

**Simulación de datos hidrológicos
mediante fractales
para investigar el cambio climático**

Carlos E. Puente

University of California, Davis

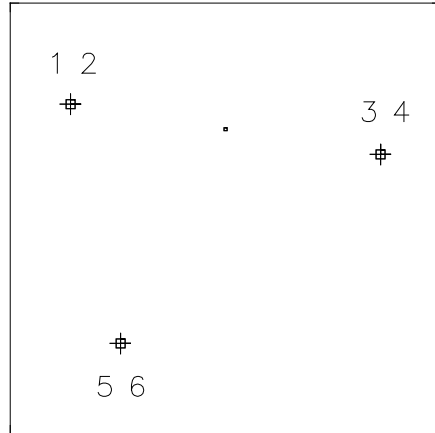
Contenido

- El método fractal-multifractal
- Codificación de la lluvia
- Simulación y desagregación de la lluvia
- Codificación de caudales
- Clasificación y predicción de caudales
- Desagregación de caudales
- Conclusiones y colaboración potencial
- Codificación de temperatura

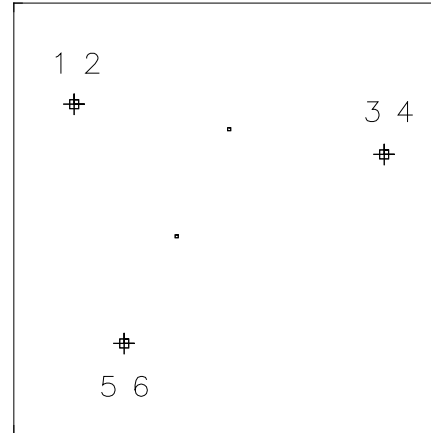
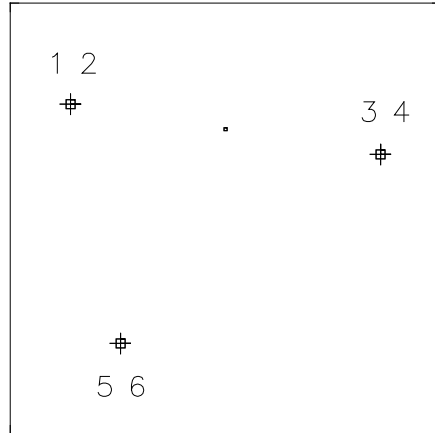
Contenido

- **El método fractal-multifractal**
- Codificación de la lluvia
- Simulación y desagregación de la lluvia
- Codificación de caudales
- Clasificación y predicción de caudales
- Desagregación de caudales
- Conclusiones y colaboración potencial
- Codificación de temperatura

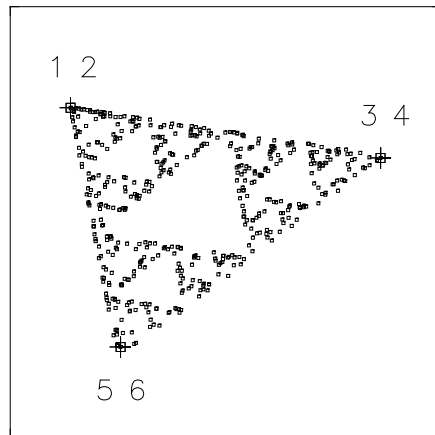
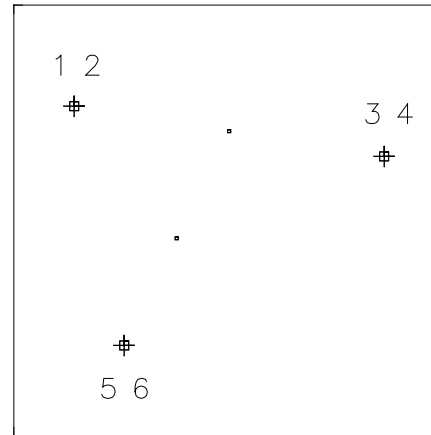
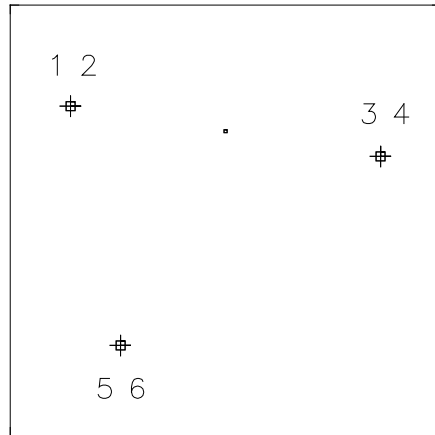
El juego del caos



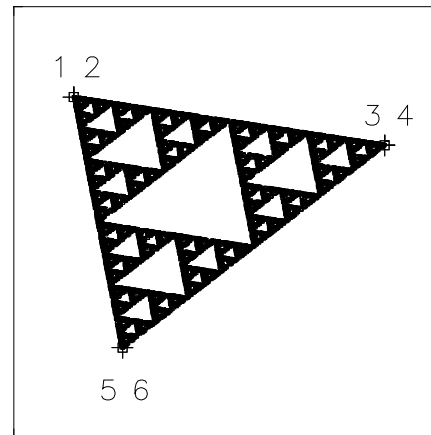
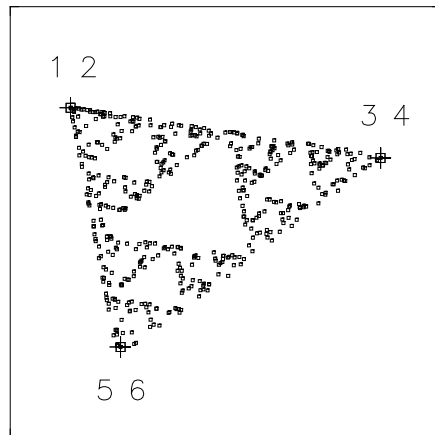
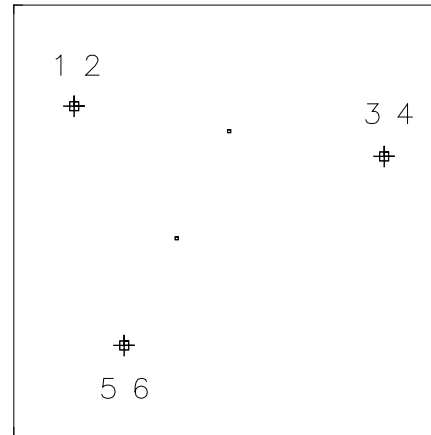
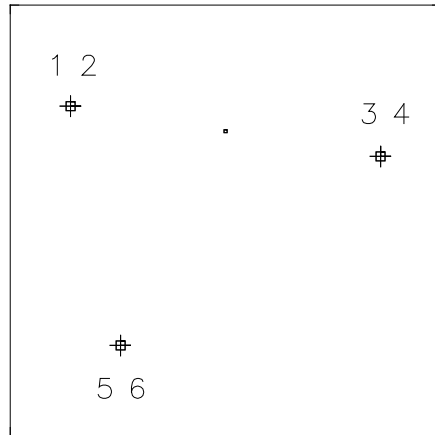
El juego del caos



El juego del caos



El juego del caos



un fractal

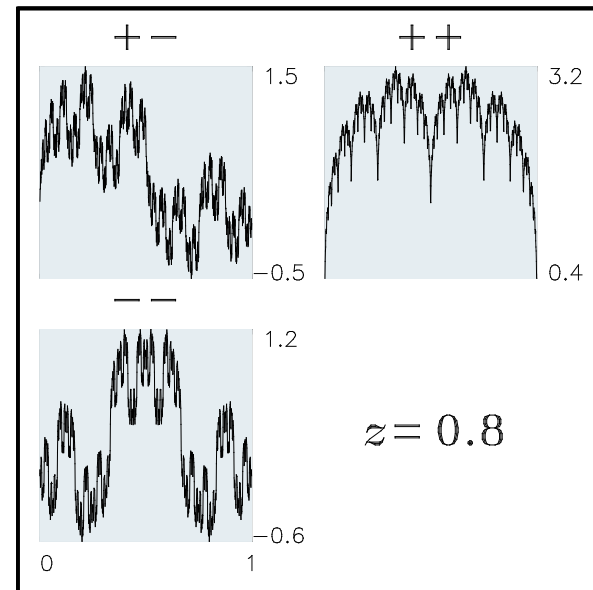
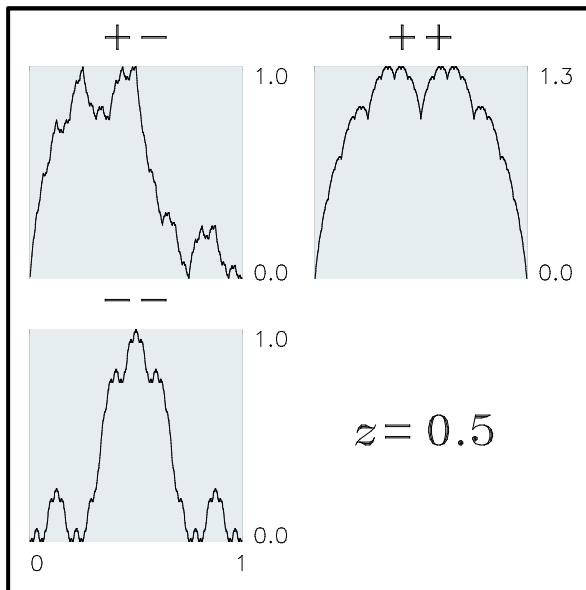
Con otras reglas y una moneda

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

Con otras reglas y una moneda

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

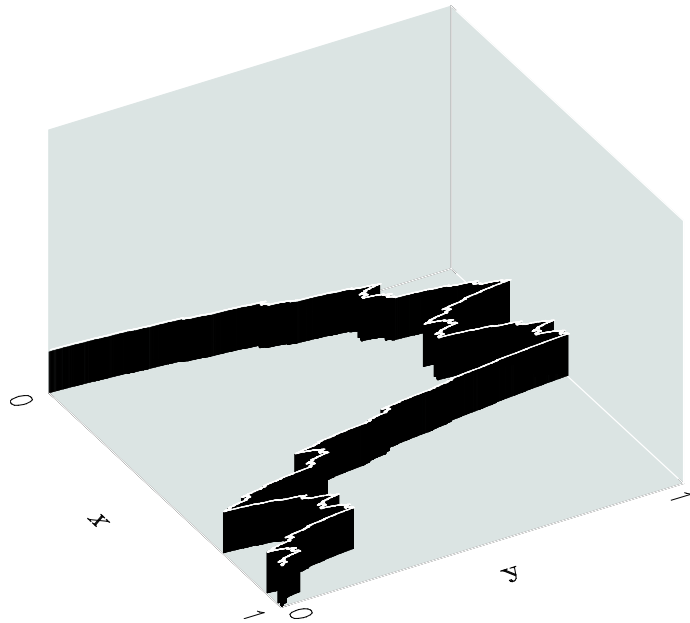
$$z = |d_1| = |d_2|$$



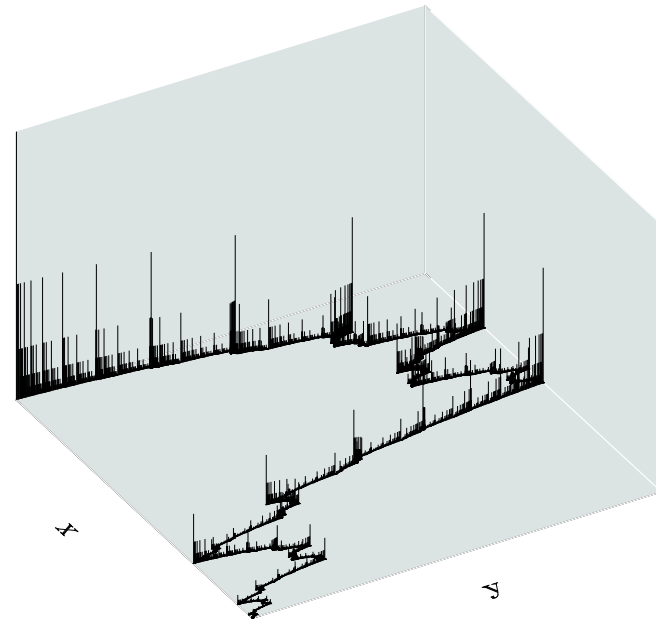
más fractales...

Usando monedas justas o sesgadas

50-50



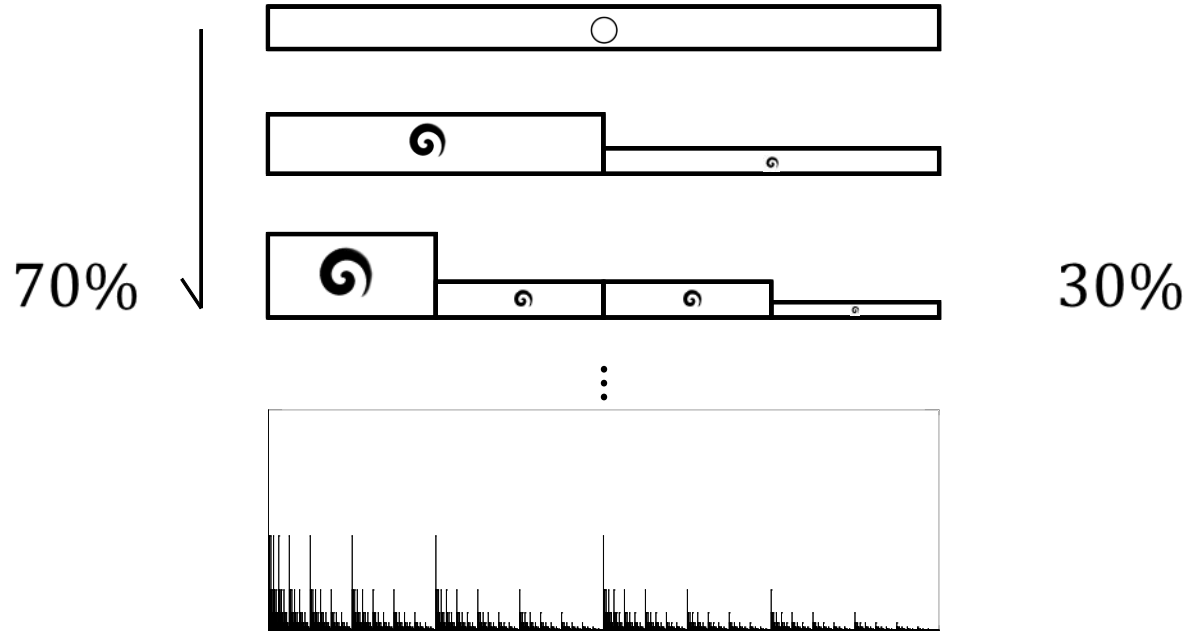
70-30



diferentes texturas sobre el mismo “alambre”

