

Análisis diacrónico de la producción española de tesis doctorales en Educación Matemática mediante la metodología ARIMA en datos de diseños longitudinales

Mónica Vallejo Ruiz
Universidad de Granada

Manuel Torralbo Rodríguez
Universidad de Córdoba

Antonio Fernández Cano
Universidad de Granada

Resumen

Hoy día, disponemos de una metodología conocida como modelos de Box-Jenkins, sus creadores, la metodología ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average)-modelo autorregresivo integrado de medias móviles- permite ajustar con mayor rigor una serie de datos secuenciales, superando las técnicas clásicas por regresión y componentes de varianza, e inferir a partir del modelo determinado valores de pronóstico y/o post-intervención experimental.

La función explicativa y de pronóstico de la metodología ARIMA se ejemplifica mediante su aplicación al estudio diacrónico de las tendencias en la producción española en tesis doctorales de Educación Matemática y de las áreas de conocimiento más productivas de la misma; coadyuvando, entonces, a la mejora de las propuestas analíticas un tanto simplistas de los modelos de crecimiento de la ciencia propuestas por Price.

Abstract

Today, there is available a methodology, denominated by the names of its creators Box-Jenkins models, in fact ARIMA methodology (Auto-Regressive Integrated Moving Average), which permits more rigorous adjustments on time series of longitudinal data, overcoming the classic techniques of regression and components of variance and inferring forecasting values and experimental post-intervention data.

The explicative and forecasting functions of the ARIMA methodology are exemplified by its application to the diachronic study of trends in the Spanish production of doctoral dissertations (theses) on Mathematics Education and the areas of knowledge concerned with this research topic. So, it is an improved analytical proposal in comparison to the scientific growth models anticipated by Price.

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones de tipo longitudinal están teniendo una importancia creciente en las ciencias sociales y del comportamiento, siendo la base de este desarrollo los importantes estudios emprendidos en los años 60 (véase Keeves, 1997). En el ámbito de la Educación Matemática son muy variados, por lo que, los más importantes y actuales, han sido agrupados en área de interés.

Dentro del ámbito del desarrollo de destrezas lógico-matemáticas destacan los estudios realizados por Blatchford, Goldstein, Martin y Browse, (2002)¹; Boaler, William y Brown, (2000)², Safford-Ramus, (2001)³ y Skaalvik y Valas, (1999)⁴.

En el ámbito de la investigación en Educación Matemática reseñar los trabajos realizados por *Nacional Science Foundation*, (1982); Owens y Reed, (2000) y Suydam, (1989). Y por último, citar los trabajos realizados por la *National Assesment of Educational Progress* que han sido varios los relativos a la Educación Matemática, desde un tipo de diseño longitudinal; de entre todos ellos hemos rescatados los de Mullis (1994) o Campbell, Hombro y Mazzeo (2000).

El uso del tiempo en los estudios longitudinales puede tratarse de dos maneras diferentes: el primero donde el tiempo es usado como una característica del tema, y el segundo, cuando se utiliza como una señal, una característica del diseño. Un ejemplo del primer caso puede ser cuando la edad cronológica se emplea como la base para la selección de un individuo; y del segundo, la característica tiempo como una variable alterable. Esta utilización del tiempo nos lleva a plantearnos 5 tipos de investigaciones longitudinales: estudios simultáneos, estudios de intervención, estudios de panel, estudios de tendencia y estudios de series temporales, donde centraremos nuestra investigación.

1. *Estudios simultáneos*: Dentro de esta tipología, dos o más estudios transversales son realizados al mismo tiempo pero con diferentes grupos de edad en cada estudio.
2. *Estudios de intervención*: Los estudios de intervención involucran una variación del diseño de series temporales; pudiendo ser aleatoria la probabilidad de prueba, la distribución de temas o grupos de tratamiento.
3. *Estudios de panel*: En los estudios de panel intervienen tres variables: grupo, tiempo y edad. Existen dos tipos de paneles: Panel tradicional, donde la muestra es fija, y en la que se miden reiteradamente las mismas variables; y panel ómnibus; con una muestra fija, pero las variables son diferentes cada vez.
4. *Estudios de seguimiento*: Este tipo de estudios longitudinales tiene sus orígenes en la Psicología del desarrollo; y asumen que el desarrollo humano es un proceso continuo, evaluable en una serie de momentos o intervalos de tiempo apropiados, intervalos que no tienen porqué ser iguales. De este modo, el desarrollo puede examinarse de una manera válida con el análisis de estos intervalos temporales.
5. *Estudio de tendencias*: Son estudios que describen actitudes y opiniones, con personas diferentes (muestras distintas procedentes de poblaciones distintas), utilizándose mayoritariamente en pruebas de aprovechamiento, de aptitud escolar, verbal, etc.

