

PREDICTIBILIDAD ATMOSFÉRICA



Curso en Meteorología - 2022/2023

May 10, 2023

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 CAOS EN EL SISTEMA ATMOSFÉRICO
- 3 MODELOS ATMOSFÉRICOS
- 4 SISTEMAS DE PREDICCIÓN POR CONJUNTOS, **SPC**



INTRODUCCIÓN

CAOS EN EL SISTEMA ATMOSFÉRICO

PARADIGMA CLÁSICO VS CAOS

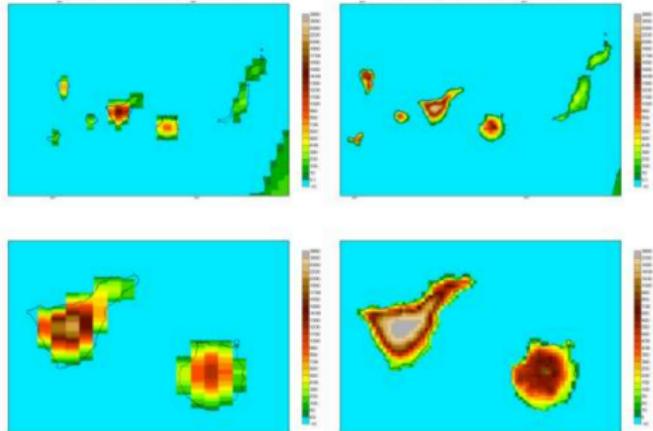
Paradigma clásico	Paradigma del caos
Sistemas dinámicos lineales	Sistemas dinámicos no lineales
Ecuaciones diferenciales lineales	Ecuaciones diferenciales no lineales
Sensibilidad acotada a las condiciones iniciales	Sensibilidad a las condiciones iniciales
Solución analítica	No existe solución analítica
El futuro de un sistema dinámico se puede calcular y predecir a partir del conocimiento de su estado anterior	El futuro de un sistema dinámico se puede calcular pero en general es impredecible a partir de un cierto horizonte: predecibilidad limitada en el tiempo
Determinismo	Determinismo formal, pero limitaciones en la predecibilidad
El comportamiento del todo se puede inferir como la suma de los comportamientos de las partes	La suma de las partes introduce comportamientos cualitativamente nuevos, emergen nuevas propiedades
Dualidad conceptual <i>orden</i> vs <i>caos</i>	Se profundiza y enriquece el concepto de <i>caos</i> : no es opuesto al orden, sino un distinto tipo o grado de orden.

MODELOS ATMOSFÉRICOS

- ESCALA GLOBAL
- ESCALA REGIONAL

TERMINOLOGÍA

- Espacio
 - Dominio
 - Celda
 - Resolución
 - Niveles
- Tiempo
 - Pasada
 - Rango



- Asimilación de datos
- Dinámica
- Parametrizaciones

ASIMILACIÓN DE DATOS



- Conservación del momento $\frac{d\mathbf{v}_h}{dt} = -f \mathbf{k} \times \mathbf{v}_h - \frac{RT}{p} \nabla p$
- Conservación de la energía $\frac{dT}{dt} = \frac{RT}{C_p p} \frac{dp}{dt}$
- Conservación de la masa $\frac{dp}{dt} = \frac{p}{1 - \frac{R}{C_p}} \left(\nabla \cdot \mathbf{v}_h + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$
- Ecuación hidroestática $\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{p}{RT} g$