Desde x: una cascada turbulenta

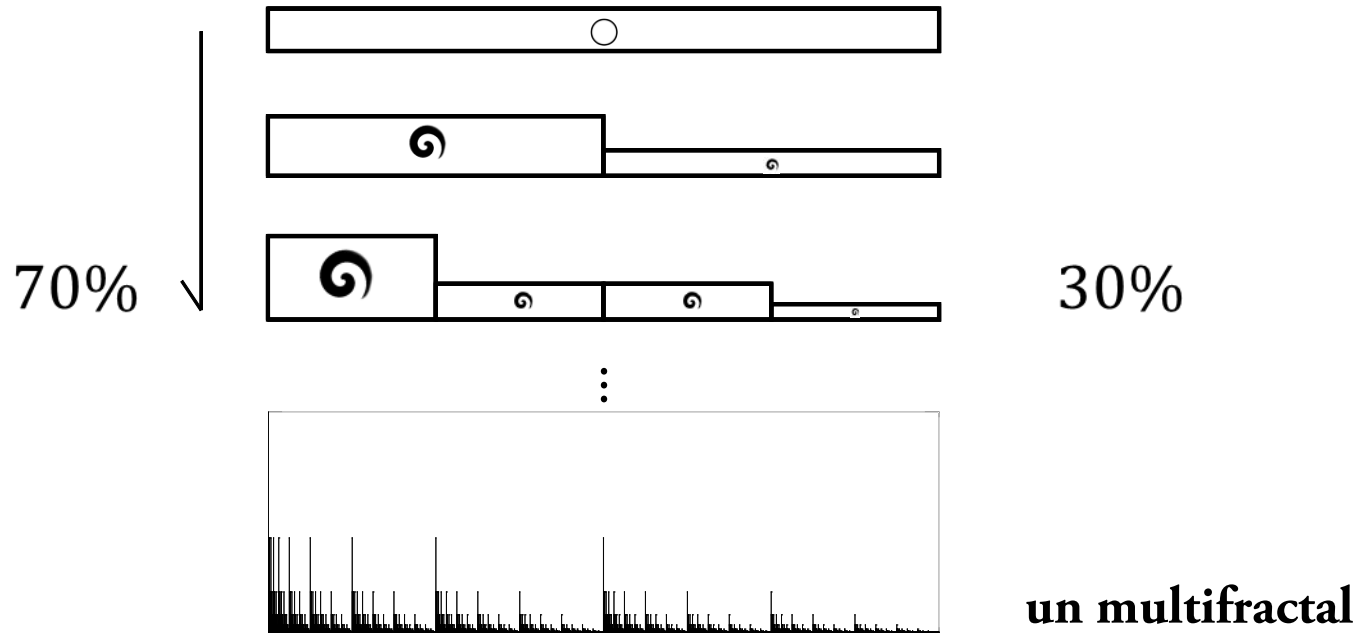
(Meneveau y Sreenivasan, 1987)



una secuencia de **remolinos** divide la energía **universalmente**

Desde x: una cascada turbulenta

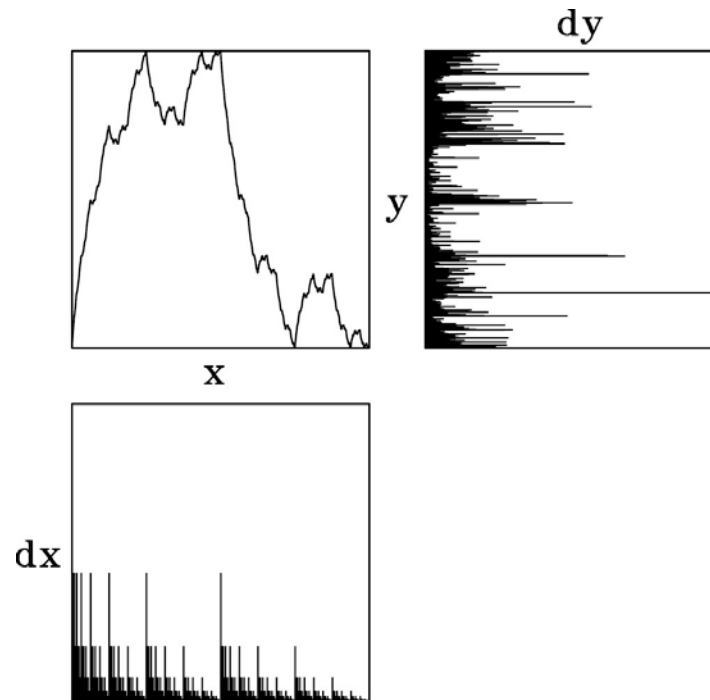
(Meneveau y Sreenivasan, 1987)



una secuencia de **remolinos** divide la energía **universalmente**
una colección de **espinas** entrelazadas que emanan de “**polvos**”

Desde y: una visión Platónica de la complejidad

(Puente, 1992, 1994)

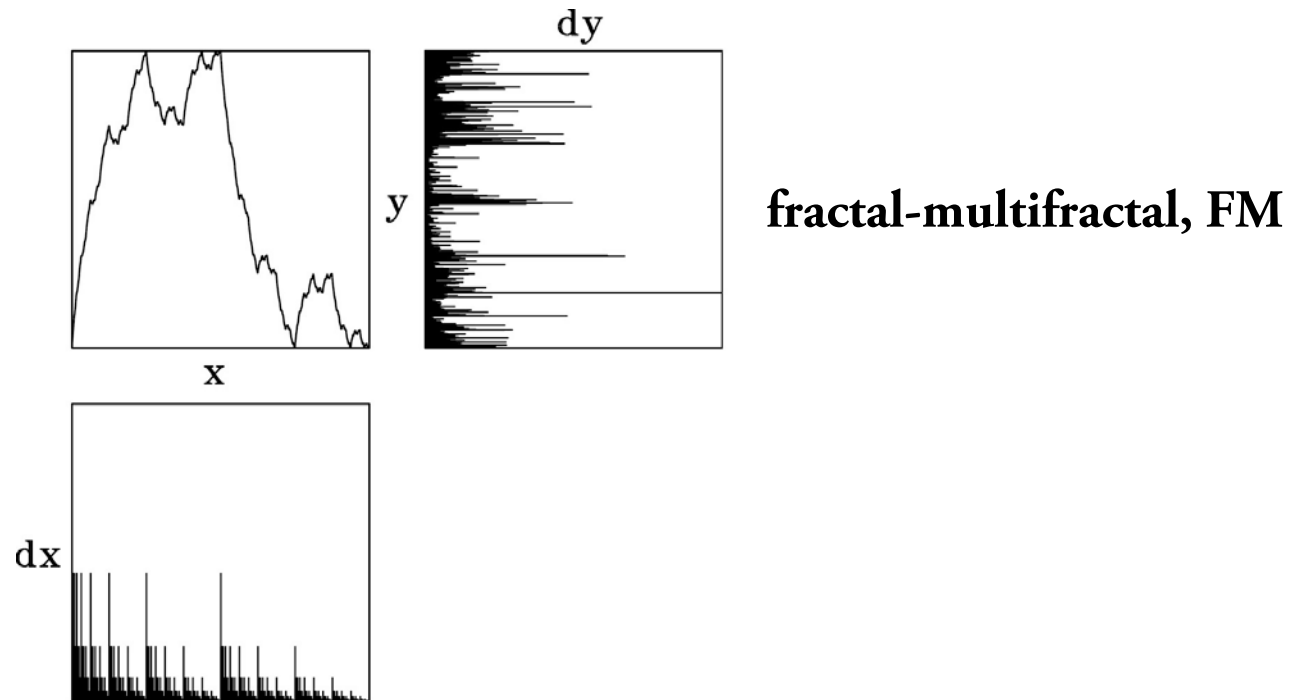


fractal-multifractal, FM

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

Desde y: una visión Platónica de la complejidad

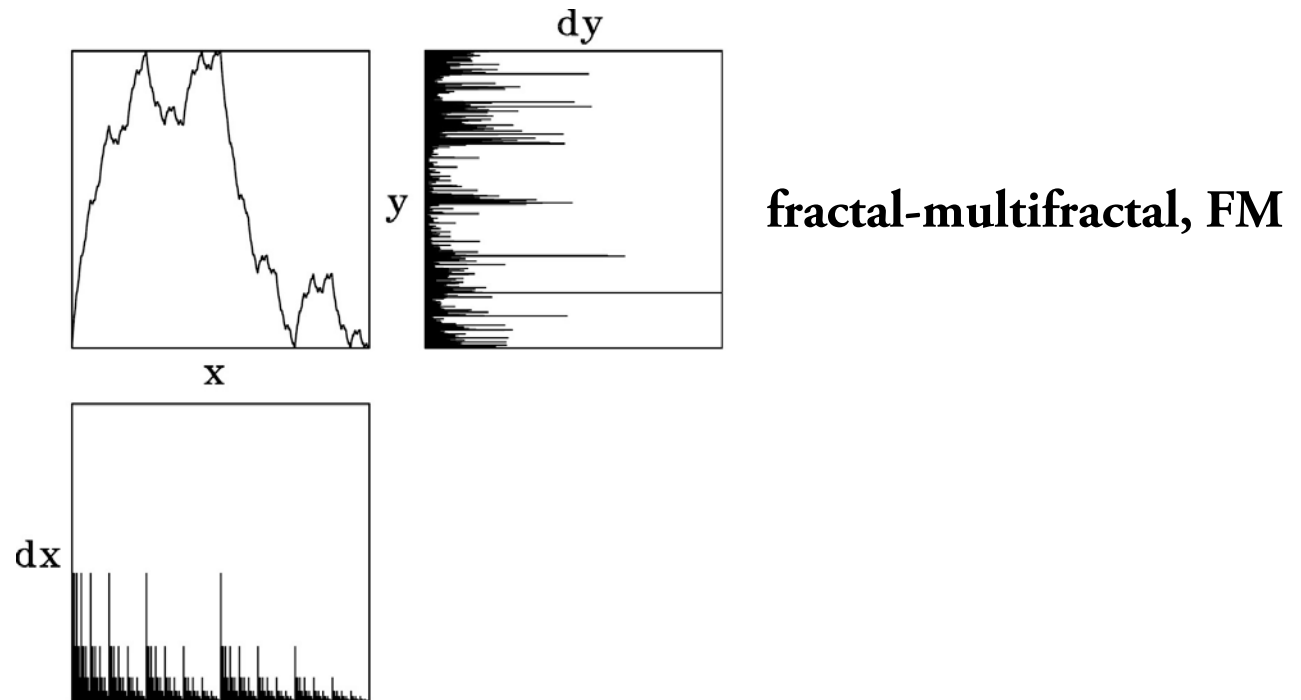
(Puente, 1992, 1994)



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

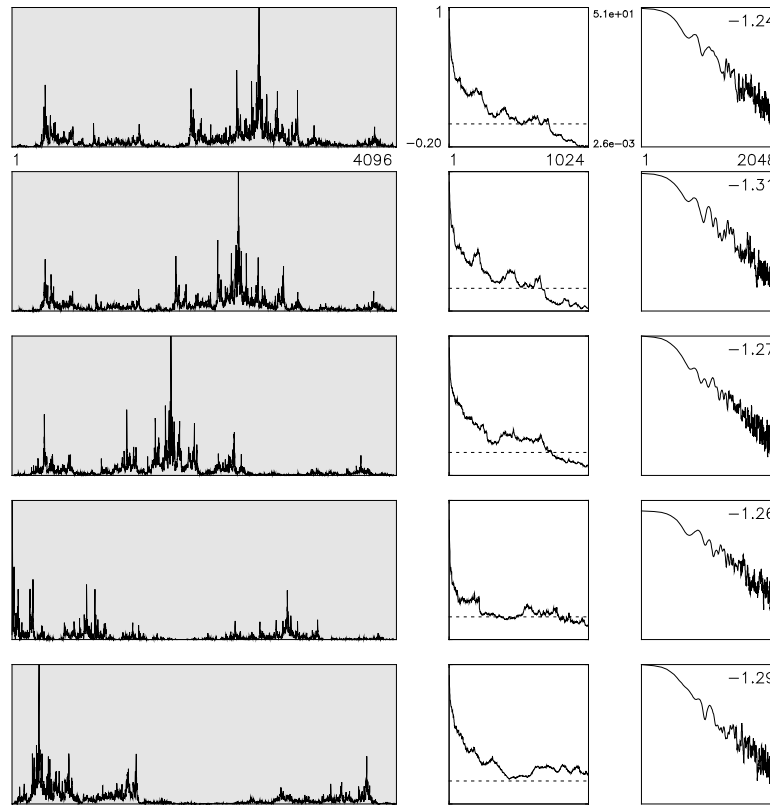
Desde y: una visión Platónica de la complejidad

(Puente, 1992, 1994)



dx es la “iluminación” del **alambre** y dy 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



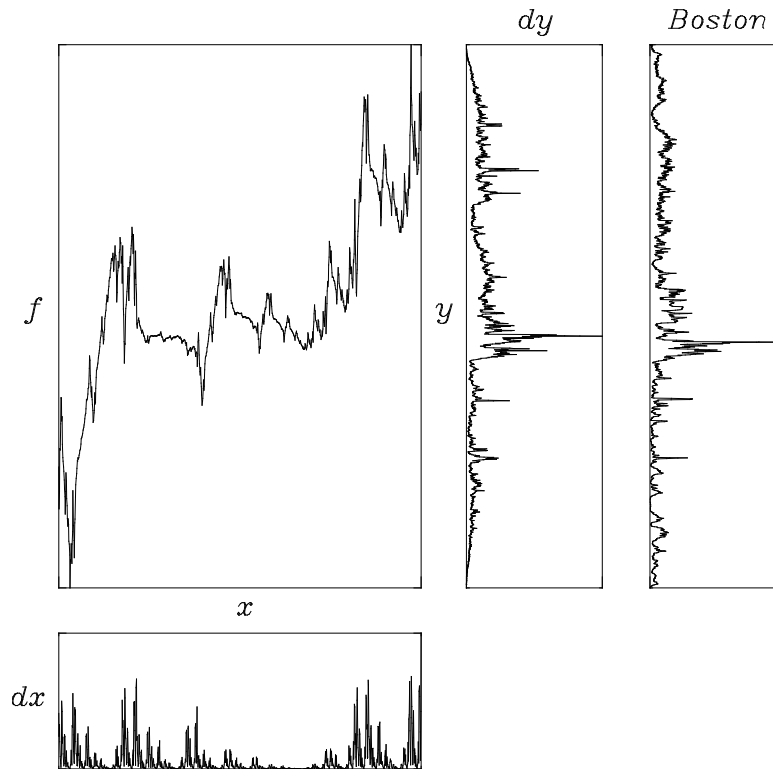
los datos complejos se modelan cual si fueran distribuciones
variando los parámetros de estadísticas similares a conjuntos **naturales**

Contenido

- El método fractal-multifractal
- **Codificación de la lluvia**
- Simulación y desagregación de la lluvia
- Codificación de caudales
- Clasificación y predicción de caudales
- Desagregación de caudales
- Conclusiones y colaboración potencial
- Codificación de temperatura

Codificación de una tormenta en Boston

(Puente y Obregón, 1996)

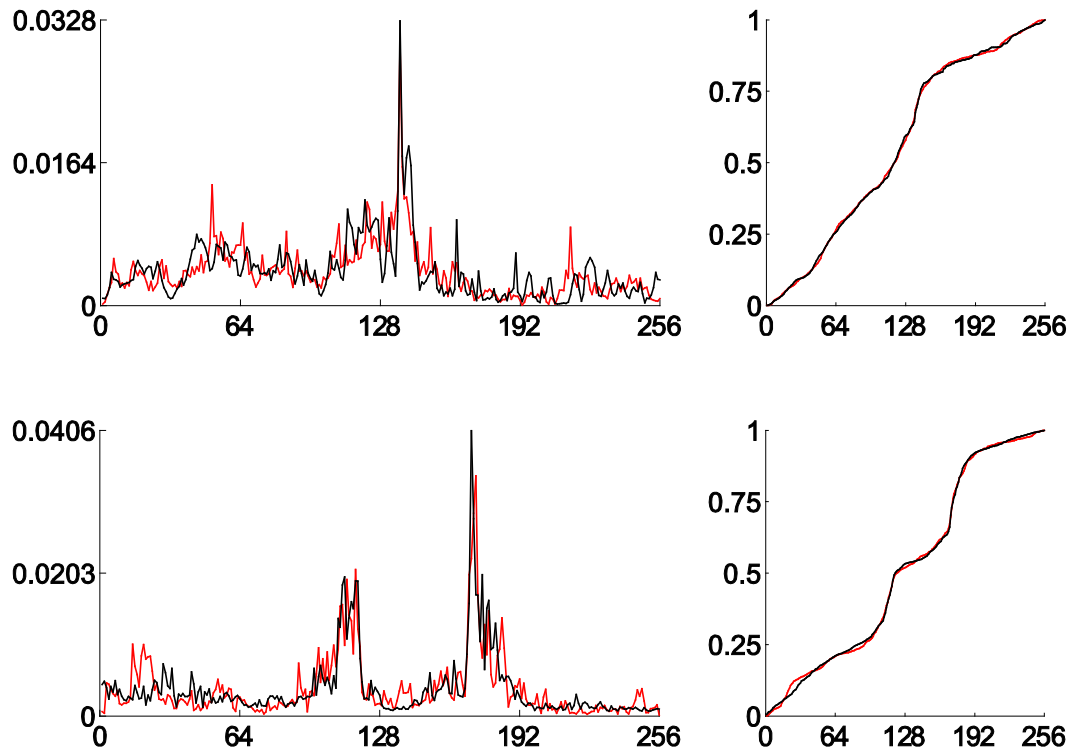


un modelo FM (centro) de datos reales (derecha)

el modelo preserva características **estadísticas** y **caóticas**

Codificación de una tormenta en Boston

(Puentes et al., 2010)

