

De la Turbulencia a la Hidrología y Más Allá

O

De Platón a Borges y...

Carlos E. Puente

Department of Land, Air and Water Resources
University of California, Davis

Bogotá, 23 de Mayo de 2016

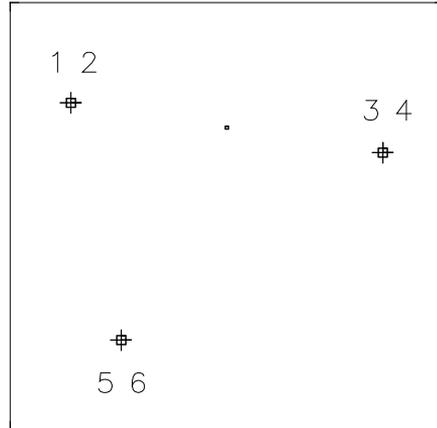
“La ciencia no es más que percepción”

PLATON (427 AC – 347 AC)

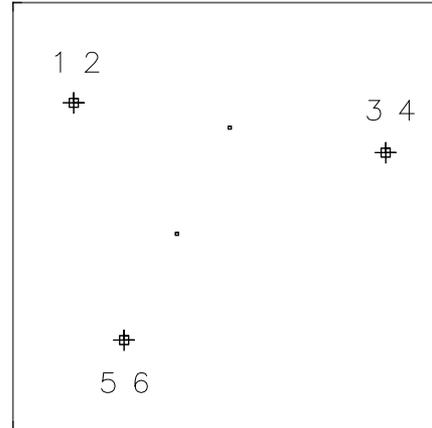
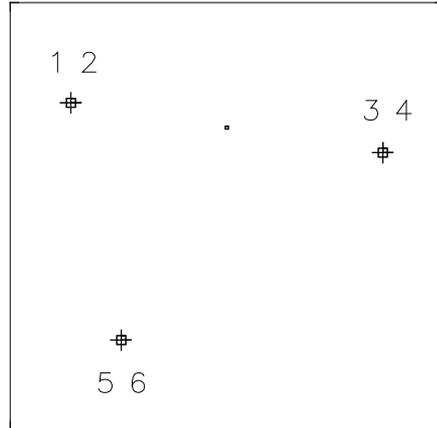
“Siempre imaginé que el Paraíso sería un tipo de biblioteca”

JORGE LUIS BORGES (1899 – 1986)

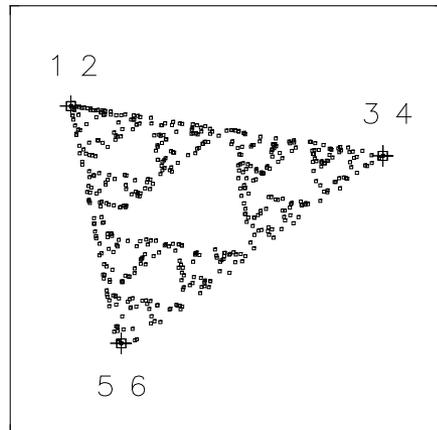
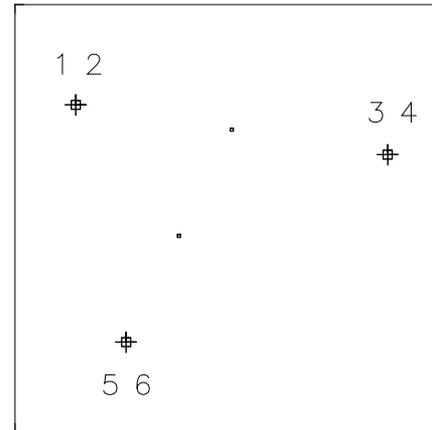
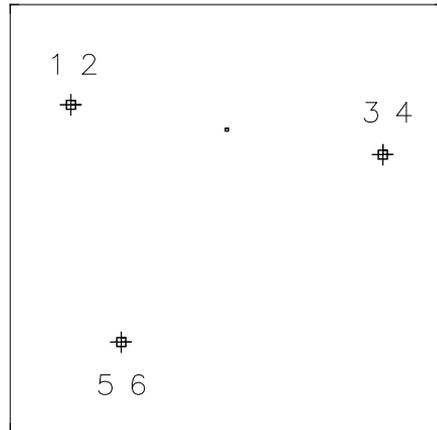
El juego del caos



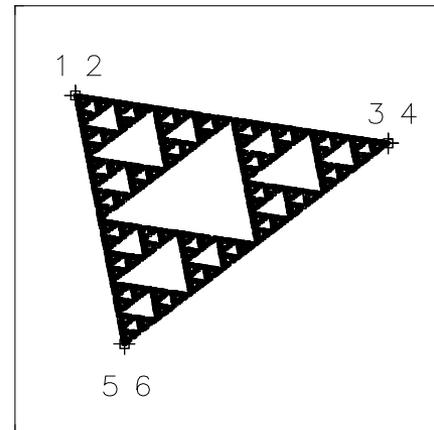
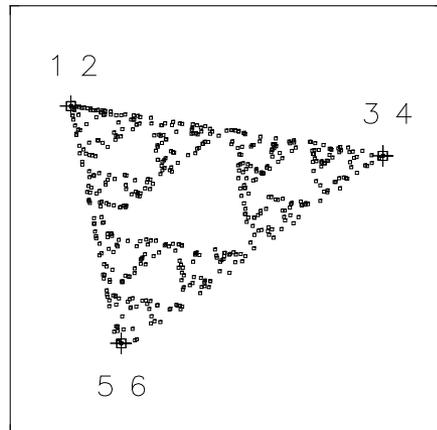
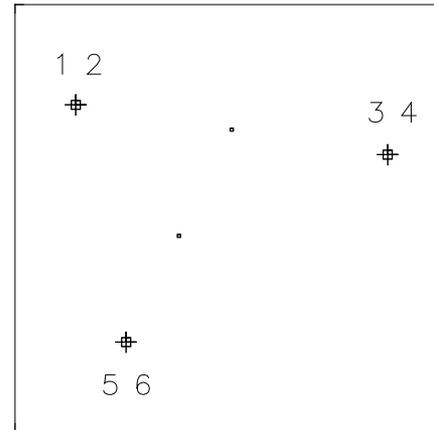
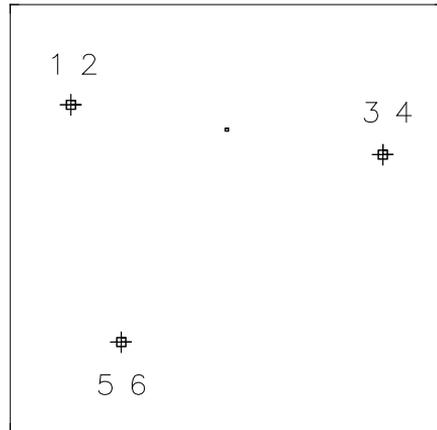
El juego del caos



El juego del caos



El juego del caos



un fractal

Con otras reglas y una moneda

(Barnsley 1988)

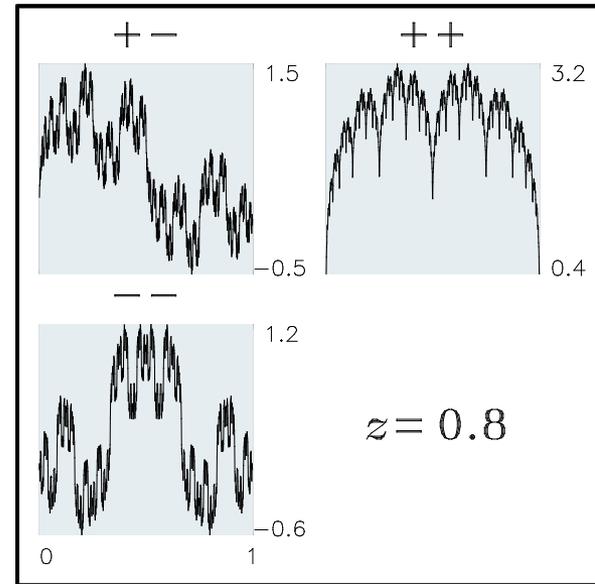
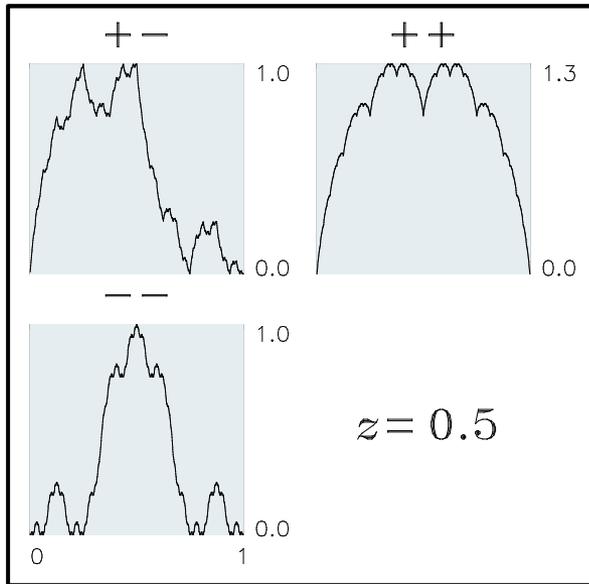
$$w_1(x, y) = \left(\frac{x}{2}, x + d_1 \cdot y \right), w_2(x, y) = \left(\frac{x}{2} + \frac{1}{2}, 1 - x + d_2 \cdot y \right)$$

Con otras reglas y una moneda

(Barnsley 1988)

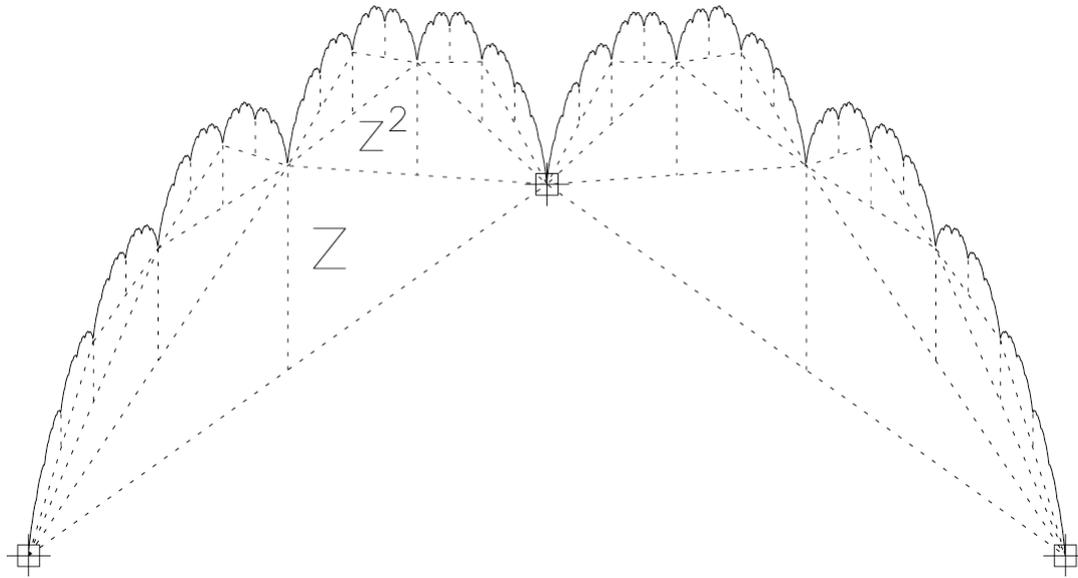
$$w_1(x, y) = \left(\frac{x}{2}, x + d_1 \cdot y \right), w_2(x, y) = \left(\frac{x}{2} + \frac{1}{2}, 1 - x + d_2 \cdot y \right)$$

$$z = |d_1| = |d_2| < 1$$

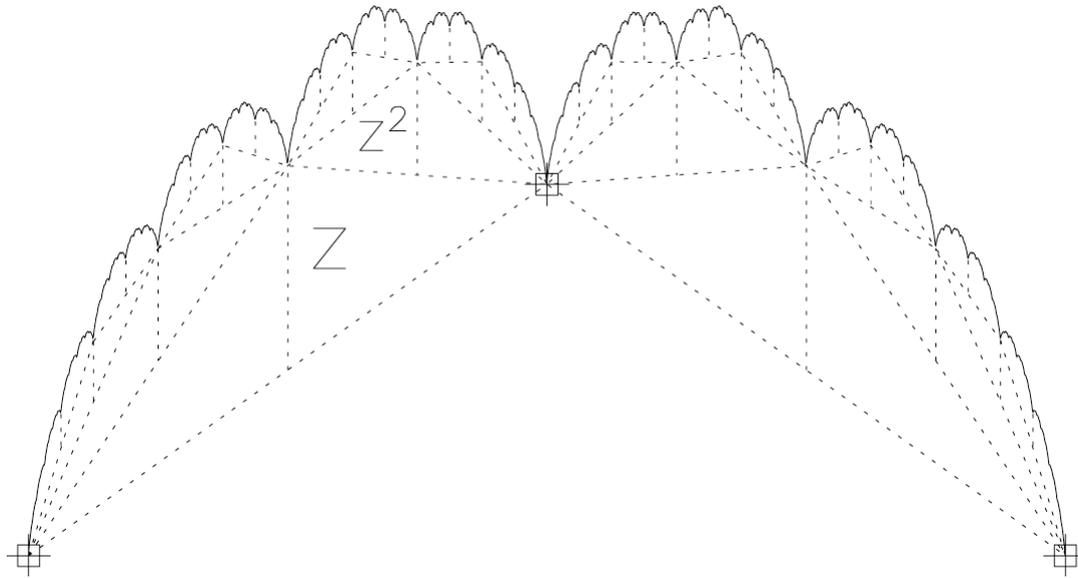


alambres fractales...

Perfiles deterministas



Perfiles deterministas

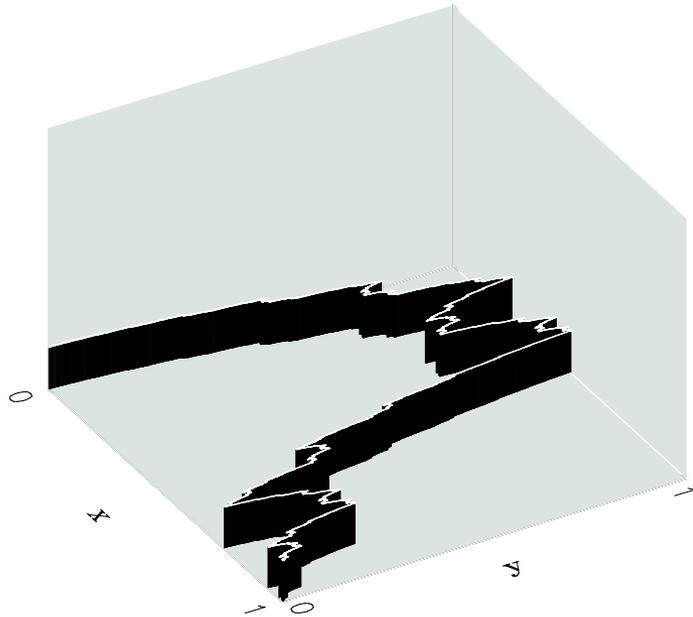


caso + -: arriba y abajo en el mismo nivel

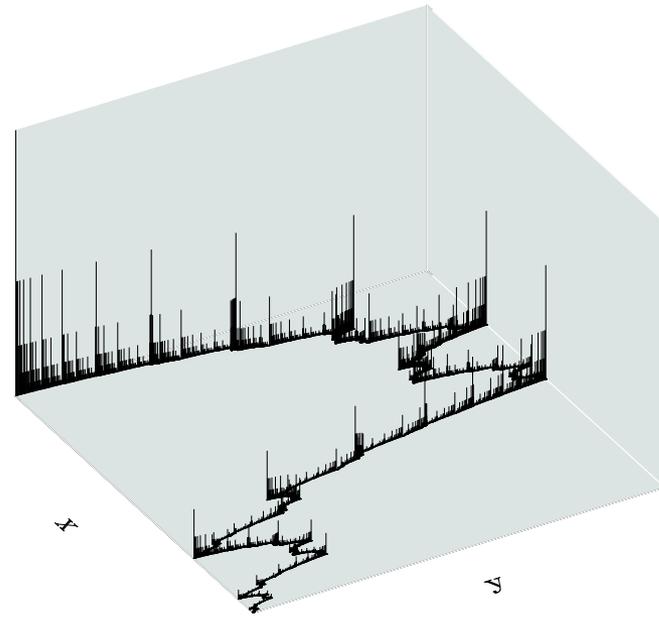
caso - -: todo abajo en el primer nivel, todo arriba en el segundo, etc.