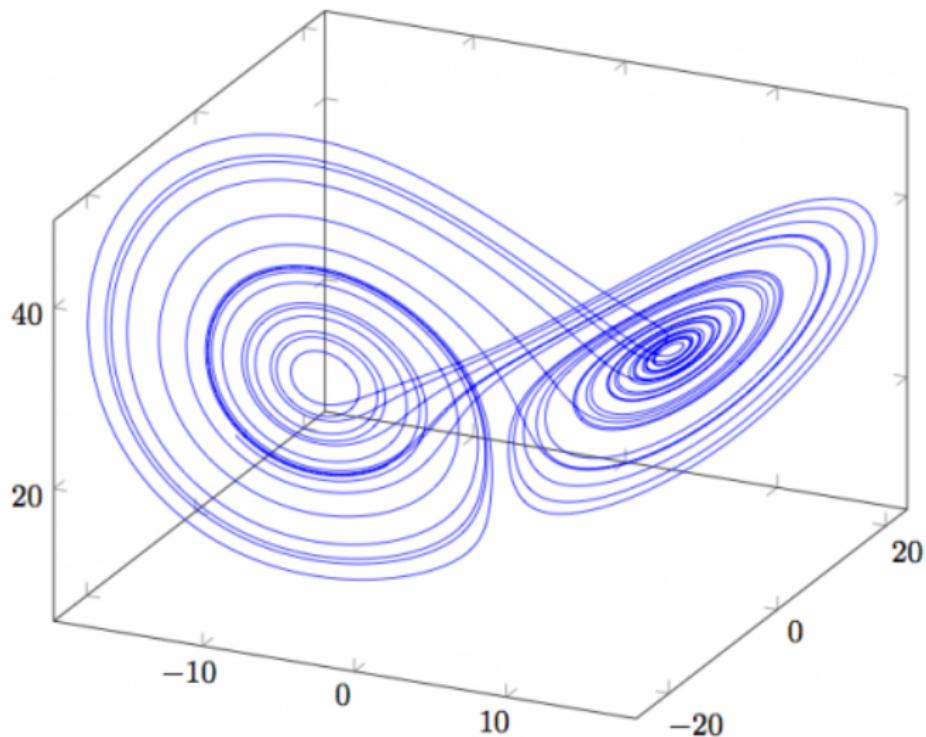
- Método de diferencias infinitas o leap frog $\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x+\Delta x) - f(x-\Delta x)}{2\Delta x}$
- Método espectral $f(\lambda, \mu, t) = \sum_{m,n} a_{m,n} Y_{m,n}(\lambda, \mu)$
- Método de elementos finitos

Modelos no hidroestáticos

PARAMETRIZACIONES

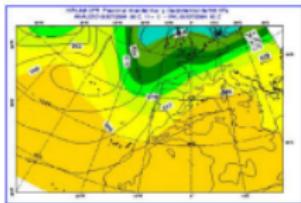


PREDICIBILIDAD

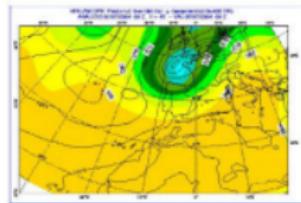


SISTEMAS DE PREDICCIÓN POR CONJUNTOS

MODELO DETERMINISTA



Modelo

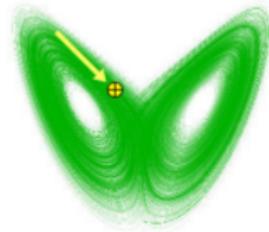
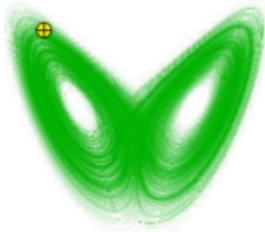


