, x desacoplado:

$$w_n \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_n & 0 & 0 \\ c_n & d_n & h_n \\ k_n & l_n & m_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_n \\ f_n \\ g_n \end{pmatrix}$$

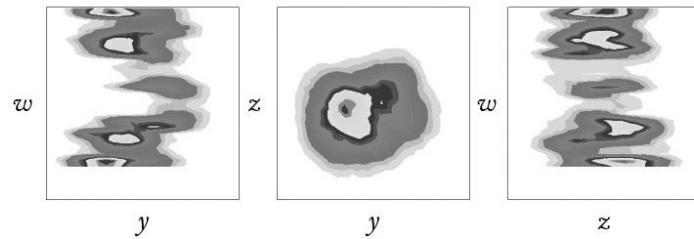
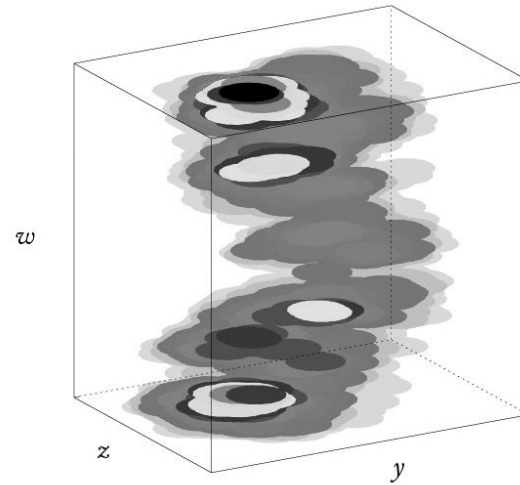
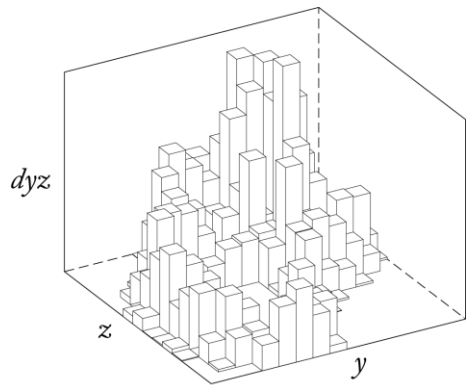
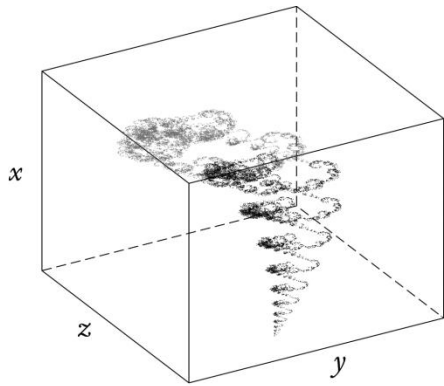
coordenadas polares, parámetros **radiales** y **angulares**:

$$D_n = \begin{pmatrix} d_n & h_n \\ l_n & m_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_n^{(1)} \cdot \cos\theta_n^{(1)} & -r_n^{(2)} \cdot \sin\theta_n^{(2)} \\ r_n^{(1)} \cdot \sin\theta_n^{(1)} & r_n^{(2)} \cdot \cos\theta_n^{(2)} \end{pmatrix}$$

...genera **alambres** de x a (y, z)

Más dimensiones

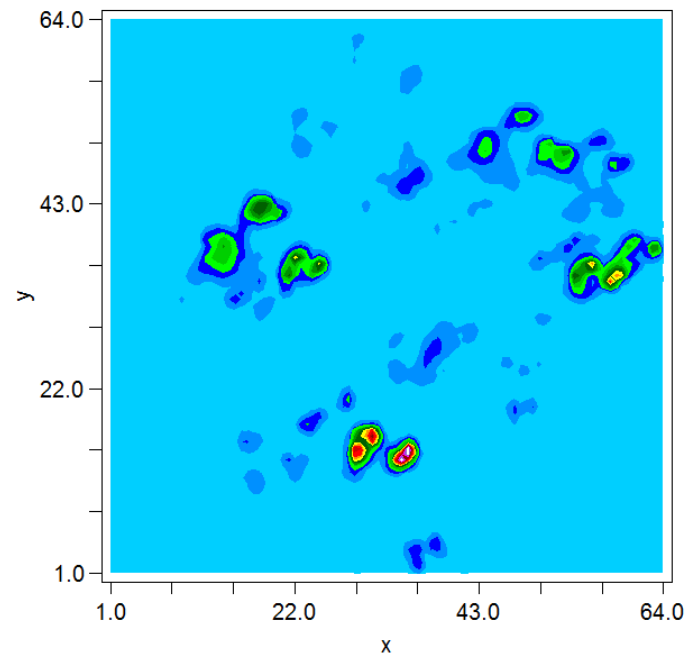
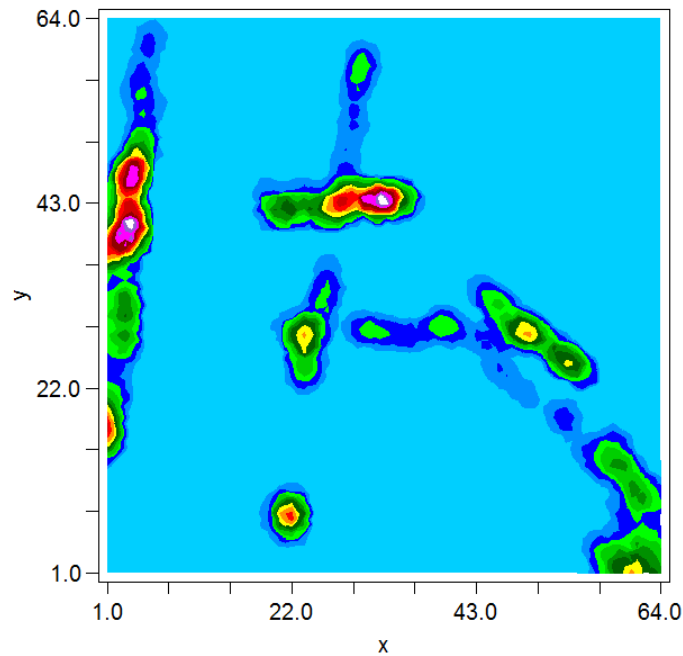
(Puente, 2004)



a partir de un alambre en 4D
polución, lluvia y más...

Más dimensiones

(Puentes, 2004)