Uso de monedas justas o sesgadas

50-50



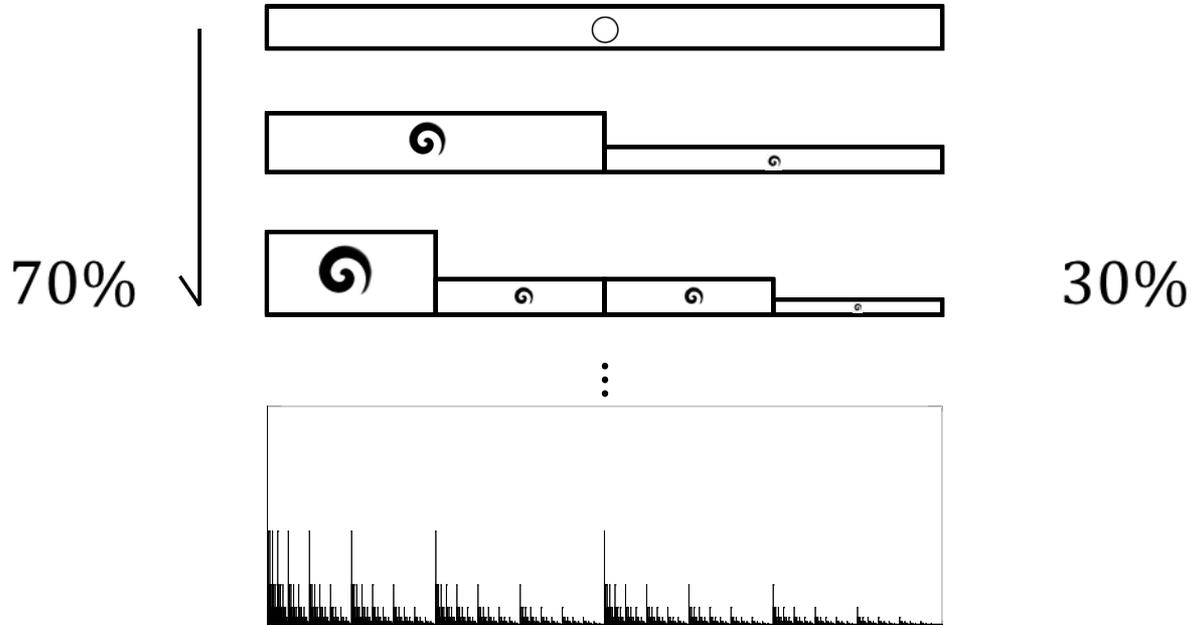
70-30



diferentes texturas sobre el mismo alambre

Desde x: una cascada turbulenta

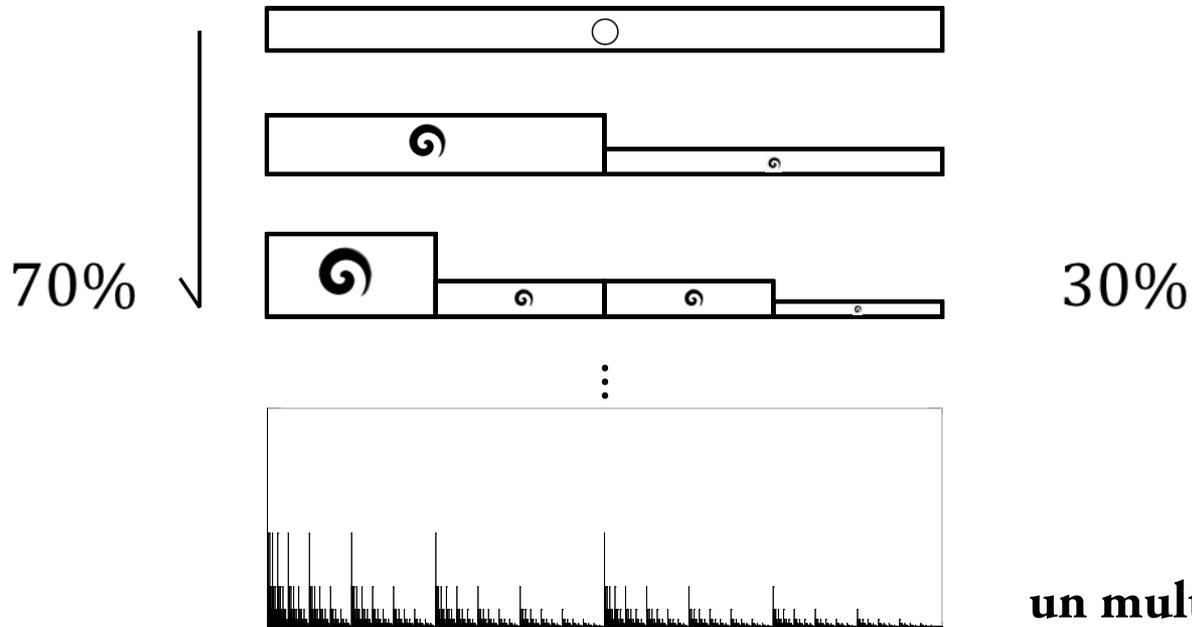
(Meneveau y Sreenivasan 1987)



una secuencia de **remolinos** que dividen la energía **universalmente**

Desde x: una cascada turbulenta

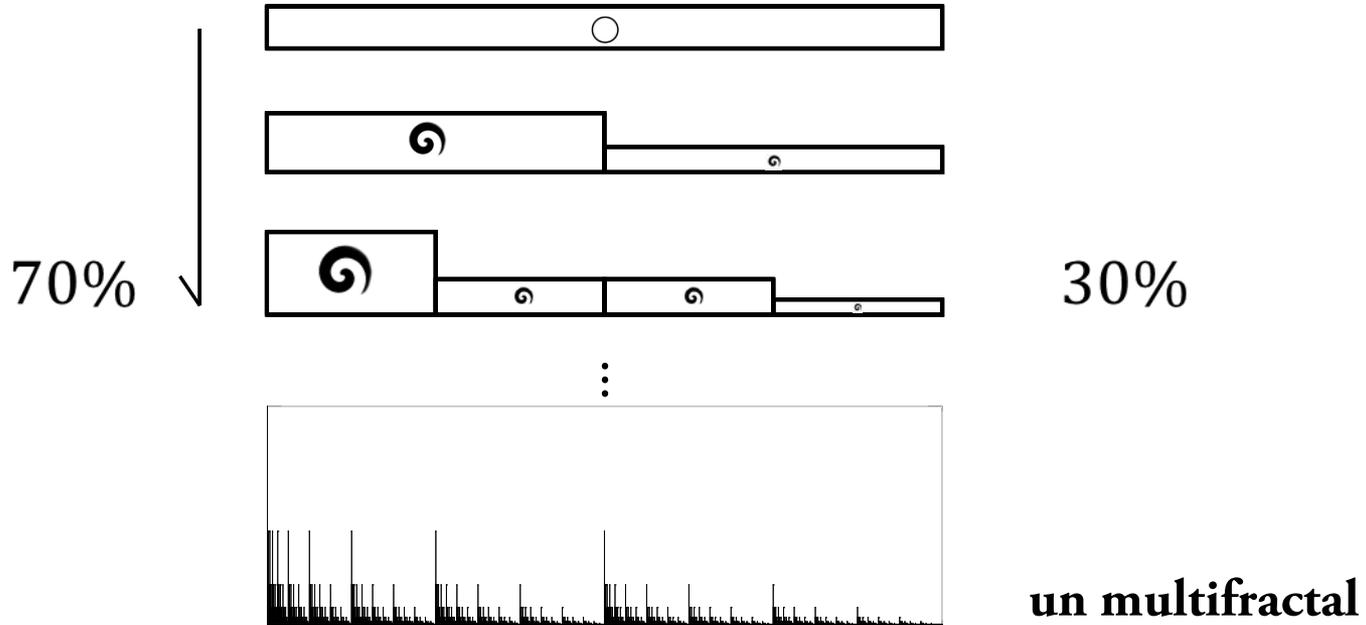
(Meneveau y Sreenivasan 1987)



una secuencia de **remolinos** que dividen la energía **universalmente**
una colección de **espinas** entrelazadas con soportes **polvorientos**

Desde x: una cascada turbulenta

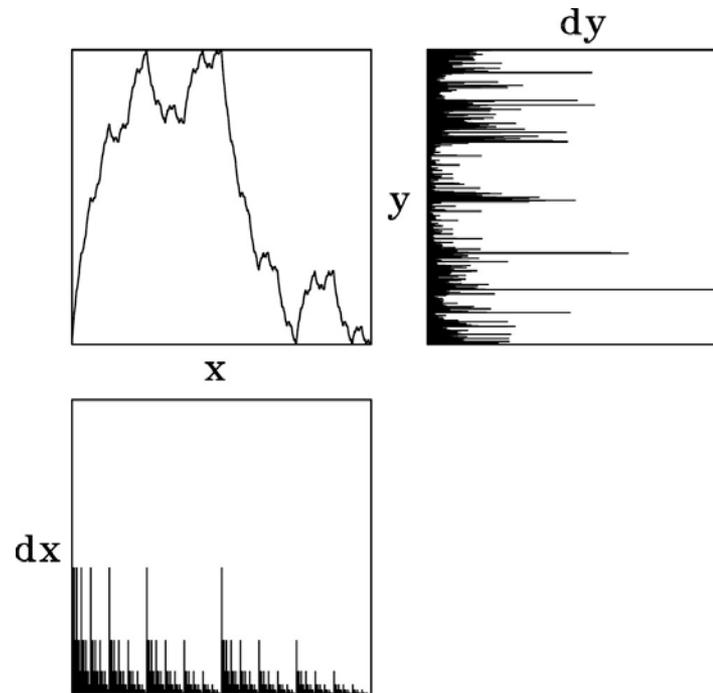
(Meneveau y Sreenivasan 1987)



una secuencia de **remolinos** que dividen la energía **universalmente**
una colección de **espinas** entrelazadas con soportes **polvorientos**
el mismo objeto **fracturado** refleja distribuciones de riqueza

Desde y: una visión Platónica de la complejidad

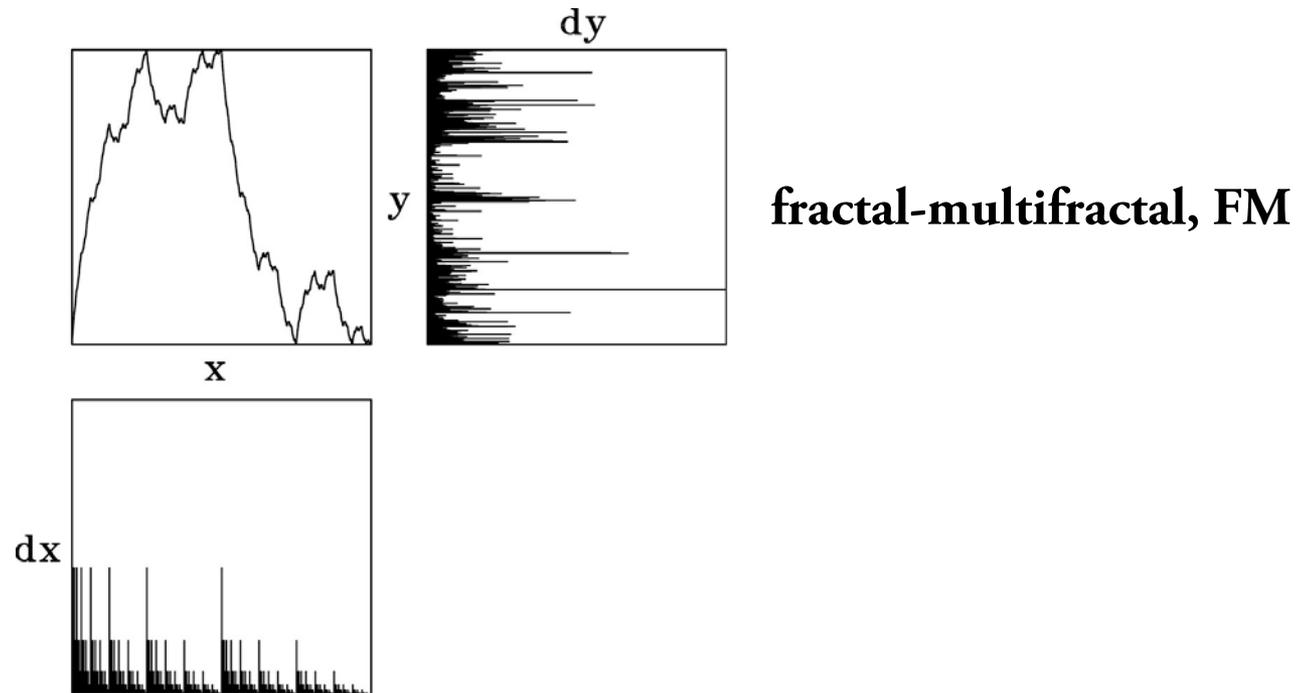
(Puente 1992, 1994)



fractal-multifractal, FM

Desde y: una visión Platónica de la complejidad

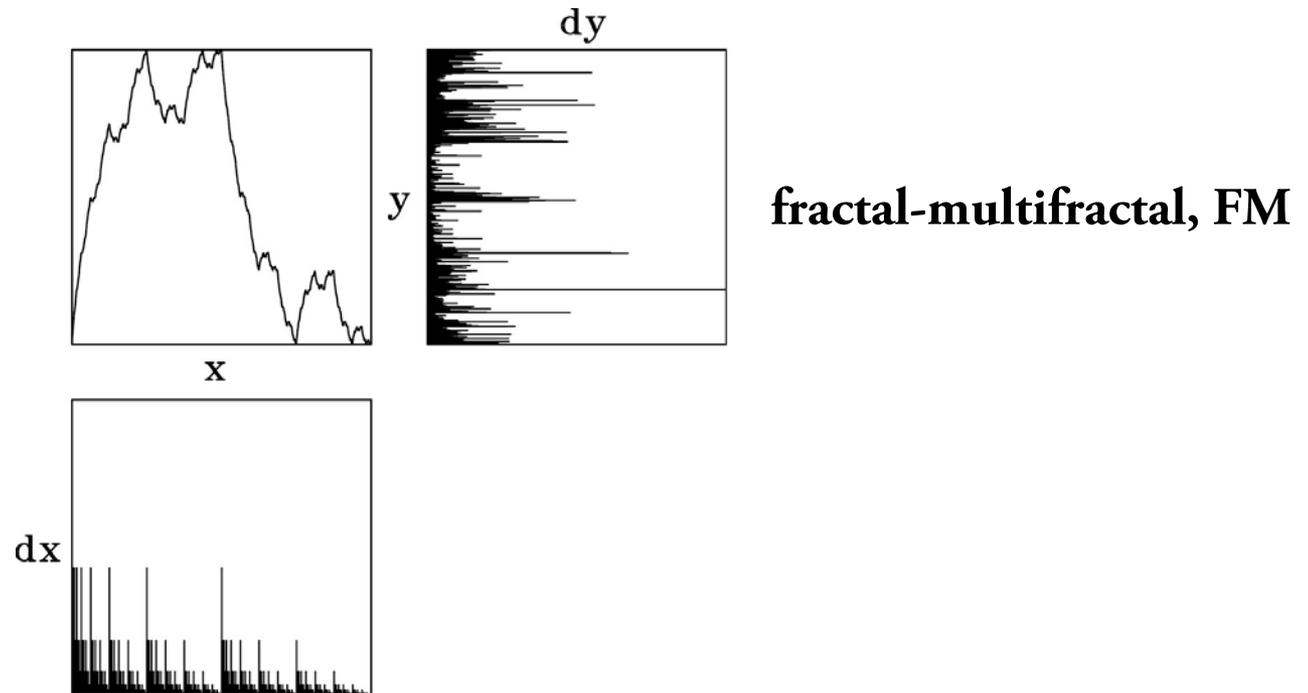
(Puente 1992, 1994)



dx es la “iluminación” del **alambre**, dy es su proyección **derivada**

Desde y: una visión Platónica de la complejidad

(Puente 1992, 1994)

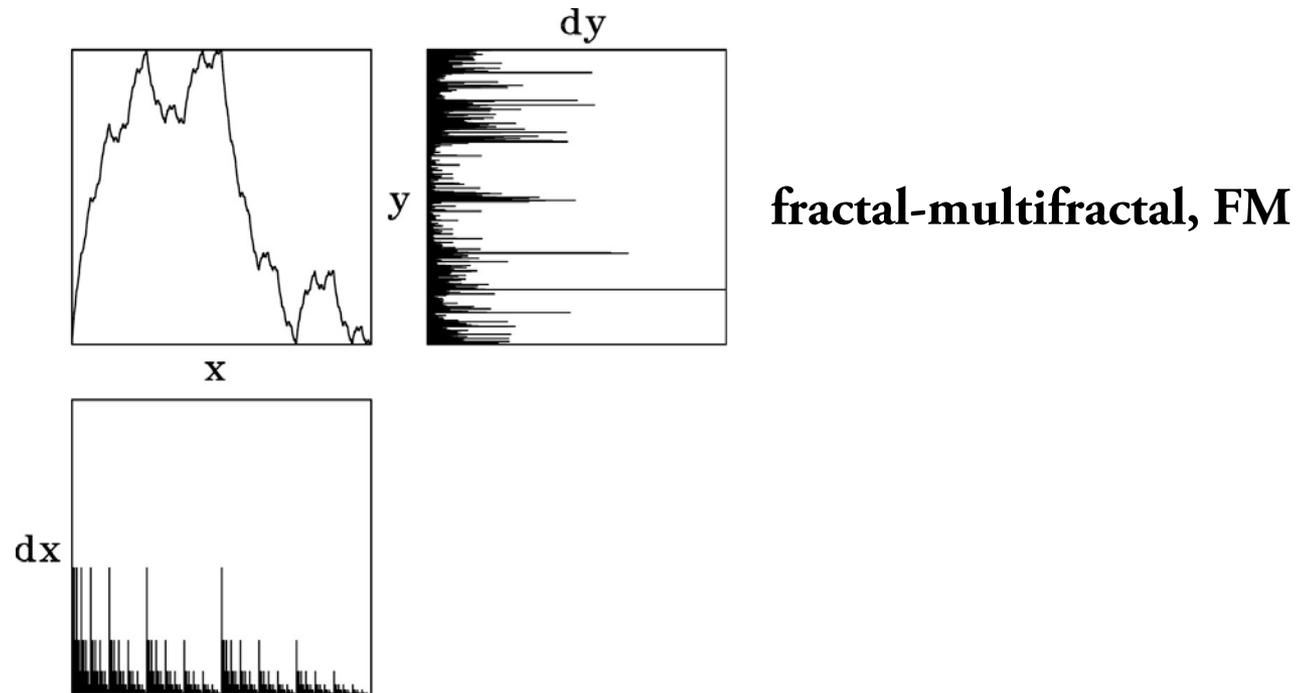


fractal-multifractal, FM

dx es la “iluminación” del **alambre**, dy es su proyección **derivada**
 dy es una **transformación** de la turbulencia, una cascada **física** no trivial