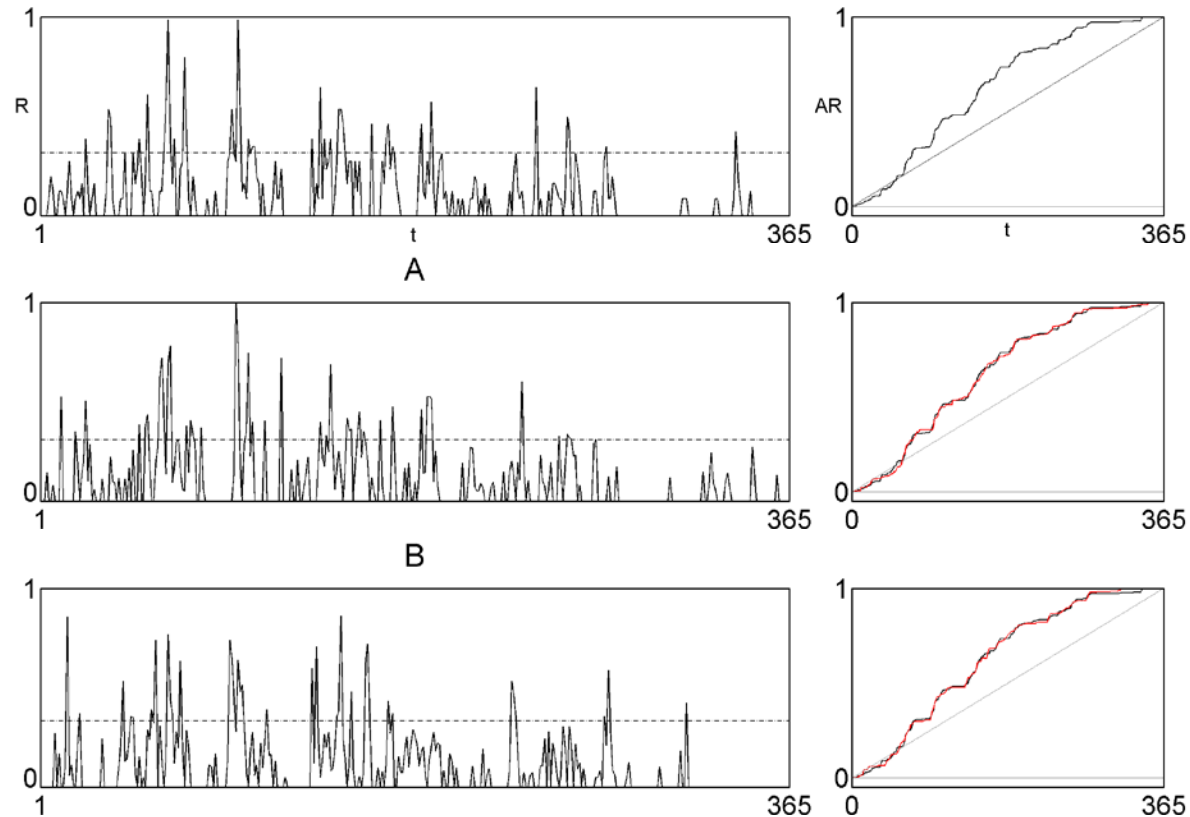


RMSEAR 0.7, 1.0%; MAXEAR 1.8, 2.1%

compresiones mayores de 350:1

Codificación de lluvia en Tinkham, WA

(Maskey et al., 2015)



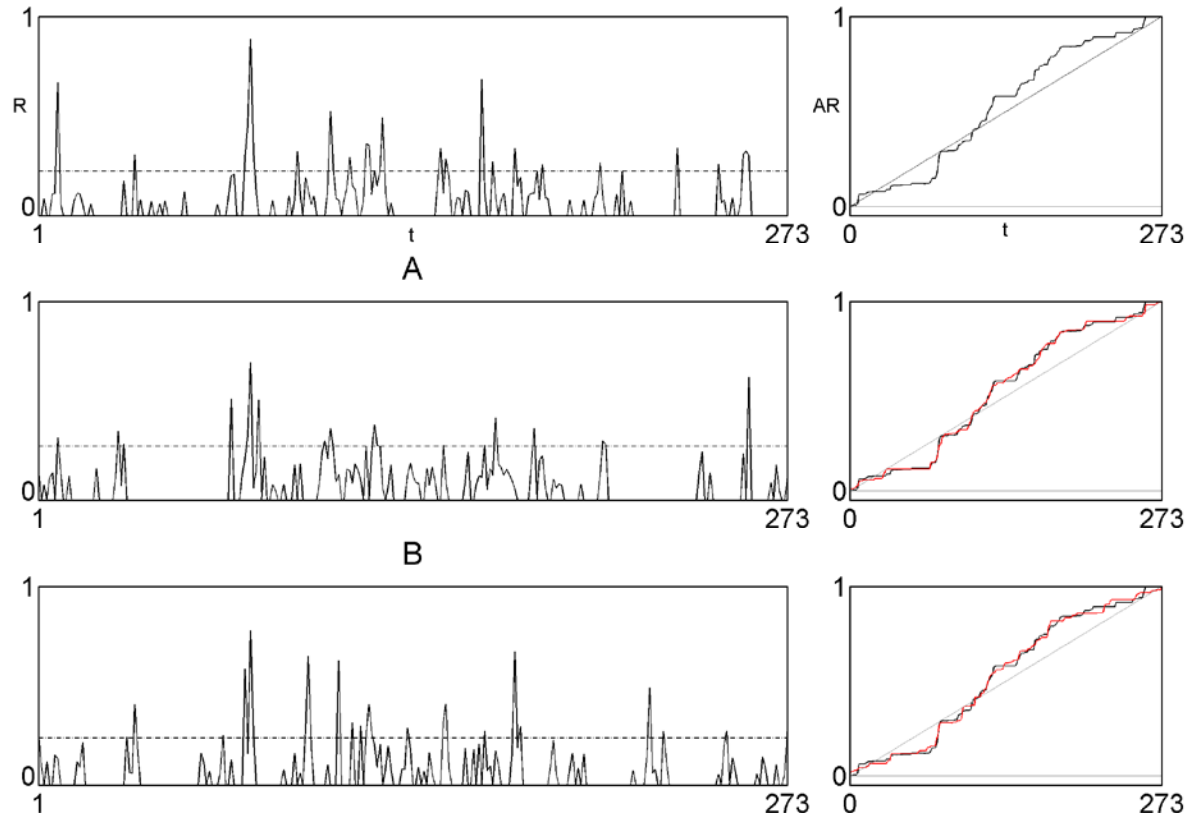
entrada Cantoriana
y umbral vertical

RMSEAR 1.1, 1.2%; MAXEAR 3.1, 2.7%

compresión 33:1

Codificación de lluvia en Laikakota, Bolivia

(Maskey et al., 2015)



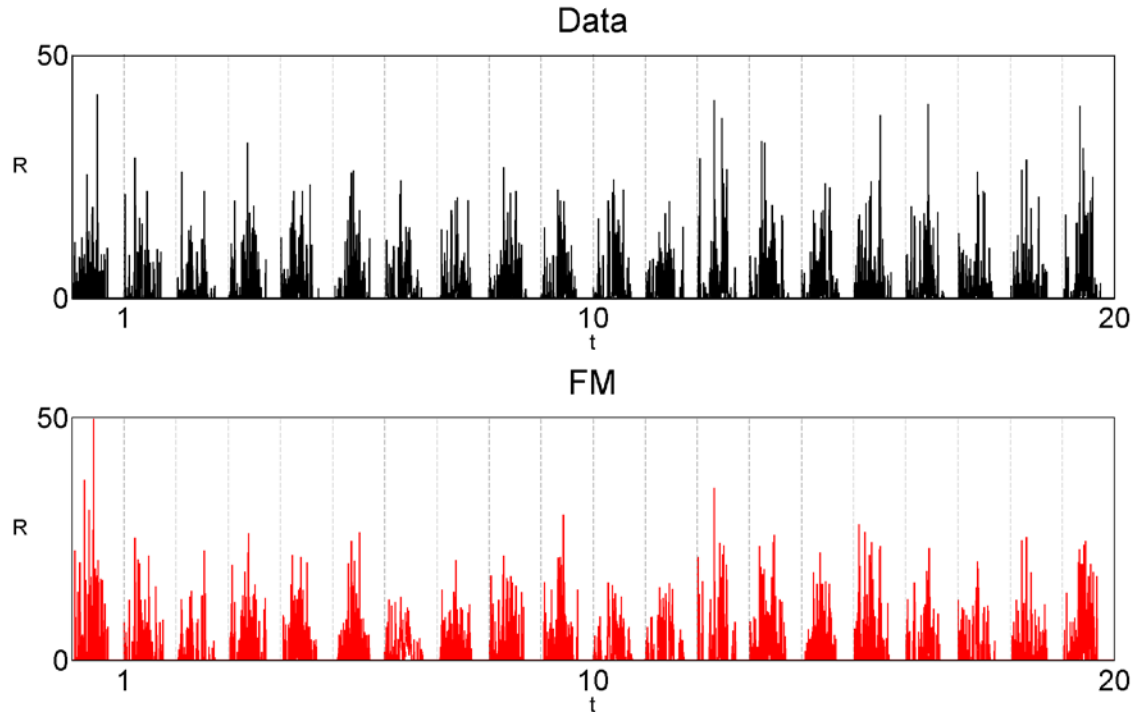
entrada Cantoriana
y umbral vertical

RMSEAR 1.4, 1.8%; MAXEAR 4.4, 3.5%

compresión 25:1

Codificación de lluvia en Laikakota, Bolivia

(Maskey et al., 2015)



entrada Cantoriana
y umbral vertical

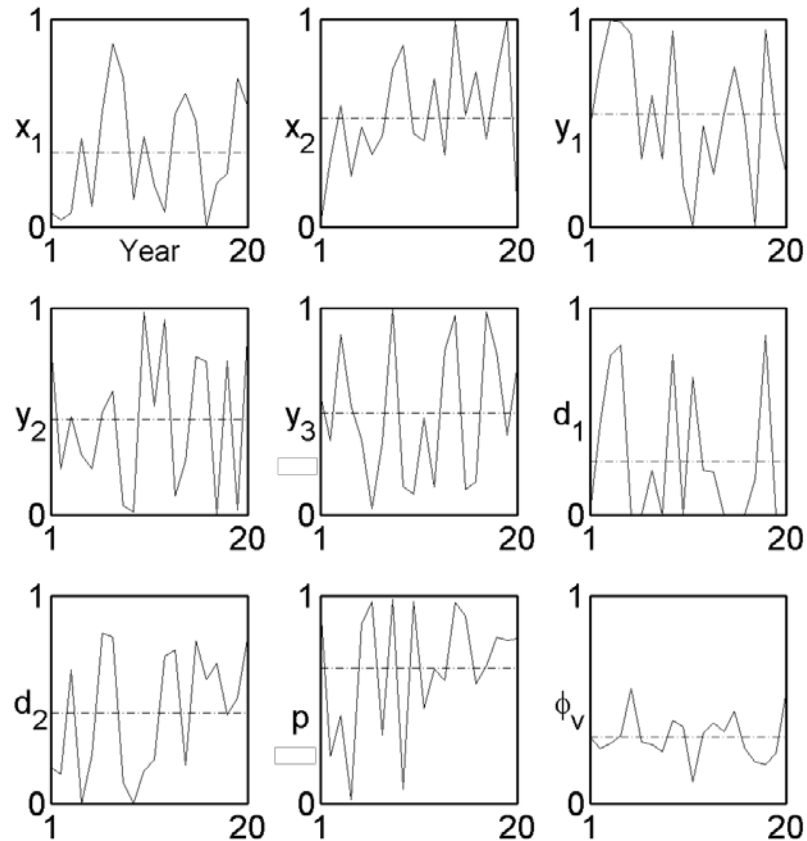
escala en mm/día

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

compresión 25:1

Dinámica de la lluvia en Laikakota, Bolivia

(Maskey et al., 2015)



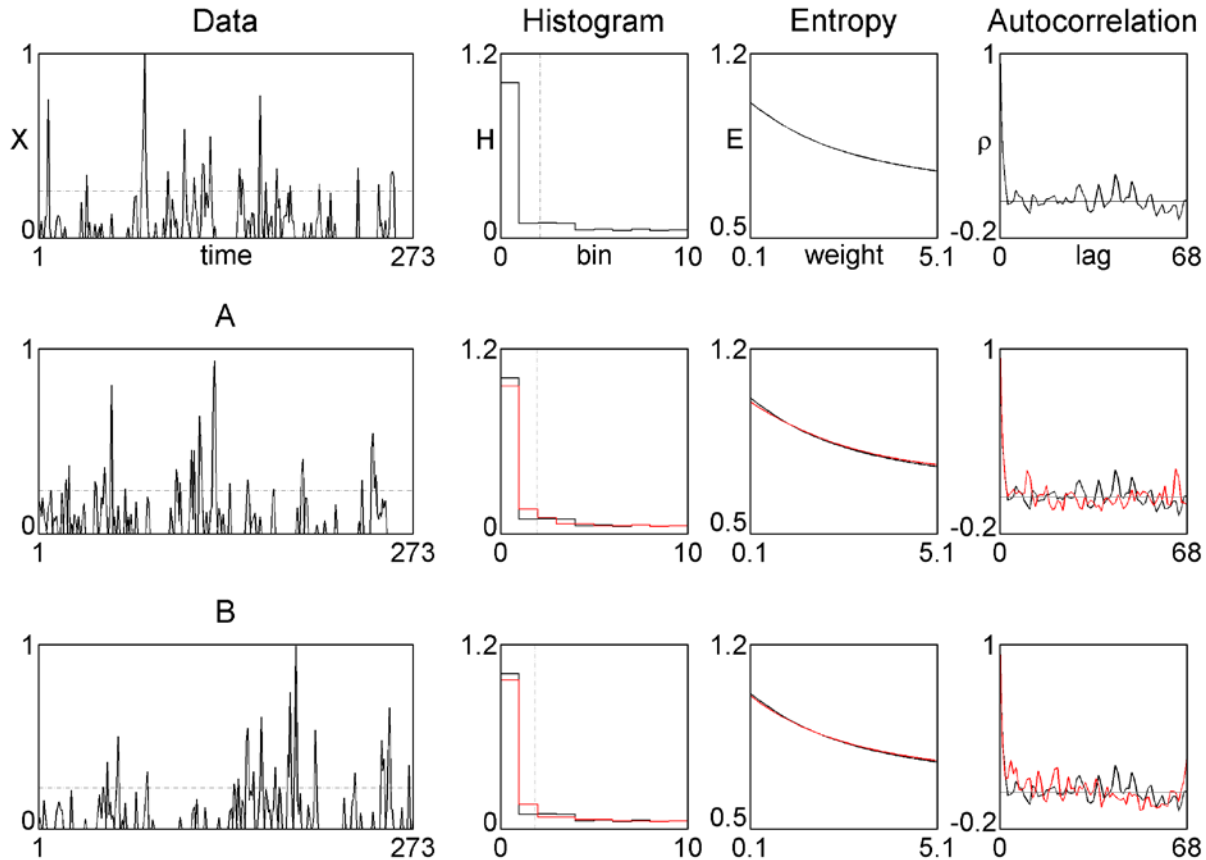
para estudiar la complejidad y el cambio climático, también temperatura...