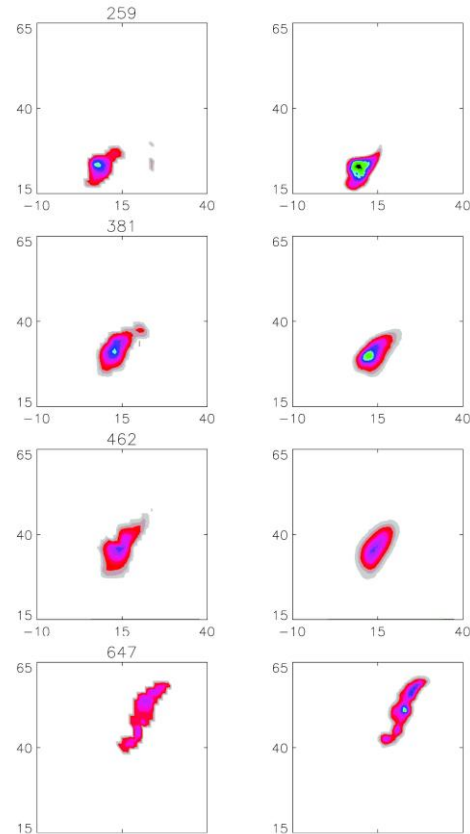


paisajes deterministas complejos

...para ser explorados

Más dimensiones

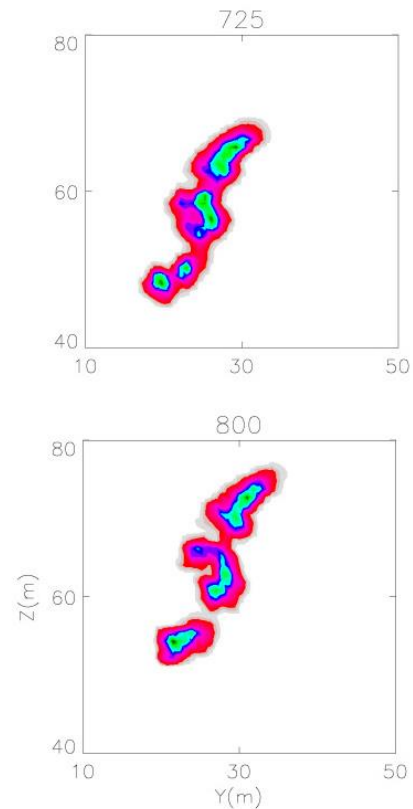
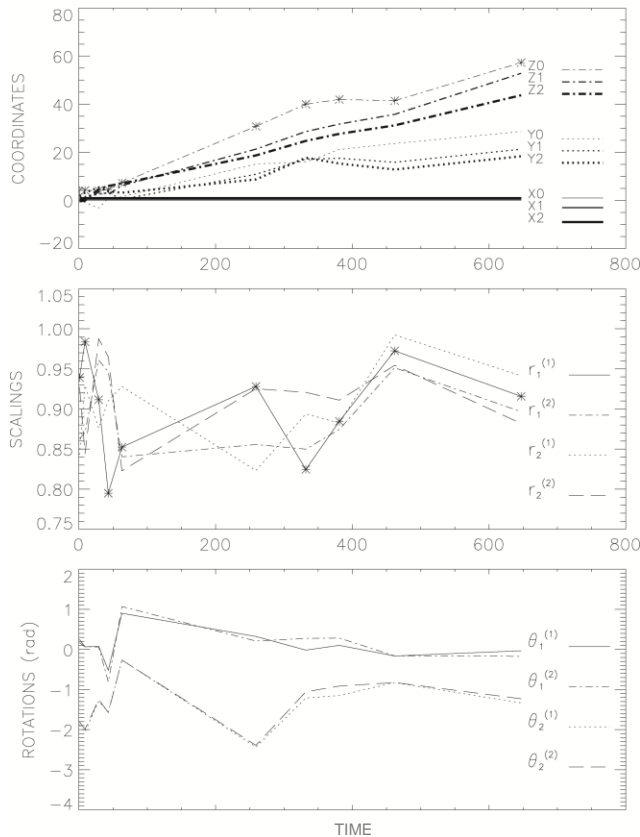
(Puente et al., 2001)



observado (izquierda), usando alambres (derecha)

Más dimensiones

(Puentes et al., 2001)



tendencias en parámetros FM y predicciones...

Fuera de la cueva

Las ideas Platónicas se pueden usar para modelar una variedad de conjuntos de datos, tanto en el tiempo como en el espacio.

Fuera de la cueva

Las ideas Platónicas se pueden usar para modelar una variedad de conjuntos de datos, tanto en el tiempo como en el espacio.

Las nociones proveen un lenguaje determinista compacto para modelar algunas características de la complejidad natural.

Fuera de la cueva

Las ideas Platónicas se pueden usar para modelar una variedad de conjuntos de datos, tanto en el tiempo como en el espacio.

Las nociones proveen un lenguaje determinista compacto para modelar algunas características de la complejidad natural.

Tal vez las ideas ayuden a clasificar patrones en diversas localizaciones y a discernir cambios estructurales de cambio climático en función del tiempo.

Fuera de la cueva

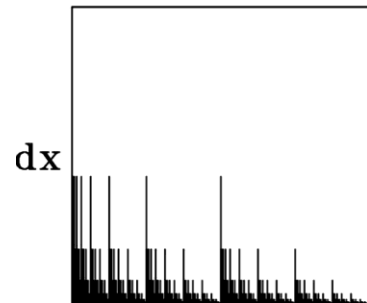
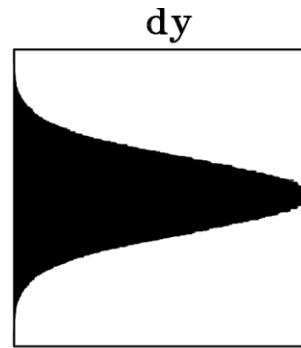
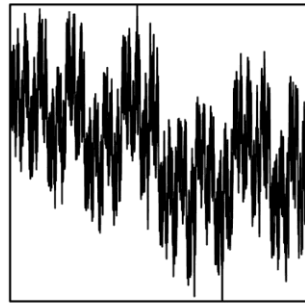
Las ideas Platónicas se pueden usar para modelar una variedad de conjuntos de datos, tanto en el tiempo como en el espacio.

Las nociones proveen un lenguaje determinista compacto para modelar algunas características de la complejidad natural.

Tal vez las ideas ayuden a clasificar patrones en diversas localizaciones y a discernir cambios estructurales de cambio climático en función del tiempo.

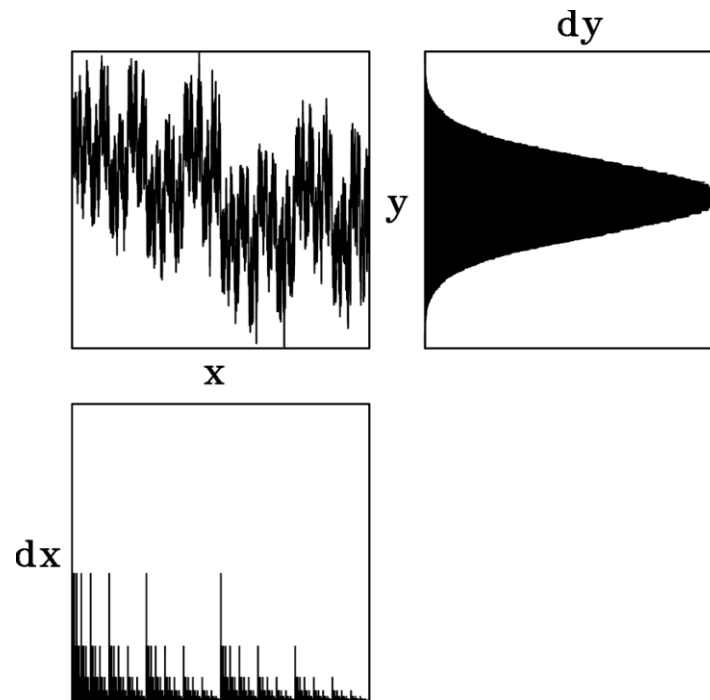
Las nociones acaso puedan proveer una forma alternativa para evaluar escenarios futuros, siempre y cuando se puedan establecer tendencias en los parámetros geométricos.

$z \rightarrow 1$, caso + -



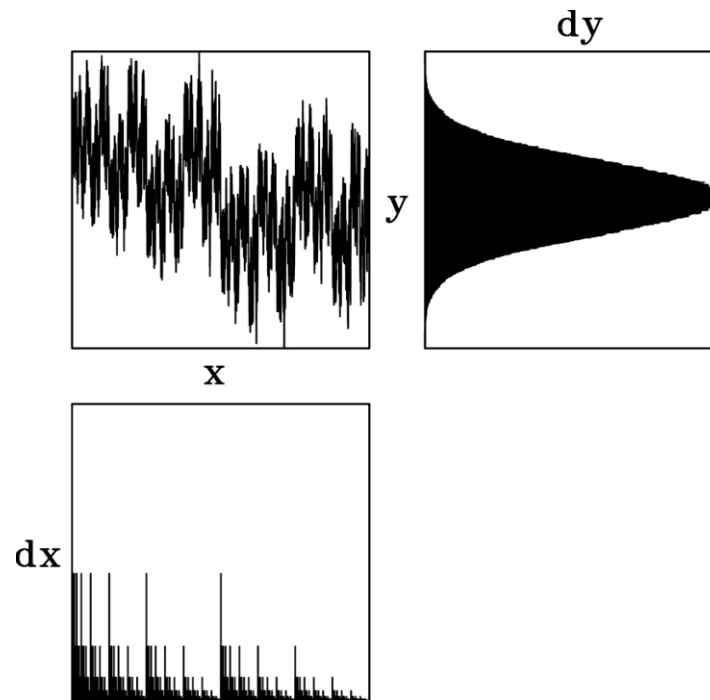
$z \rightarrow 1$, caso + -

(Puede et al., 1996)



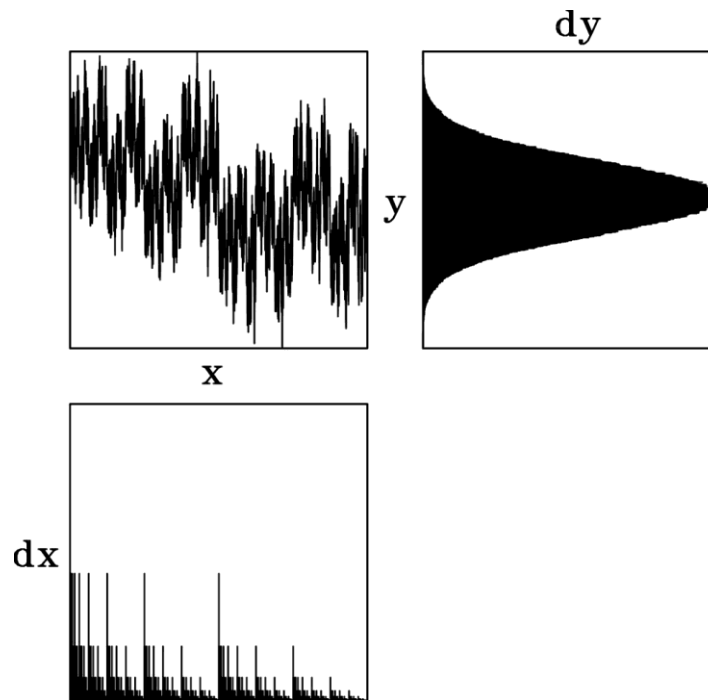
dy es una **campana de Gauss** para cualquier dx no-discreto