Una clasificación de los diversos estudios longitudinales nos la ofrece el siguiente cuadro extraído de Fernández Cano (2004).

¹ Sobre la relación ratio y desempeño.

² Sobre éxito fracaso escolar.

³ Sobre Educación Matemática de adultos.

⁴ Sobre la relación entre rendimiento, autoconcepto y motivación.

Tabla 1. Clasificación de estudios longitudinales (Est.)

| | Misma muestra | Misma población | Tratamiento experimental | Observaciones sucesivas | Misma variable |
|--|---------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|----------------|
| <i>Est. simultáneos</i> | NO | NO | NO | NO | SI |
| <i>Est. experimental de intervención: serie temporal</i> | SI | SI | SI | SI | SI |
| <i>Est. Experimental de intervención N= 1</i> | CASO | - | SI | SI | SI |
| <i>Est. cuasi-experimental de cohortes</i> | NO | SI | SI | SI | SI |
| <i>Est. observacionales de cohortes</i> | NO | SI | NO | SI | SI |
| <i>Est. de panel clásicos</i> | SI | SI | NO | SI | NO |
| <i>Est. de panel omnibus</i> | SI | SI | NO | SI | NO |
| <i>Est. de seguimiento</i> | CASO | - | NO | SI | SI |
| <i>Est. de tendencias</i> | NO | NO | NO | SI | SI |

Fuente Fernández Cano (2004).

Estudio de series temporales: Concepto general.

El estudio de las series temporales se constituye como una de las técnicas más habituales que se emplean para prever los fenómenos de cualquier naturaleza, utilizándose con el propósito de describir la “historia” de una determinada variable o variables (Rodríguez Morilla, 2000). Esta finalidad principal se puede dividir en dos objetivos básicos:

1. Extraer las regularidades que se observan en el comportamiento pasado de la variable, obteniendo el mecanismo que genera para, en base a ello, tener un mejor conocimiento de la propia variable.
2. Predecir el comportamiento futuro de la misma reduciendo la incertidumbre.

Así, podemos definir a la serie temporal como una sucesión de observaciones correspondientes a una variable en distintos momentos de tiempo; por lo general, serán en intervalos de tiempo regulares y de duración constante. De este modo, las series temporales se contraponen a las denominadas transversales o de sección cruzada, que recogen el comportamiento de una variable para diferentes elementos, pero relativos a un mismo momento temporal, al igual que a los datos de panel, que combinan datos de serie temporal y de corte transversal; proporcionando observaciones relativas a distintos elementos en diversos momentos de tiempo (Rodríguez Morilla, 2000).

La sistematización de las diferentes metodologías empleadas en el tratamiento de una serie temporal puede hacerse basándose en criterios diversos, que dan lugar a enfoques duales como los que apunta Álvarez (2001): Determinista *versus* estocástico, Univariante *versus* multivariante y Dominio temporal *versus* frecuencial.

Componentes de una serie.

Los componentes más importantes de una serie temporal serían:

1. *Tendencia*: Movimiento de larga duración que indica la marcha general y persistente del fenómeno, siendo el componente que refleja la evolución de la serie a largo plazo.

2. *Variación estacional*: Componente causal debida a la influencia de ciertos fenómenos que se repiten periódicamente.

3. *Variación cíclica*: Componente de la serie que recoge las oscilaciones periódicas de amplitud superior a un año. Son movimientos irregulares alrededor de una tendencia regular en donde, a diferencia de las variaciones estacionales, el periodo y la amplitud son variables.

4. *Variación aleatoria, accidental o errática*: Movimiento de tipo causal que no muestra ninguna regularidad y, en consecuencia, no sería posible su predicción. Dentro de esta componente se distinguen aquellas irregularidades cuyas causas se pueden identificar (factor errático) y tales atribuibles al azar (factor aleatorio).

En suma, digamos que en una serie no tienen por qué estar presentes todas las componentes, sino que según el fenómeno estudiado algunos componentes dejarán de tener sentido.

El enfoque moderno de series temporales: Modelos ARIMA

El estudio clásico o descriptivo de las series temporales se ha venido utilizando desde la segunda mitad del siglo XIX; pero en 1970, con los trabajos de Box, profesor de Estadística de la Universidad de Wisconsin, y Jenkins, profesor de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Lancaster, se produce un avance respecto a los modelos de series temporales, apareciendo lo que conocemos como metodología ARIMA o modelos Box-Jenkins (véase Box y Jenkins, 1970). La edición más reciente de tales desarrollos ARIMA está localizable en Box, Jenkins y Reinsel (1994). Esta metodología está basada en la teoría de los procesos estocásticos, proporcionando mejores resultados, sobre todo, en las predicciones a corto plazo.