Contenido

- El método fractal-multifractal
- Codificación de la lluvia
- **Simulación y desagregación de la lluvia**
- Codificación de caudales
- Clasificación y predicción de caudales
- Desagregación de caudales
- Conclusiones y colaboración potencial
- Codificación de temperatura

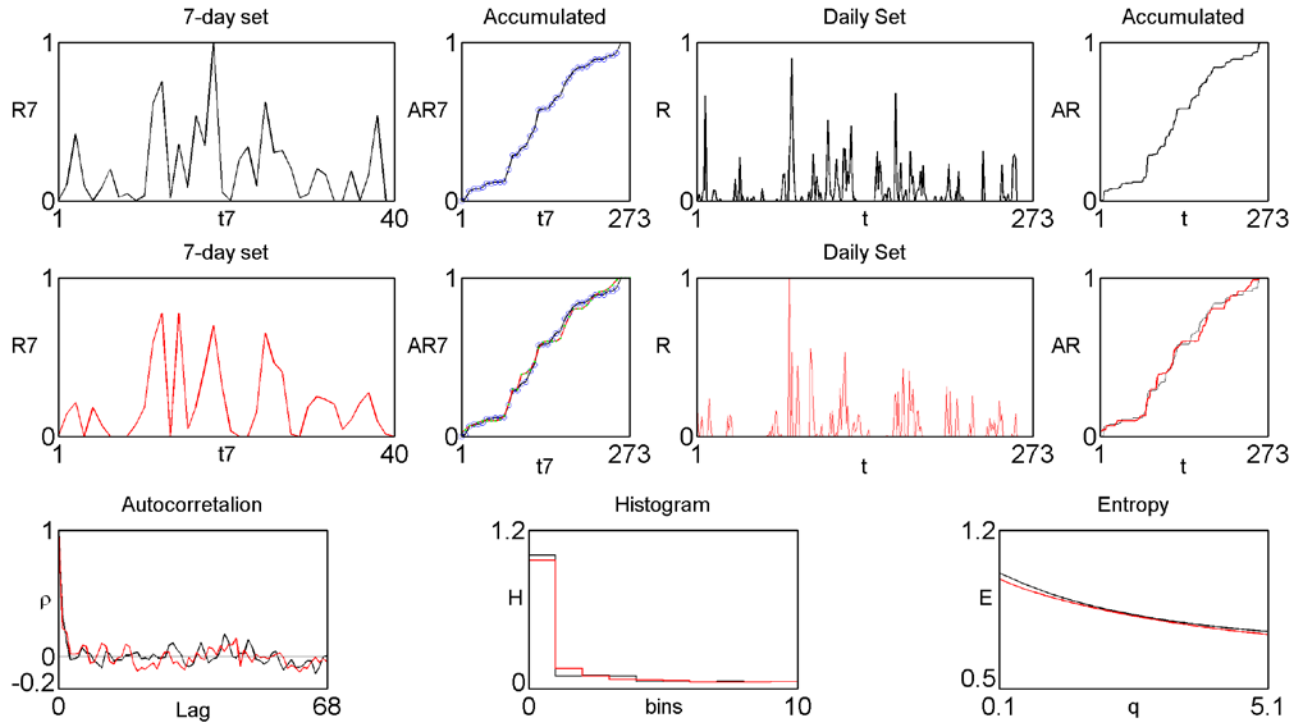
Simulación de lluvia en Laikakota, Bolivia

Basado en histograma, entropía y ceros consecutivos



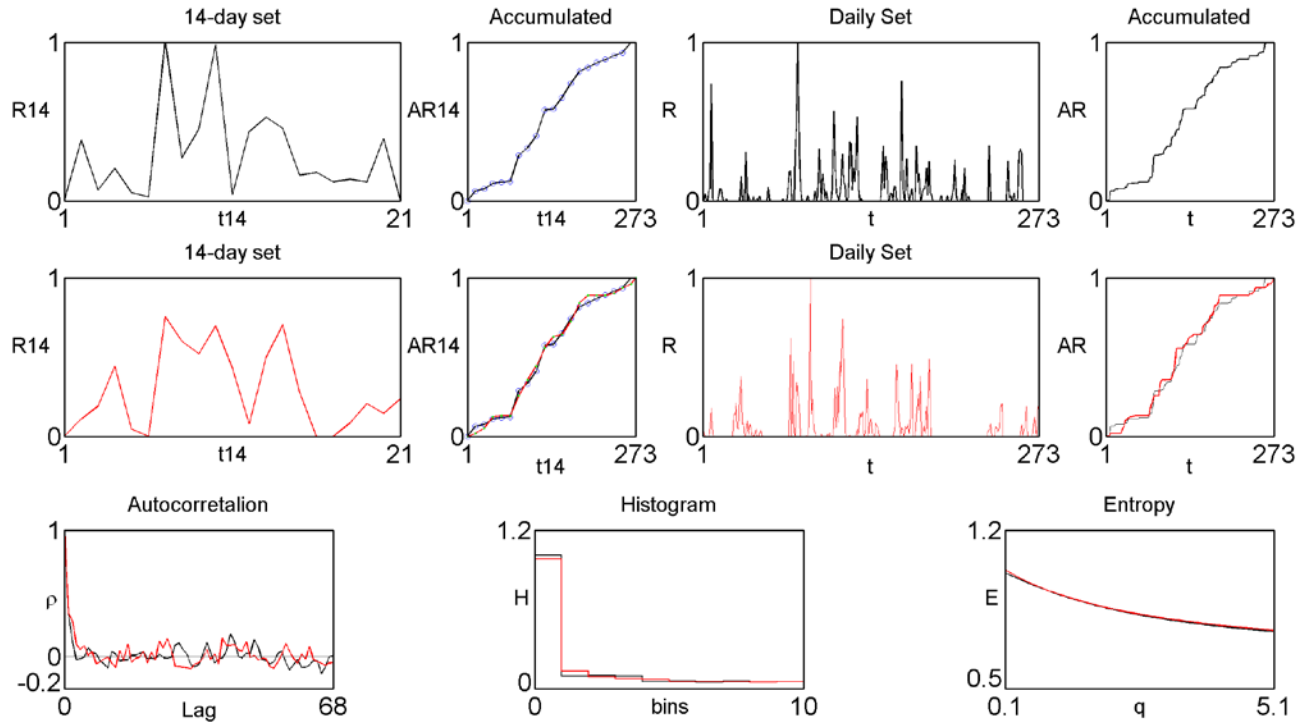
Desagregación de lluvia en Laikakota, Bolivia

Basado en datos acumulados cada 7 días



Desagregación de lluvia en Laikakota, Bolivia

Basado en datos acumulados cada 14 días

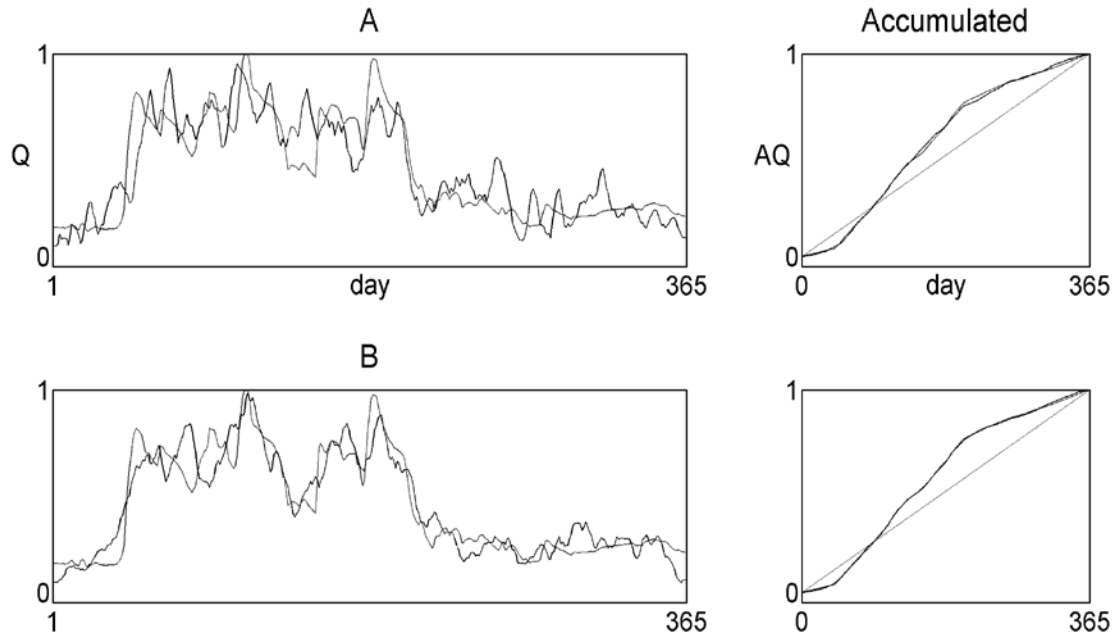


Contenido

- El método fractal-multifractal
- Codificación de la lluvia
- Simulación y desagregación de la lluvia
- **Codificación de caudales**
- Clasificación y predicción de caudales
- Desagregación de caudales
- Conclusiones y colaboración potencial
- Codificación de temperatura

Codificación de caudales en el Río Sacramento

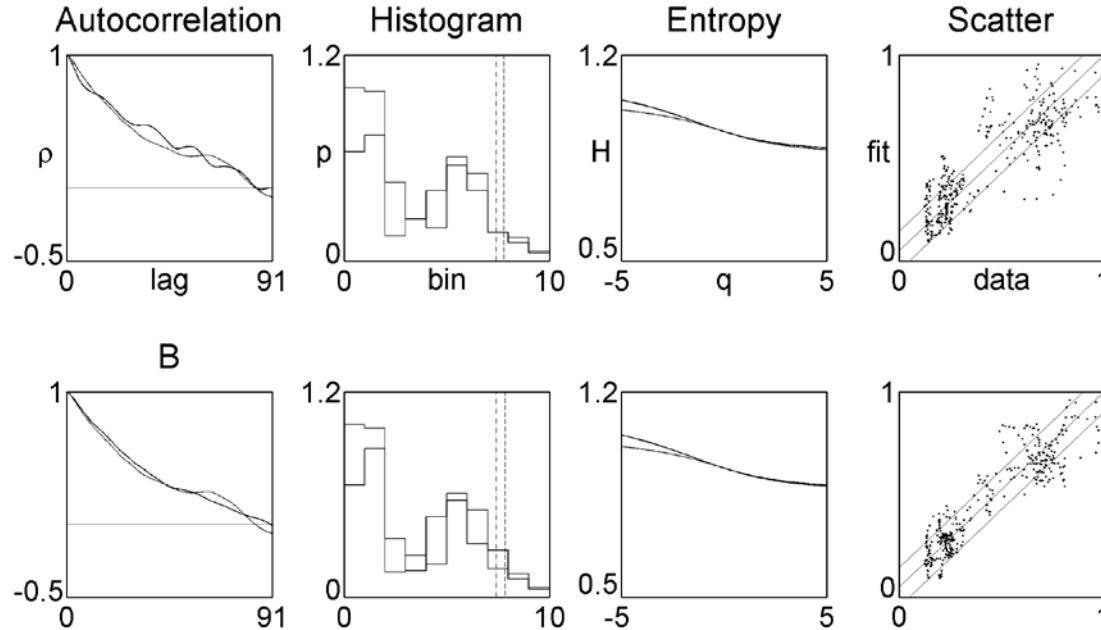
Año 1973-74



A: un alambre 2 mapas, B: un alambre 3 mapas
RMSEAR 1.0%, 0.5%; MAXEAR 2.3%, 1.1%
compresiones mayores que 40:1

Codificación de caudales en el Río Sacramento

Año 1973-74

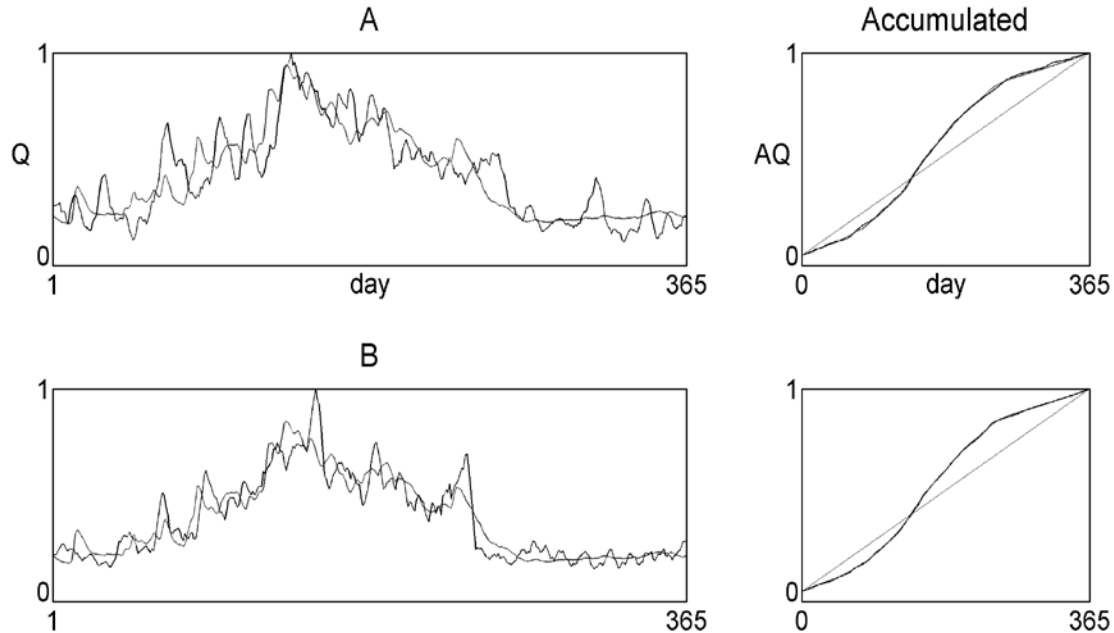


A: un alambre 2 mapas, B: un alambre 3 mapas

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

Codificación de caudales en el Río Sacramento

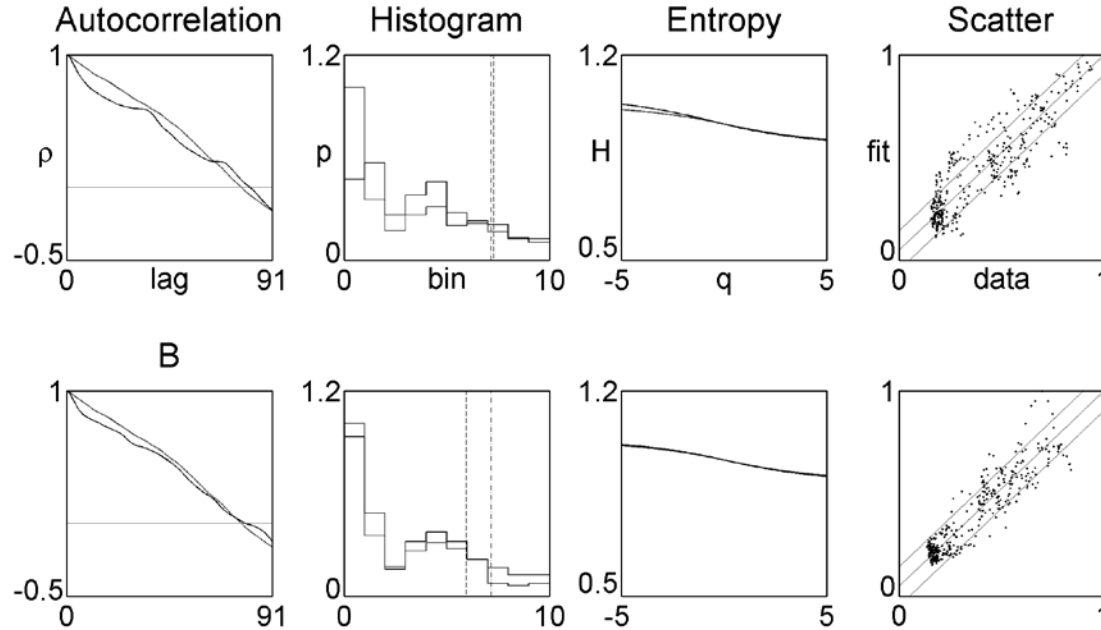
Década 1956-65



A: un alambre 2 mapas, B: un alambre 3 mapas
RMSEAR 0.7%, 0.3%; MAXEAR 1.5%, 0.7%
compresiones mayores que 40:1