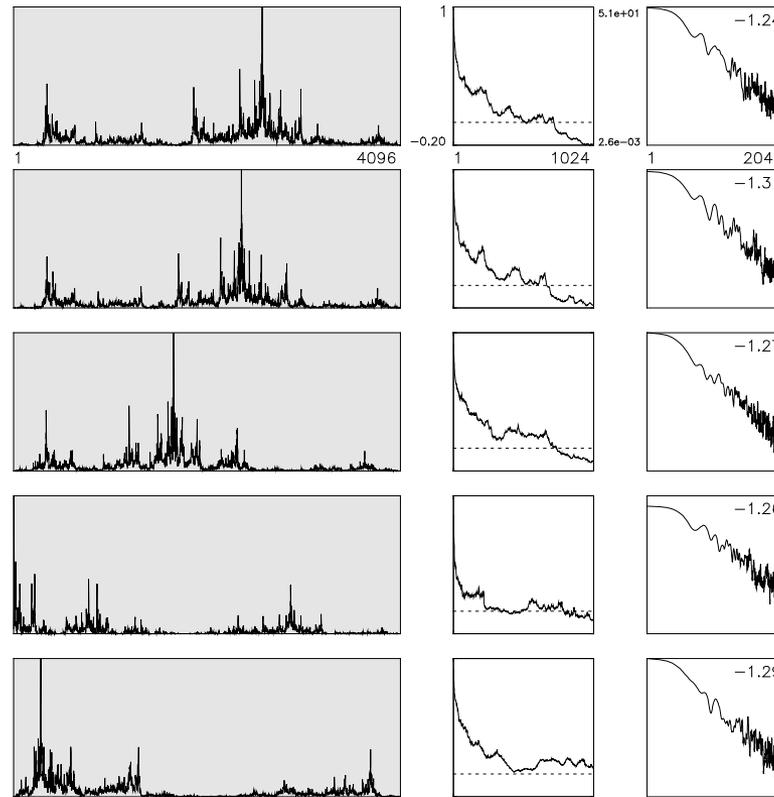
Desde y: una visión Platónica de la complejidad

(Puente 1992, 1994)



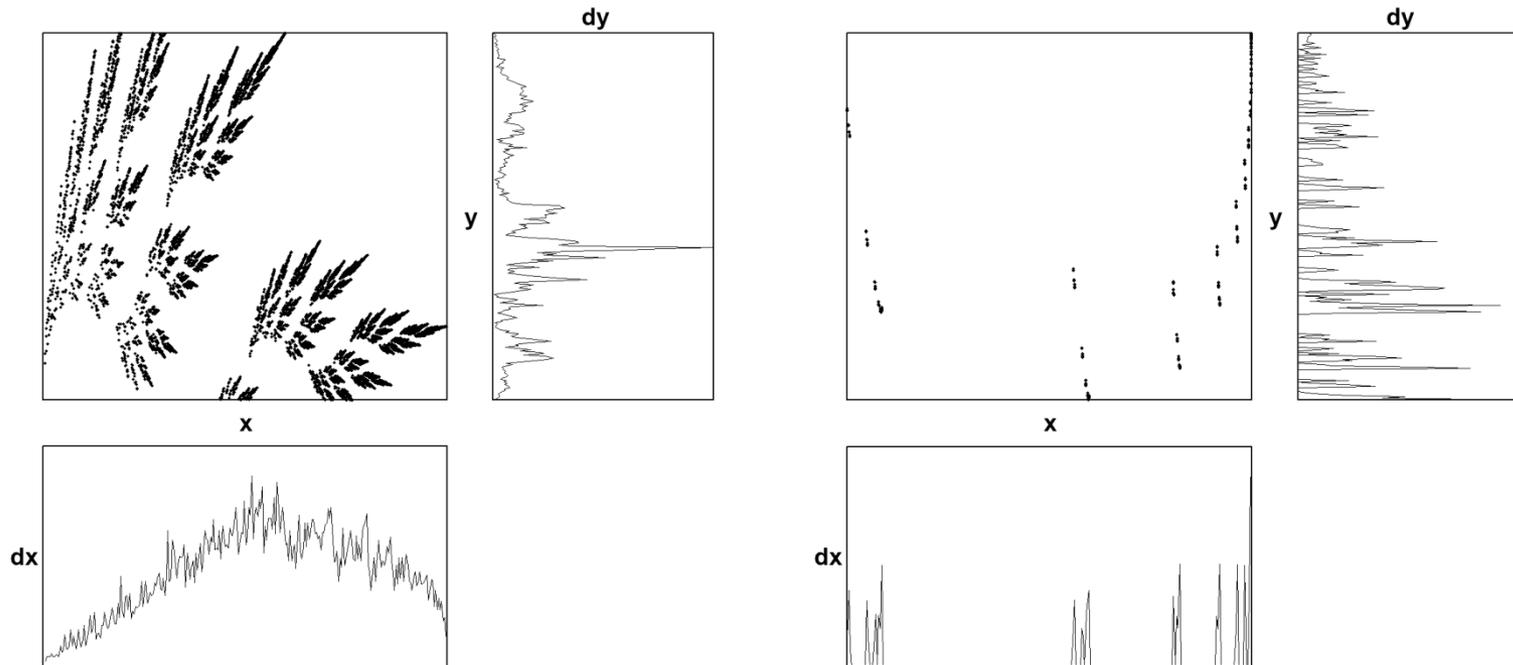
dx es la “iluminación” del **alambre**, dy es su proyección **derivada**
 dy es una **transformación** de la turbulencia, una cascada **física** no trivial
la “sombra” dy parece ser **aleatoria**, pero no lo es

Multitud de proyecciones



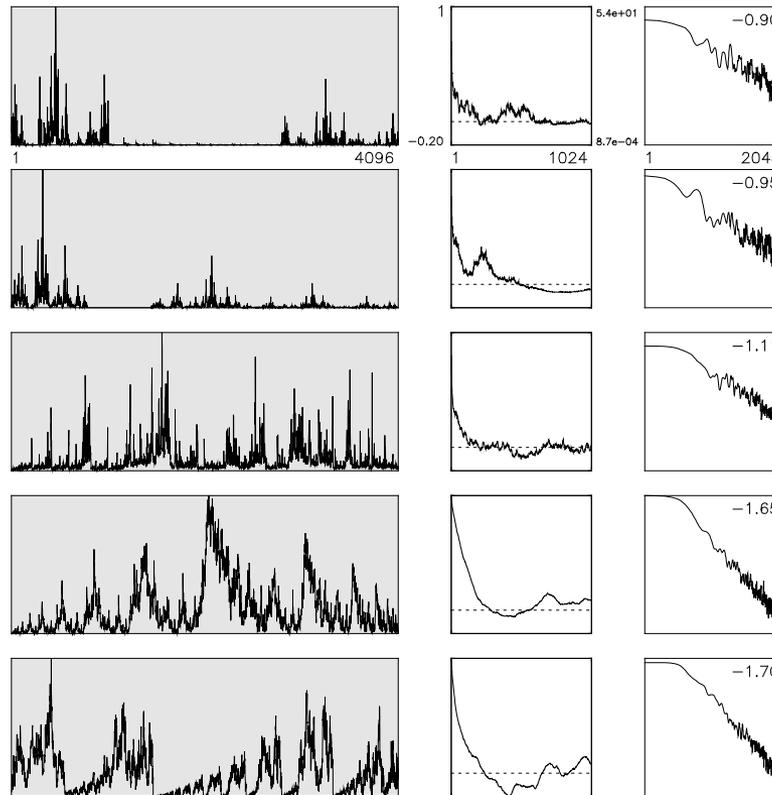
conjuntos complejos de datos se interpretan como una distribución
aparecen objetos con estadísticas similares a las de conjuntos **naturales**

Algunas generalizaciones



“hojas” a partir de mapas que se traslapan en x
atrayerentes Cantorianos si no se dejan huecos

Más diseños Platónicos

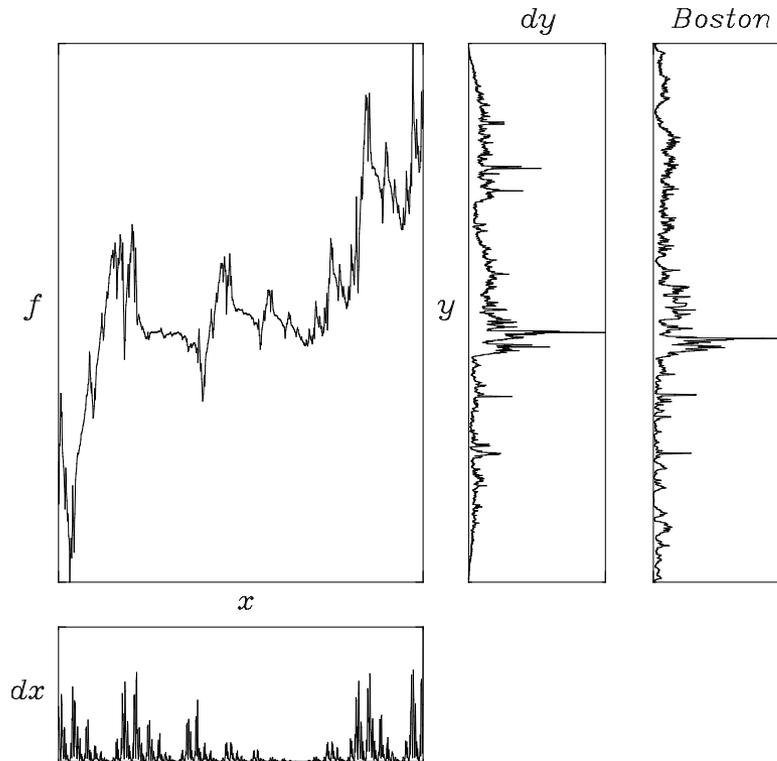


con períodos de inactividad

“azar” y rampas

Codificación de una tormenta en Boston

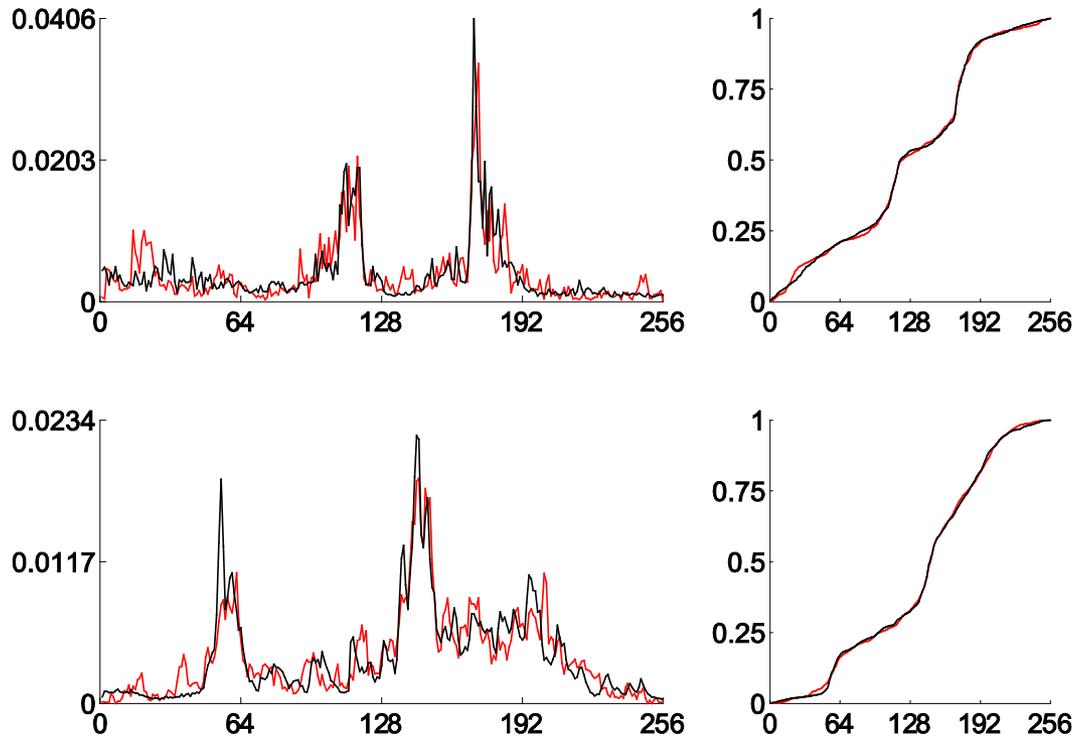
(Puente y Obregón 1996)



un modelo (centro) de datos reales en 1980 (derecha)
el modelo preserva características **estadísticas** y **caóticas**

Codificación de tormentas en Iowa City

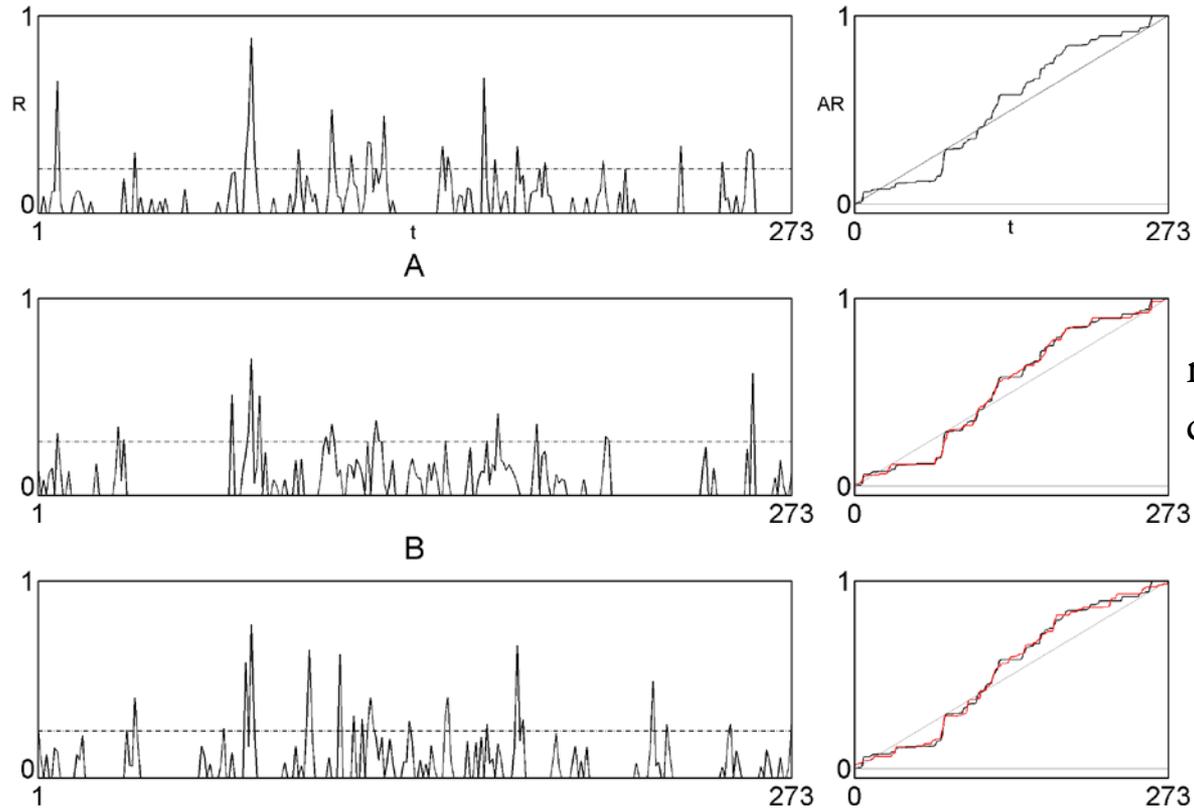
(Huang et al. 2012)



RMSEAR 1.0, 0.8%; MAXEAR 3.5, 2.1%
medidas en 1990, compresiones mayores a 350:1

Codificación de lluvia en Laikakota, Bolivia

(Maskey et al. 2015)