Lo importante es que para utilizar la metodología Box-Jenkins, se debe tener una serie de tiempo estacionaria o una serie de tiempo que sea estacionaria después de una o más diferenciaciones.

Fases de la metodología ARIMA.

El proceso en la determinación de un modelo ARIMA consta de cuatro fases o etapas, que se aplican de manera iterativa hasta alcanzar el resultado más satisfactorio:

1ª Fase. Identificación: Consiste en proponer un modelo ARIMA para representar el proceso que ha generado las observaciones. Se trata de determinar los valores (p, d, q) .

2ª Fase. Estimación: Identificados los valores de (p, d, q) , la siguiente etapa es estimar los parámetros autorregresivos y de media móvil incluidos en el modelo. Este cálculo puede hacerse a través de mínimos cuadrados simples o con métodos de estimación no lineal; aunque, actualmente, esta labor se lleva a cabo a través de rutinas en diversos paquetes estadísticos.

3ª Fase. Validación: El modelo estimado debe representar adecuadamente el proceso que se supone ha generado las observaciones, ya que es posible que exista otro modelo ARIMA que también lo haga.

4ª Fase. Predicción: Una de las razones de la popularidad del proceso de construcción de modelos ARIMA es su éxito en la predicción. En muchas ocasiones, las predicciones obtenidas por este método son más contables que las obtenidas en la elaboración tradicional de modelos, particularmente para predicciones a corto plazo.

ANÁLISIS DE DATOS

Como ejemplificación de un análisis de series temporales aplicando el modelo ARIMA, seleccionamos la producción española de tesis doctorales de Educación Matemática durante el periodo 1975-2002 y los departamentos universitarios donde se han realizado tales trabajos.

I. Productividad General.

La serie temporal de la productividad general de tesis doctorales, se recoge en el siguiente cuadro-resumen:

Tabla 2. Desarrollo diacrónico anual de la producción general

| | | | | | | | | | |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| AÑOS | 1975 | | | | | | | | |
| <i>Tesis</i> | 1 | | | | | | | | |
| Años | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 |
| <i>Tesis</i> | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 3 | 1 | 0 |
| Años | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 |
| <i>Tesis</i> | 2 | 7 | 4 | 7 | 6 | 6 | 17 | 11 | 8 |
| Años | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
| <i>Tesis</i> | 16 | 15 | 16 | 18 | 21 | 15 | 20 | 28 | 18 |

El examen descriptivo de la producción de tesis doctorales en Educación Matemática durante el primer decenio (1975-1985) muestra un fuerte carácter esporádico; leyéndose una media de 1 ó 2 tesis doctorales al año. En años posteriores, la producción aumenta de manera considerable y paulatina.

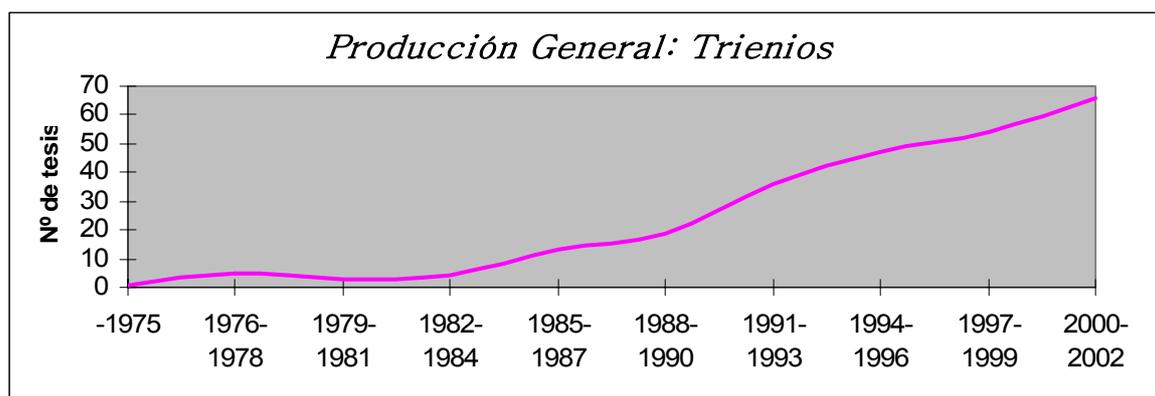


Figura 2. Análisis longitudinal de la producción general según trienios.