Codificación de caudales en el Río Sacramento

Década 1956-65

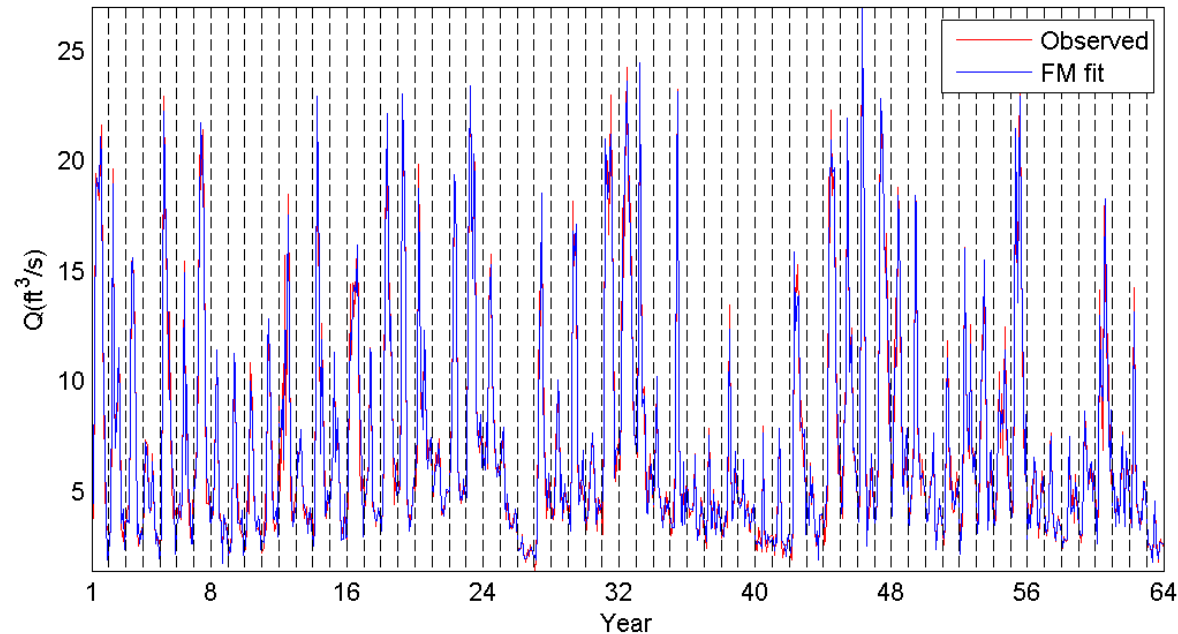


A: un alambre 2 mapas, B: un alambre 3 mapas

NSD 72.9%, 84.0%; NSA 92.4%, 96.9%; NSE 96.1%, 99.6%

Codificación de caudales en el Río Sacramento

Por años 1950-2014

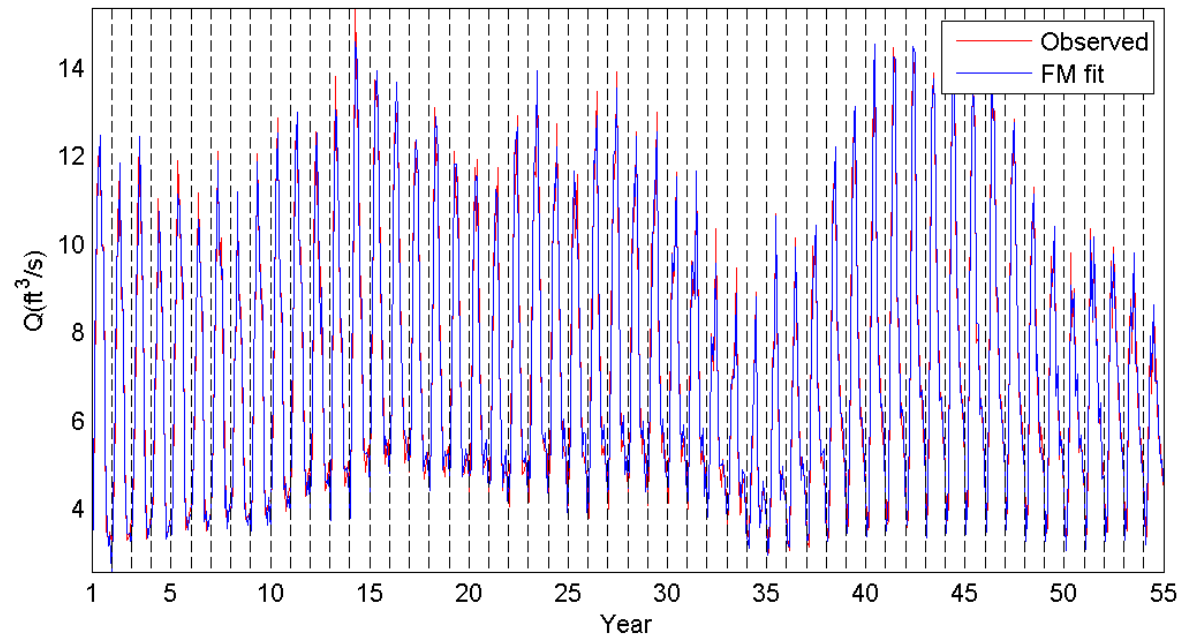


un alambre 3 mapas, escala en 10^4 x cfs

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

Codificación de caudales en el Río Sacramento

Por décadas 1959-2014

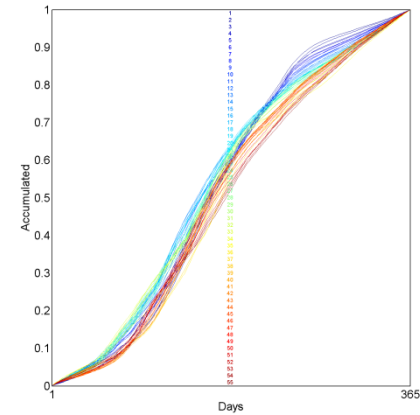
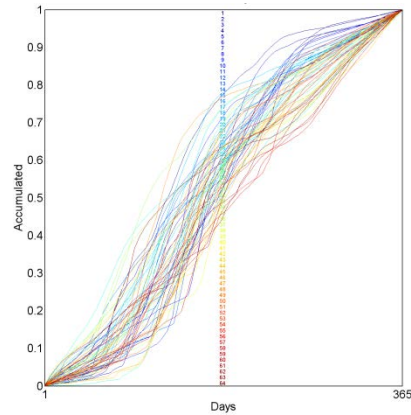


un alambre 3 mapas

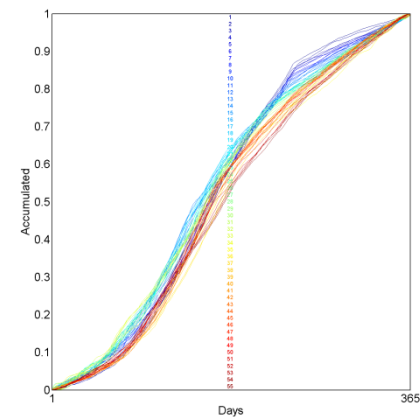
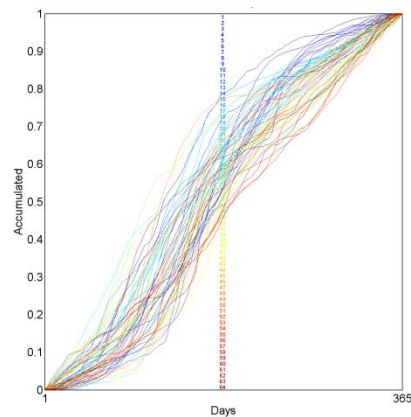
RMSEAR $1.8 \pm 0.4\%$; MAXEAR $3.6 \pm 0.7\%$; NSD $92.2 \pm 12.5\%$

Codificación de caudales en el Río Sacramento

Acumulados por años y por décadas



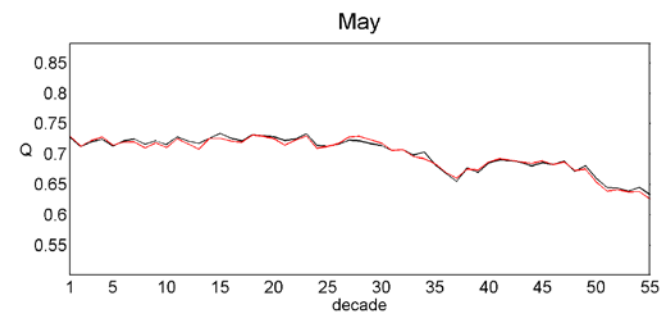
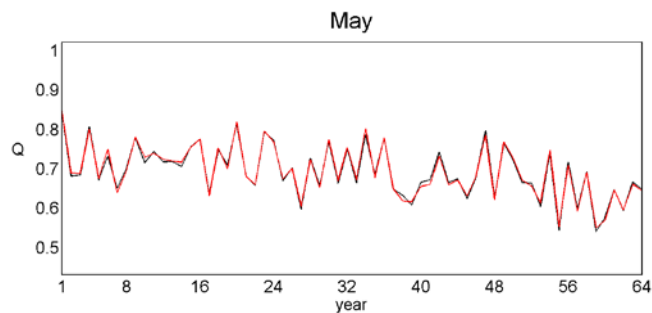
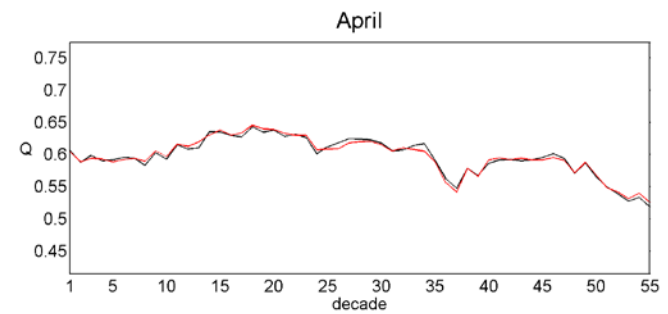
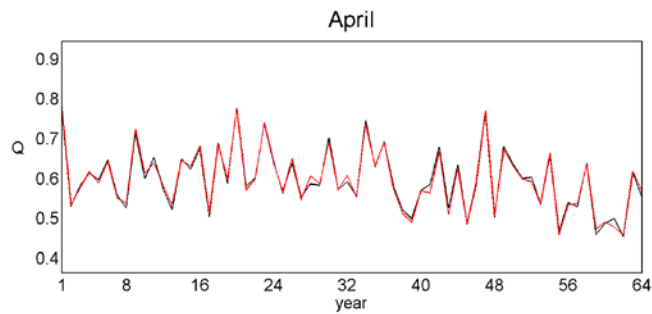
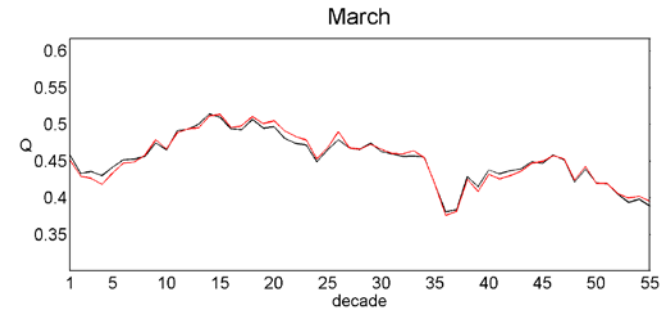
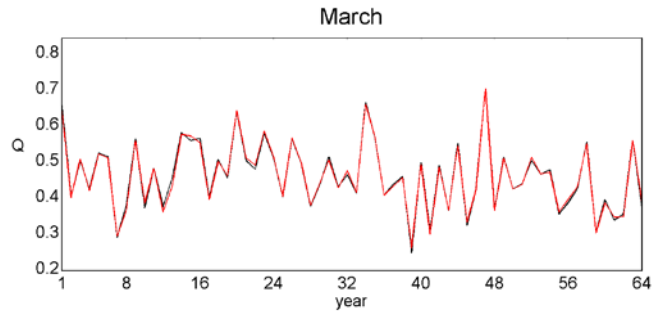
datos



Ajuste FM

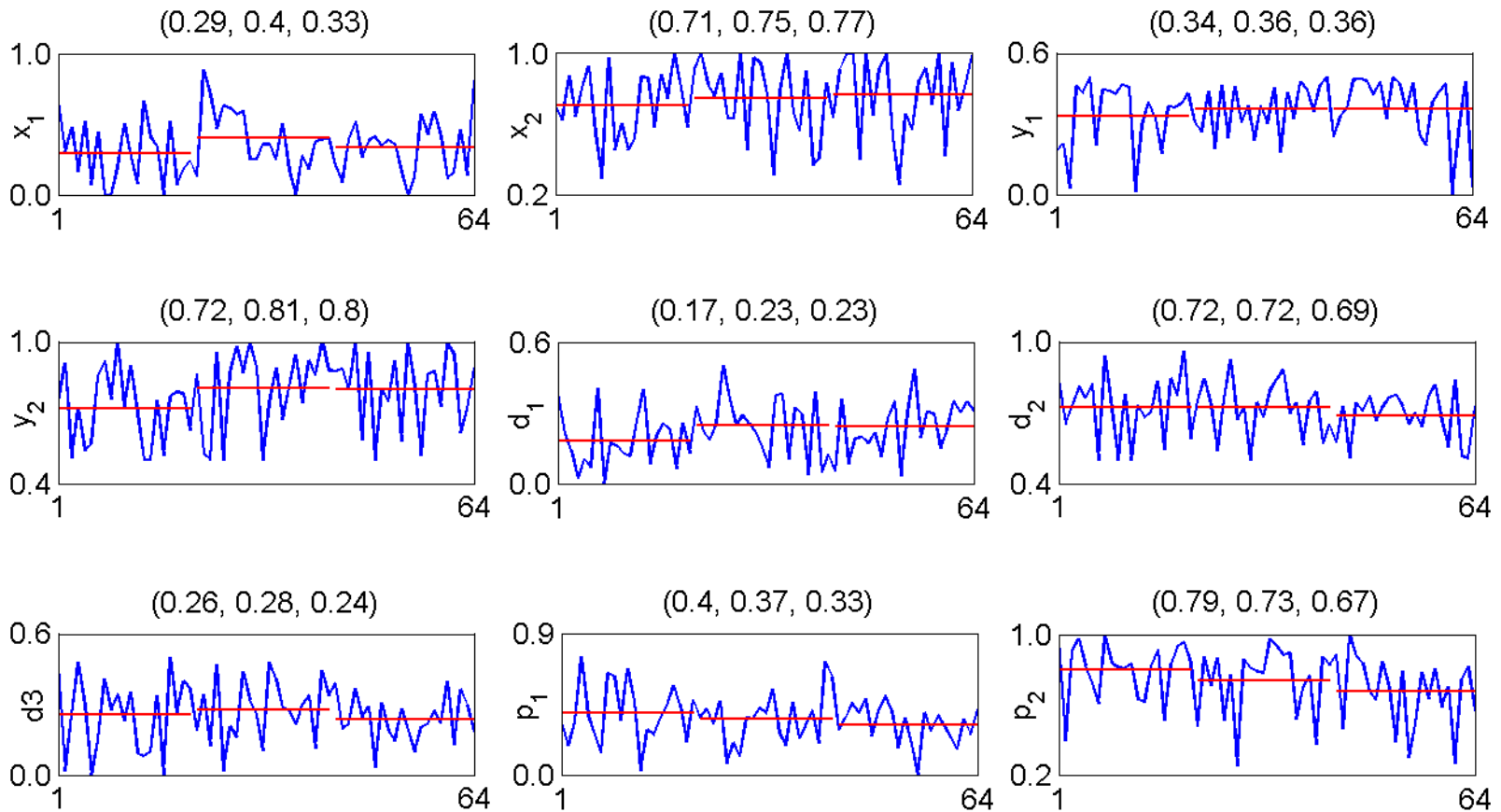
Codificación de caudales en el Río Sacramento