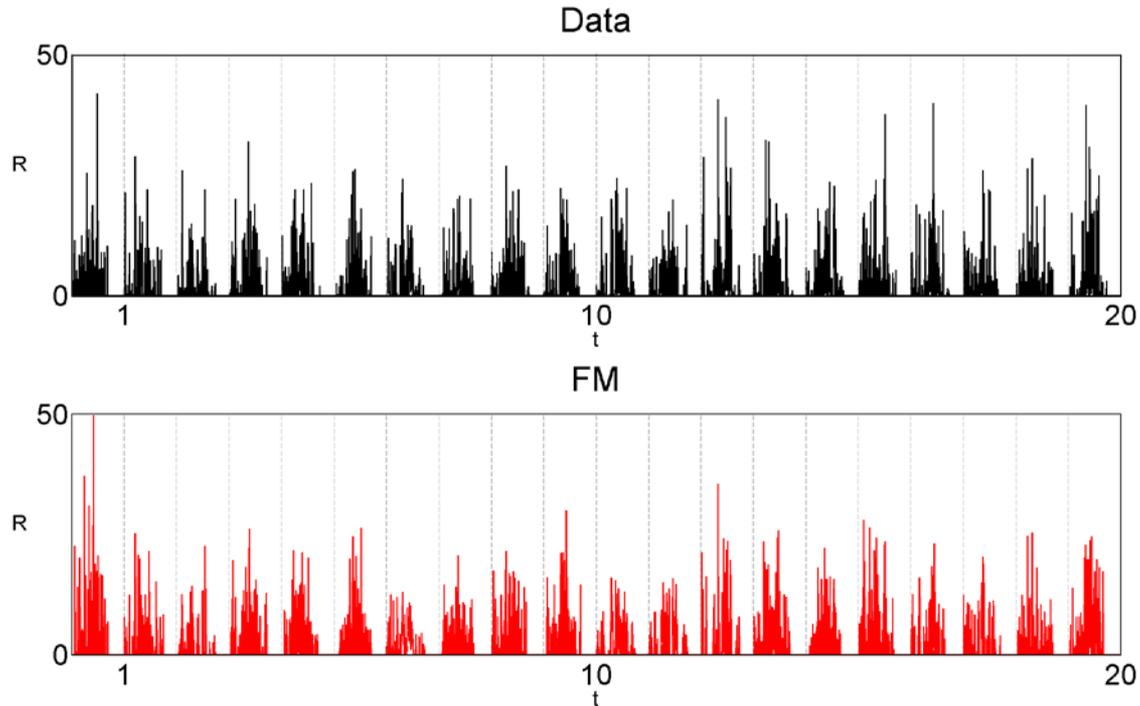
modelo Cantoriano
con un umbral

RMSEAR 1.4, 1.8%; MAXEAR 4.4, 3.5%

medida en 1965-66, compresión 25:1

Codificación de lluvia en Laikakota, Bolivia

(Maskey et al. 2015)



modelo Cantoriano
con un umbral

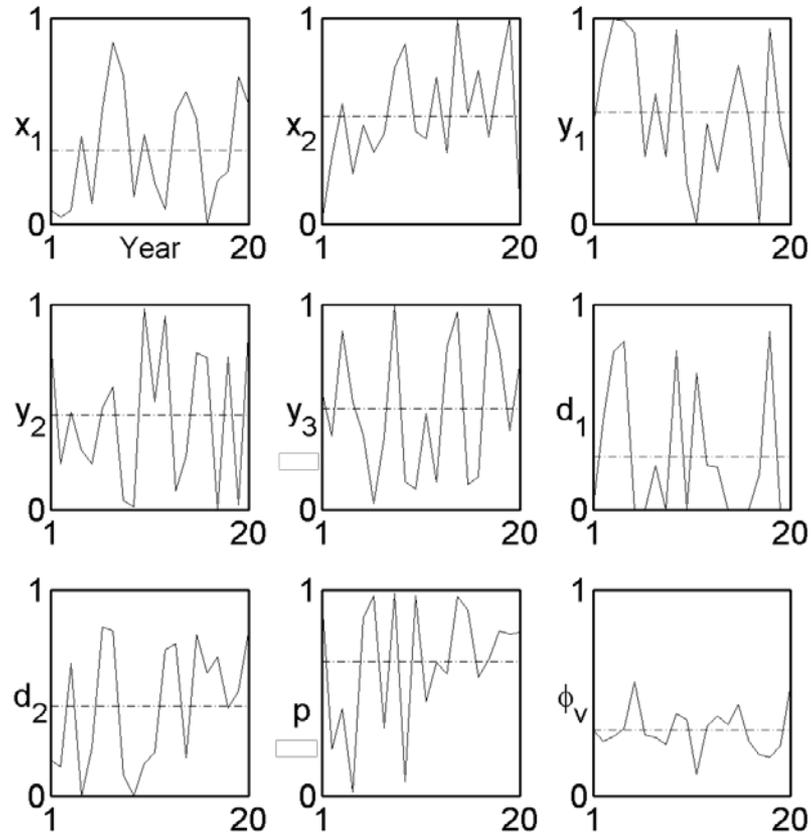
escala en mm/día

RMSEAR $1.8 \pm 0.3\%$; MAXEAR $5.6 \pm 1.3\%$

de 1964-65 a 1983-84, compresión 25:1

Dinámica de la lluvia en Laikakota, Bolivia

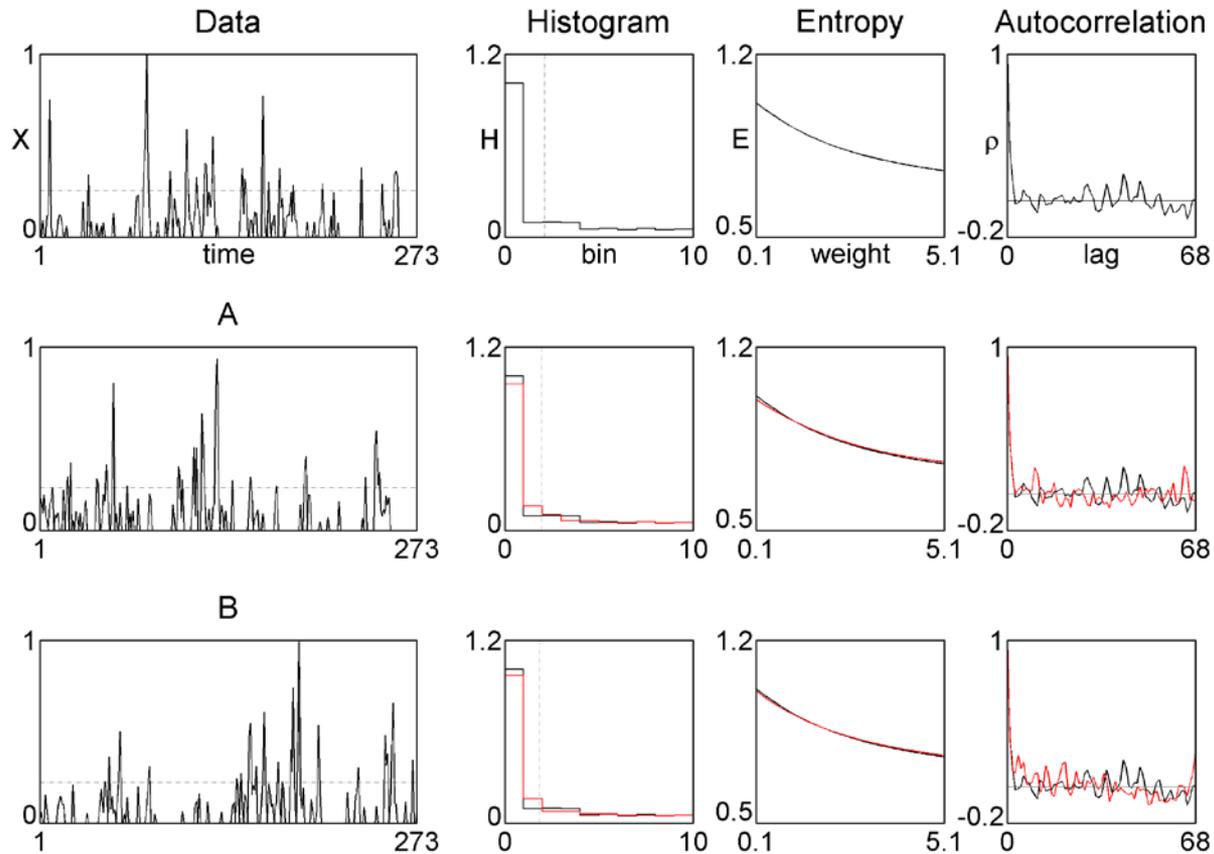
(Maskey et al. 2015)



para estudiar la complejidad de la lluvia y el cambio climático...

Simulación de lluvia en Laikakota, Bolivia

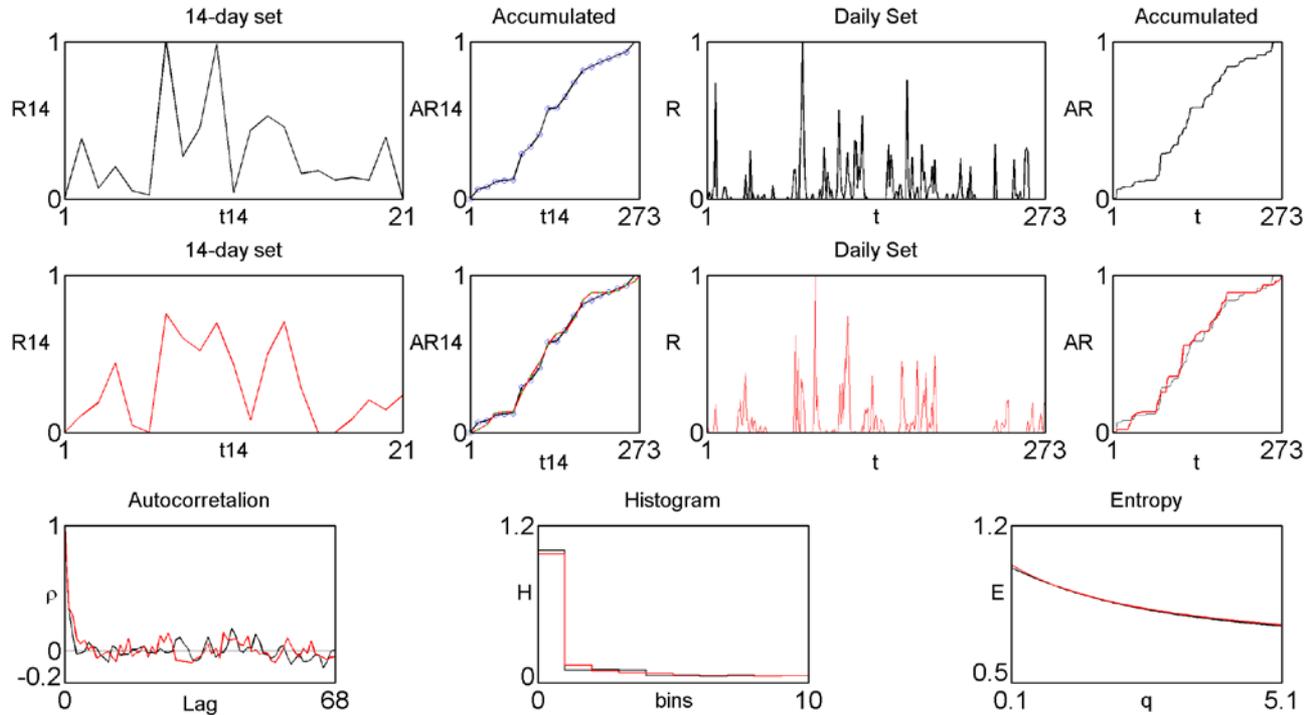
(Maskey et al. 2016a)



a partir de histograma, entropía y ceros consecutivos

Desagregación de lluvia en Laikakota, Bolivia

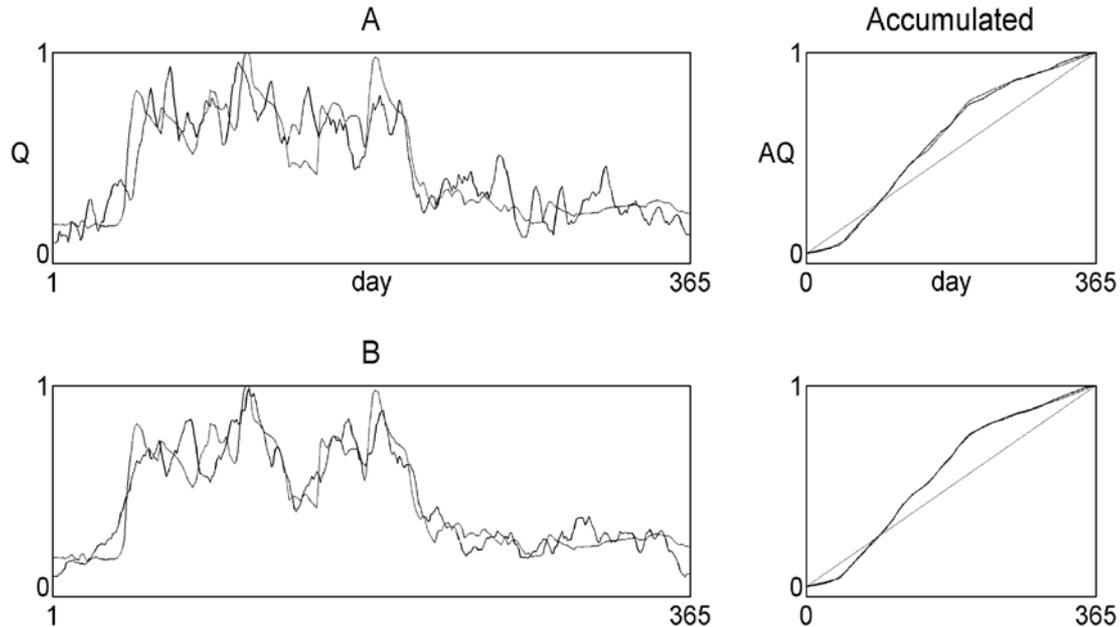
(Maskey et al. 2016b)



basado en el conjunto acumulado cada 14 días

Codificación de caudales en el río Sacramento

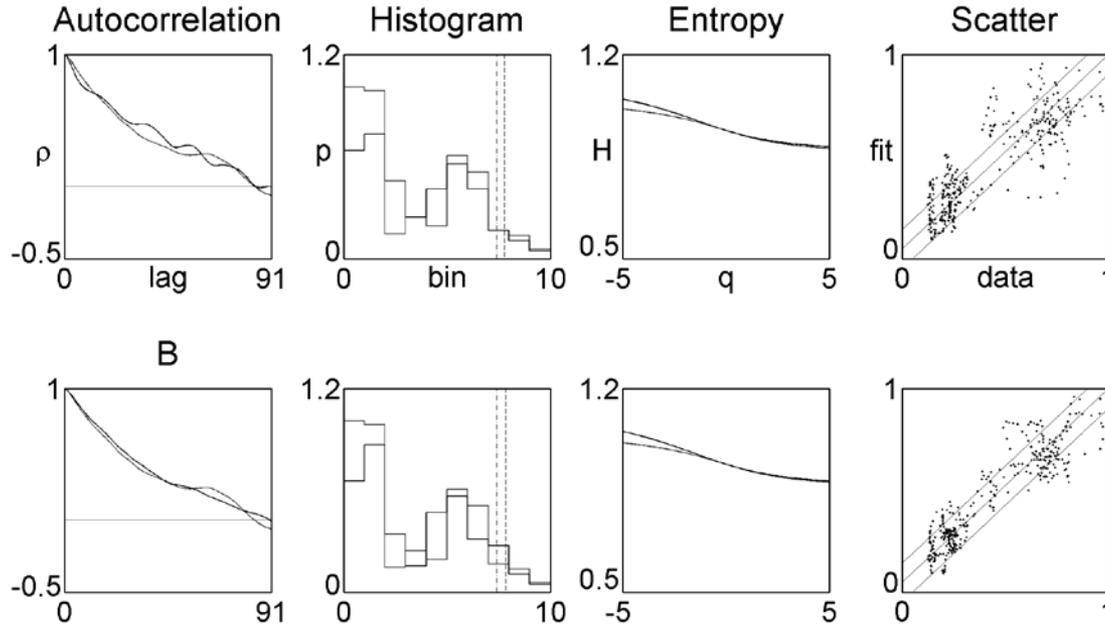
(Maskey et al. 2016c)



A: alambre 2 mapas, B: alambre 3 mapas
RMSEAR 1.0, 0.5%; MAXEAR 2.3, 1.1%
año 1973-74, compresiones mayores a 40:1

Codificación de caudales en el río Sacramento

(Maskey et al. 2016c)

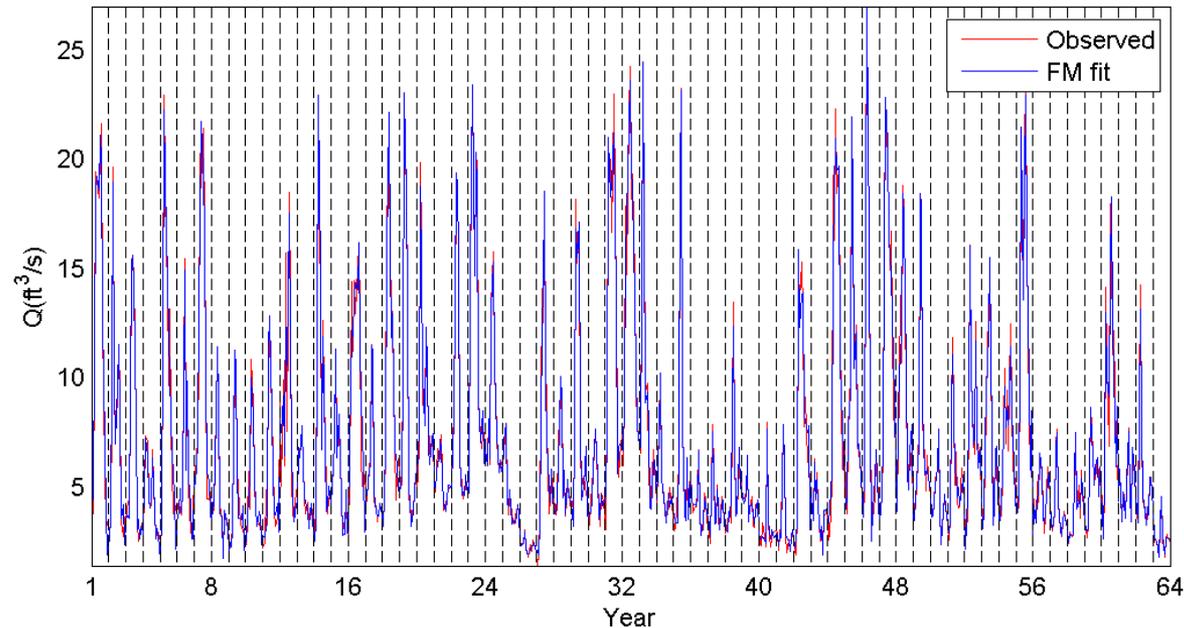


A: alambre 2 mapas, B: alambre 3 mapas

NSD 73.3, 85.0%; NSA 95.7, 98.1%; NSE 93.9, 92.8%

Codificación de caudales en el río Sacramento

(Maskey et al. 2016c)