Este presenta semejanzas con lo estimado por Price (1986) para la ciencia en general, el cual determinó que la información científica durante un periodo de 10-15 años llegaba a duplicarse creciendo, por tanto, a un ritmo muy superior al de otros procesos o fenómenos sociales (véase Fernández Cano, Torralbo y Vallejo, 2004).

Este crecimiento acentuado de la producción parece disminuir en el último año del estudio en donde las 28 tesis doctorales realizadas en el 2001 se reducen a 18 en el 2002.

Para conocer si la producción de tesis en educación Matemática ha llegado a esa etapa de saturación, explicitada por Price, o aún, se encuentra en un periodo de crecimiento; realizamos el ajuste a distintos modelos de crecimiento: Modelo ARIMA y modelos clásicos y un análisis prospectivo del mismo.

A. Ajuste.

Una vez realizado el análisis descriptivo de los datos obtenidos, efectuamos el ajuste a los siguientes modelos:

- A. Modelo ARIMA (3,1,3) con ajuste matemático de Box-Cox
- B. Media constante = 8,85

C. Tendencia lineal: $-1745,64 + 0,88 t$

D. Media móvil simple de 5 términos

E. Alisado simple exponencial con $\alpha = 0,50$

| Model | MSE | MAE | MAPE | ME | MPE |
|-------|---------|---------|------|--------------|-----|
| (A) | 6,26139 | 1,61736 | | 0,130363 | |
| (B) | 63,9788 | 6,96939 | | -3,17207E-15 | |
| (C) | 11,7357 | 2,67648 | | -4,87229E-14 | |
| (D) | 18,993 | 3,34783 | | 2,54783 | |
| (E) | 15,1779 | 2,68308 | | 1,36429 | |

| Model | RMSE | RUNS | RUNM | AUTO | MEAN | VAR |
|-------|---------|------|------|------|------|-----|
| (A) | 2,50228 | OK | OK | OK | OK | OK |
| (B) | 7,99868 | OK | *** | *** | *** | *** |
| (C) | 3,42574 | OK | * | OK | OK | OK |
| (D) | 4,3581 | OK | OK | OK | ** | ** |
| (E) | 3,89589 | OK | OK | * | OK | *** |

Esta búsqueda nos determina que el modelo óptimo de ajuste para la producción general es un modelo ARIMA (3,1,3) con ajuste matemático de Box-Cox, con un error medio cuadrático (MSE) de 6,26. Con respecto a los modelos denominados clásicos, la producción general se ajusta a un modelo de tendencia lineal cuya función es: $y = -1745,64 + 0,88 t$, donde y es la producción (nº de tesis) y t , tiempo en años.

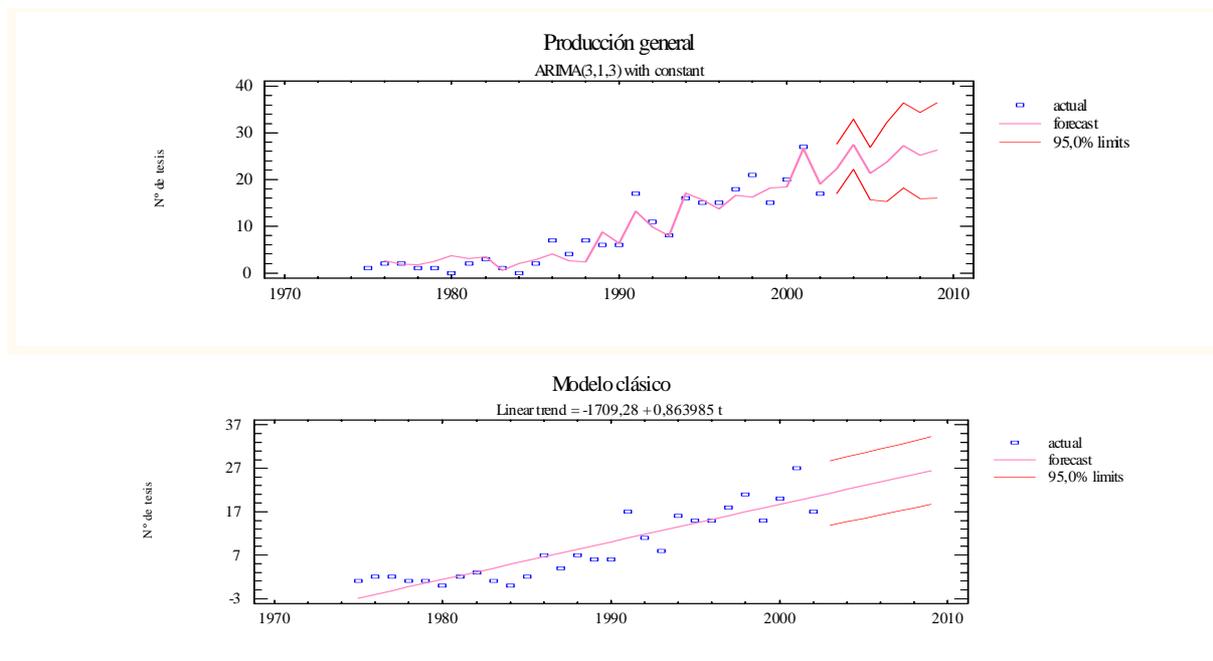


Figura 3. Modelo gráfico ARIMA y Clásico de la productividad general.