$z \rightarrow 1$, caso + -



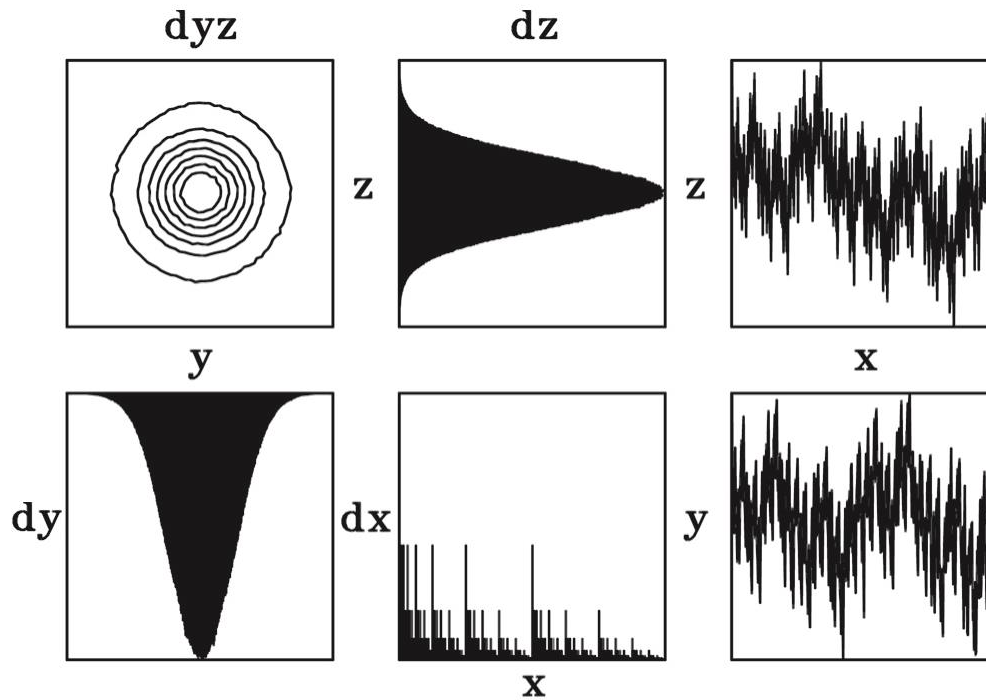
dy es una *campana de Gauss* para cualquier dx no-discreto
un PUENTE sorprendente de la **disipación** a la **conducción**

$z \rightarrow 1$, caso + -

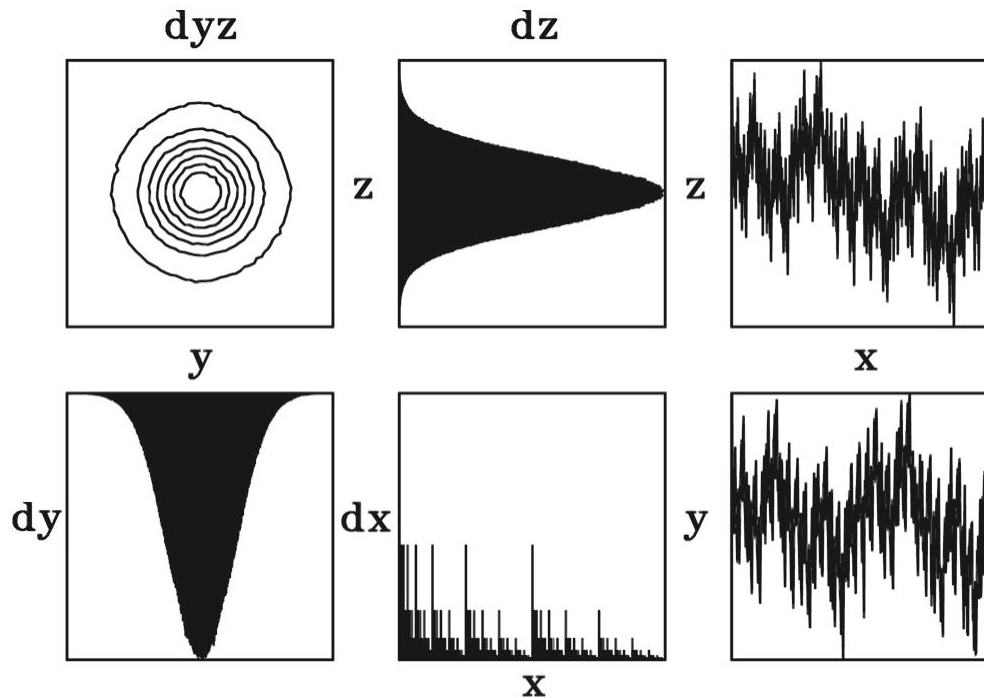


dy es una *campana de Gauss* para cualquier dx no-discreto
un PUENTE sorprendente de la **disipación** a la **conducción**
el **caso - -** produce **oscilaciones** entre dos campanas

$|D_n| \rightarrow 1$, ¡Muchas Gaussianas!

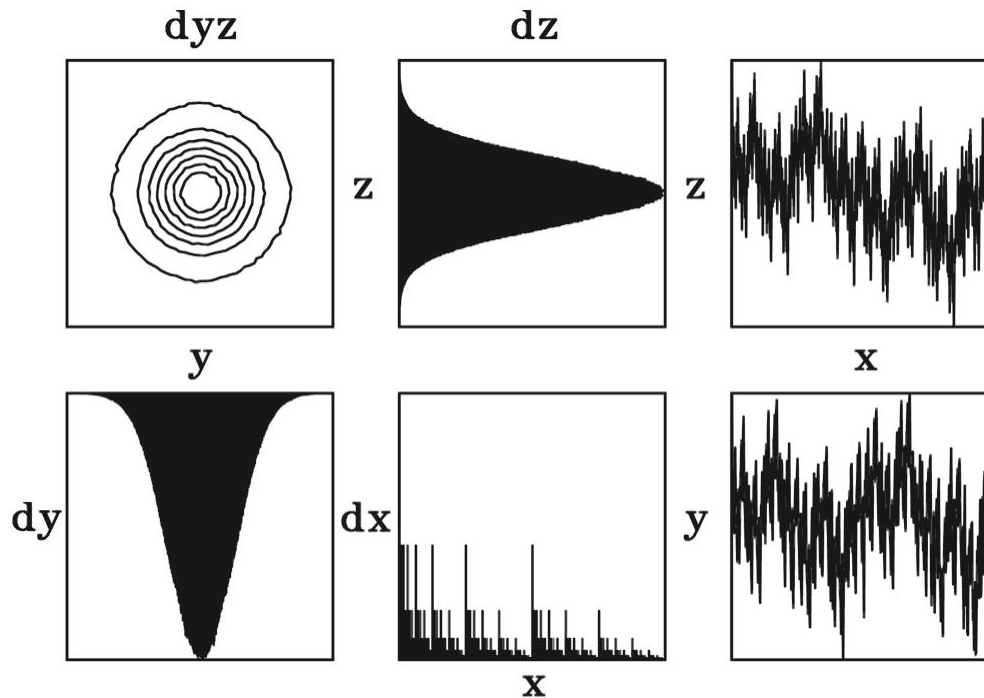


$|D_n| \rightarrow 1$, ¡Muchas Gaussianas!