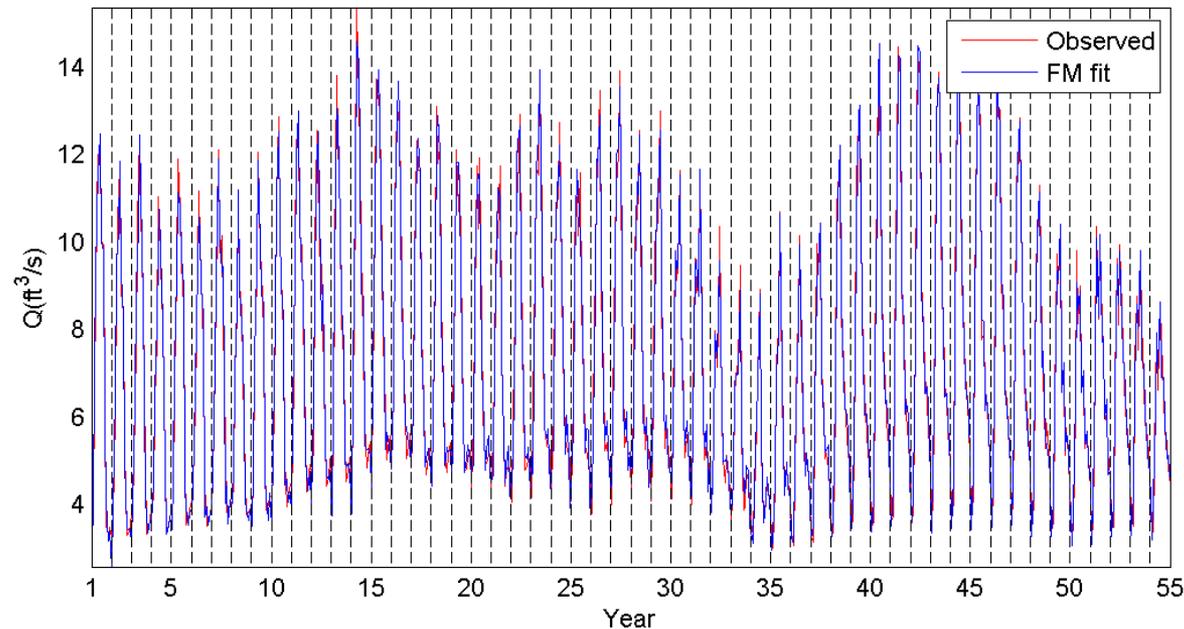
alambre 3 mapas, escala en 10^4 x cfs

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

por años: 1950-2014

Codificación de caudales en el río Sacramento

(Maskey et al. 2016c)



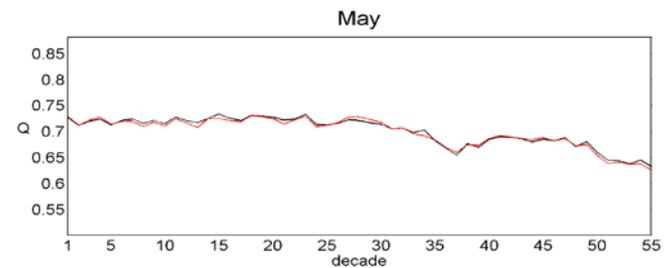
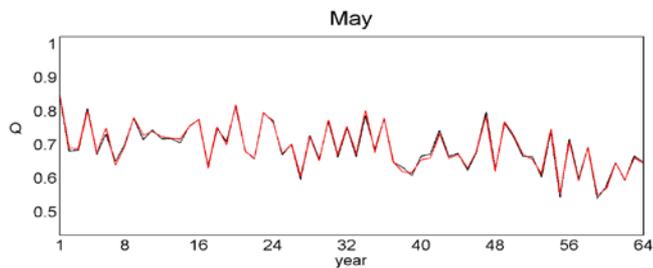
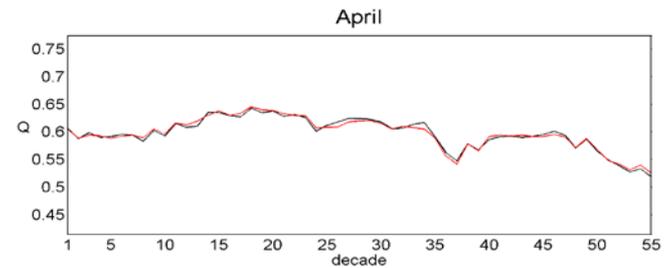
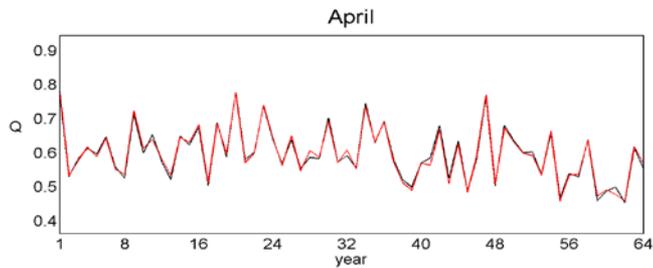
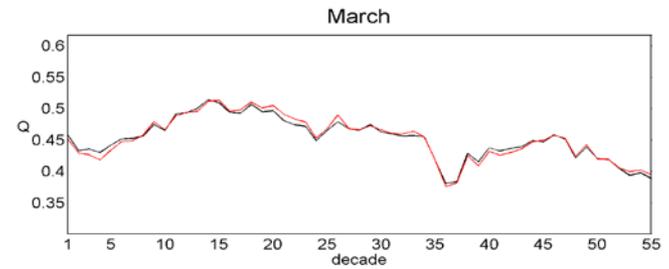
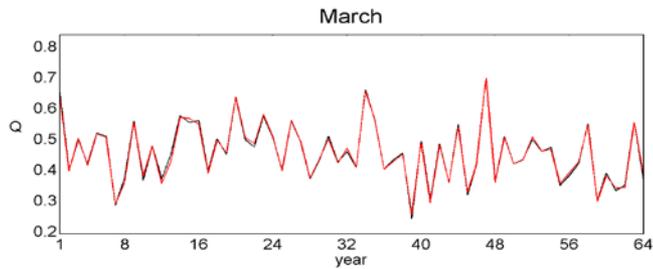
alambre 3 mapas, escala en 10^4 x cfs

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

por décadas: 1959-2014

Codificación de caudales en el río Sacramento

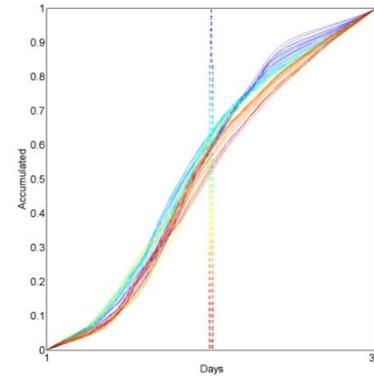
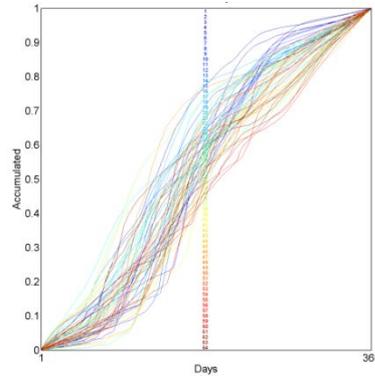
(Maskey et al. 2016c)



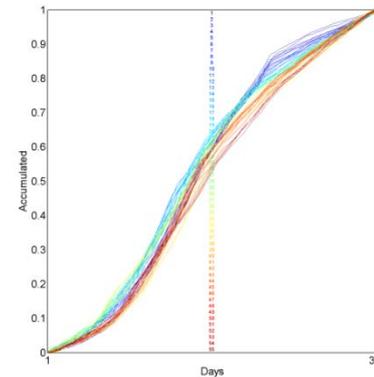
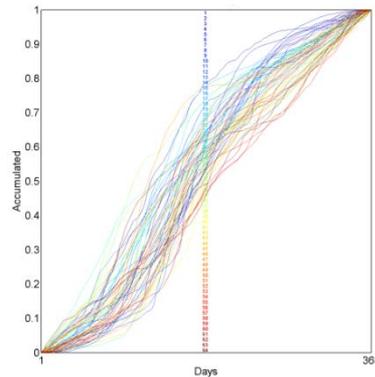
flujos primaverales por años y por décadas

Codificación de caudales en el río Sacramento

(Maskey et al. 2016c)



data

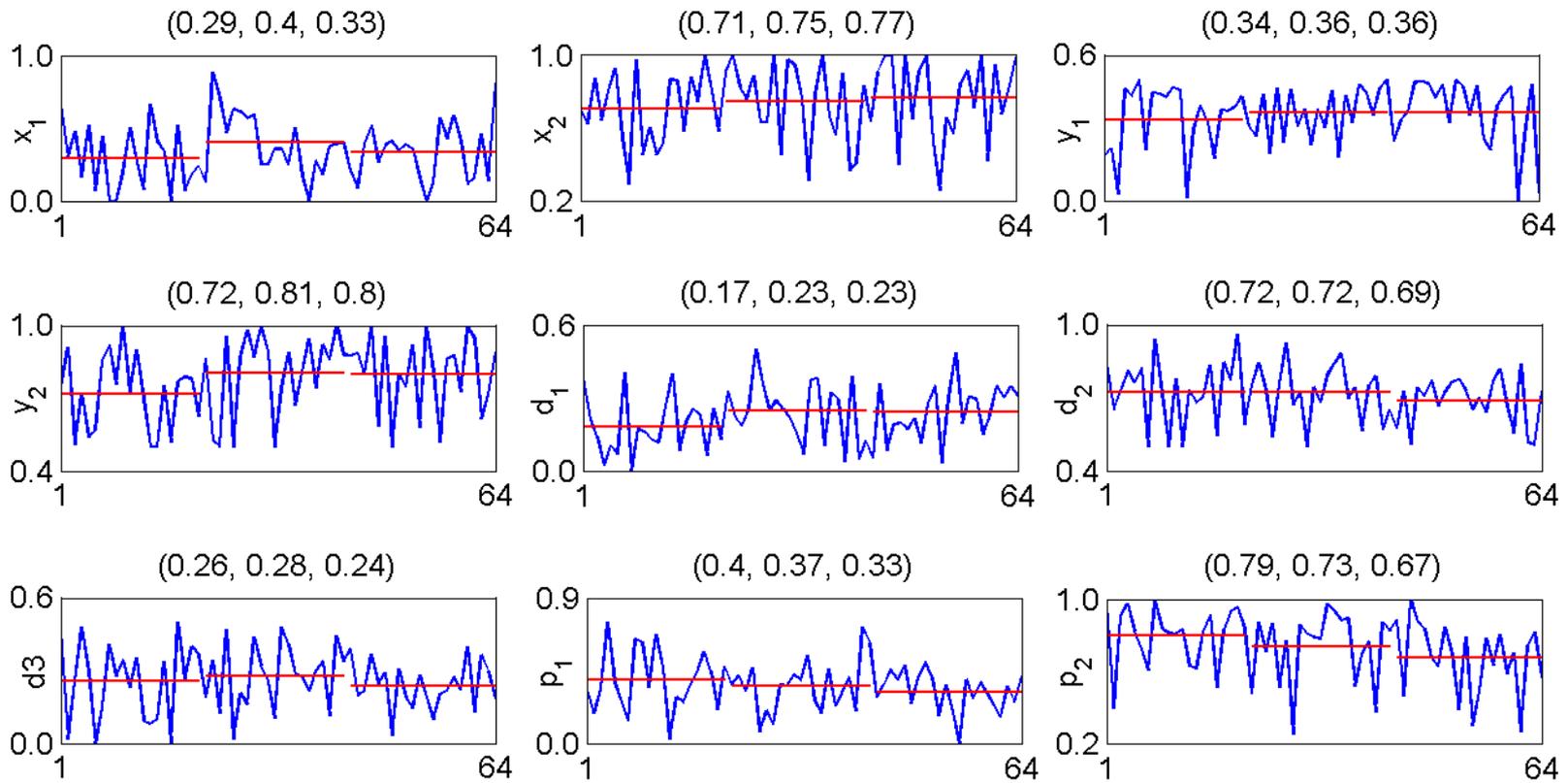


FM fit

conjuntos acumulados por años y por décadas

Dinámica de caudales en el río Sacramento

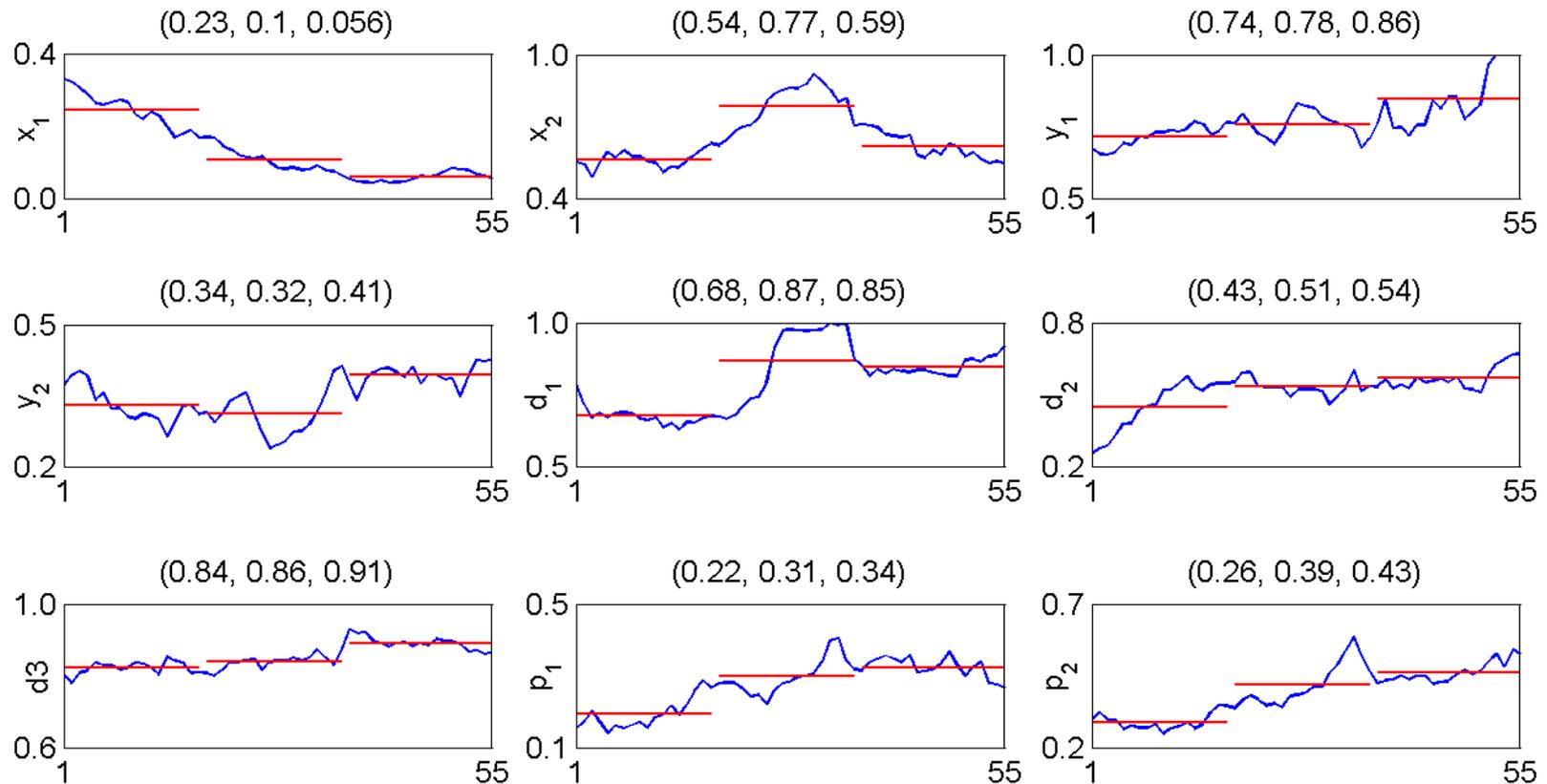
(Maskey et al. 2016d)



por años: 1950 - 2014

Dinámica de caudales en el río Sacramento

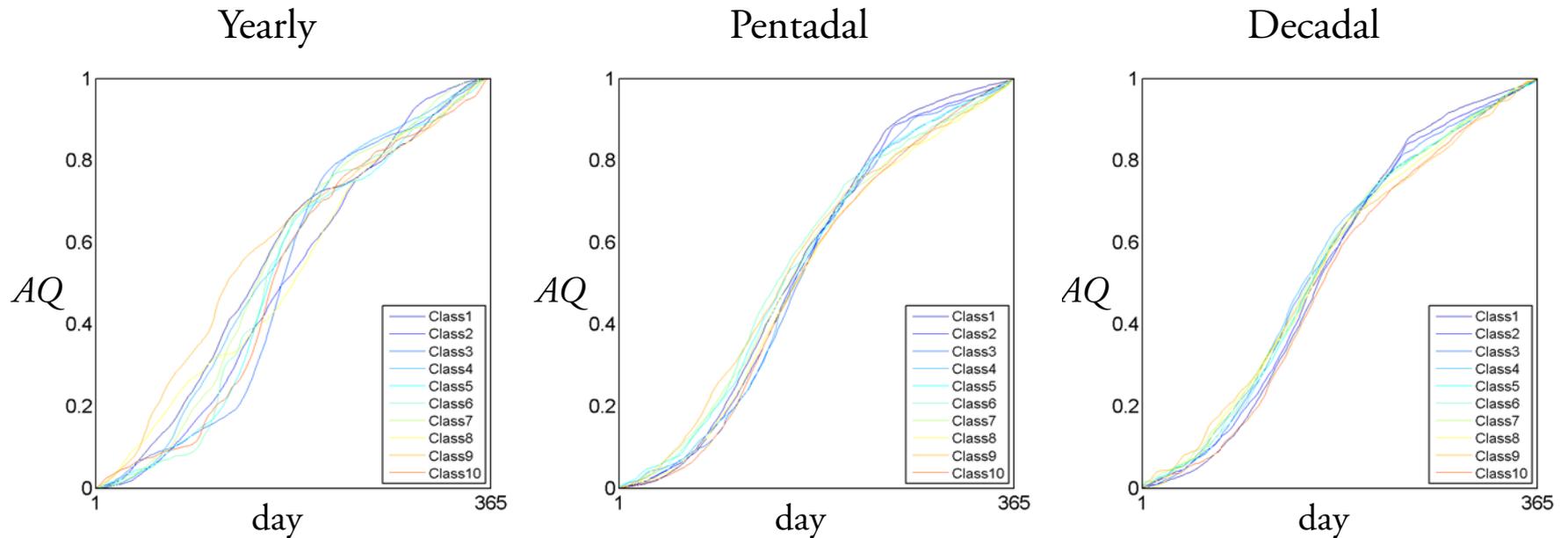
(Maskey et al. 2016d)