Flujos primaverales por años y por décadas



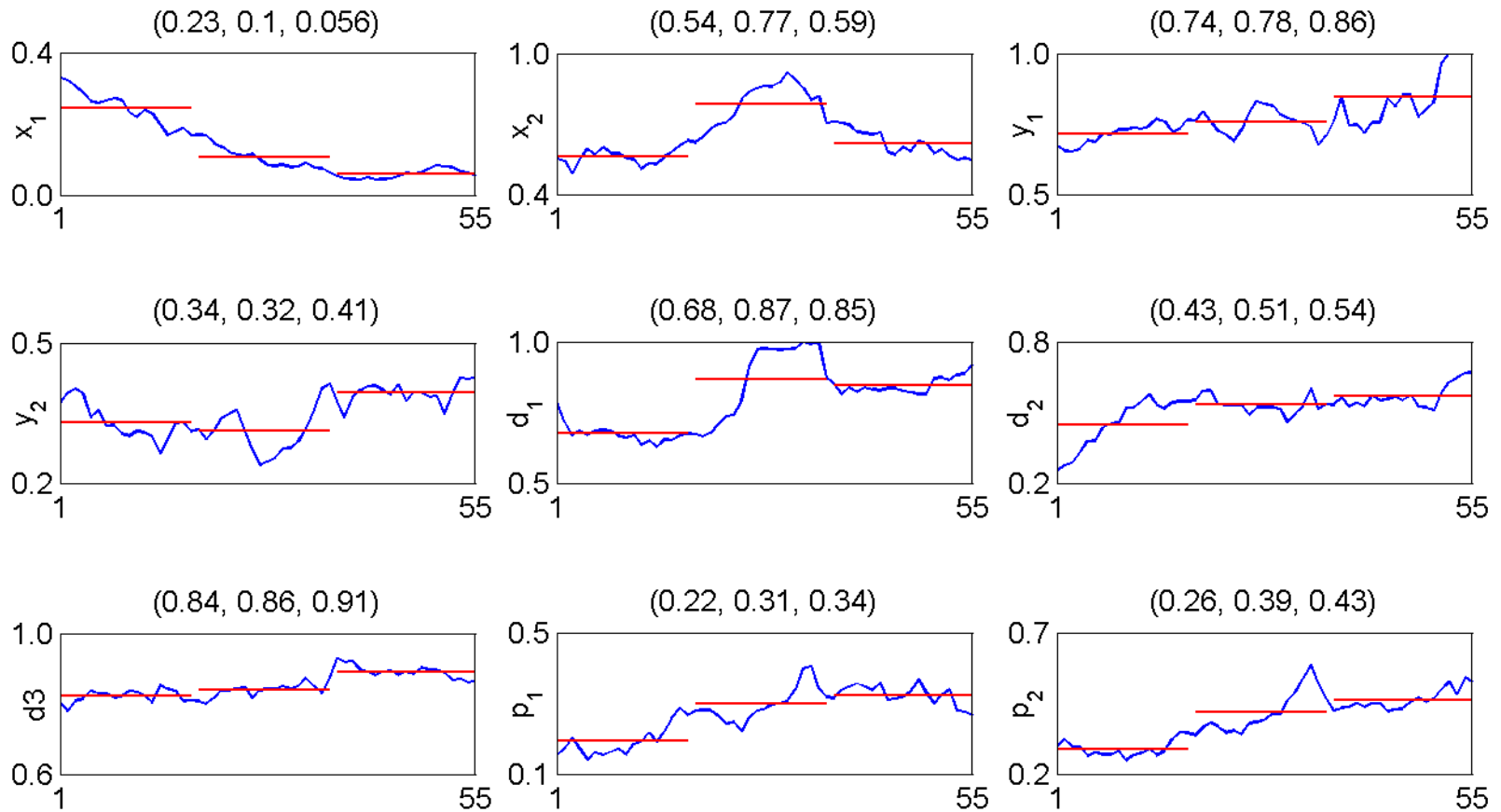
Dinámica de los caudales en el Río Sacramento

Por años 1950 - 2014



Dinámica de los caudales en el Río Sacramento

Por décadas 1959 - 2014

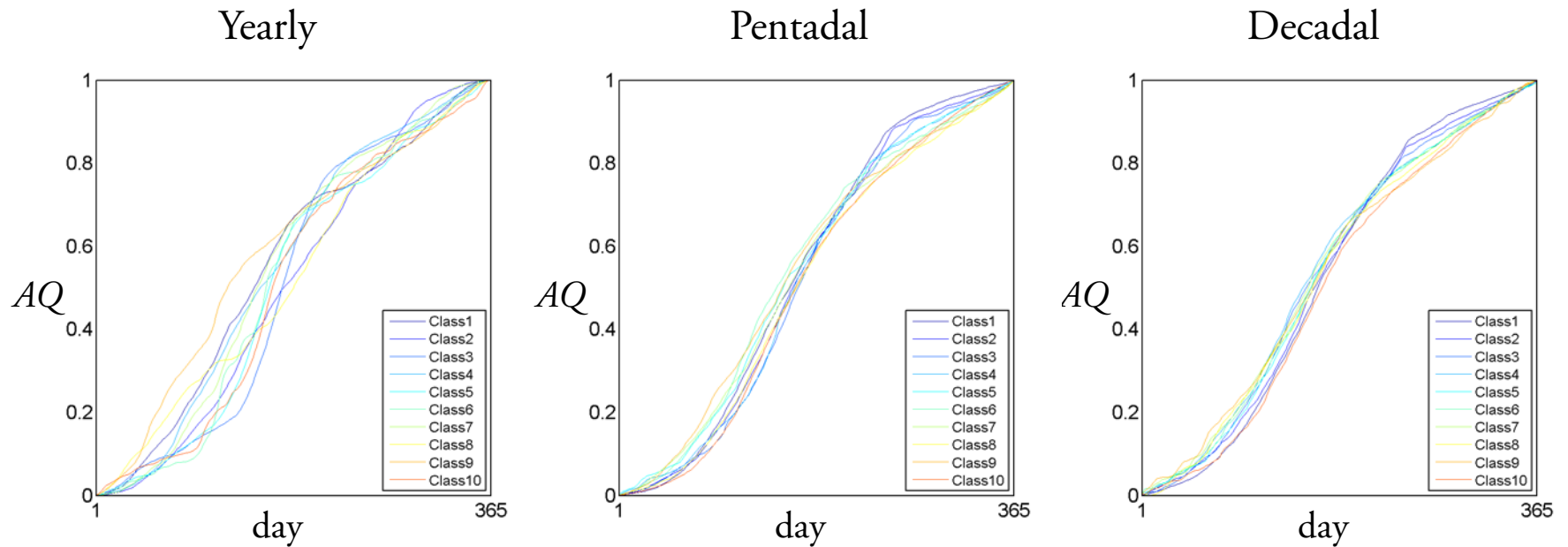


Contenido

- El método fractal-multifractal
- Codificación de la lluvia
- Simulación y desagregación de la lluvia
- Codificación de caudales
- **Clasificación y predicción de caudales**
- Desagregación de caudales
- Conclusiones y colaboración potencial
- Codificación de temperatura

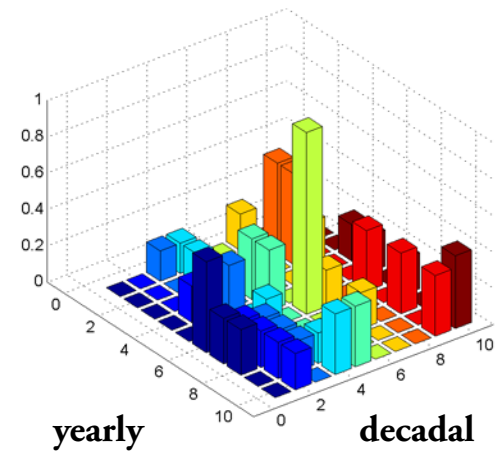
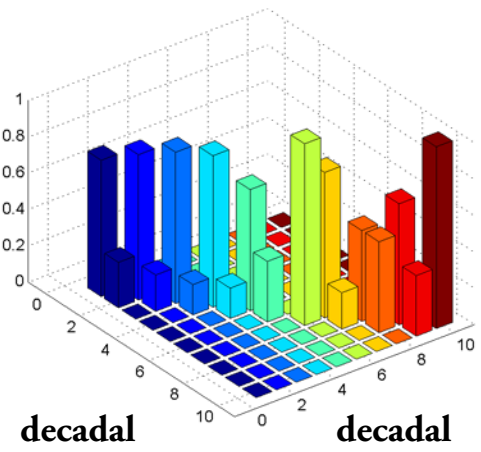
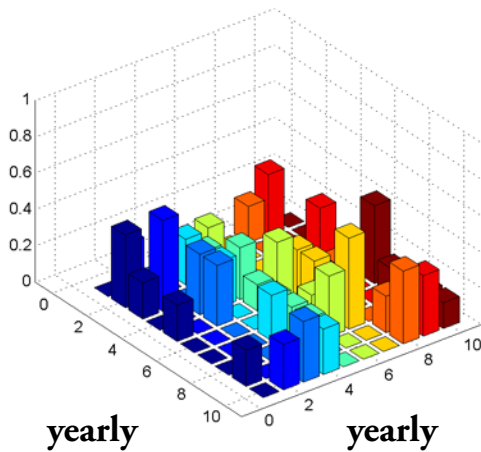
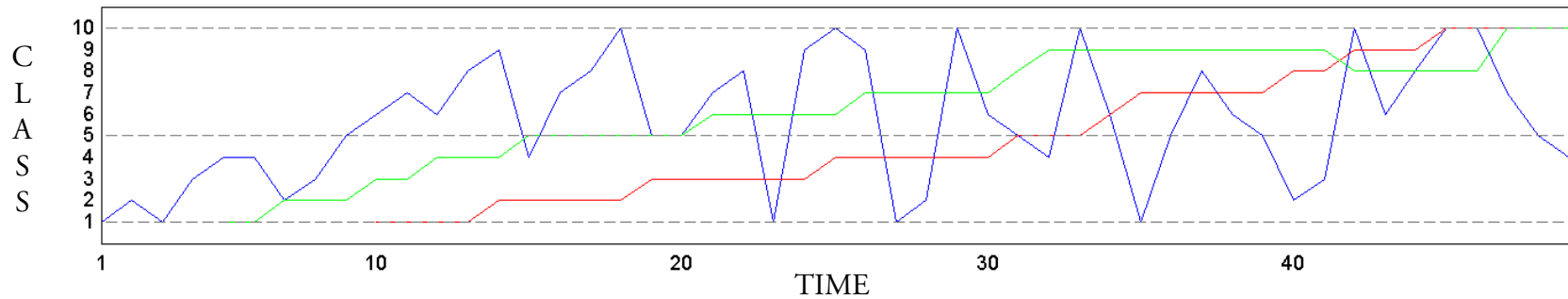
Clasificación de caudales en el Río Sacramento

Basada en parámetros FM y agrupamientos



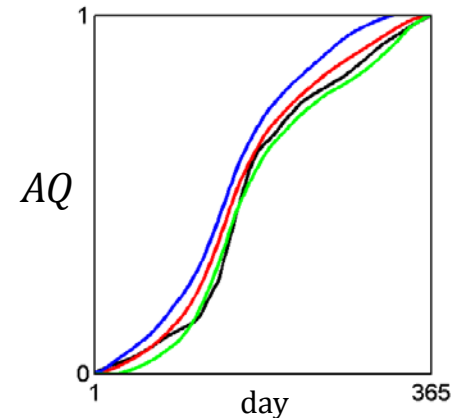
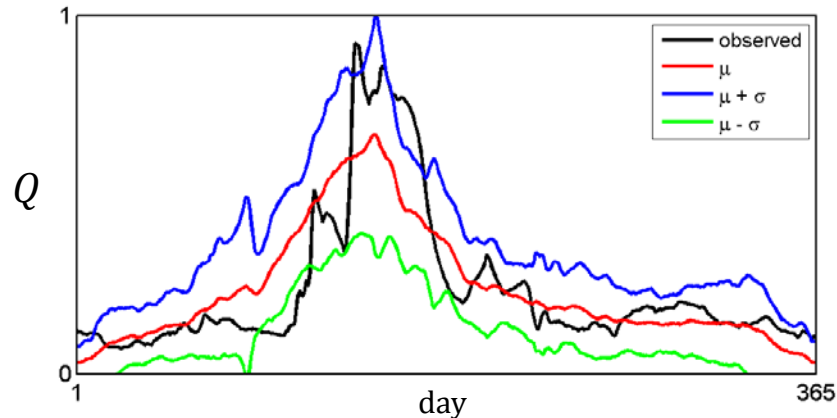
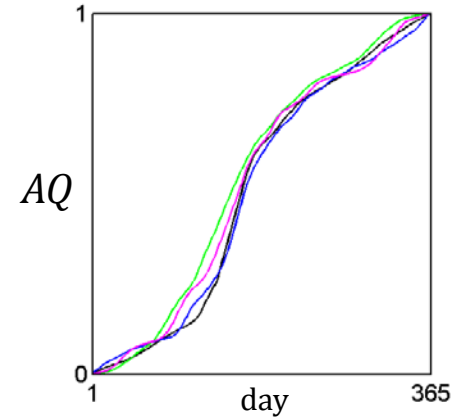
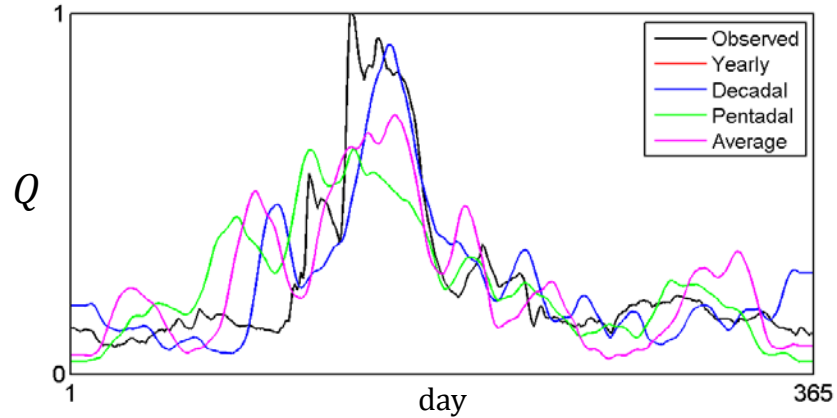
Clasificación de caudales en el Río Sacramento