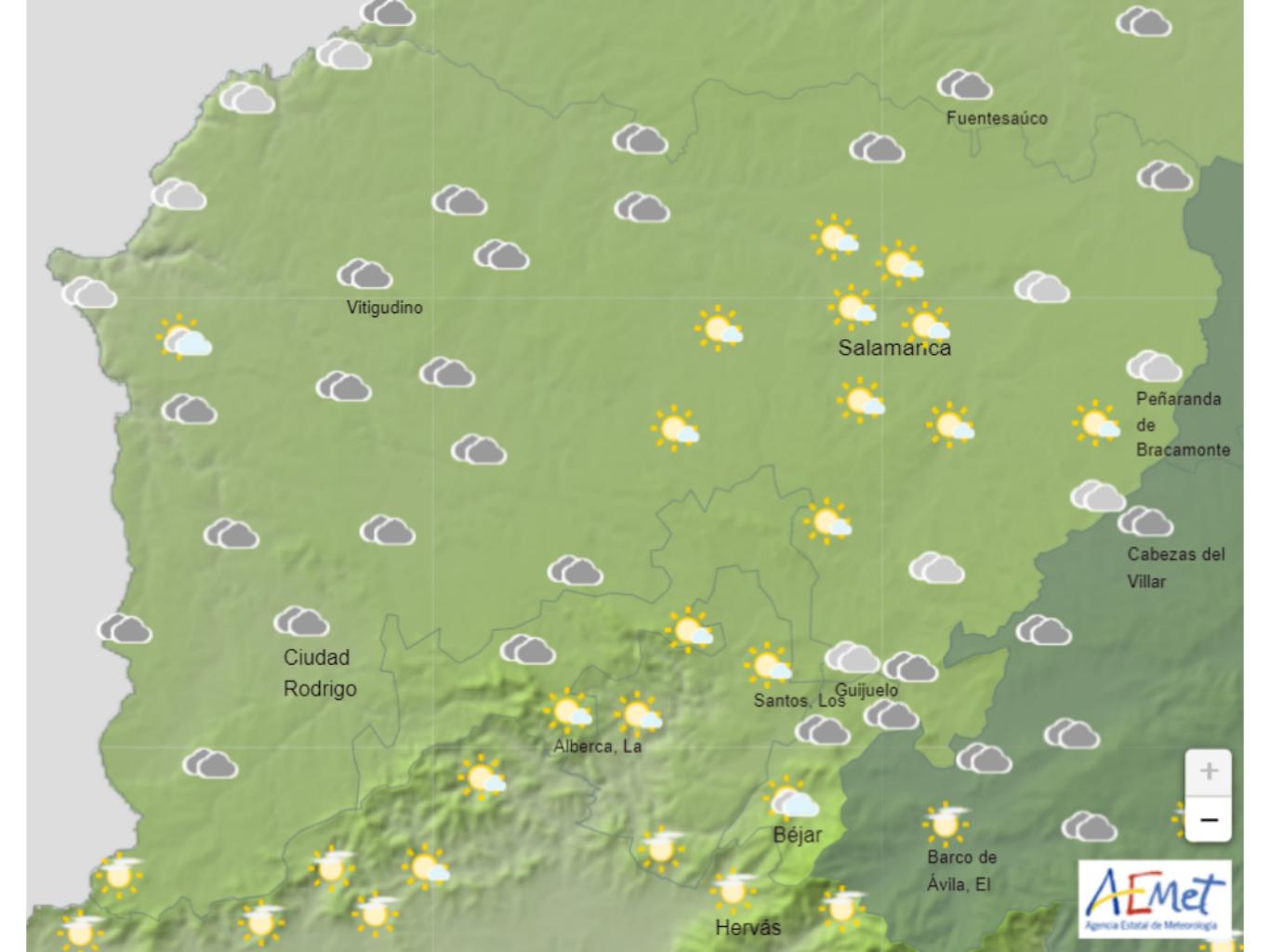
Una única entrada = CCII

Una única salida = predicción

$$X(t_0)$$

$$X(t_0 + \Delta t)$$





¿POR QUÉ FALLAMOS
EN LAS
PREDICCIONES?