por décadas: 1959 - 2014

Clasificación de caudales en el río Sacramento

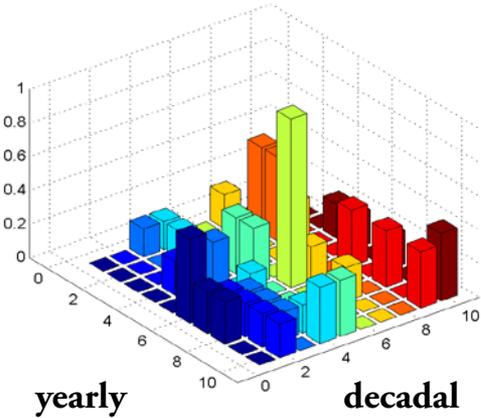
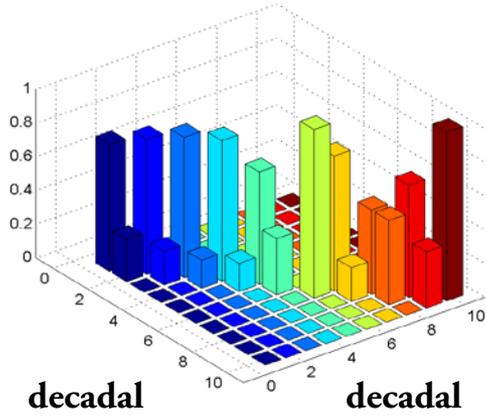
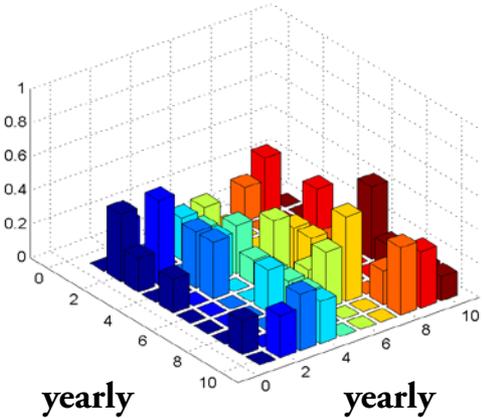
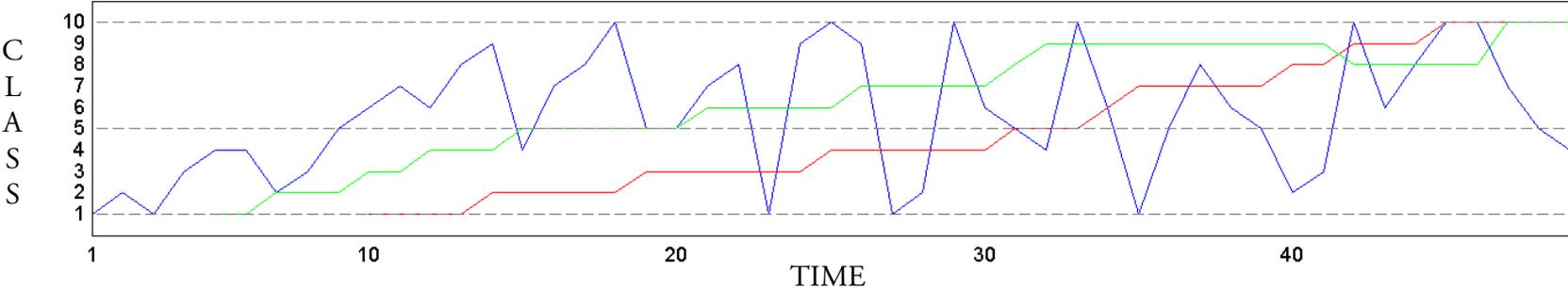
(Maskey et al. 2016d)



basados en parámetros FM usando k-means clustering

Clasificación de caudales en el río Sacramento

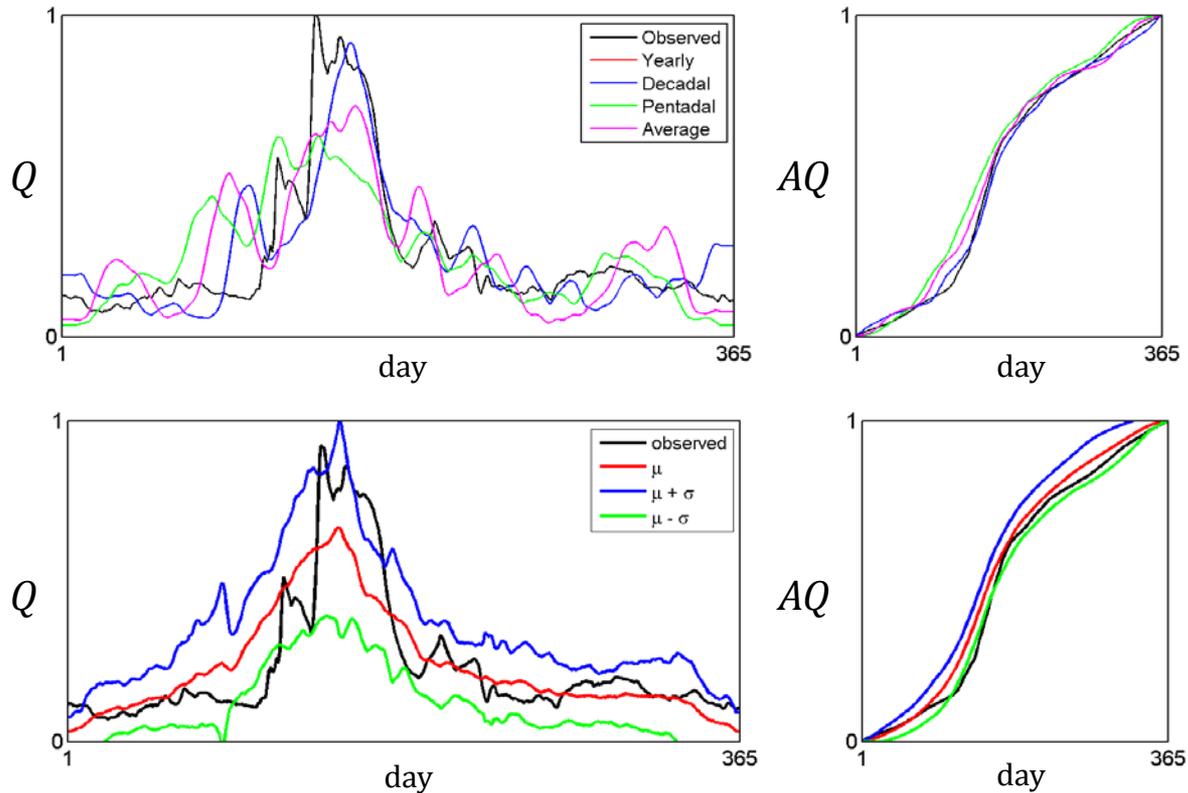
(Maskey et al. 2016d)



evolución por clases y matrices de transición

Predicción de caudales en el río Sacramento

(Maskey et al. 2016d)



un año exitoso, usando tendencias y sensibilidad en parámetros FM

Extensiones a más dimensiones

(Puente 1994)

simplemente con más coordenadas y manteniendo x desacoplada:

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

parámetros en coordenadas polares, escalamientos y rotaciones:

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

Algunos ejemplos curiosos

(Puente 1994, 2004)

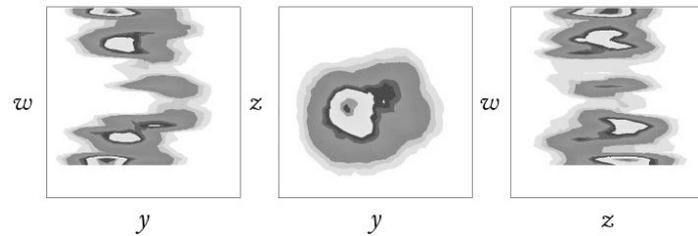
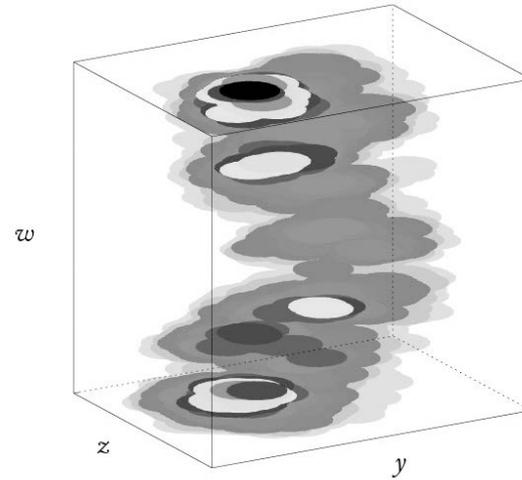
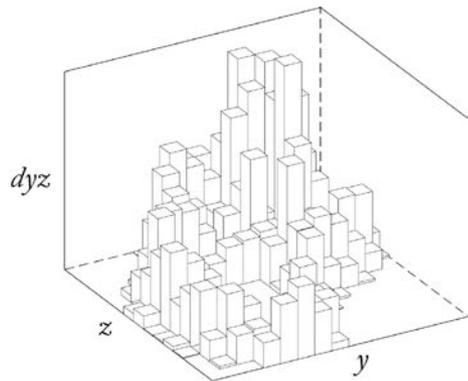
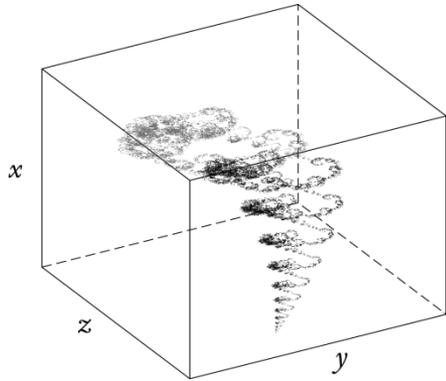
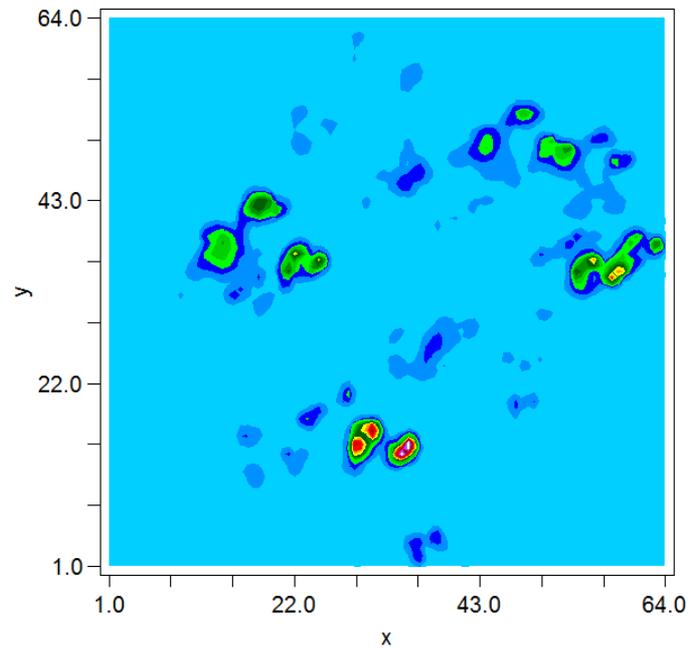
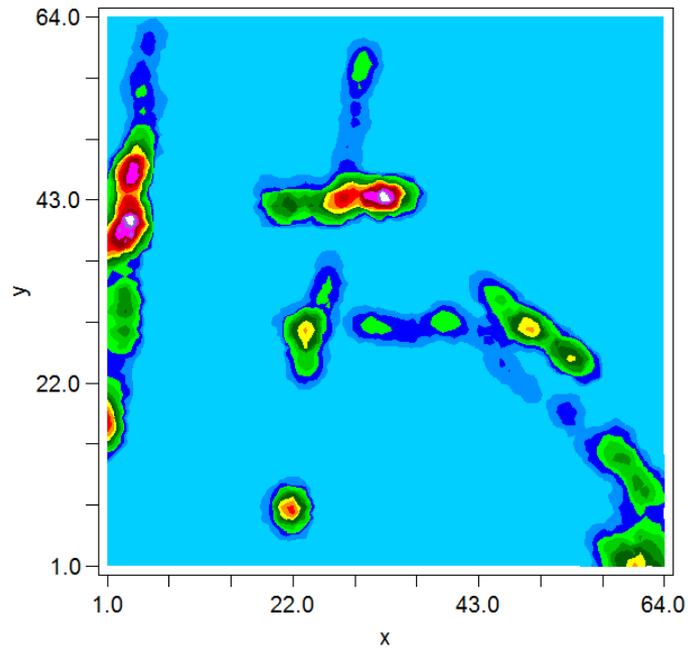


imagen de polución mediante alambre en 4D
similarmente para lluvia y más...

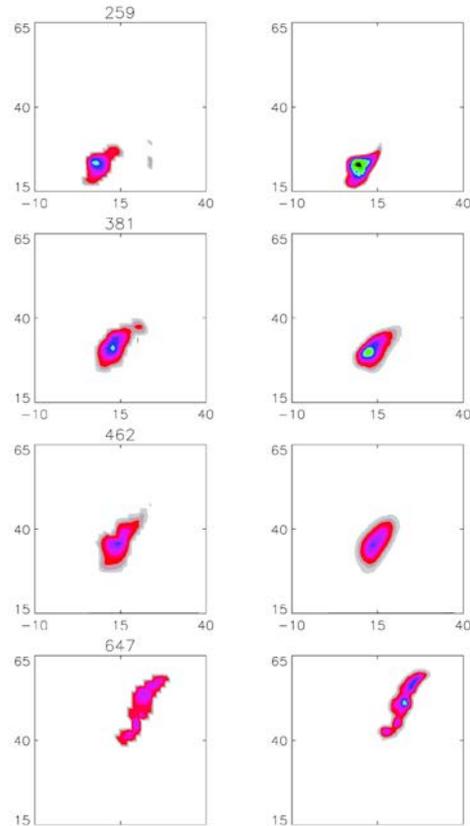
Patrones espaciales interesantes



paisajes deterministas complejos
...para ser explorados

Codificación de polución en el sitio Borden

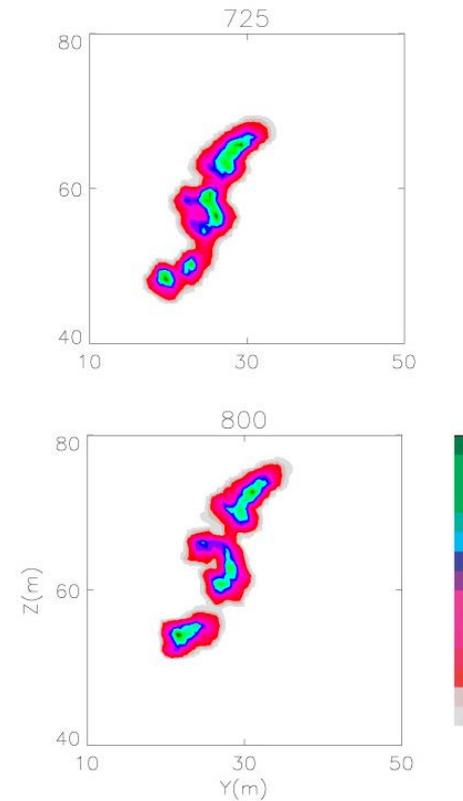
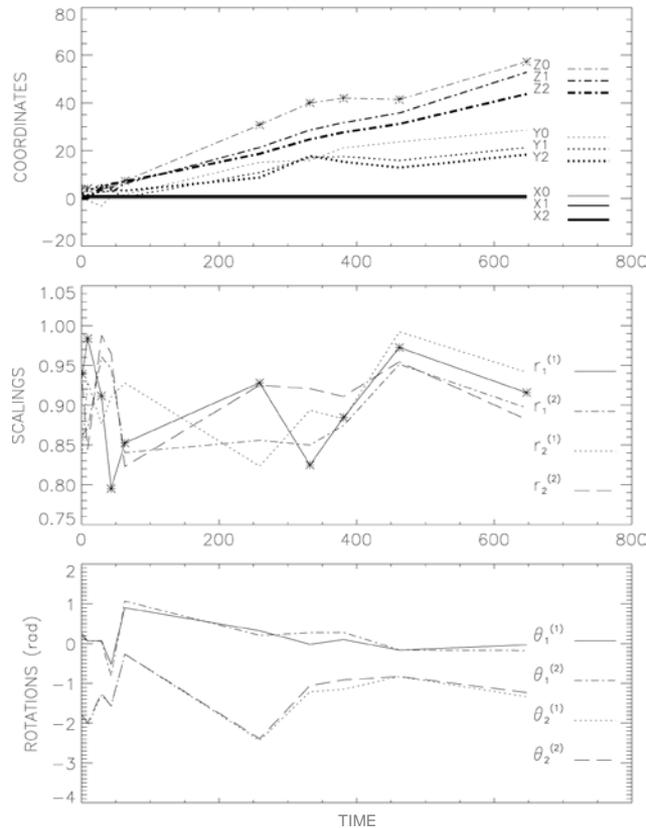
(Puentes et al. 2001)



observado (izquierda), usando alambres (derecha)

Codificación de polución en el sitio Borden

(Puentes et al. 2001)



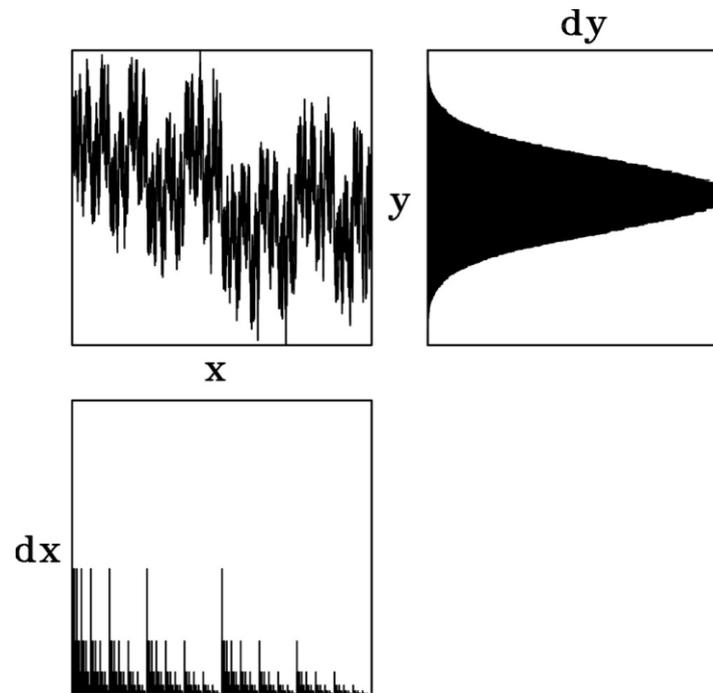
tendencias en parámetros FM y predicciones

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.
- 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.