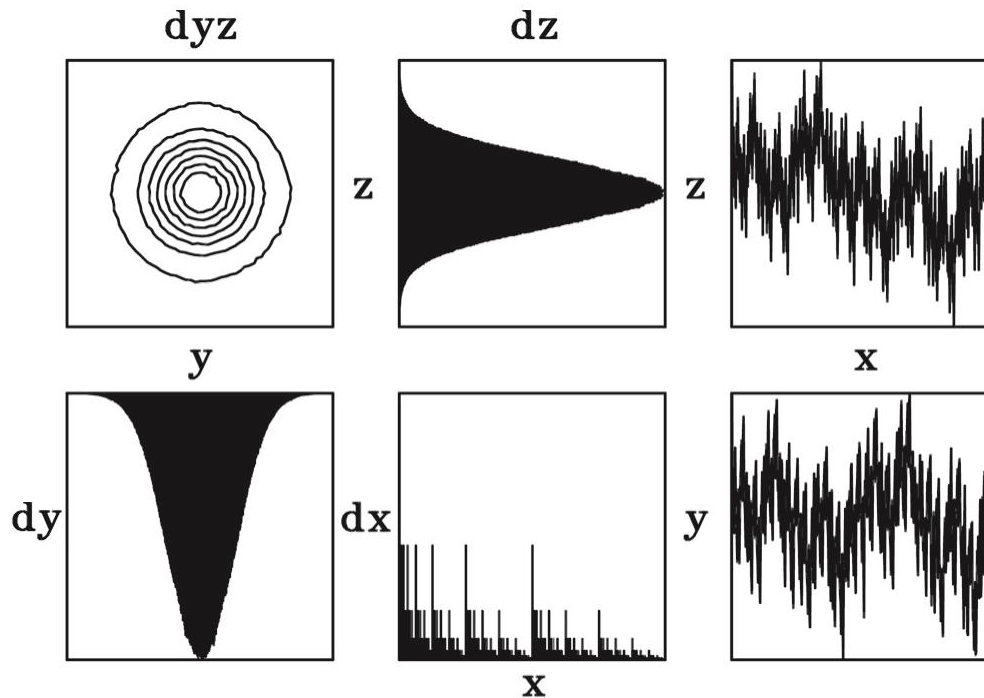
también campanas **elípticas** y **oscilaciones** entre campanas

$|D_n| \rightarrow 1$, ¡Muchas Gaussianas!



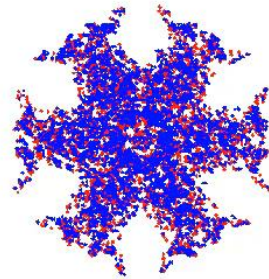
también campanas **elípticas** y **oscilaciones** entre campanas
porciones de alambres dan campanas, *ad infinitum*

$|D_n| \rightarrow 1$, ¡Muchas Gaussianas!



también campanas **elípticas** y **oscilaciones** entre campanas
porciones de alambres dan campanas, *ad infinitum*
la prueba del caso multidimensional no se conoce...

¡Caleidoscopios en la campana!



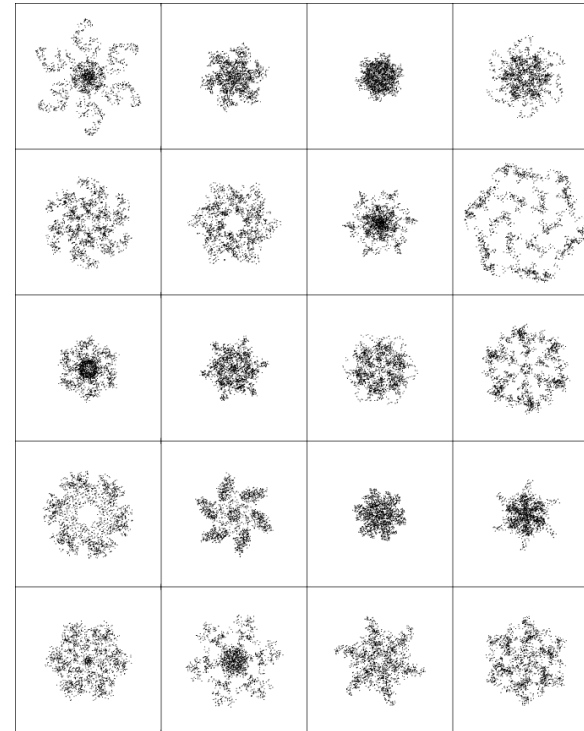
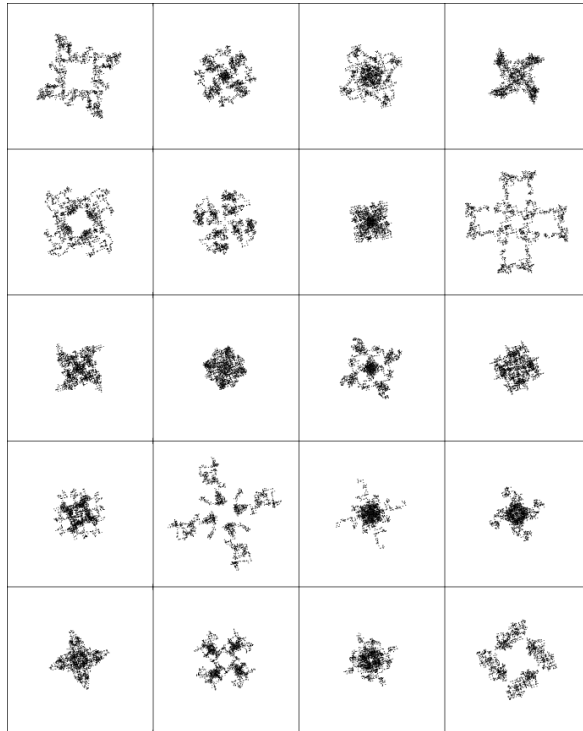
geometría: $(0,0,0)$ $(0.5,1,1)$ $(1,0,0)$

parámetros: **radiales** (+ - + +) 0.9999, **angulares** 60 60 60 60

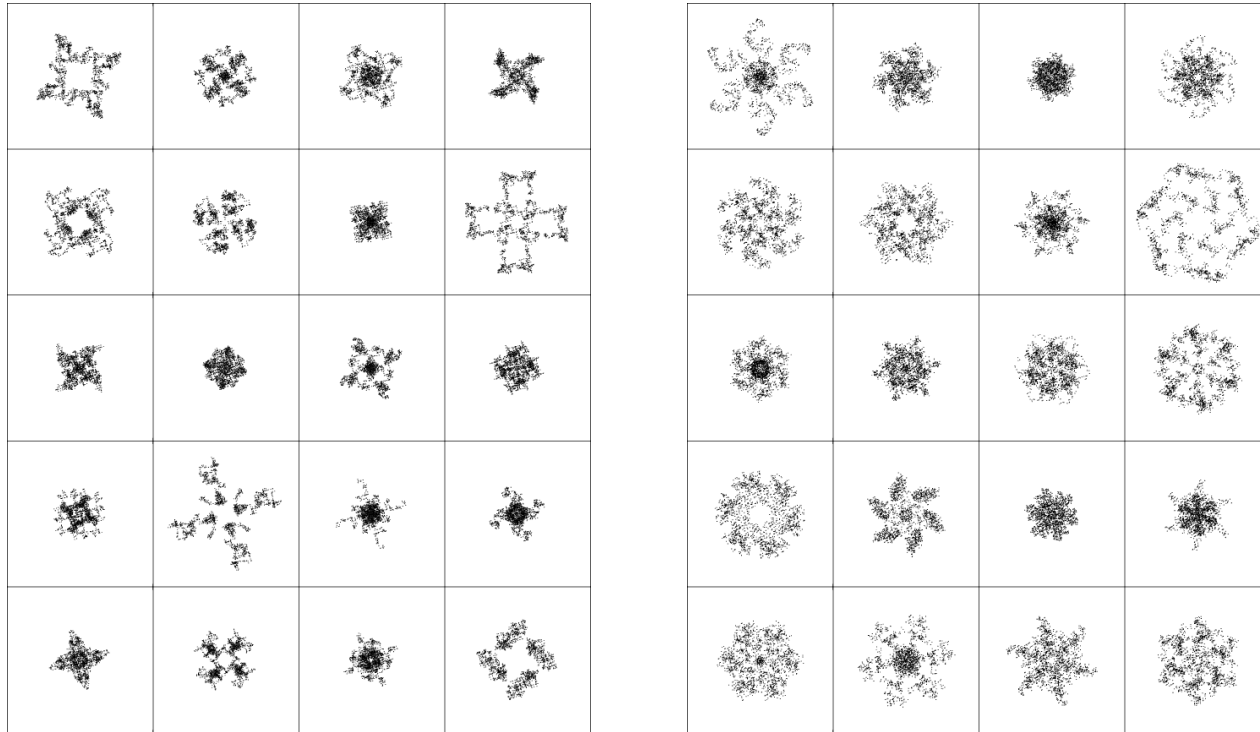
cada 10.000 puntos hasta 1'200.000 bits de π

Los tesoros de la campana

(Puente, 2003)

