

# Escuela Nacional de Supercómputo: Análisis de series de tiempo

## Cursos

### I. Series de tiempo en ecología: métricas de señales de alerta temprana de cambios críticos

Roberto Álvarez

#### 1. Descripción del Taller

Este taller está diseñado para introducir a investigadores, estudiantes y profesionales en ecología y ciencias ambientales al análisis de series de tiempo para detectar señales de alerta temprana (SAT) de cambios críticos en ecosistemas. Se abordarán conceptos teóricos y herramientas prácticas para el procesamiento, visualización e interpretación de datos ecológicos con enfoque en la resiliencia y transiciones de fase.

#### 2. Estructura del Taller (Sesiones/Temario)

Sesión 1: Introducción a las Series de Tiempo y Señales de Alerta Temprana (SAT)

- Conceptos básicos de series de tiempo en ecología.
- ¿Qué son las señales de alerta temprana?
- Ejemplos de cambios críticos en ecosistemas (cambios de regímenes y colapsos).

Sesión 2: Métricas estadísticas para SAT

- Indicadores basados en la teoría de sistemas dinámicos.
- Análisis de alentamiento crítico (*critical slowing down*).
  - Indicadores univariados:
    - Autocorrelación (AR1).
    - Varianza y asimetría (skewness).
    - Recuperación lenta (*critical slowing down*).
  - Aplicación en R/Python con datos de una sola variable (ej. población de una especie).
  - Indicadores multivariados:
    - Matrices de correlación y sincronía entre variables.

- Análisis de componentes principales (PCA) y reducción de dimensionalidad.
- Índices de resiliencia multivariada.
- Caso práctico: Detección de cambios en redes tróficas.

### Sesión 3: Herramientas computacionales para el análisis de SAT

- Introducción a R y Python para análisis de series de tiempo.
- Paquetes especializados (earlywarnings, pandas, ggplot2, EWSMethods).
- Visualización de datos ecológicos.

### Sesión 4: Casos Prácticos y aplicaciones

- Análisis de datos reales (ej. poblaciones animales, clima, calidad de agua).
- Interpretación de resultados y limitaciones.
- Diseño de monitoreo continuo con SAT.

## 3. Resultados de Aprendizaje

### Conocimientos (Temas)

- Fundamentos de series de tiempo en ecología.
- Métricas estadísticas clave para detectar SAT.
- Uso de software especializado para análisis.

### Competencias (Habilidades Adquiridas)

- Procesar y visualizar series de tiempo ecológicas.
- Calcular e interpretar métricas de alerta temprana.
- Aplicar SAT en estudios de caso reales.

### Conocimientos (Saberes Teóricos)

#### 1. Fundamentos de series de tiempo en ecología

- Comprender la estructura y características de las series de tiempo ecológicas.
- Identificar patrones asociados a cambios de régimen (*regime shifts*) y puntos de inflexión (*tipping points*).

#### 2. Métricas estadísticas clave para detectar SAT

- Métricas univariadas:
  - Autocorrelación de primer orden (AR1) como indicador de pérdida de resiliencia.
  - Aumento de varianza y asimetría (*skewness*) antes de transiciones críticas.
  - Retorno lento a la estabilidad (*critical slowing down*).

- Métricas multivariadas:
  - Sincronía entre variables (correlación cruzada).
  - Reducción de dimensionalidad (PCA) para detectar patrones complejos.
  - Índices de resiliencia multivariada (ej. conectividad en redes ecológicas).

### 3. Uso de software especializado para análisis

- Conocer las ventajas y limitaciones de **R** (paquetes: `earlywarnings`, `ggplot2`, `vegan`).
- Entender el flujo de trabajo: desde la importación de datos hasta la visualización de resultados.

### Competencias (Habilidades prácticas)

#### 1. Procesar y visualizar series de tiempo ecológicas

- Limpieza y preprocesamiento de datos (manejo de valores faltantes, suavizado).
- Generación de gráficos temporales (series crudas, tendencias, autocorrelogramas).
- Uso de herramientas interactivas para exploración dinámica.