SIMPLEZA EN EL CAOS

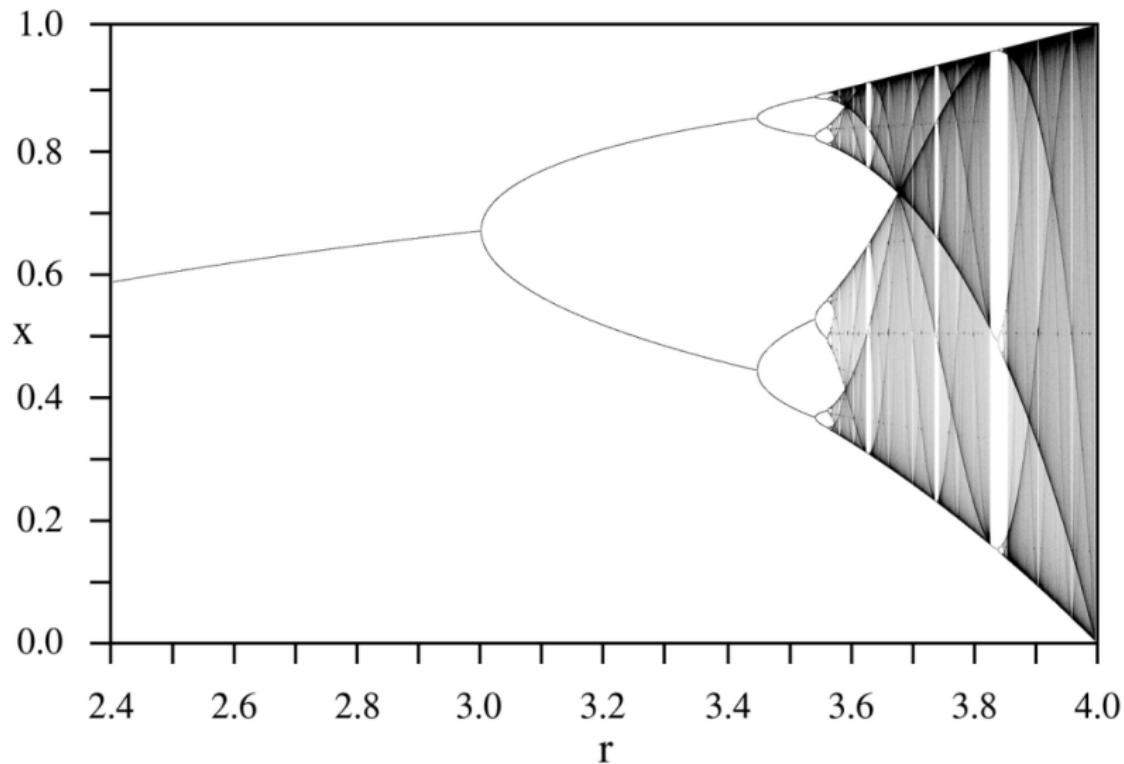
$$X_n = rX_0 (1 - X_0)$$

- X_0 ≡ 'Población inicial'
- X_n ≡ 'Población futura'
- r ≡ 'Cuantificación de la velocidad de crecimiento de la población'

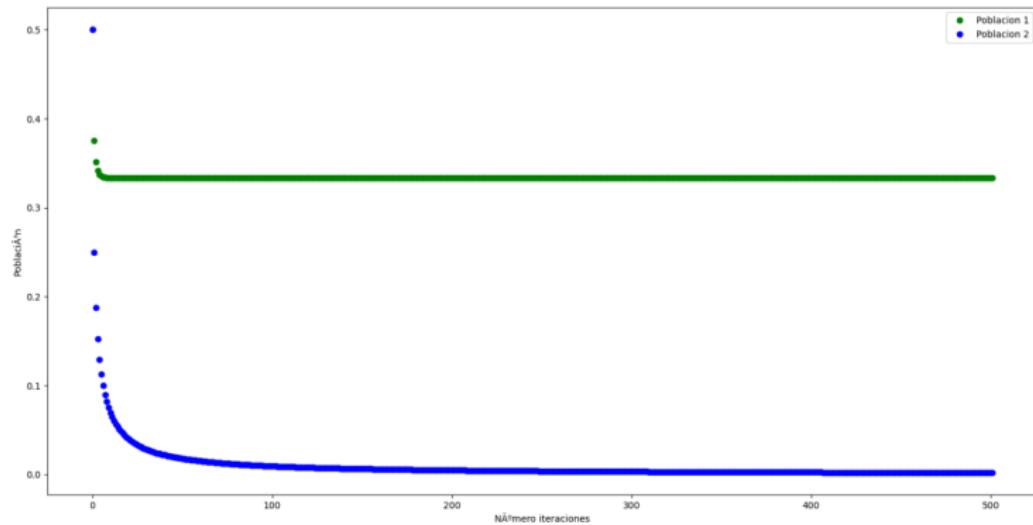
MODELO EN PYTHON

```
def poblacion(r, x_0, cota):  
    evolucion = [x_0]  
    x_p = r*x_0*(1-x_0)  
    evolucion.append(x_p)  
    while (abs(evolucion[len(evolucion)-1] - evolucion[len(evolucion)-2]))> cota:  
        x = evolucion[len(evolucion) - 1]*r*(1-evolucion[len(evolucion)-1])  
        evolucion.append(x)  
        if len(evolucion)>500: break  
  
    return print(f'El valor de estabilización es {evolucion[len(evolucion) - 1]}'), len(evolucion), evolucion
```

