

# PREDICCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA VEGETACIÓN A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LAS SERIES TEMPORALES DEL NDVI

A. A. FDEZ. MANSO (\*), J. A. DELGADO (\*\*) y C. QUINTANO (\*\*\*)

Diaafh@unileon.es

(\*) Departamento de Ingeniería Agraria. E.S.T. de Ingeniería Agraria. Campus del Bierzo. Universidad de León.

(\*\*) LATUV. Departamento de Física Aplicada I. E. T. S de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avda. Madrid 57, 34071. Palencia.

(\*\*\*) Departamento de Tecnología Electrónica. C/ Francisco Mendizabal s/n. 47014 Valladolid

**RESUMEN:** A partir de la metodología propuesta por BOX-JENKINS para el análisis estadístico de series temporales se han construido distintos modelos predictivos de la respuesta del NDVI para las principales clases forestales de Castilla y León. Los modelos se han diseñado utilizando series temporales del NDVI (1993-2000) de imágenes NOAA-AVHRR, estos modelos aprovechan la inercia en el comportamiento de la serie para prever su evolución futura. Como última aplicación se ha estudiado las relaciones de las series del NDVI con series temporales de datos climáticos.

**ABSTRACT:** Starting from the methodology proposed by BOX-JENKINS for the statistical analysis of temporary series, different forecasting models of the answer of the NDVI they have been built for the main forest classes of Castilla y León (Spain). The models have been built starting from the temporary series of the NDVI (1993-2000) using images NOAA-AVHRR, these models take advantage of the inertia in the behavior of the series to foresee their future evolution. As last application it has been studied the relationships of the series of the NDVI with temporary series of climatic data.

**Palabras clave:** NDVI, análisis de series temporales, vegetación, climatología.

## INTRODUCCIÓN

Una de las principales aplicaciones del NDVI es la vigilancia de las áreas forestales. A partir de este índice se pueden desarrollar distintas estrategias de seguimiento de la vegetación utilizando técnicas de análisis multitemporal basadas en clasificación de los NDVI, utilizando análisis descriptivos de los registros históricos, o estudiando detalladamente las series temporales (Chuvieco, 1997). Pero ya que el NDVI también está muy relacionado con la variación climática anual, los estudios, además de utilizar las series históricas, deben también apoyarse en estudios climáticos. Para determinar la evolución normal sería útil construir modelos que establezcan su relación con variables climáticas (Fernández *et alii*, 1999).

Esta comunicación recoge el primero de los tres subsistemas desarrollados para el seguimiento de los recursos forestales a partir del estudio de las series temporales del NDVI. La aplicación en su conjunto realiza tres tareas básicas: predicción, clasificación e interpretación de la evolución de la vegetación.

En concreto, el subsistema 1, predice la respuesta de la vegetación forestal a partir de los modelos estocásticos elaborados. Los modelos aprovechan la inercia en el comportamiento de la serie para prever su evolución futura. El subsistema contesta a los siguientes interrogantes: ¿qué respuesta es esperable ahora en esta clase forestal? y ¿qué respuesta es previsible en los próximos decenios? (Fernández, 2000).

Para este estudio se han utilizado imágenes de NDVI-AVHRR intervalos regulares cada 10 días durante el periodo 1993-2000. El marco teórico utilizado en el análisis de esta variable dinámica empleado ha sido la teoría de procesos estocásticos, en concreto, la metodología propuesta por BOX - JENKINS.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Box & Jenkins (1976) han desarrollado modelos estadísticos para el análisis de series temporales que tienen en cuenta la dependencia existente entre los datos. Cada función en un momento dado es modelada por la sucesión de los valores anteriores. Estos modelos se co-

nocen con el nombre genérico de ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), debido a sus tres componentes: Autoregresivo (AR), integrado (I) de medias móviles (MA). El modelo ARIMA permite describir un valor como función lineal de datos anteriores y errores debidos al azar, estos modelos pueden incluir una componente estacional (Peña, 1992)

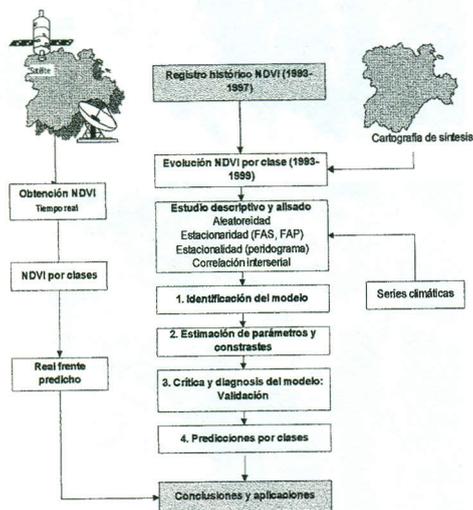


Figura 1. Metodología para la elaboración del modelo predictivo.