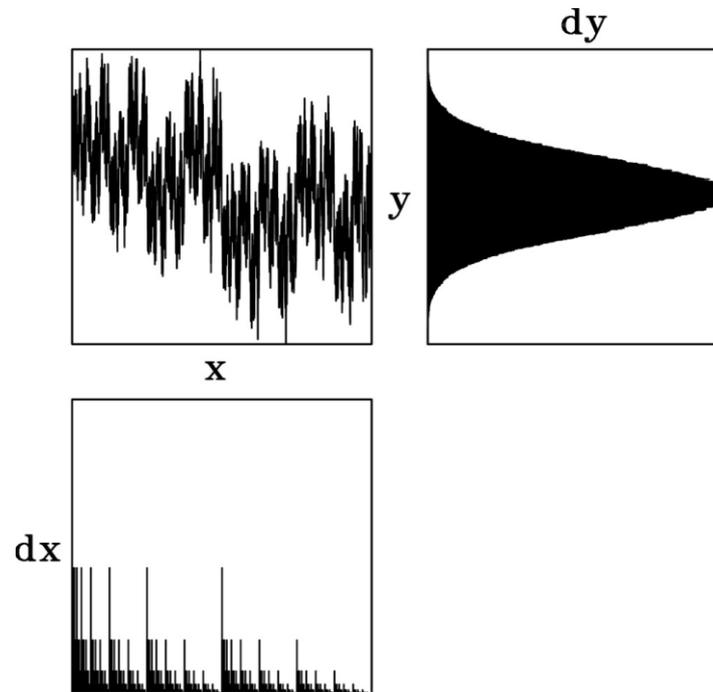
El límite en el caso + -

(Puenta et al. 1996)



El límite en el caso + -

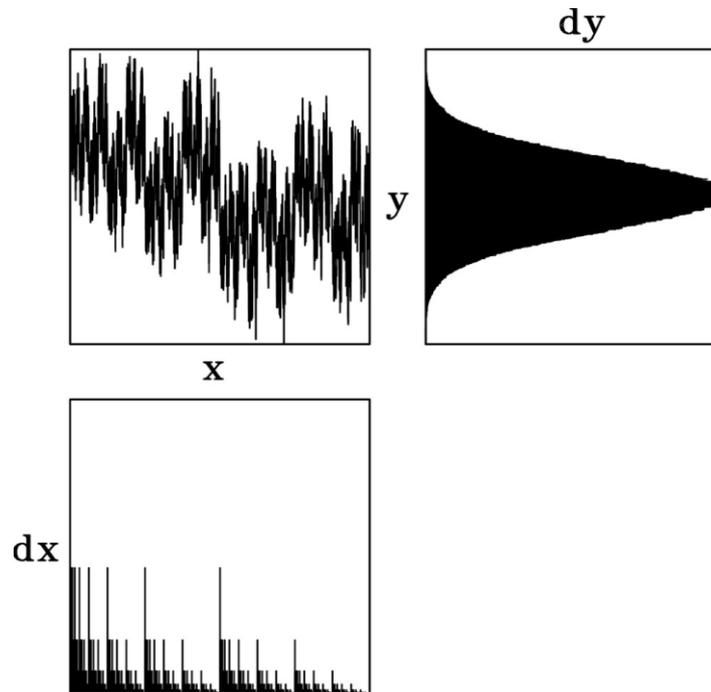
(Puede et al. 1996)



dy es una **campana** Gaussiana, para **cualquier** dx no-discreto

El límite en el caso + -

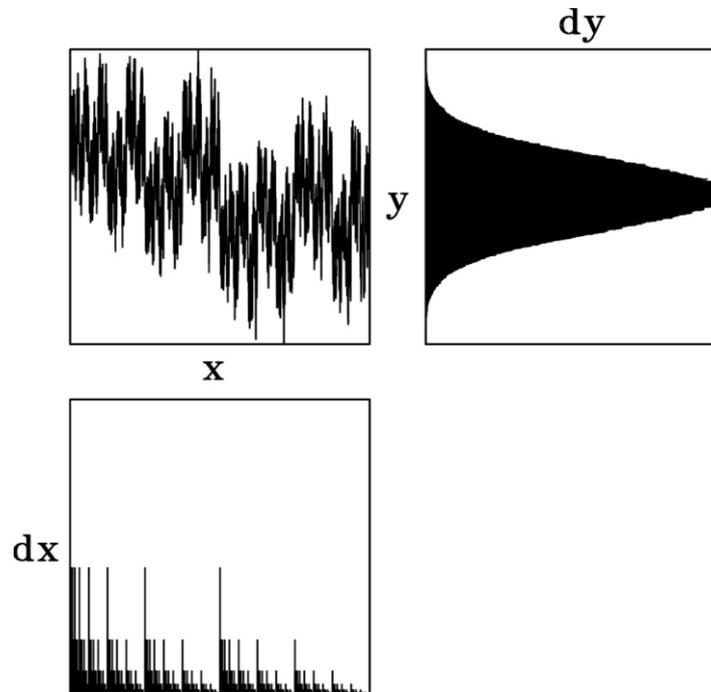
(Puede et al. 1996)



dy es una **campana** Gaussiana, para **cualquier** dx no-discreto existe un puente inesperado entre la **disipación** y la **conducción**

El límite en el caso + –

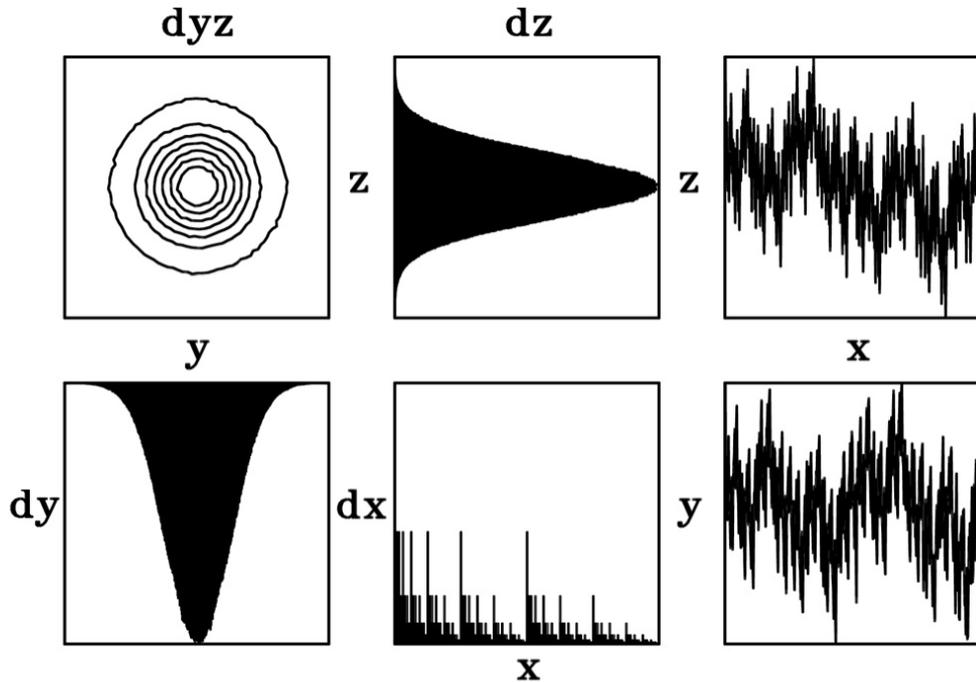
(Puede et al. 1996)



dy es una **campana** Gaussiana, para **cualquier** dx no-discreto existe un puente inesperado entre la **disipación** y la **conducción**
el **caso** – – da oscilaciones entre dos campanas

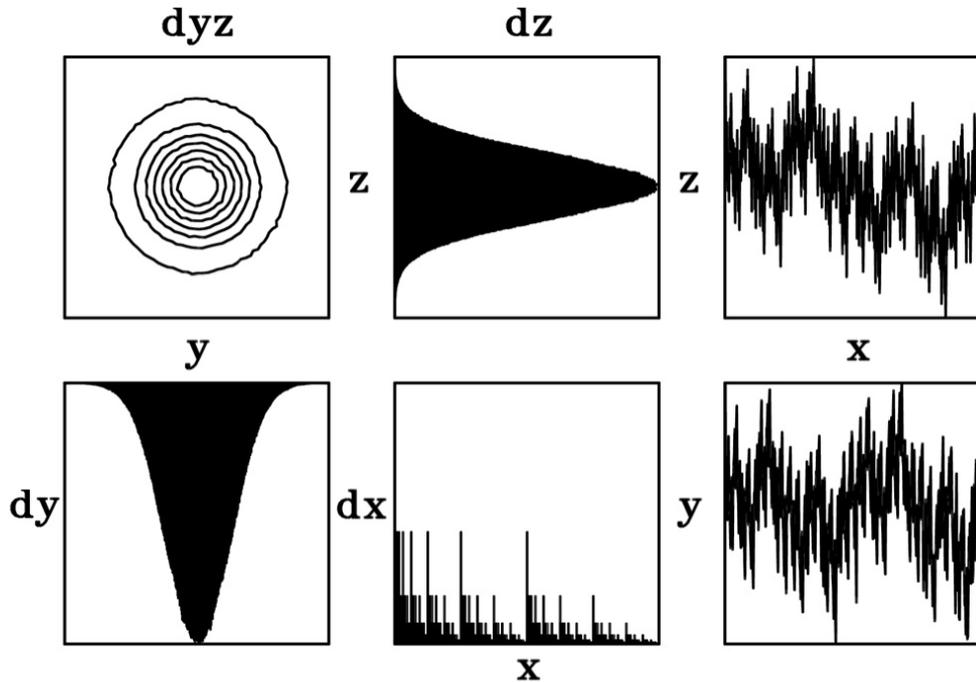
¡Gaussianas por todas partes!

(Puente y Klebanoff 1994)



¡Gaussianas por todas partes!

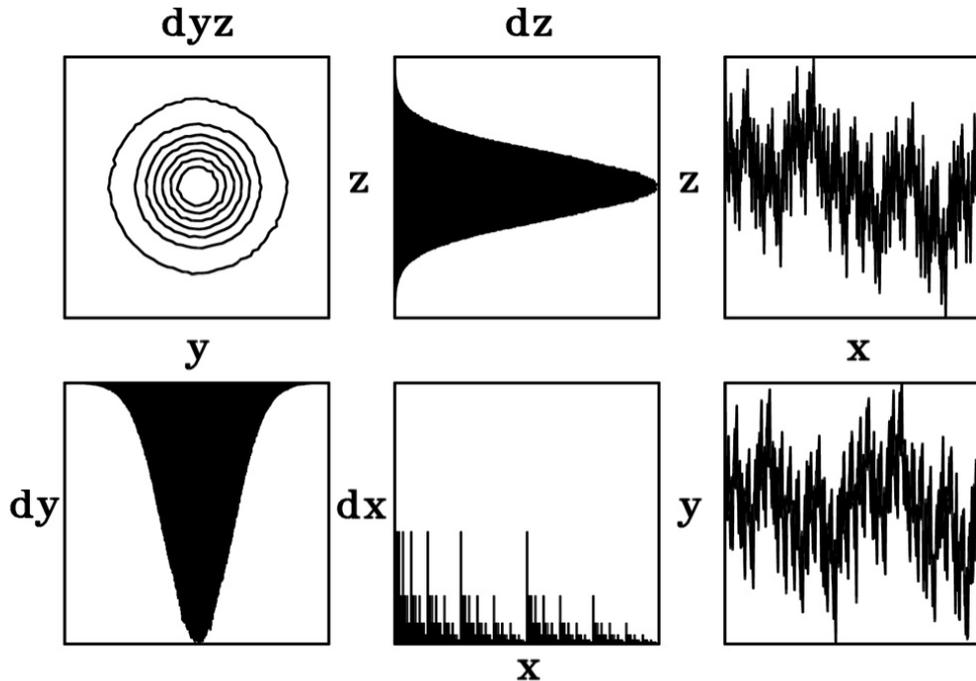
(Puente y Klebanoff 1994)



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

¡Gaussianas por todas partes!

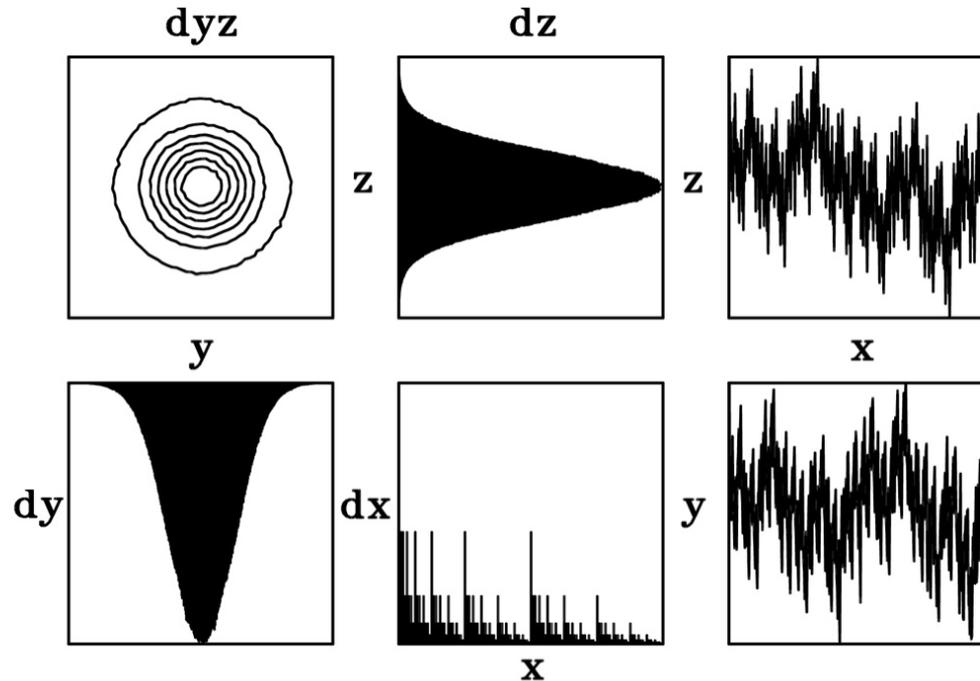
(Puente y Klebanoff 1994)



también hay campanas **elípticas** y **oscilaciones** entre campanas
porciones de los alambres también definen campanas, *ad infinitum*

¡Gaussianas por todas partes!

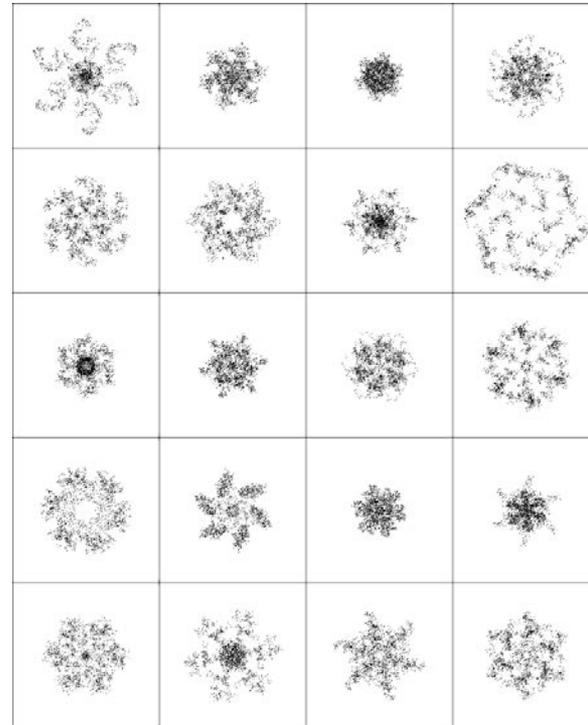
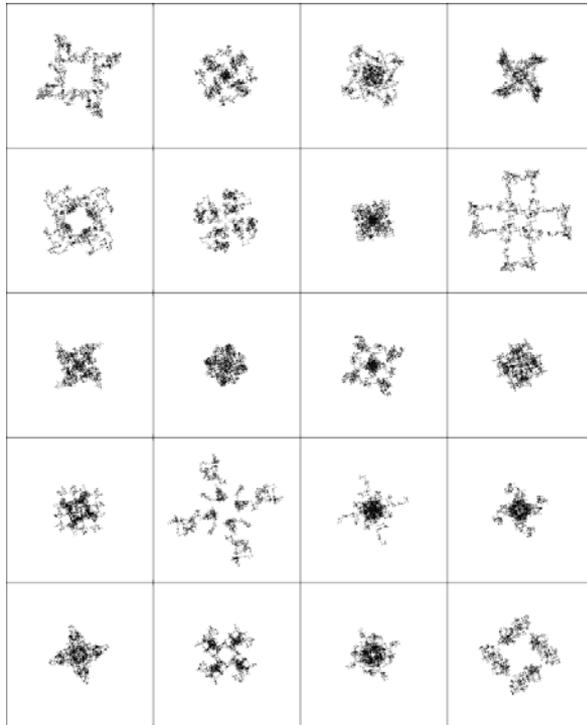
(Puente y Klebanoff 1994)



también hay campanas **elípticas** y **oscilaciones** entre campanas
porciones de los alambres también definen campanas, *ad infinitum*
la prueba para el caso multi-dimensional no se conoce, pero...