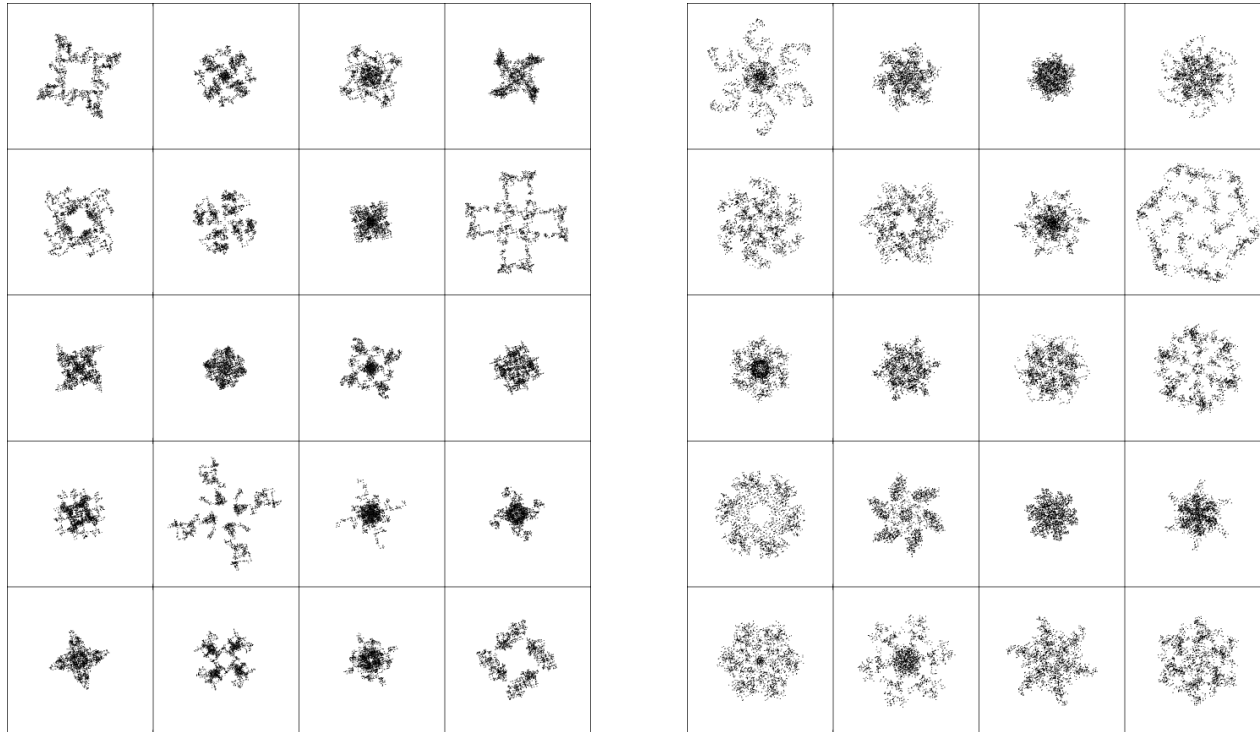


Los tesoros de la campana



la superposición de rosetones produce **círculos perfectos**

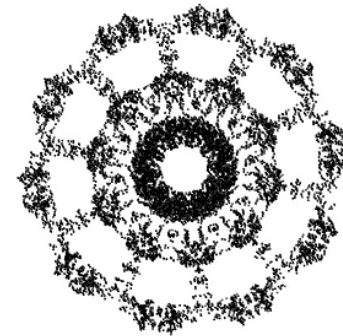
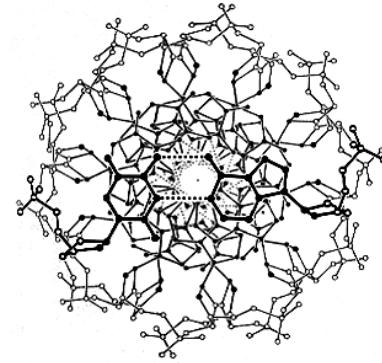
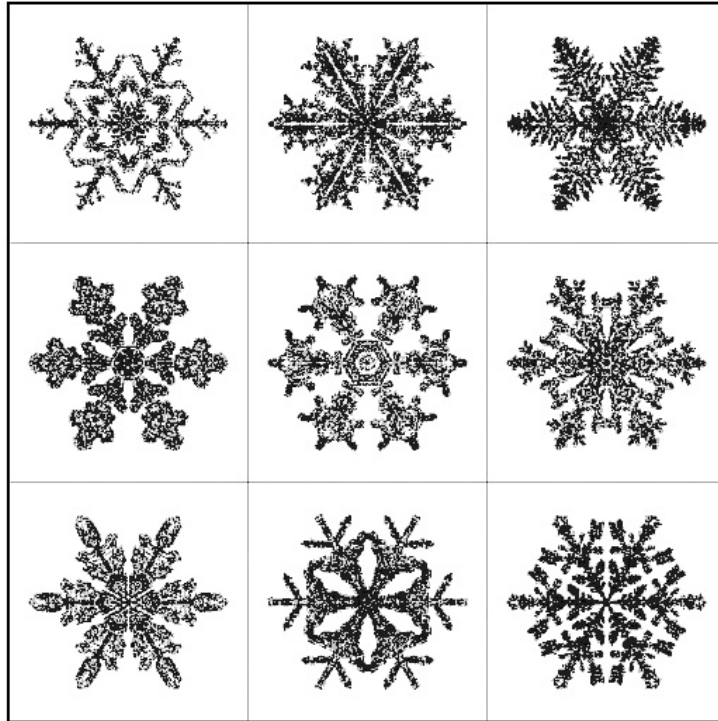
Los tesoros de la campana



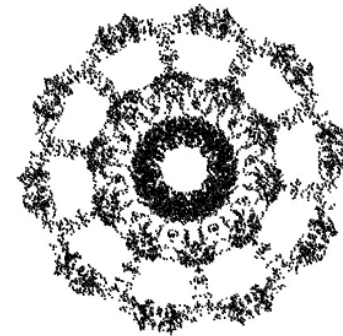
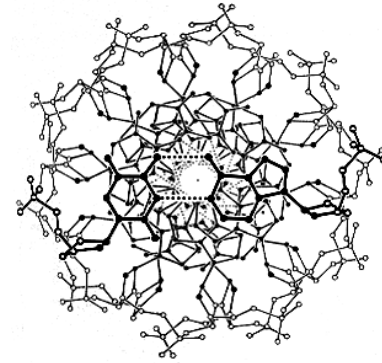
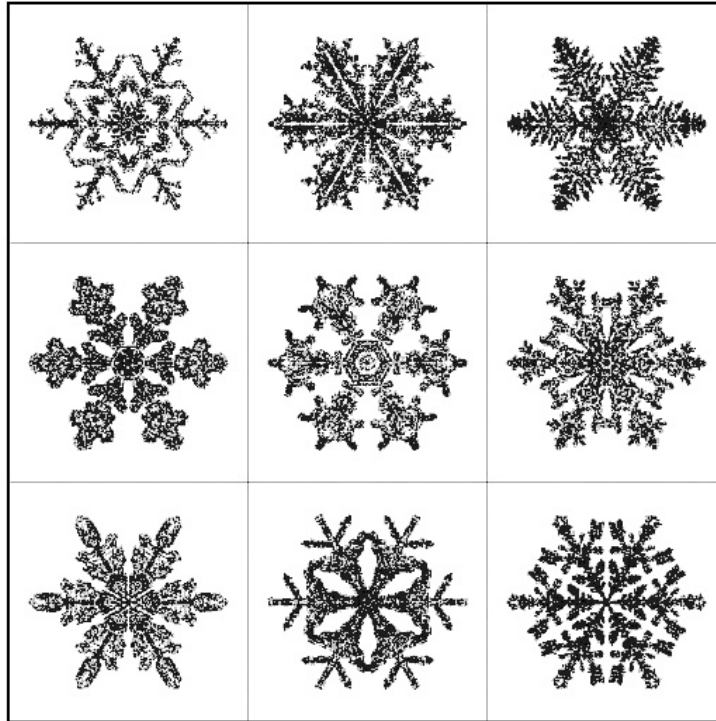
la superposición de rosetones produce **círculos perfectos**
en el límite que **llena el espacio** hay **orden oculto** en el **azar**

Diseños en la campana

(Puente, 2004, 2011)