B. Pronósticos.

Determinado que el mejor ajuste plausible es un modelo ARIMA, este mismo nos proporciona los datos-pronósticos a esperar en un periodo de tiempo de 7 años. Los resultados son:

Tabla 3. Valores-pronósticos de la producción general en los siete años siguientes

| PRONÓSTICOS | Nº DE TESIS | LÍMITE INFERIOR 95,0% | LÍMITE SUPERIOR 95,0% |
|-------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| 2003 | 22 | 16 | 28 |
| 2004 | 26 | 17 | 32 |
| 2005 | 23 | 17 | 29 |
| 2006 | 23 | 16 | 34 |
| 2007 | 27 | 17 | 37 |
| 2008 | 27 | 17 | 37 |
| 2009 | 27 | 17 | 39 |

* Las cifras han sido redondeadas

El análisis de ajuste y prospectivo, representado en la figura 3, determina que la producción de tesis doctorales en este campo va a continuar aumentando a lo largo de este periodo hasta un máximo de 27 tesis doctorales; oscilando este pronóstico en unos límites inferior (situación más pesimista) y superior (situación más optimista), al 95% de confianza, de 17 y 39 tesis doctorales (valores máximos de tales límites).

Estos resultados parecen determinar que el crecimiento no ha sido acelerado (exponencial) y aún no se ha llegado al nivel de saturación (logístico). El hallazgo de que el crecimiento se ajuste (segundo mejor ajuste) a una recta de pendiente crecimiento ($a = 0,88$; arco-tangente de $a = 41^\circ$) es propio de series reducidas y de bajo tamaño muestral.

Price (1986) obtiene su modelo de crecimiento exponencial-logístico trabajando con un gran volumen de datos. Aún sin verificar el modelo de Price, el hallazgo es de una relevancia insoslayable que muestra la fertilidad del campo de la Educación Matemática.

II. Centro de realización o Departamento

La diversidad de departamentos de lectura obligó a establecer una agrupación relativa a los mismos, en función de la relación con la Educación Matemática. Las categorías que se establecieron fueron: *Generalistas, Especialistas, Psicológicos, Matemáticos y Otros.*

Según esta clasificación, podemos obtener un desarrollo diacrónico de cada una de estas categorías, destacando que las primeras tesis doctorales se efectuaron desde departamentos generalistas (1975) y psicológicos (1976). (Ver tabla 4).

Tabla 4. Desarrollo diacrónico anual de la producción según centro de realización

| CENTRO DE REALIZACIÓN | PERIODO | AÑOS CON REALIZACIONES | TOTAL |
|-----------------------|--|------------------------|-------|
| Generalistas | 1975-1977, 1979, 1981, 1985-2002 | 23 | 88 |
| Especialistas | 1983, 1989, 1991-2002 | 14 | 81 |
| Psicológicos | 1976, 1982, 1985-1986, 1988, 1991-2002 | 17 | 51 |
| Matemáticos | 1989, 1992, 1994, 1997-2002 | 10 | 12 |
| Otros | 1978, 1980-1981, 1989-1991, 1994-2001 | 14 | 16 |

Se constata que los departamentos generalistas cuentan con una mayor tradición/antigüedad investigadora, comenzando su producción en 1975 y manteniéndola a lo largo de 23 años. Por el contrario, los departamentos especialistas empiezan a realizar tesis doctorales en los años 80, concretamente en el año 1983; aunque su producción no tendrá un carácter continuo hasta el año 1991.

Para obtener un conocimiento más detallado de cuál ha sido la evolución de estas categorías establecidas, se han representado tales periodos de producción en la figura 4. En esta figura podemos observar como la realización de tesis doctorales en departamentos *generalistas* fue mayoritaria hasta el año 1991; pudiéndose considerar éste el año de despegue de la investigación del área de conocimiento de la Didáctica de la Matemática. Y es por ello por lo que, a partir de este momento, los departamentos *especialistas* comienza a tener un crecimiento exponencial muy acentuado, que continúa hasta la actualidad.