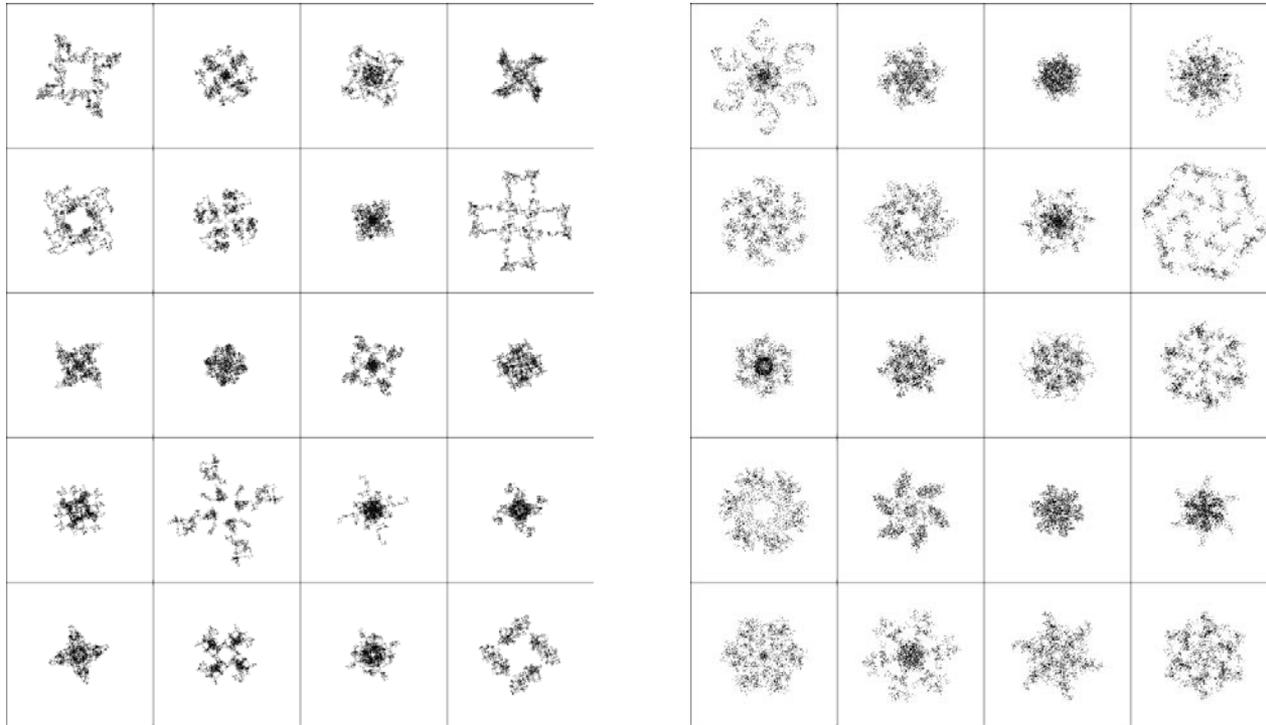
Tesoros dentro de la campana

(Puente 2003)



Tesoros dentro de la campana

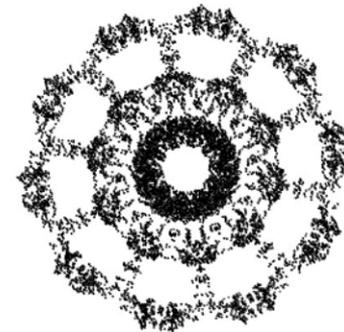
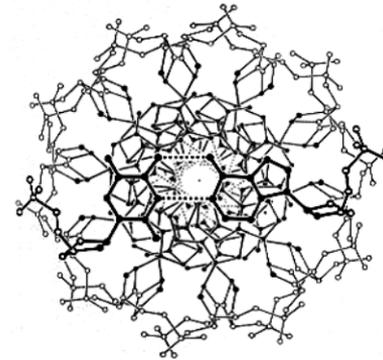
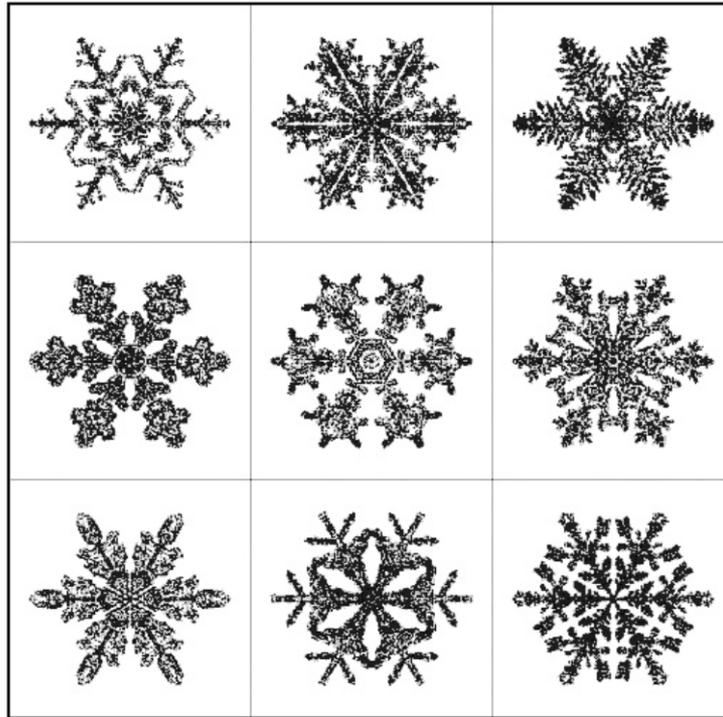
(Puente 2003)



la superposición de una multitud de patrones da **círculos perfectos**
en el límite que llena el espacio existe un **orden** oculto en el **azar**

Diseños dentro de la campana

(Puente 2003)

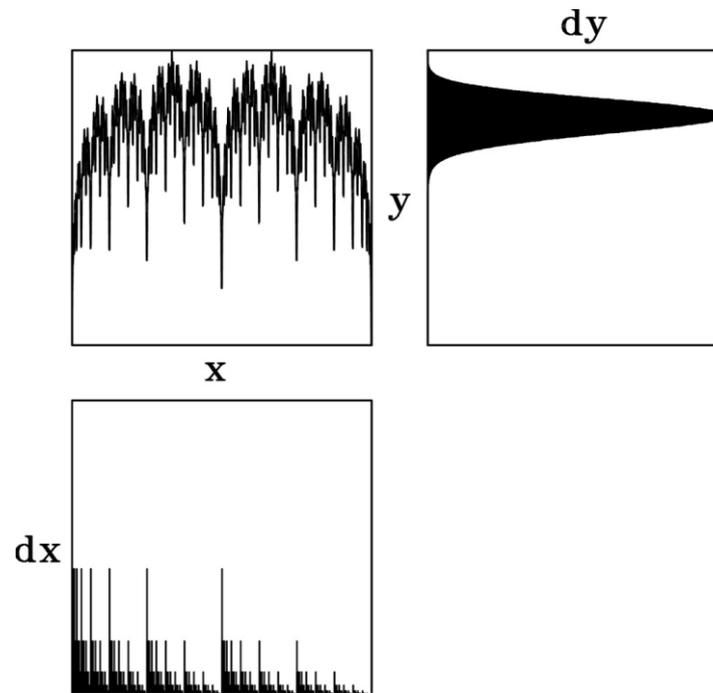


cristales de hielo arbitrarios generados como alefs *Borgianos*

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

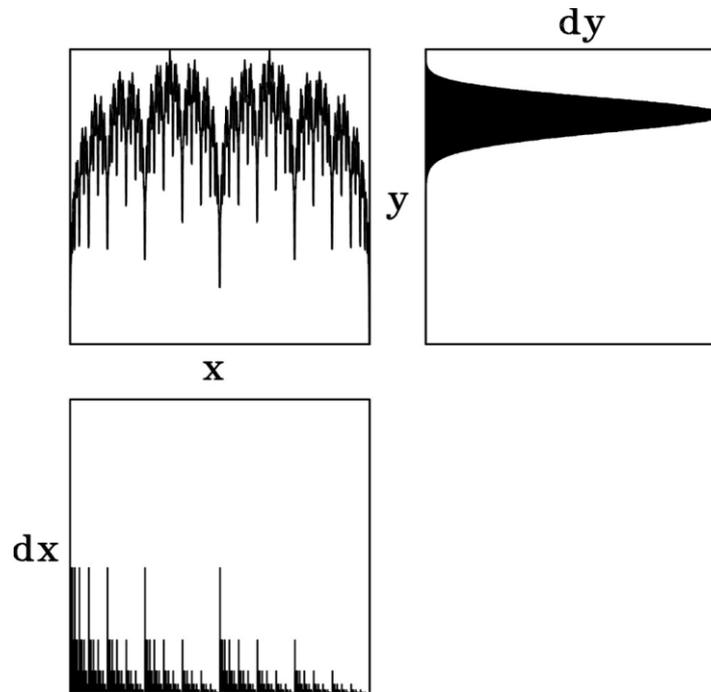
El límite en el caso ++

(Puente 2011)



El límite en el caso ++

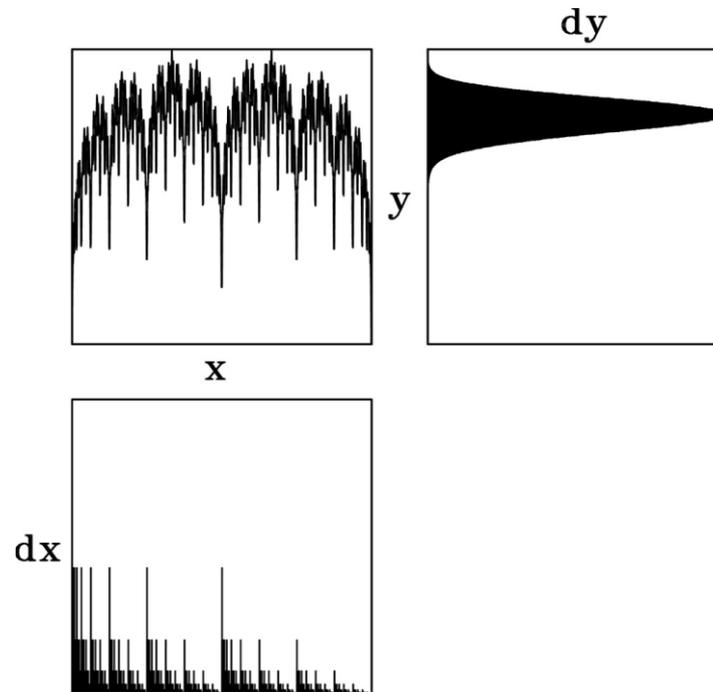
(Puente 2011)



una campana no-entrópica **vital** concentrada en el **infinito**

El límite en el caso ++

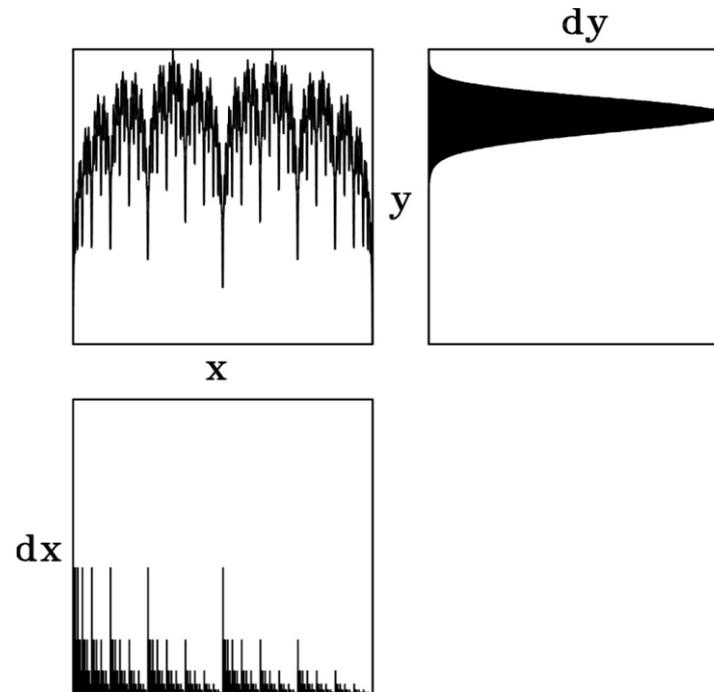
(Puente 2011)



una campana no-entrópica **vital** concentrada en el **infinito**
el alambre **más positivo** filtra casi cualquier desorden

El límite en el caso ++

(Puente 2011)



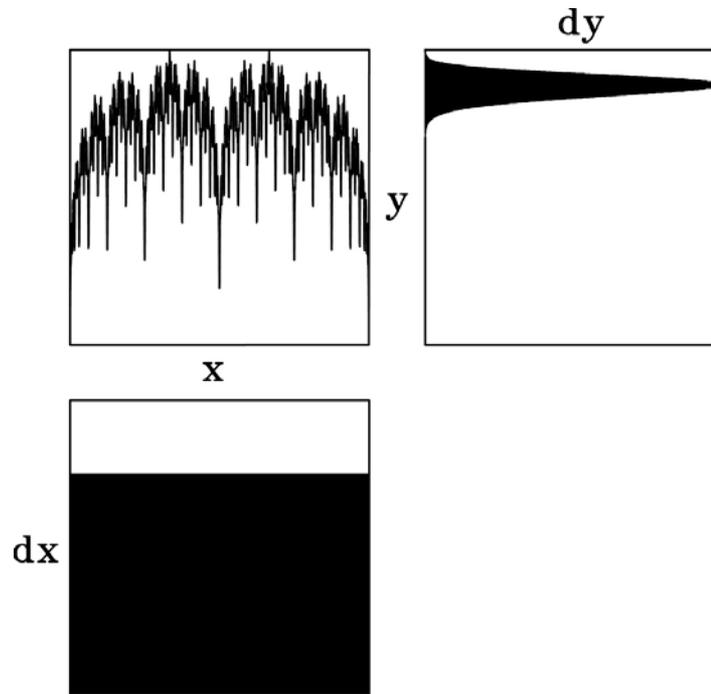
una campana no-entrópica **vital** concentrada en el **infinito**

el alambre **más positivo** filtra casi cualquier desorden

¿dónde está, oh muerte, tu victoria?

Los tres poderosos

(Puente 2011)



llenando los valles y cortando los montes
una transformación siempre positiva y unitiva
el siempre conductor en la localización superior

El antídoto

De x a y

cual flujo del más,
oh éxodo a lo eterno,
dejando polvo atrás.

De x a y

oh verso eficaz,
oh cruz de lo cierto,
por siempre capaz.

De x a y

sólo un pedacito,
unido a la esencia,
oh regalo bendito.

De x a y

oh vellón infinito,
la paz es su ciencia,
sin espinas ni grito.

De x a y

singular la medida,
oh sinfonía de unidad
ya todito en la fila.

De x a y

al romper embeleso,
sencillez inefable,
al infierno no ingreso.

De x a y

por la santa meseta,
inmunidad ardiente,
oh camino a la meta.

De x a y

oh existencia trina,
claridad omnipotente,
oh campana divina.

LA HIGUERA & LA CAMPANA

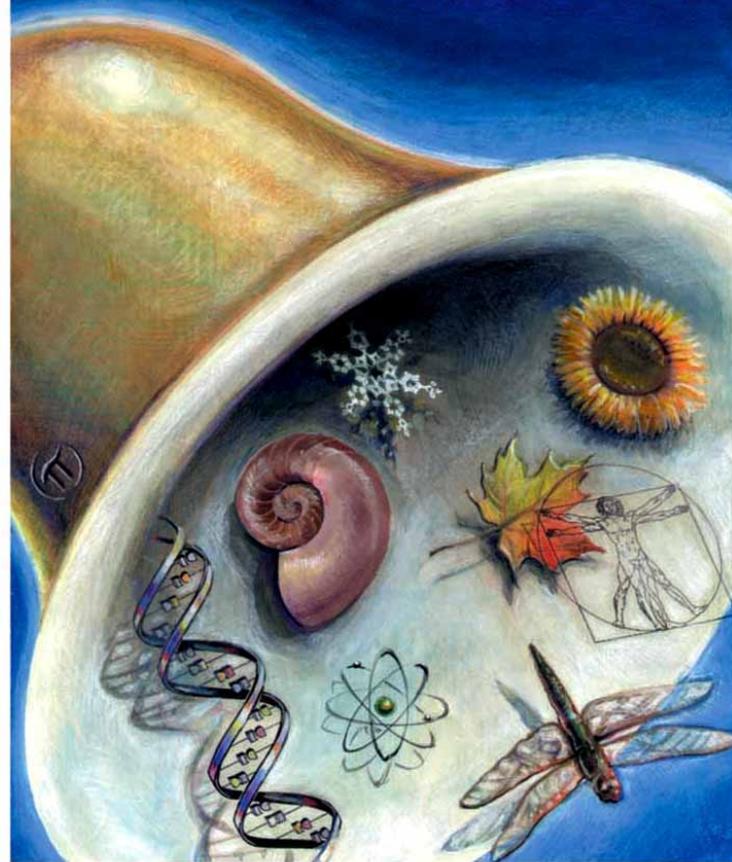
Carlos E. Puente



CAOS
COMPLEJIDAD
CRISTIANDAD

TREASURES INSIDE THE BELL

HIDDEN ORDER IN CHANCE



CARLOS E. PUENTE