Evolución por clases y matrices de transición



Predicción de caudales en el Río Sacramento

Un año exitoso, mediante tendencias y sensibilidad de parámetros FM

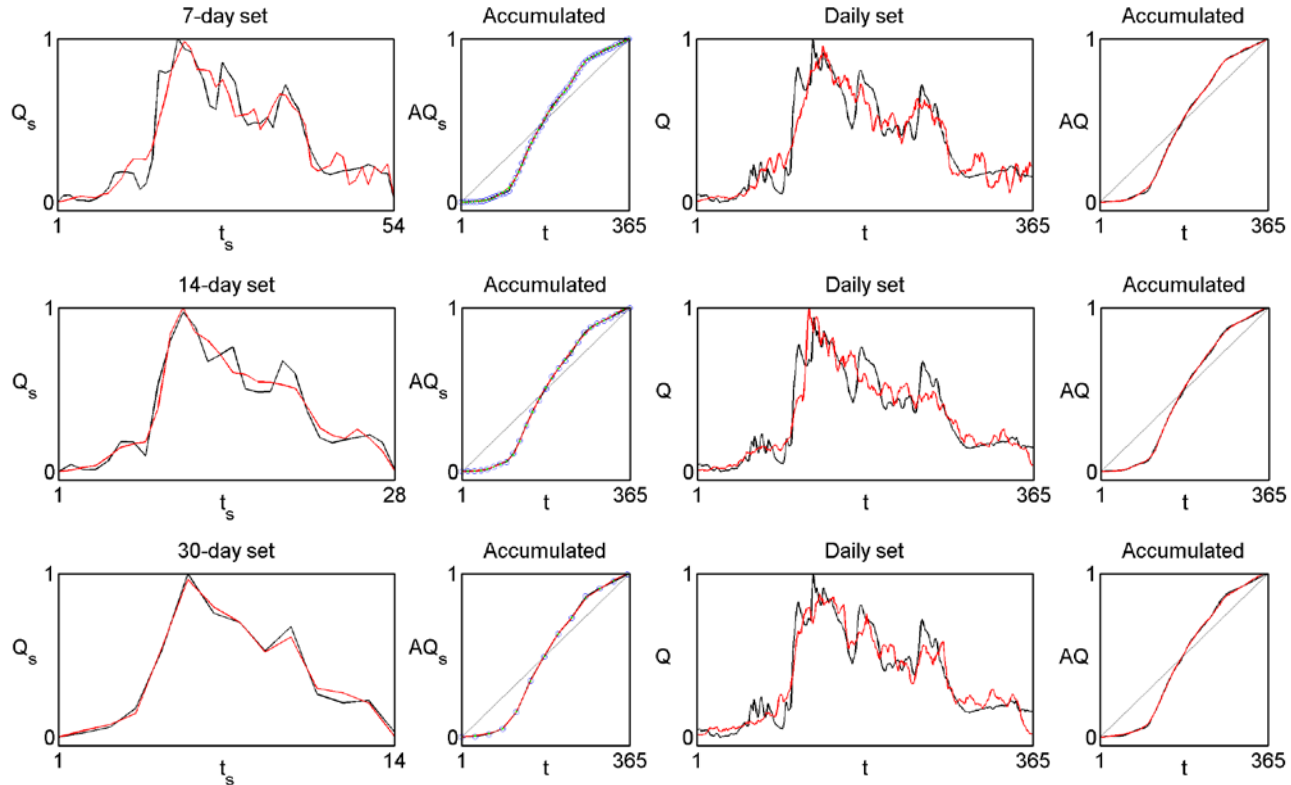


Contenido

- El método fractal-multifractal
- Codificación de la lluvia
- Simulación y desagregación de la lluvia
- Codificación de caudales
- Clasificación y predicción de caudales
- **Desagregación de caudales**
- Conclusiones y colaboración potencial
- Codificación de temperatura

Desagregación de caudales en el Río Sacramento

Cada 7, 14 y 30 días



Contenido

- El método fractal-multifractal
- Codificación de la lluvia
- Simulación y desagregación de la lluvia
- Codificación de caudales
- Clasificación y predicción de caudales
- Desagregación de caudales
- **Conclusiones y colaboración potencial**
- Codificación de temperatura

Fuera de la cueva

- Las ideas Platónicas se pueden usar para modelar una variedad de datos, tanto en el tiempo como en el espacio.
- Las nociones proveen un lenguaje compacto determinista para describir algunas facetas de la complejidad natural.
- Quizás las ideas ayuden a clasificar patrones en diferentes localizaciones y permitan discernir cambios estructurales de calificadores del cambio climático en función del tiempo.
- Las nociones acaso puedan proveer una forma alternativa para evaluar escenarios futuros si se establecen tendencias en parámetros geométricos.

Colaboración potencial

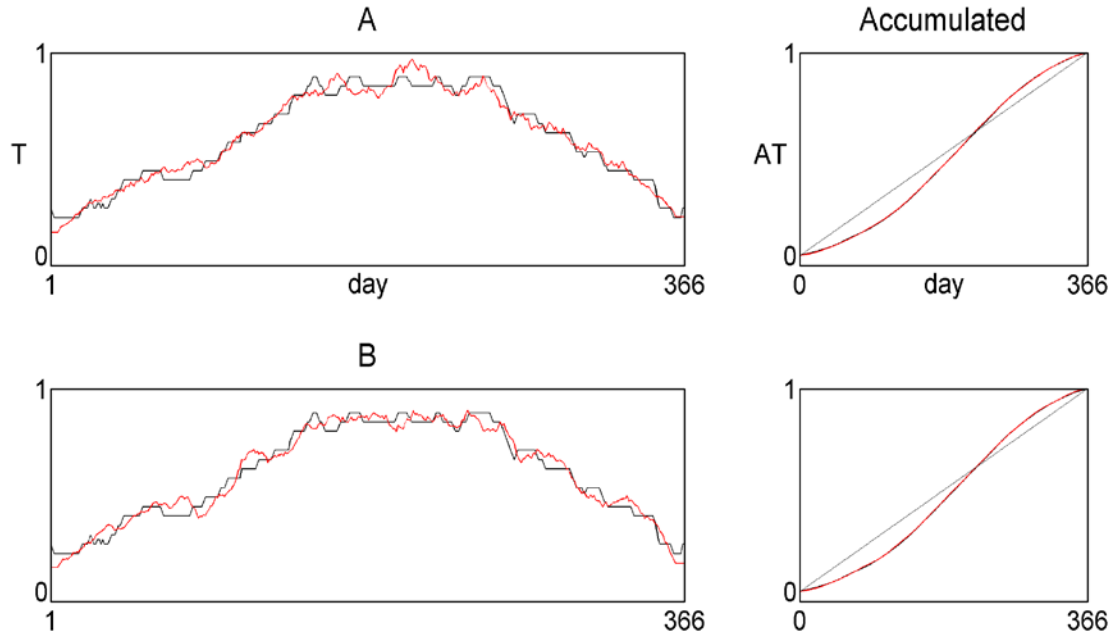
- Estudiar la dinámica de la lluvia/caudales/temperatura en varias localizaciones y resoluciones buscando encontrar posibles predicciones holísticas.
- Evaluar los efectos del cambio climático estudiando la estructura de la lluvia basado en un estudio geométrico en diferentes sitios y escalas. ¿Cambian las distribuciones? ¿Son los cambios predecibles?
- Analizar escenarios de diseño generando o desagregando lluvia/caudales/temperatura sintéticamente usando el modelo FM.
- Clasificar y comparar registros espacialmente para mejorar la comprensión regional. ¿Se pueden generar y parametrizar curvas de intensidad, duración y frecuencia mediante códigos FM?

Contenido

- El método fractal-multifractal
- Codificación de la lluvia
- Simulación y desagregación de la lluvia
- Codificación de caudales
- Clasificación y predicción de caudales
- Desagregación de caudales
- Conclusiones y colaboración potencial
- **Codificación de temperatura**