Con respecto a los departamentos *psicológicos* podemos decir que han tenido una gran influencia y representatividad en la realización de tesis doctorales sobre Educación Matemática, influencia que se ha sostenido casi constante con el paso del tiempo.

Por último, mencionar que los departamentos *matemáticos* y los denominados *otros*, han mantenido un escaso aporte a lo largo del periodo analizado.

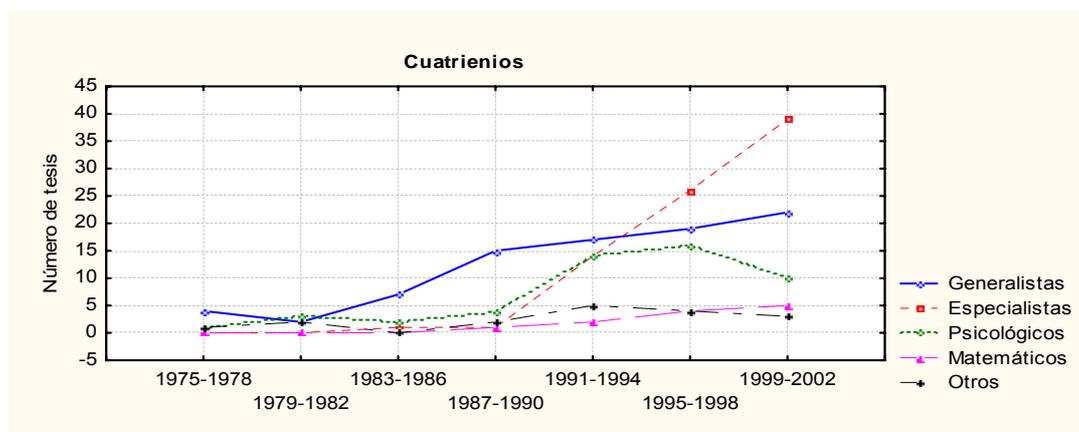


Figura 4. Producción de tesis doctorales según centros de realización (1975-2002).

A. Ajuste.

El ajuste se realizará únicamente sobre las dos primeras categorías establecidas, por ser ambas las más productivas en la realización de tesis doctorales. En el caso de los departamentos *generalistas*, los modelos de verificación/ajuste tendrían los siguientes valores:

- A. ARIMA (4,2,4) con ajuste matemático de Box-Cox
- B. Media constante = 3,14
- C. Tendencia lineal: $-445,28 + 0,23 t$
- D. Media móvil simple de 5 términos
- E. Alisado simple exponencial con $\alpha = 0,32$

| Model | MSE | MAE | MAPE | ME | MPE |
|-------|---------|---------|------|--------------|-----|
| (A) | 3,26316 | 1,11621 | | 0,0604121 | |
| (B) | 6,71958 | 2,16327 | | 3,48927E-16 | |
| (C) | 3,40461 | 1,44198 | | -3,85723E-14 | |
| (D) | 4,56 | 1,6 | | 0,626087 | |
| (E) | 4,39495 | 1,40939 | | 0,518129 | |

| Model | RMSE | RUNS | RUNM | AUTO | MEAN | VAR |
|-------|---------|------|------|------|------|-----|
| (A) | 1,80642 | OK | OK | OK | OK | OK |
| (B) | 2,59221 | OK | *** | ** | *** | OK |
| (C) | 1,84516 | OK | OK | OK | OK | OK |
| (D) | 2,13542 | OK | OK | OK | OK | ** |
| (E) | 2,09641 | OK | OK | OK | OK | OK |

La producción de tesis doctorales por parte de los departamentos *generalistas* se ajusta a dos modelos con unas diferencias mínimas y ratificando todos los supuestos del análisis de series temporales.

Estos modelos: ARIMA (4,2,4) con ajuste matemático de Box-Cox en este caso, al contrario que en otras variables anteriores, se ha tenido que diferenciar dos veces para hacer la serie estacionaria; y al modelo clásico de tendencia lineal $y = -445,28 + 0,23 t$. De estos dos modelos se selecciona el modelo ARIMA, como mejor modelo de ajuste, con un error menor (MSE = 3,26).

Este modelo determina un crecimiento desigual en la producción de tesis doctorales con amplias fluctuaciones anuales, que se producen igualmente a los límites superior e inferior (al 95% de confianza) delimitados por este modelo.