En la figura 1 se esquematizan las distintas fases seguidas. En primer lugar, a partir de la cartografía de síntesis se han extraído del registro de imágenes históricas del NDVI el valor correspondiente a cada clase. En total se han tomado 185 medidas para cada una de las 17 clases analizadas: coníferas (pino silvestre, pino laricio, pino resinero, pino piñonero, pino carrasco y sabina albar), frondosas (haya, rebollo, castaño, alcornoque y encina), matorrales (cuatro clases) y zonas agrícolas (cultivos de secano y regadío). En segundo lugar, se ha realizado un estudio descriptivo y un posterior alisado de cada una de ellas. En tercer lugar, se ha efectuado el análisis de las series temporales utilizando modelos SARIMA y siguiendo las siguientes etapas: Identificación, estimación, validación y predicción (Otero, 1988). Por último, se ha diseñado una aplicación a partir de los modelos obtenidos. En una fase final se han relacionado las series del NDVI con las series climáticas de precipitación y temperaturas entre 1993-1997.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados, una vez seleccionado el modelo más adecuado, se ajustan mayoritariamente a un SARIMA  $(0,1,1) \times (0,1,1)_{37}$  con una componente de media móvil tanto en la parte no estacional como en la estacional. En el pino silvestre, el pino laricio, la encina y el alcornoque aparece una componente autorregresiva en la parte estacional: SARIMA  $(0,1,1) \times (1,1,1)_{37}$ . En la Figura 2 aparece el peridograma y la representación gráfica del modelo construido para el pino silvestre.

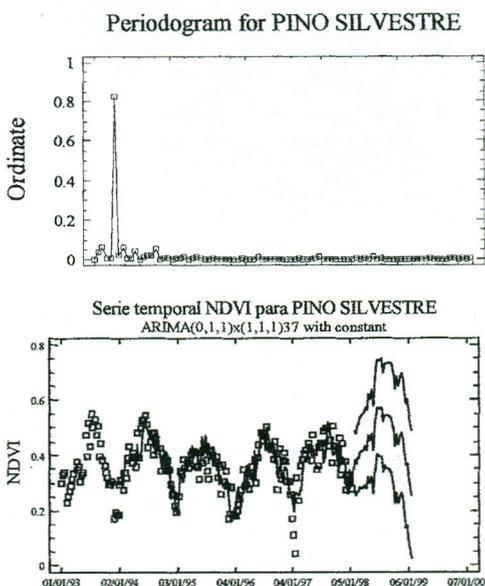


Figura 2. Peridograma y modelo predictivo seleccionado para el pino silvestre.

En la validación de los modelos se ha comprobado que las ACF y ACPF de los residuos de los modelos superan los tests de residuales, y se puede comprobar que éstos son aleatorios. Las simulaciones históricas y las predicciones demuestran que los modelos son apropiados para realizar predicciones a corto plazo, este tipo de predicciones son precisamente las más interesantes para sistemas de seguimiento en tiempo semi-real.

Se ha diseñado una aplicación para el seguimiento de la vegetación en una zona piloto en el sureste de la región que integra las provincias de Ávila, Segovia y Valladolid). Los objetivos responden a las funcionalidades desarrolladas en esta comunicación: predecir el estado de la vegetación.

La zona piloto se encuentra a caballo entre dos grandes regiones naturales: el Sistema Central Ibérico y la



La utilidad de modelos dinámicos (mezcla del análisis de series temporales y del análisis de regresión) para la predicción es distinta según sea o no instantánea la relación entre la variable explicativa y la variable respuesta. Cuando lo es, para prever  $Y_{t+k}$  es necesario conocer  $X_{t+k}$ , situación que requerirá construir un modelo univariante para  $X_t$ , y es posible que la mejora en la predicción que aporte el modelo multivariante (dinámico) respecto al univariante para  $Y_{t+k}$  sea muy pequeña. Si la relación no es instantánea y una variación en  $X_t$  afecta a  $Y_{t+k}$  ( $K>0$ ), se dice que  $X_t$  es un indicador avanzado de la respuesta, y su conocimiento mejora las predicciones para  $Y_{t+k}$ .

Las ideas anteriormente expuestas tienen gran importancia para interpretar los resultados obtenidos. Si introducimos las temperaturas máximas como regresor, en ningún modelo la contribución de esta variables es significativa. Si observamos la evolución del NDVI con la temperatura se comprueba la relación es directa, en algunas especies hasta se solapa. Sin embargo, si que se ha encontrado una significación en las precipitaciones para especies sometidas a déficit estival como el pino piñonero, el pino carrasco, pino laricio y alcornoque.

#### CONCLUSIONES

En el trabajo se demuestra la utilidad de la utilización de modelos predictivos en el seguimiento de la evolución de la vegetación y como éstos pueden ser mejorados utilizando series de datos climáticos.

Actualmente se está mejorando la cartografía para hacer un seguimiento más detallado de cada especie forestal y generar modelos más adaptados a los diferentes ecotipos regionales. Además, la incorporación de nuevas series de imágenes anuales permitirá perfeccionar los modelos de predicción.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BOX, G. E. & JENKINS, G. M. 1976. Time series analysis: forecasting and control. Holden-Day.
- CHUVIECO, E. 1997. Fundamentos de teledetección espacial. Rialp SA.
- FERNÁNDEZ MANSO, A.A. 2000. Seguimiento de Recursos Naturales en Castilla y León mediante Imágenes de Satélite y SIG: Principales Aplicaciones. Tesis doctoral.
- FERNÁNDEZ MANSO, A. A., Illera Gutiérrez, P., Delgado de la Mata J. A. & Fernández Unzueta, A. 1999. Modelation of the NDVI temporal evolution in forestry areas of Castilla y Leon (Spain) using climatic data. 1999. Remote Sensing in the 21 Century: Economic and Environmental Applications. University of Valladolid. Spain.
- OTERO, J. 1988. Modelos econométricos y predicción de series temporales. ACE. Madrid.
- PEÑA, D. 1992. Estadística, modelos y métodos II. Modelos lineales y series temporales. Segunda edición revisada. Alianza Universidad Textos.