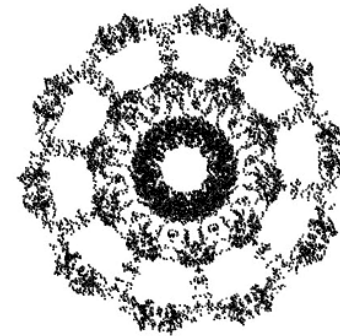
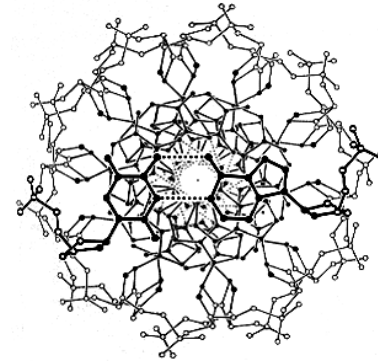
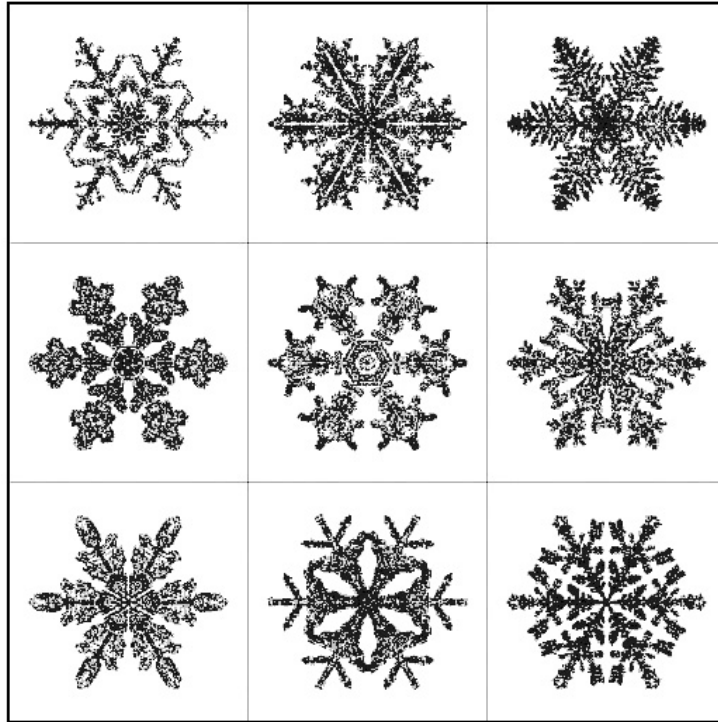


Diseños en la campana



cristales de hielo arbitrarios en un álef borgiano

Diseños en la campana



cristales de hielo arbitrarios en un álef borgiano

la roseta del **ADN** está codificada por la expansión binaria de π

¡Un cristal en la campana!

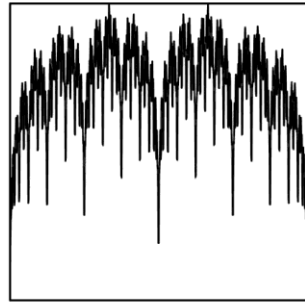


geometría: (0,0,0) (0.5,1,1) (1,3,0)

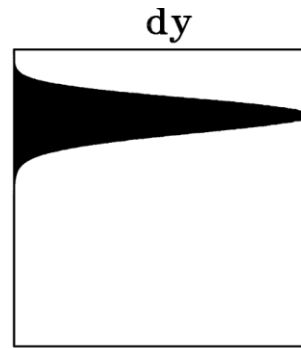
parámetros: radiales (- + + +) 0.999999999, ángulos 180 60 180 60

cada 1.000 puntos hasta 100.000 bits de π

$z \rightarrow 1$, caso + +

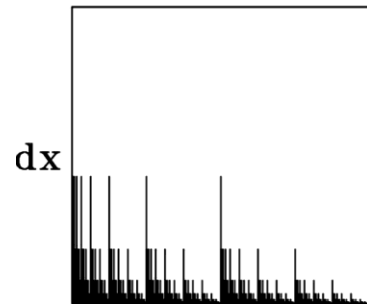


x



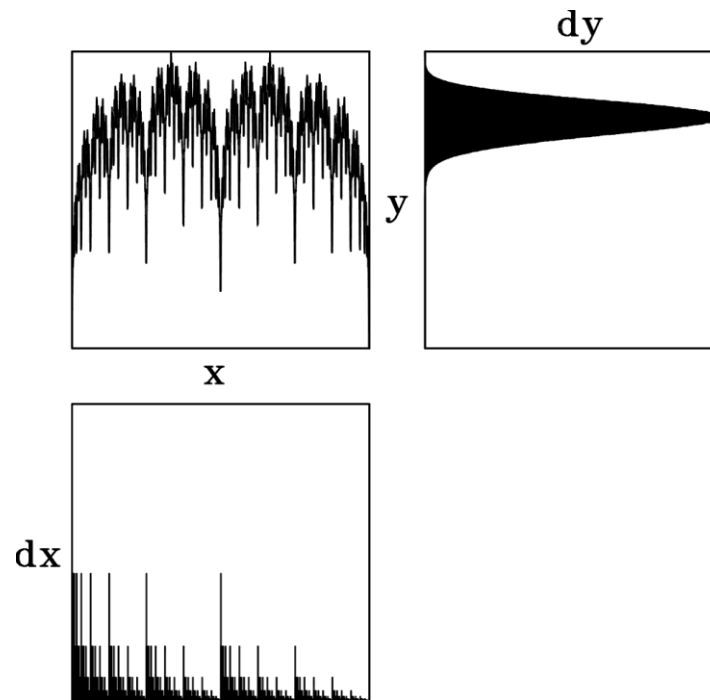
dy

y



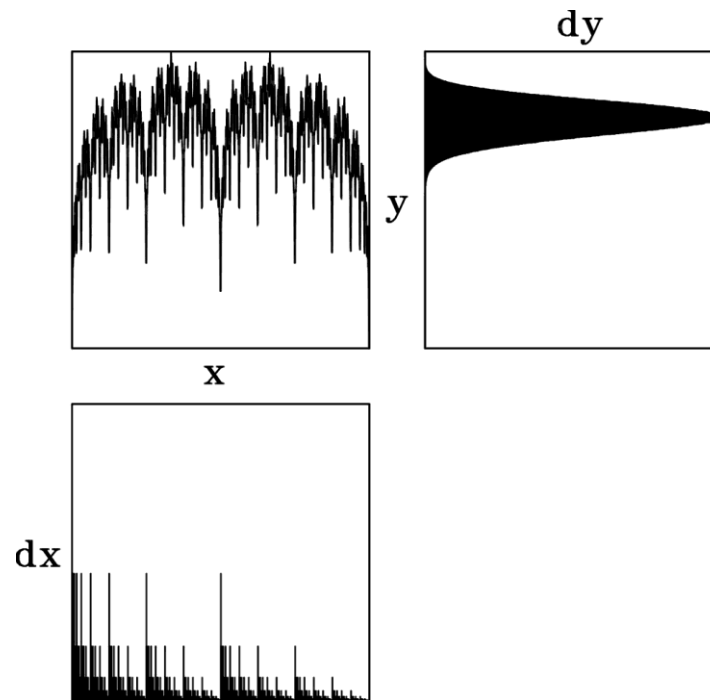
dx

$z \rightarrow 1$, caso + +



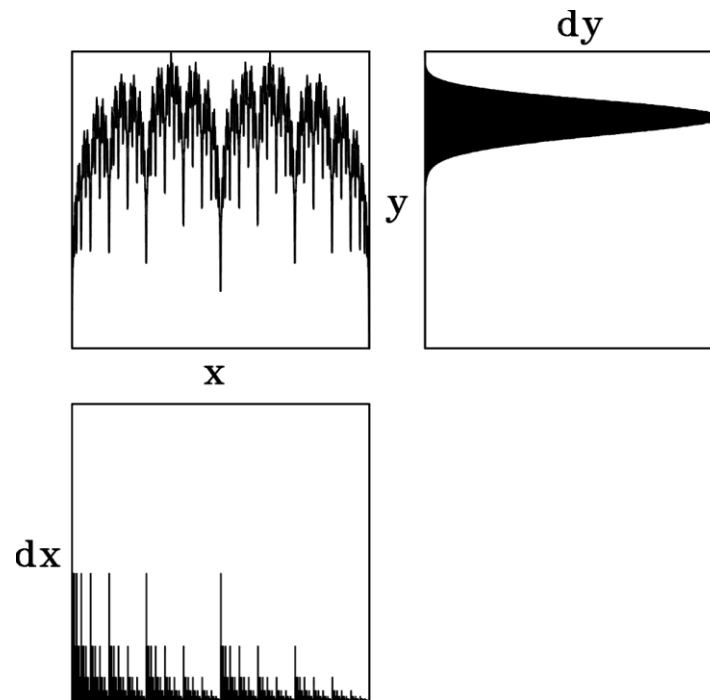
una encantadora campana concentrada en el **infinito**

$z \rightarrow 1$, caso + +



una encantadora campana concentrada en el **infinito**
el alambre **más positivo** filtra casi todo desorden

$z \rightarrow 1$, caso + +



una encantadora campana concentrada en el **infinito**
el alambre **más positivo** filtra casi todo desorden
¿Dónde está, oh muerte, tu victoria?

La transformación

Hay una transformación
ay que vence la agonía,
existe sólo una oblación
ay que enciende la alegría.

Hay una transformación
ay que derrota la entropía,
existe sólo una oblación
ay que engendra la armonía.