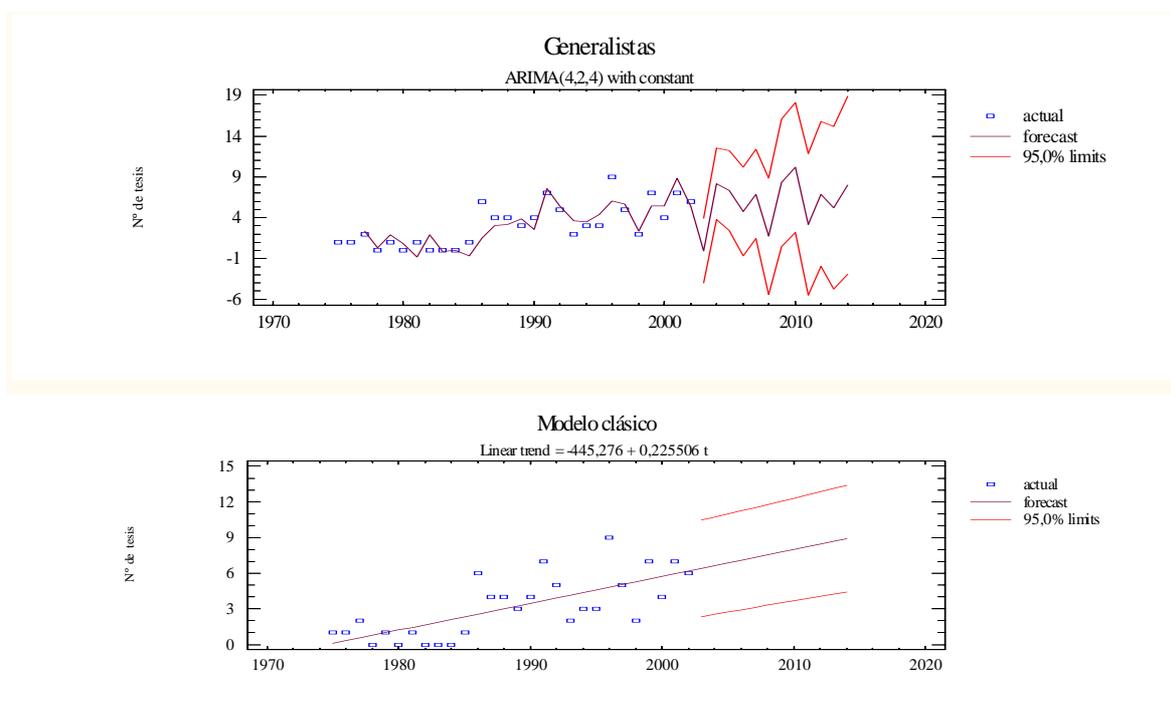


Figura 5. Modelo gráfico ARIMA y Clásico de la producción generalista.

En el caso de los departamentos *especialistas*, el ajuste a los modelos sería:

- ARIMA (2,2,6) con ajuste matemático de Box-Cox
- Media constante = 2,89
- Tendencia lineal: $-805,24 + 0,41 t$
- Media móvil simple de 5 términos
- Alisado simple exponencial con $\alpha = 0,56$

| Model | MSE | MAE | MAPE | ME | MPE |
|-------|---------|----------|------|--------------|-----|
| (A) | 1,03541 | 0,644639 | | 0,0244612 | |
| (B) | 16,0251 | 3,22704 | | -1,14194E-15 | |
| (C) | 5,03552 | 1,69916 | | 4,06024E-14 | |
| (D) | 6,1513 | 1,64348 | | 1,31304 | |
| (E) | 4,32299 | 1,29144 | | 0,626807 | |

| Model | RMSE | RUNS | RUNM | AUTO | MEAN | VAR |
|-------|---------|------|------|------|------|-----|
| (A) | 1,01755 | OK | OK | OK | OK | OK |
| (B) | 4,00314 | *** | *** | *** | *** | *** |
| (C) | 2,244 | ** | * | *** | OK | OK |
| (D) | 2,48018 | OK | OK | OK | OK | *** |
| (E) | 2,07918 | *** | OK | OK | * | *** |

La producción en este tipo de departamentos se ajusta, de manera concluyente, al modelo ARIMA (2,2,6) con ajuste matemático de Box-Cox, seguido del modelo alisado simple exponencial con alpha 0,56 .