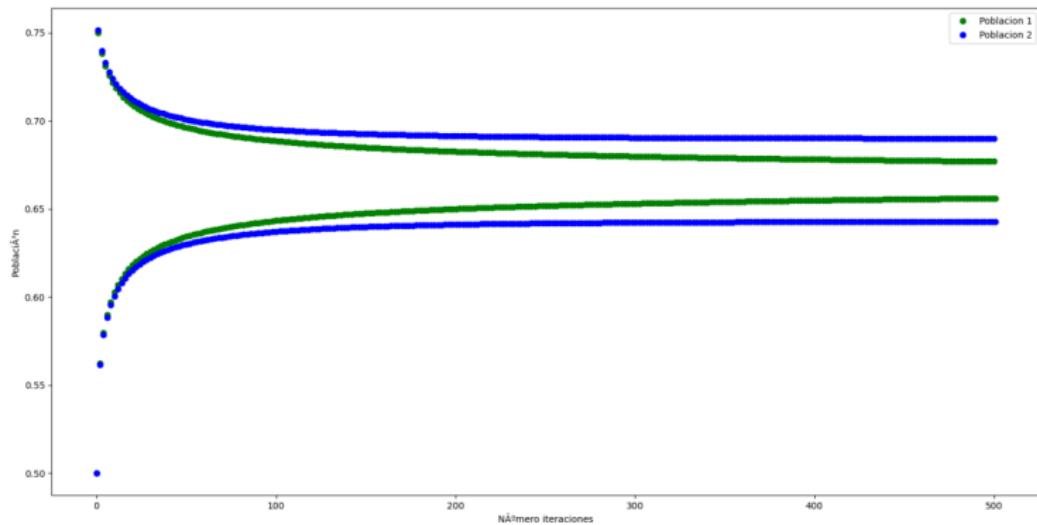
DINÁMICA DE POBLACIONES - CAOS



RÉGIMEN NO CAÓTICO



RÉGIMEN CAÓTICO

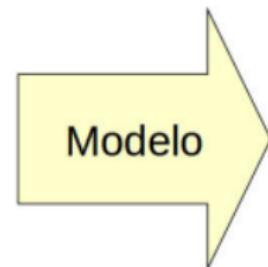
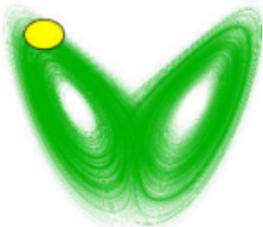


MODELO PROBABILISTA



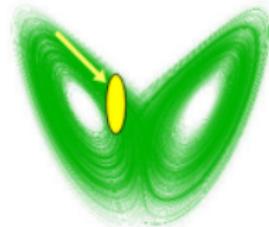
Una distribución de entradas = PDF

$$\rho(t_0)$$



Una distribución de salidas = PDF

$$\rho(t_0 + \Delta t)$$

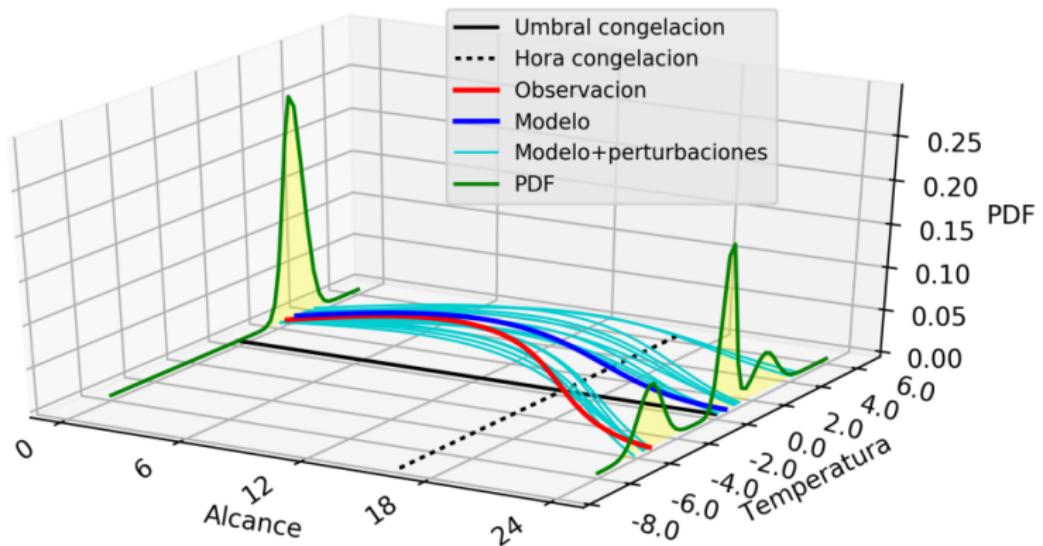


Ecuación de KOLMOGOROV

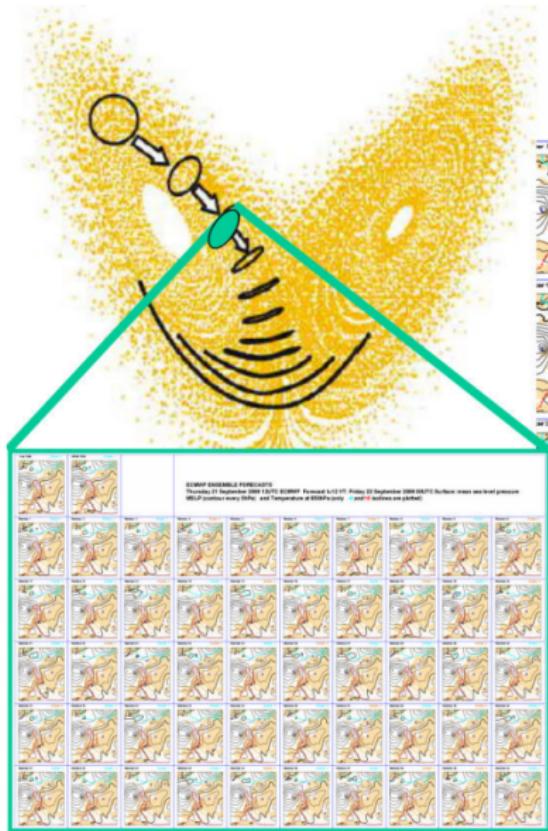
$$\partial_t \rho(x, t) = -\partial_x (\mu(x, t) \rho(x, t)) + \partial_x^2 (D(x, t) \rho(x, t))$$