Hay una transformación
ay que excluye la rebeldía,
existe sólo una oblación
ay que incita a la poesía.

Hay una transformación
ay que derroca la cobardía,
existe sólo una oblación
ay que regala toda cuantía.

Hay una transformación
ay que es santa sabiduría,
ay sólo esa oblación
a la noche vuelve día.



Ay sólo el amor...

Ay te digo verdad
esto no es teoría.

**El poder del amor
transforma tu día.**

Ay pero con todo
dejando bobería.

**El poder del amor
transforma tu día.**

Ay to' lo sana amigo
esto no es fantasía.

**El poder del amor
transforma tu día.**

Ay pero pleno na' má
con toda valentía.

**El poder del amor
transforma tu día.**

Ay to' lo puede
su canto cambia el día.

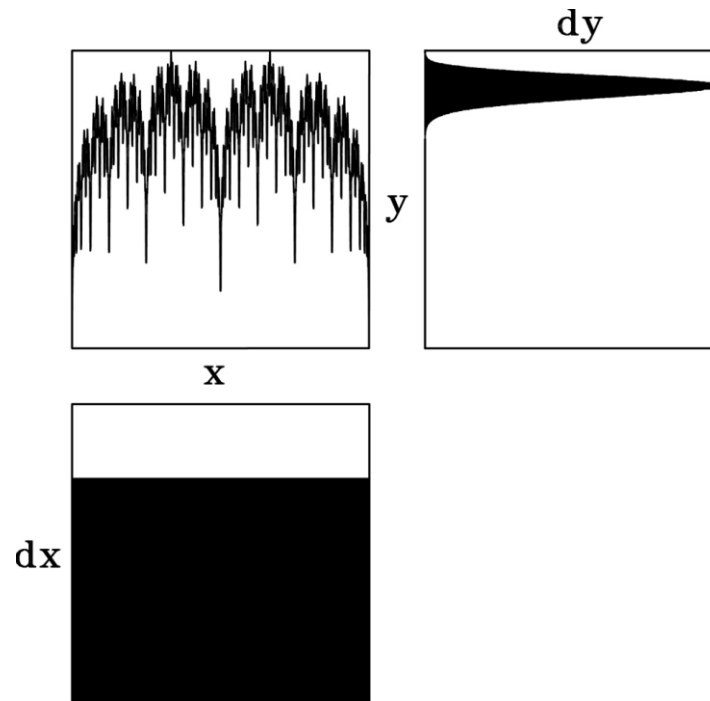
**El poder del amor
transforma tu día.**

Ay en el ciento
se haya su compañía.

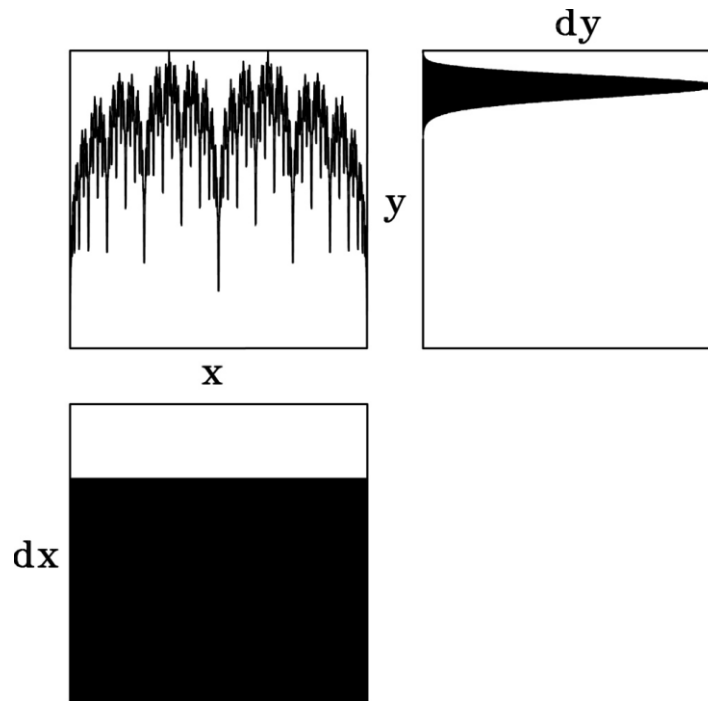
**El poder del amor
transforma tu día.**

Ay sólo el amor...

¡La trilogía majestuosa!



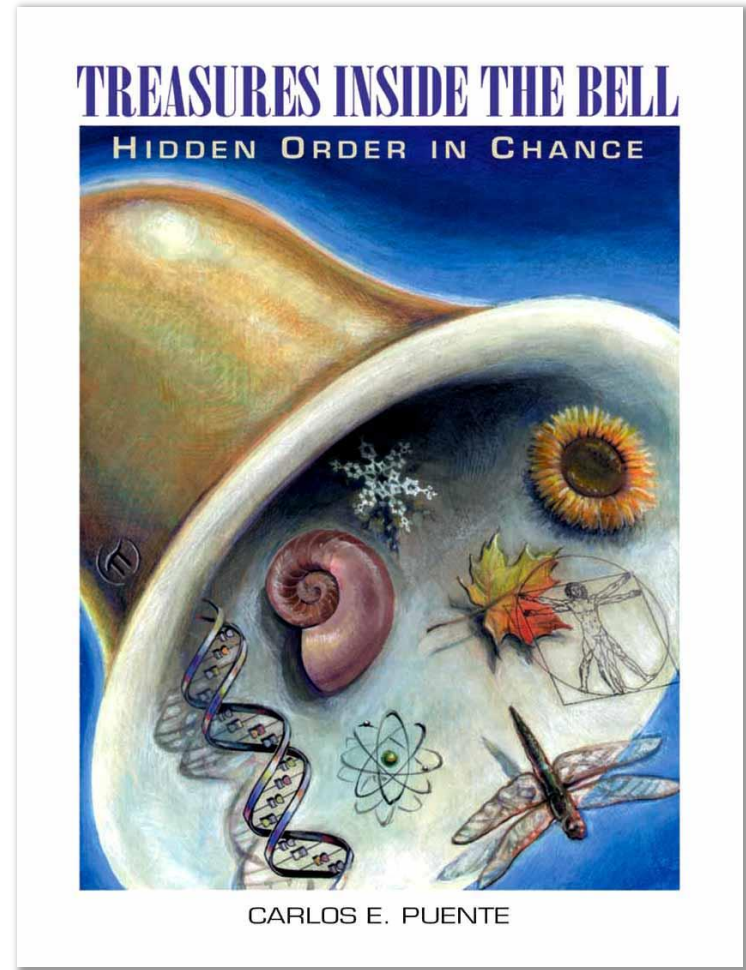
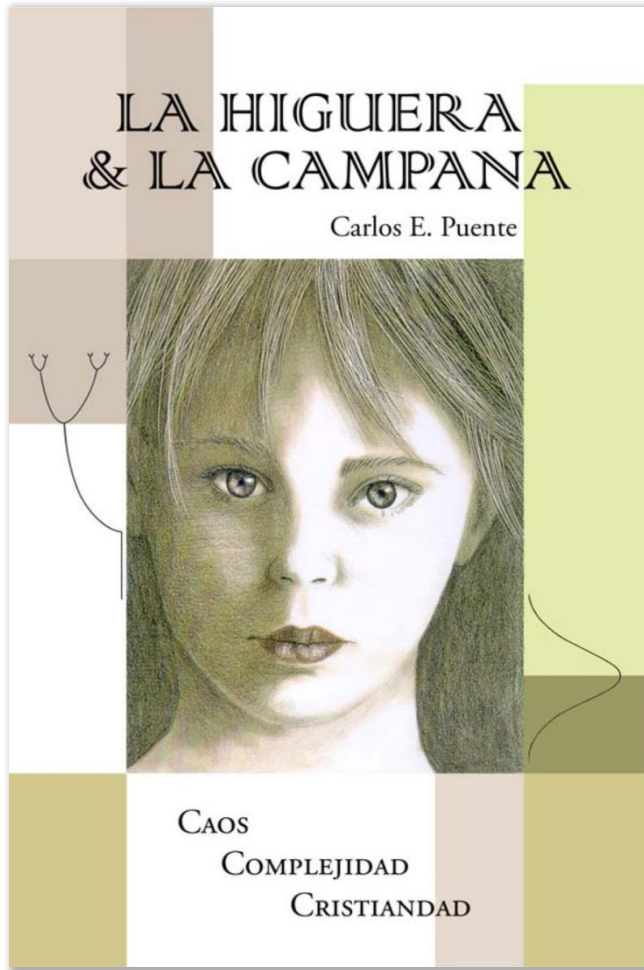
¡La trilogía majestuosa!