#### 2. Calcular e interpretar métricas de alerta temprana

- Aplicar funciones para estimar autocorrelación, varianza y *skewness* en datos univariados.
- Implementar análisis multivariados (ej. matriz de correlaciones, PCA) para sistemas complejos.
- Evaluar la significancia estadística de las SAT mediante remuestreo (*bootstrapping*).

#### 3. Aplicar SAT en estudios de caso reales

- Seleccionar métricas adecuadas según el tipo de ecosistema (acuático, terrestre, microbiano).
- Interpretar resultados en contexto.

## 4. Recursos Necesarios

### Equipos y Software

- Computadoras para participantes (con acceso a internet).
- Software requerido:
  - R (con RStudio) + paquetes: `earlywarnings`, `ggplot2`, `dplyr` y `ewsmethods`.
- Datos de ejemplo proporcionados por el instructor en formato CSV.

### **Referencias básicas:**

- Dakos, V., Carpenter, S. R., Brock, W. A., Ellison, A. M., Guttal, V., Ives, A. R., ... & Scheffer, M. (2012). Methods for detecting early warnings of critical transitions in time series illustrated with simulated ecological data. *PLoS ONE*, 7(7), e41010. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041010>
- Scheffer, M. (2009). *Critical transitions in nature and society*. Princeton University Press.
- Carpenter, S. R., Cole, J. J., Pace, M. L., Batt, R., Brock, W. A., Cline, T., ... & Weidel, B. (2011). Early warnings of regime shifts: A whole-ecosystem experiment. *Science*, 332(6033), 1079-1082. <https://doi.org/10.1126/science.1203672>

### **Métodos univariados:**

- Guttal, V., & Jayaprakash, C. (2008). Changing skewness: An early warning signal of regime shifts in ecosystems. *Ecology Letters*, 11(5), 450-460. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01160.x>
- Dakos, V., van Nes, E. H., Donangelo, R., Fort, H., & Scheffer, M. (2010). Spatial correlation as leading indicator of catastrophic shifts. *Theoretical Ecology*, 3(3), 163-174. <https://doi.org/10.1007/s12080-009-0060-6>

### **Herramientas computacionales:**

- Boettiger, C., & Hastings, A. (2012). Early warning signals and the prosecutor's fallacy. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1748), 4734-4739. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2085>

### **Aplicaciones prácticas:**

- Biggs, R., Carpenter, S. R., & Brock, W. A. (2009). Turning back from the brink: Detecting an impending regime shift in time to avert it. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(3), 826-831. <https://doi.org/10.1073/pnas.0811729106>
- Scheffer, M., Carpenter, S. R., Dakos, V., & van Nes, E. H. (2015). Generic indicators of ecological resilience: Inferring the chance of a critical transition. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, 145-167. <https://doi.org/10.1146/annurev-eolsys-112414-054242>

## **II. Título del taller: Análisis de series de tiempo: técnicas básicas y nuevas tendencias.**

Raúl Salgado García

### **1. Descripción:**

Tema día 01: Introducción al análisis de datos. Panorama de técnicas de análisis y resumen de teoría de probabilidad y estadística elemental.

Tema día 02: Introducción a la computación científica en Python. Librerías elementales, visualización de datos. Transformada de Fourier, autocorrelación y Teorema de Wiener-Khinchin y exponente de Hurst.

Tema día 03: Elementos de teoría de información. Entropía de Shannon, entropía conjunta, condicional e información mutua. Índice de predictibilidad basado en entropía.

Resultados de aprendizaje: Se introducirán en el análisis de datos, la computación científica. Aprenderán a utilizar herramientas populares de análisis de datos provenientes de la física y de teoría de la información.

Resultados de competencias: Aprenderán a aplicar las técnicas de análisis utilizando datos reales de series de tiempo fisiológicas y entenderán como los conceptos de predictibilidad, información, entropía, entre otros, se aplican en contextos específicos de análisis de series temporales.

**Necesidades:** Los estudiantes tienen que tener, durante todo el curso, acceso a una computadora con conexión a internet para trabajar en Colab.