- $\rho = \rho(x, t) \equiv$ 'Densidad de probabilidad.'
- $\mu = \mu(x, t) \equiv$ 'Función deriva.'
- $D = D(x, t) \equiv$ 'Coeficiente de difusión.'
- $\partial_i \equiv \frac{\partial}{\partial i}$

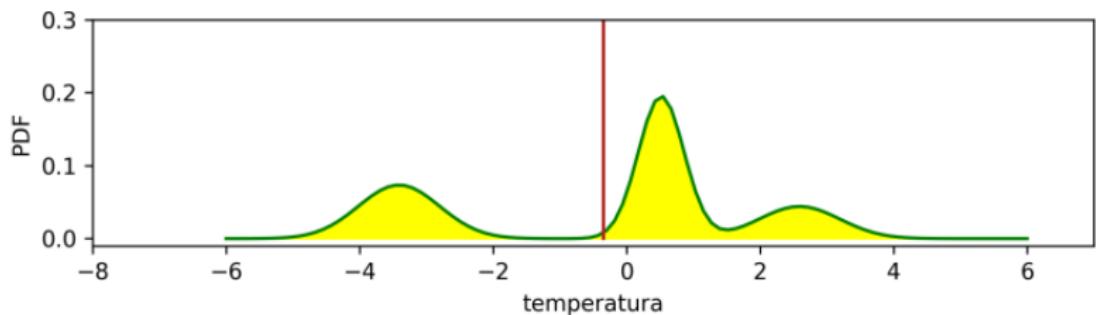
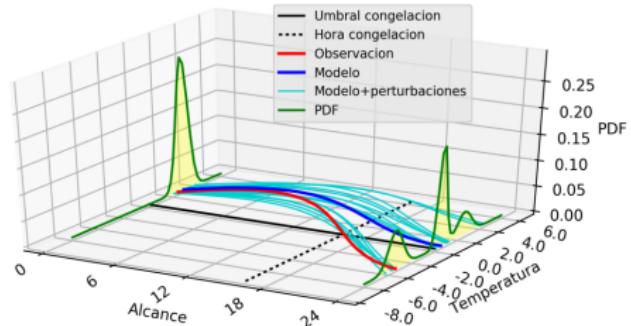
DETERMINISTA \Rightarrow SPC



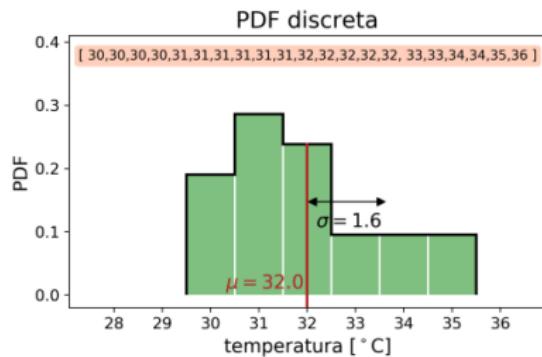
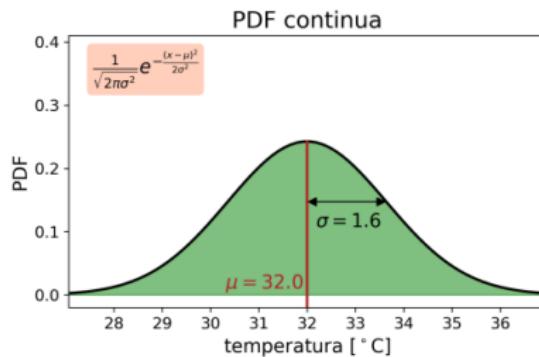
DETERMINISTA \Rightarrow SPC



DETERMINISTA \Rightarrow SPC



DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS



PARÁMETROS DE CENTRALIZACIÓN Y DISPERSIÓN

PARÁMETRO DE DISPERSIÓN

Varianza muestral. Caso discreto

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{1}{\sqrt{N-1}} \sum_i^N (x_i - \bar{x})^2$$