el ***Padre*** poderoso en el cielo

el ***Hijo*** siempre perfecto y positivo

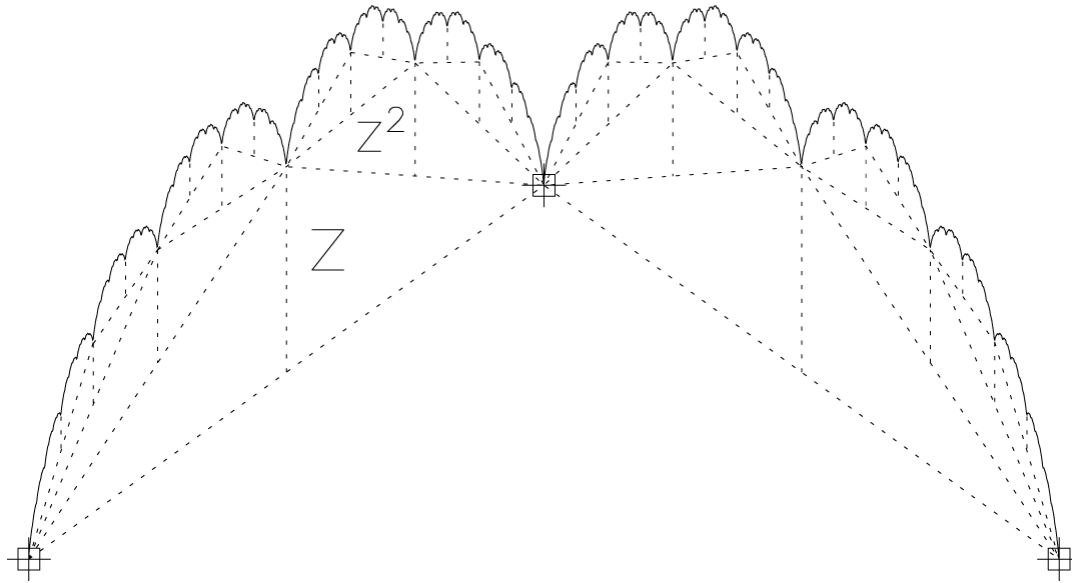
y el ***Espíritu Santo*** que proviene de ellos



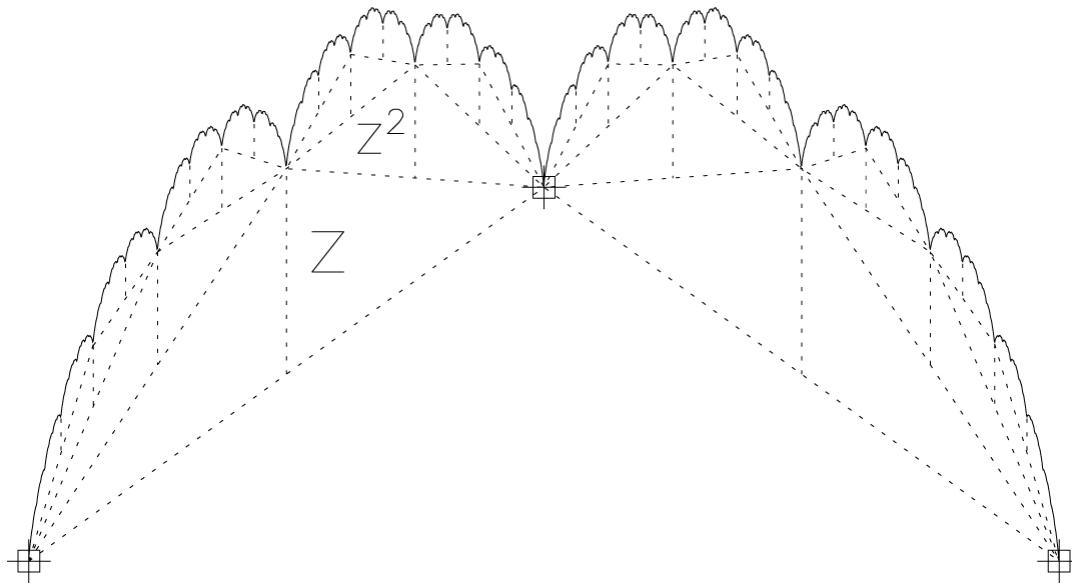
<https://campanitasdefe.com>



Más acerca del caso + +

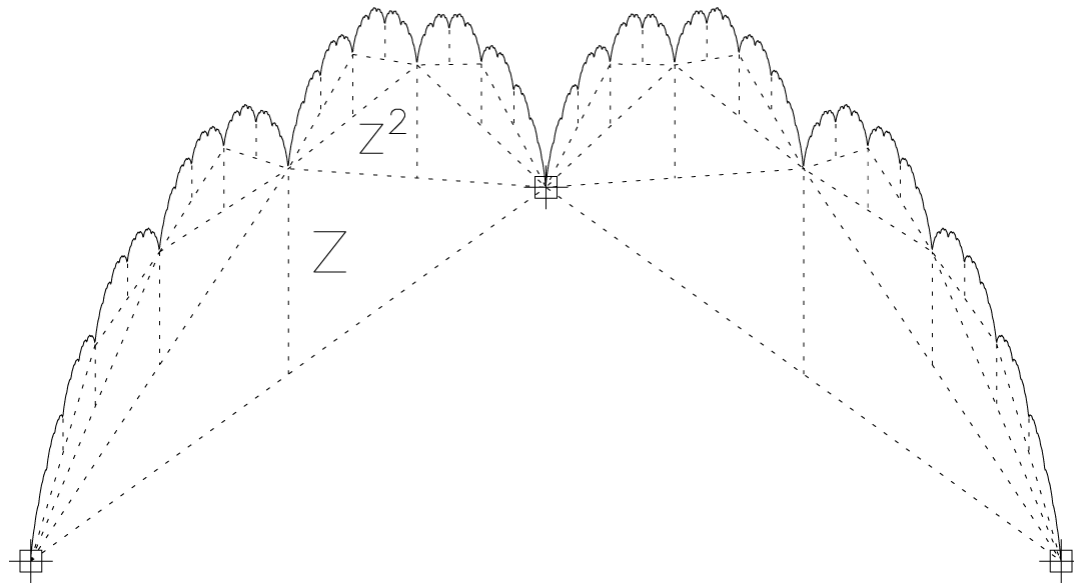


Más acerca del caso + +



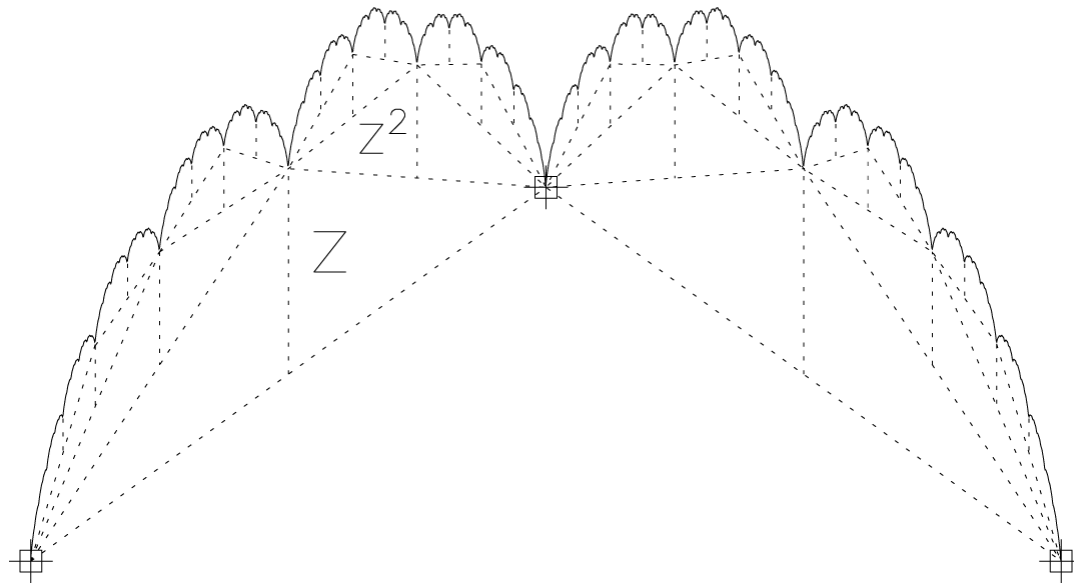
transformación como “**alas de ángel**” y con **unidad infinita**

Más acerca del caso + +



transformación como “alas de ángel” y con **unidad infinita** como $1 = 0.999 \dots$, el **límite** refleja el espiral amoroso del 9

Más acerca del caso + +



transformación como “alas de ángel” y con **unidad infinita** como $1 = 0.999 \dots$, el **límite** refleja el espiral amoroso del 9 una sinfonía de **amor, unidad** y la positiva **cruz +**