Codificación de temperatura en el Río Sacramento

Año calendario 1968



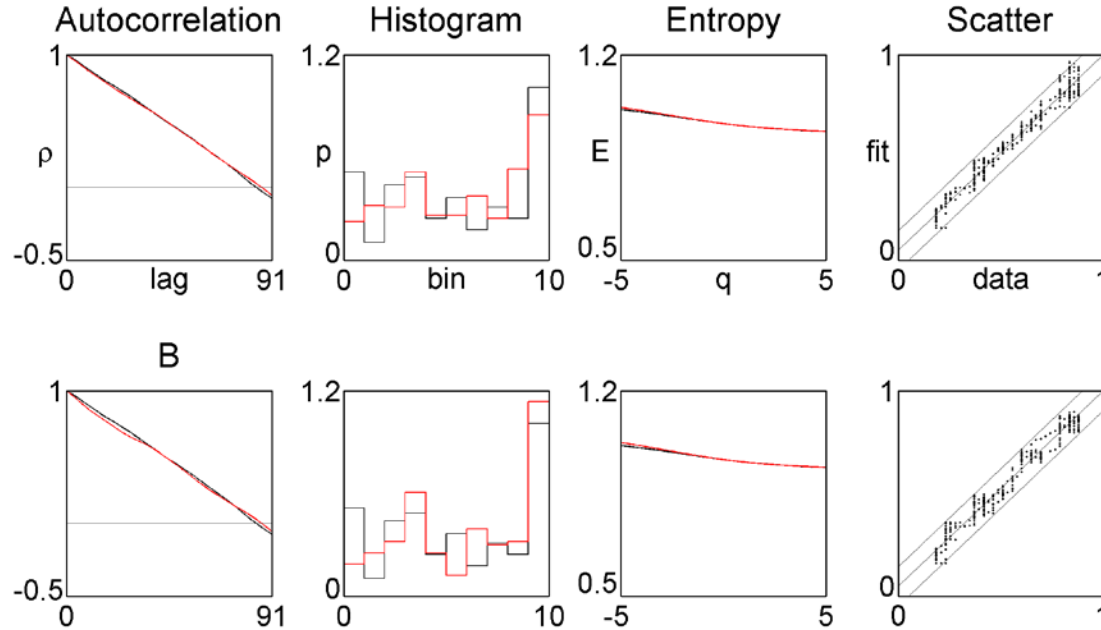
A: alambre 2 mapas, B: “hoja” 2 mapas

RMSEAR 0.23%, 0.21%; MAXEAR 0.61%, 0.44%

compresiones mayores que 52:1

Codificación de temperatura en el Río Sacramento

Año calendario 1968

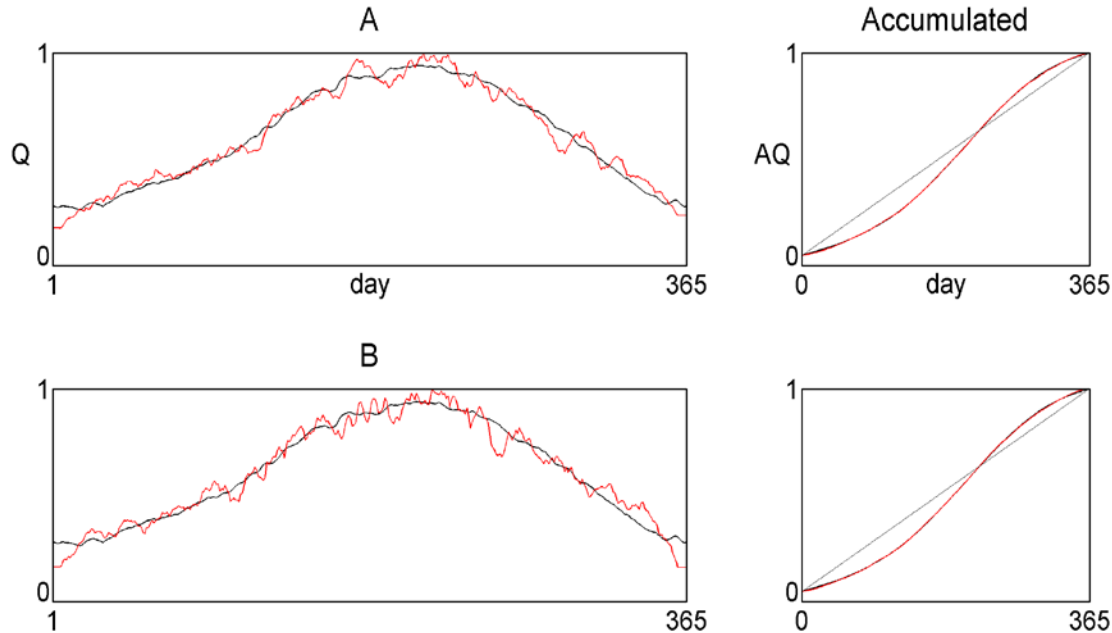


A: alambre 2 mapas, B: "hoja" 2 mapas

NSD 96.7%, 96.4%; NSA 99.8%, 99.5%; NSE 99.1%, 98.0%

Codificación de temperatura en el Río Sacramento

Década calendario 1972



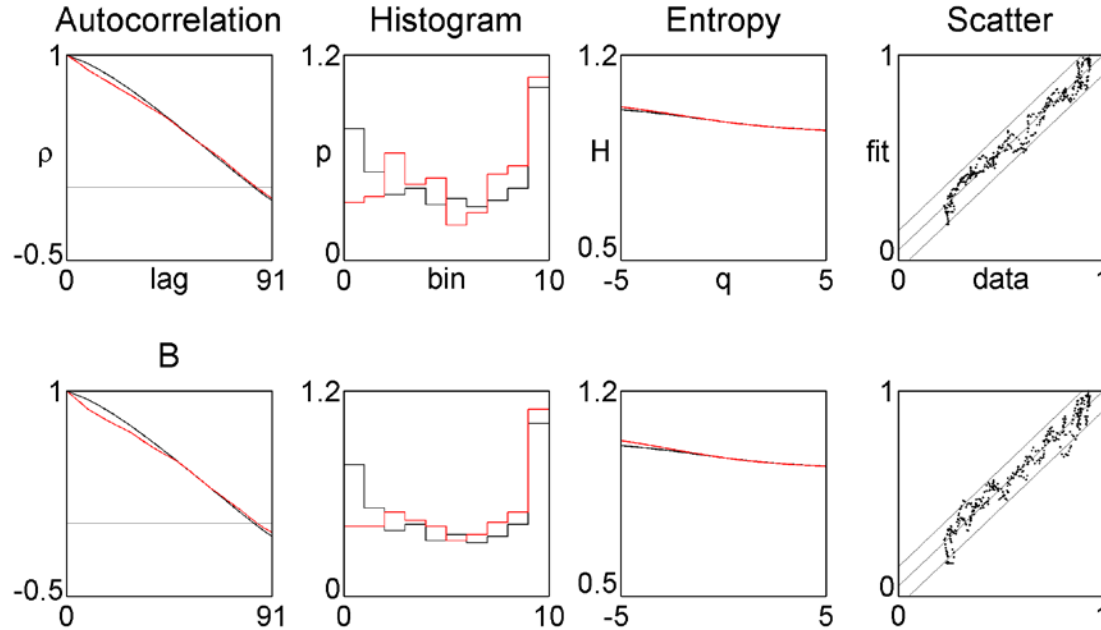
A: alambre 2 mapas, B: “hoja” 2 mapas

RMSEAR 0.23%, 0.27%; MAXEAR 0.58%, 0.67%

compresiones mayores que 52:1

Codificación de temperatura en el Río Sacramento

Década calendario 1972

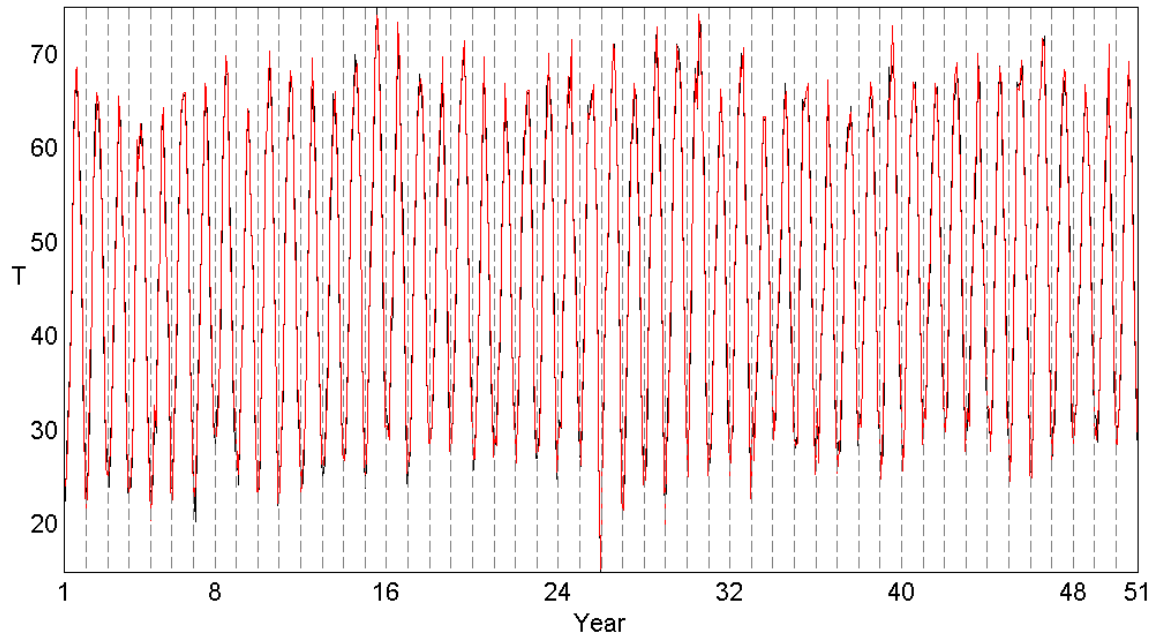


A: alambre 2 mapas, B: “hoja” 2 mapas

NSD 96.7%, 95.3%; NSA 99.2%, 98.3%; NSE 98.4%, 94.8%

Codificación de temperatura en el Río Sacramento

Por año 1962-2012

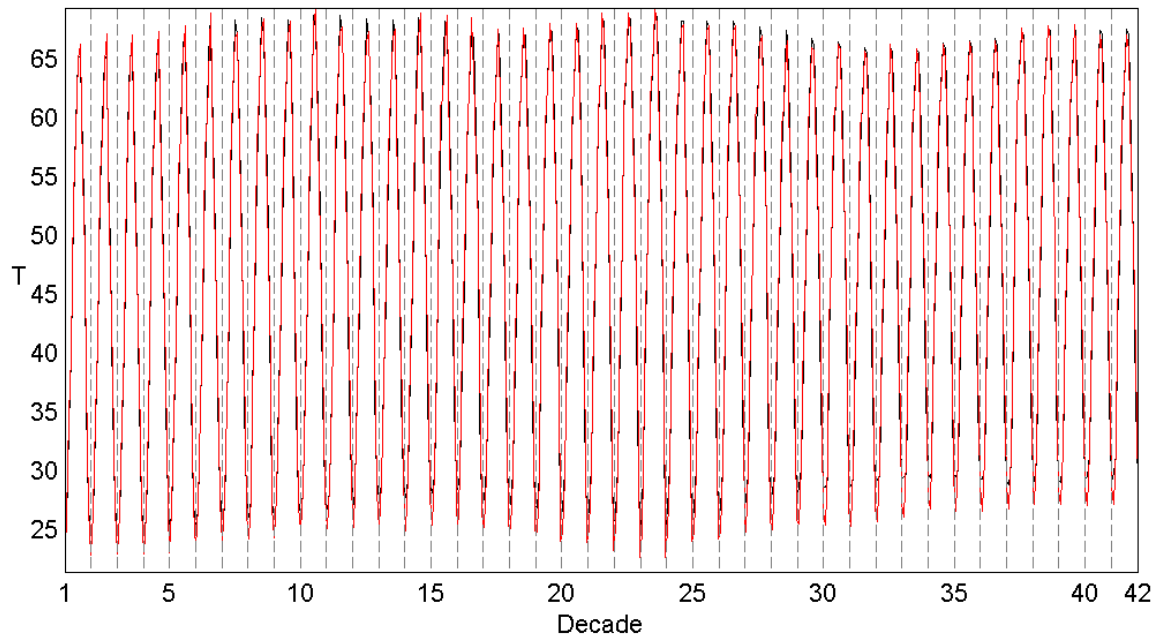


“hoja” 2 mapas, escala en $10 \times ^\circ\text{C}$

RMSEAR $0.32 \pm 0.07\%$; MAXEAR $0.72 \pm 0.15\%$; NSD $92.1 \pm 3.08\%$

Codificación de temperatura en el Río Sacramento

Por década 1971-2012

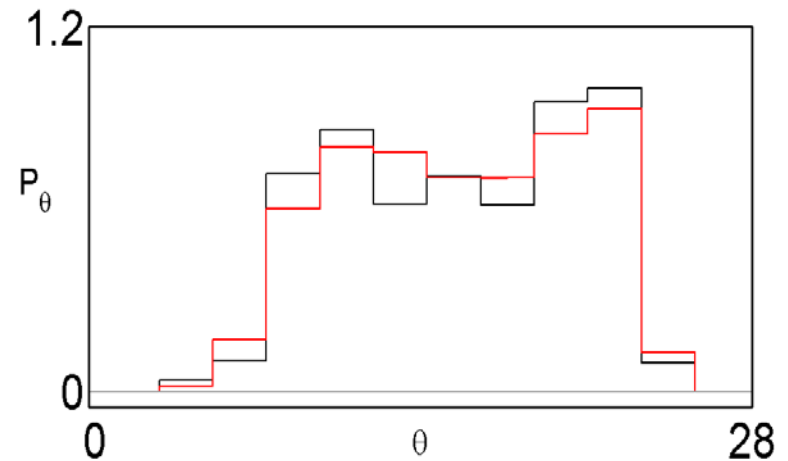
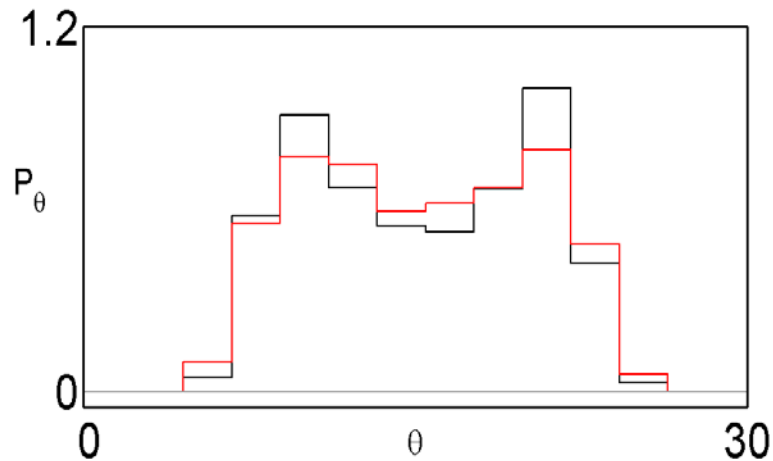


“hoja” 2 mapas, escala en $10 \times ^\circ\text{C}$

RMSEAR $0.27 \pm 0.05\%$; MAXEAR $0.56 \pm 0.08\%$; NSD $96.01 \pm 0.83\%$

Codificación de temperatura en el Río Sacramento

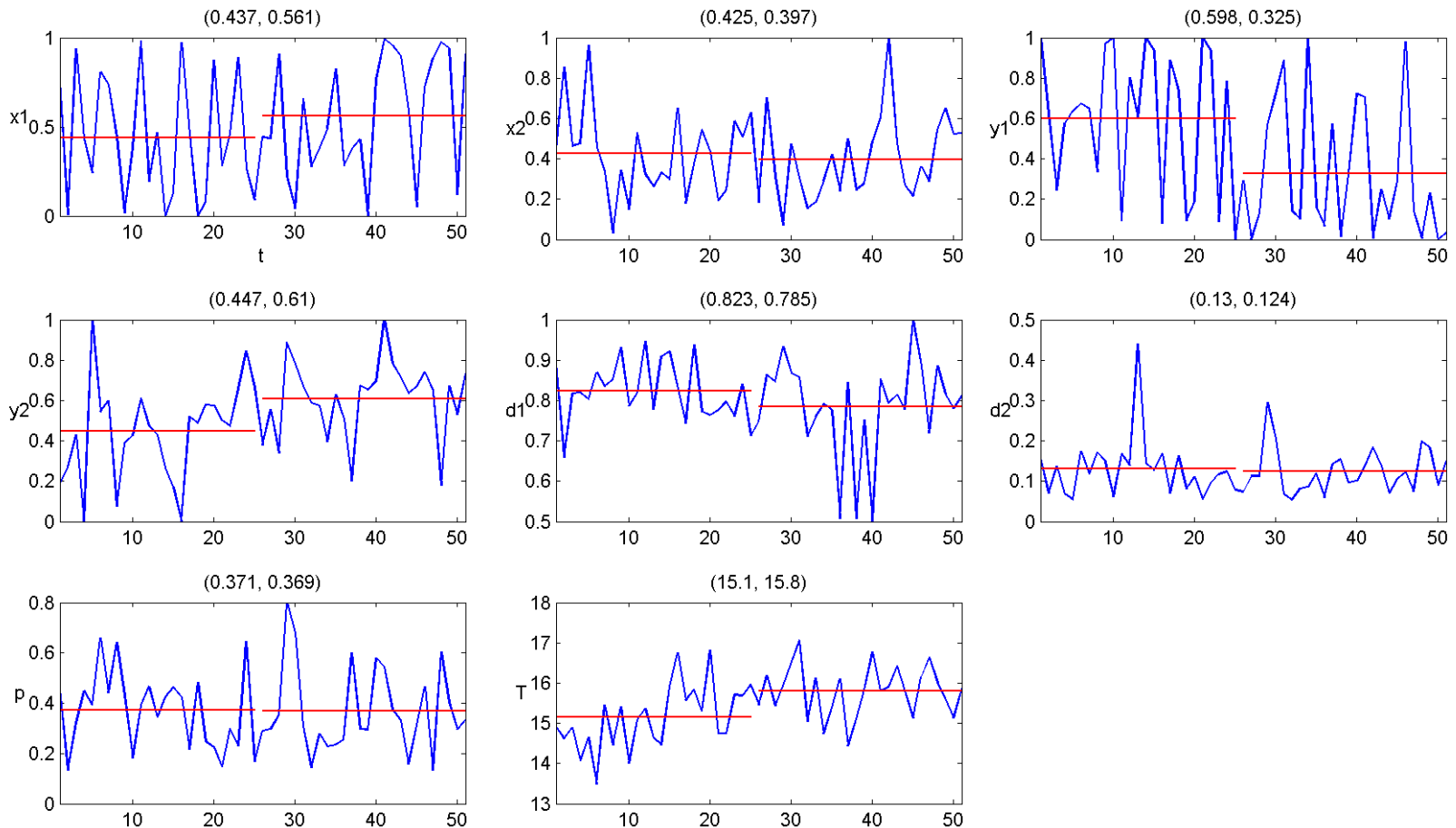
Dos histogramas 1962-2012



izquierda: primeros 25 años, derecha: segundos 26 años
útil en el cambio climático...

Dinámica de temperatura en el Río Sacramento

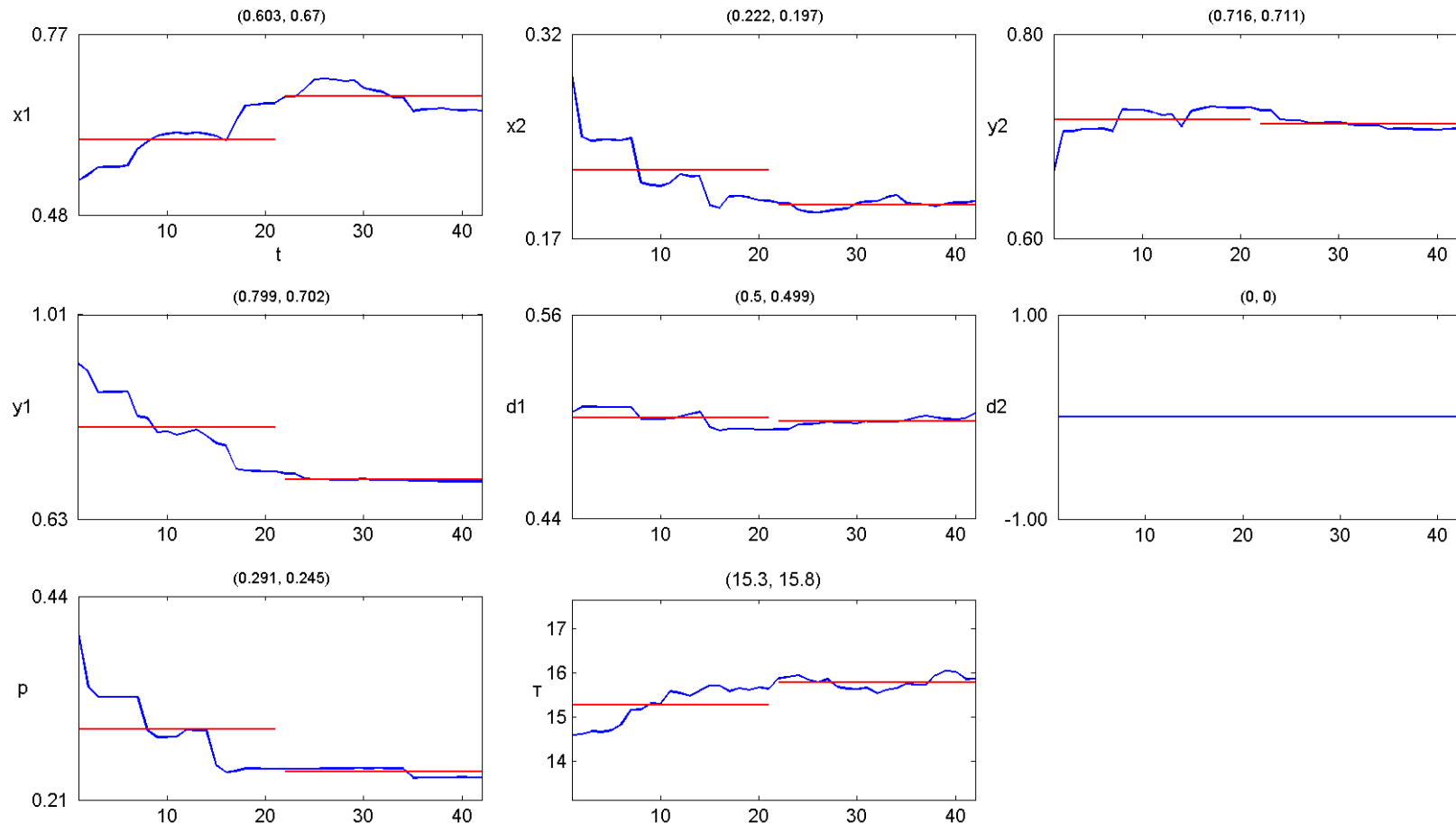
Por año 1962-2012



complejidad inherente en registros de temperatura “suaves”...

Dinámica de temperatura en el Río Sacramento

Por década 1971-2012



evolución suave acaso útil para discernir el cambio climático...