Varianza muestral. Caso continuo

$$\bar{\sigma}^2 = \int_I (x_i - \bar{x})^2 \rho(x) dx$$

PARÁMETRO DE CENTRALIZACIÓN

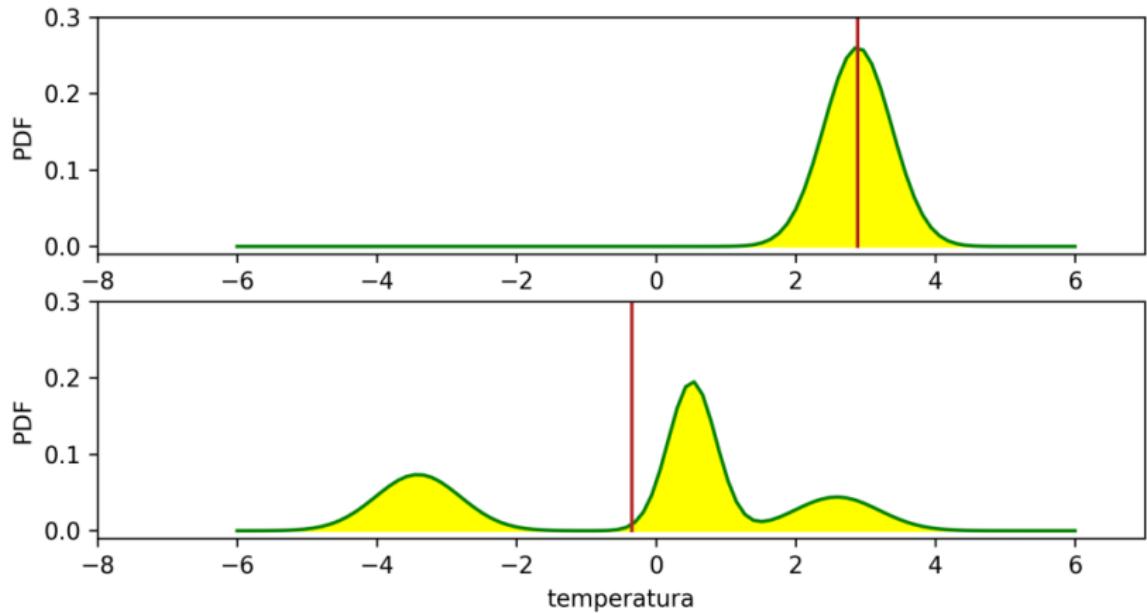
Media Muestral. Caso discreto

$$\bar{x} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_i^N x_i$$

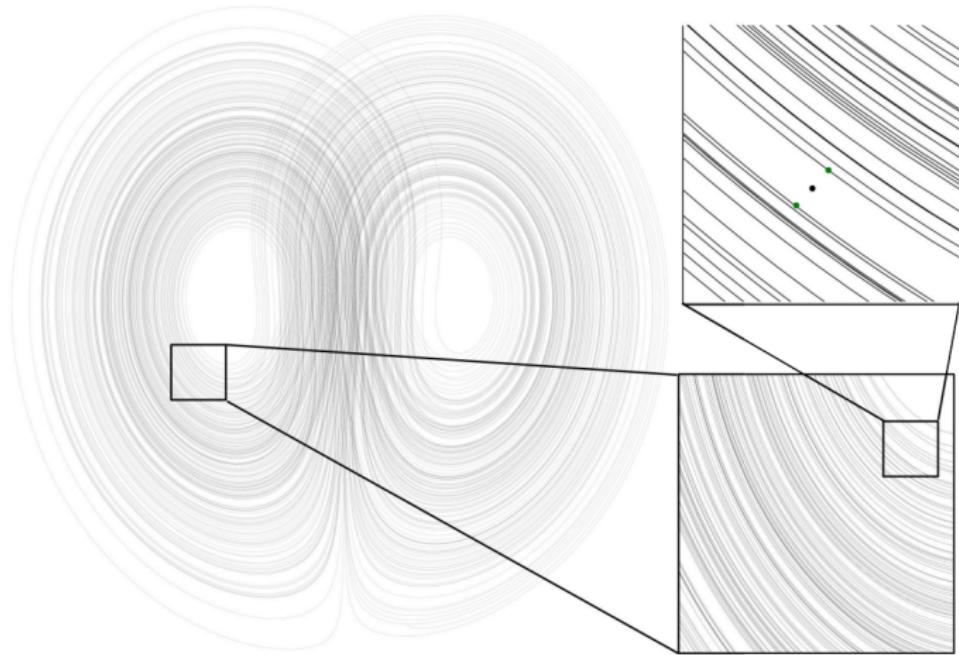
Media Muestral. Caso continuo

$$\bar{x} = \int_I x \rho(x) dx$$

Problemas con la media muestral



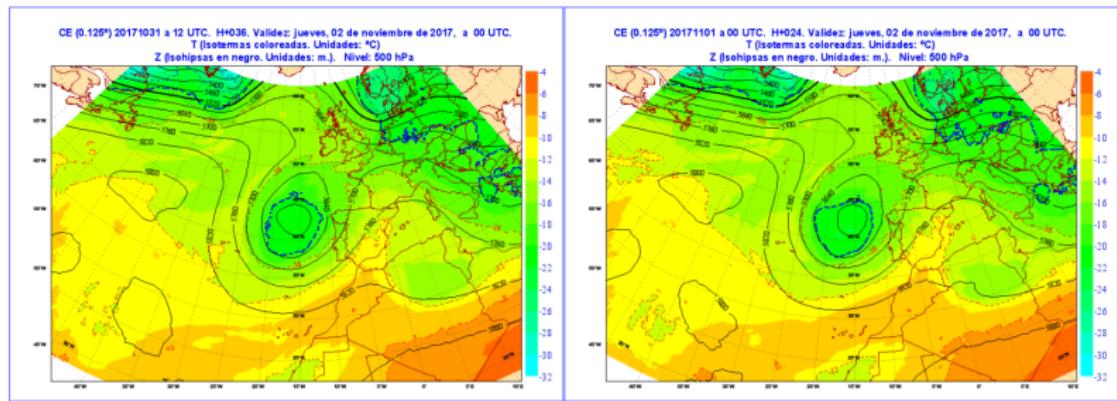
Problemas con la media muestral



ALTERNATIVA A LOS SPC

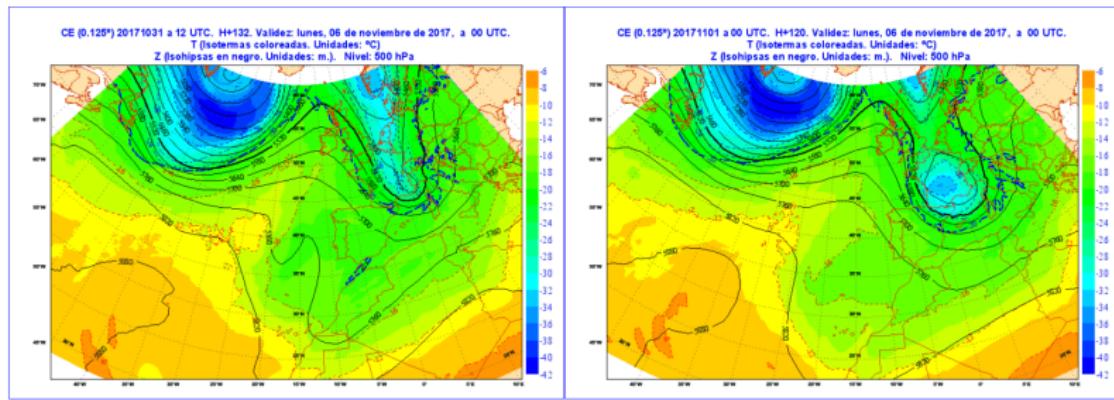
CONSISTENCIA ENTRE PASADAS

PREDICCIONES CONSISTENTES



CONSISTENCIA ENTRE PASADAS

PREDICCIONES NO CONSISTENTES



CONSISTENCIA ENTRE MODELOS

MODELOS DISTINTOS PARA MISMO INSTANTE



ÍNDICE DE PREDICCIÓN EXTREMA

¿SON UNA BUENA
APROXIMACIÓN LOS
SPC?

¿Qué esperamos de ellos?

- Una estimación de la distribución de densidad del estado atmosférico.
- Obtener diferentes escenarios atmosféricos.
- El promedio del SPC no es necesariamente una situación meteorológica, ni es el objetivo de la predicción probabilista.

- Información explícita, cuantitativa y detallada sobre la dispersión atmosférica, que está vinculada con la incertidumbre y, por ende, con la predecibilidad.
- Evaluar el potencial de fenómenos adversos y fenómenos extremos.



PROHIBIDO
PREGUNTAR
MUCHAS
COSAS

VENCAS