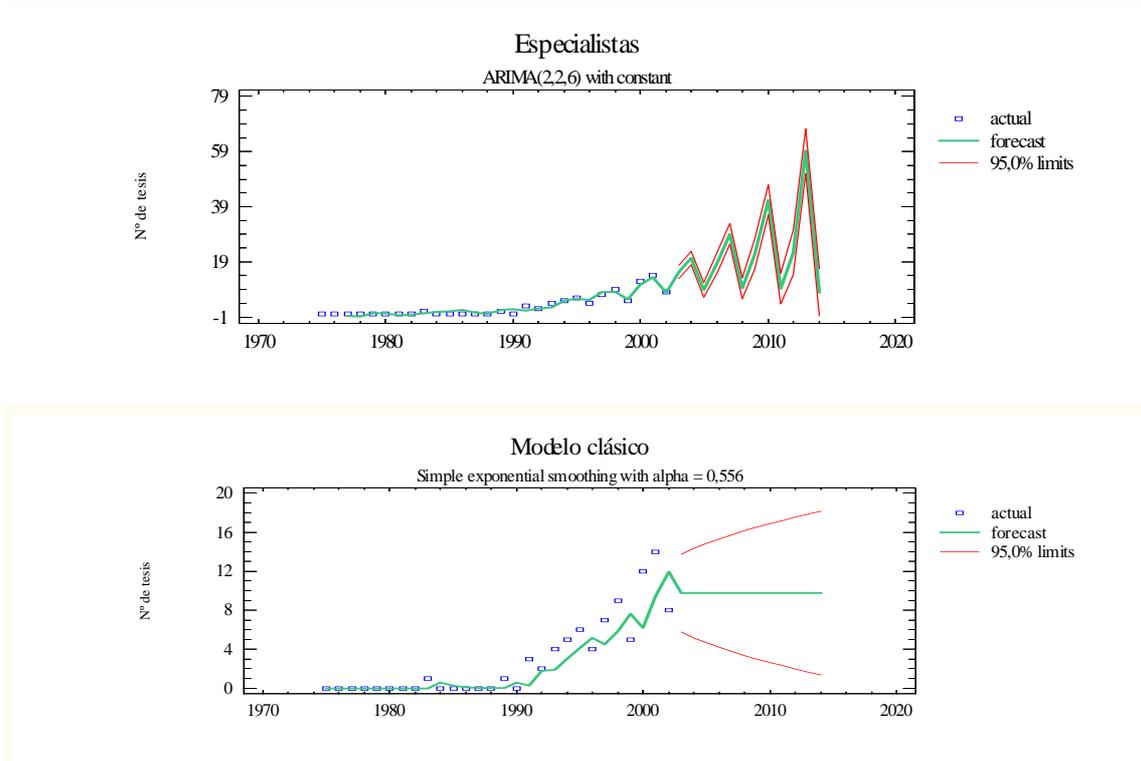


Figura 6. Modelo gráfico ARIMA y Clásico de la producción especialista.

Si se comparan las pendientes de regresión, según ajuste, al modelo lineal se observa como la tendencia de crecimiento de los departamentos especialistas ($a = 0.41$, con una arcotangente $a = 22,1^\circ$) es más pronunciada que la de los departamentos generalistas ($a = 0,22$, con una arcotangente $a = 12,4^\circ$). Para ratificar estos datos obtenidos y arrojar mayor claridad sobre cuál será la tendencia de crecimiento de ambos tipos de departamentos, el análisis prospectivo aportará los valores cuantitativos a esperar para los próximos siete años.

B. Pronósticos.

Como determinamos anteriormente, tanto los departamentos *generalistas* como los *especialistas* manifiestan un crecimiento con importantes fluctuaciones en sus valores pronósticos, dificultando,

este hecho, determinar patrones de crecimiento con cierta regularidad.

Tabla 5. Valores-pronósticos de la producción en centros generalistas y especialistas

| PRONÓSTICOS | CENTROS | | LÍMITE INFERIOR | | LÍMITE SUPERIOR | |
|-------------|--------------|---------------|-----------------|----|-----------------|----|
| | Generalistas | Especialistas | 95,0% | | 95,0% | |
| 2003 | 1 | 17 | 0 | 13 | 4 | 20 |
| 2004 | 8 | 20 | 3 | 17 | 13 | 24 |
| 2005 | 7 | 10 | 2 | 7 | 13 | 14 |
| 2006 | 5 | 22 | 0 | 16 | 11 | 28 |
| 2007 | 7 | 30 | 1 | 23 | 13 | 36 |
| 2008 | 2 | 13 | 0 | 8 | 9 | 19 |
| 2009 | 8 | 28 | 0 | 20 | 16 | 37 |

Tales oscilaciones anuales, nos llevan a realizar una agrupación trienal, semejante a la del análisis descriptivo, a través de la cual inferimos una tendencia de estabilización en el caso de los departamentos *generalista* (valor medio de 14-15 tesis doctorales), algo que se había hecho explícito en el primer análisis realizado. Por el contrario, los departamentos *especialistas* marcan un crecimiento continuo, cuyos máximos límites de crecimiento (inferior y superior) estarían en 23 y 37 tesis doctorales respectivamente; por lo tanto, se confirma el resultado obtenido a través de las pendientes de regresión, corroborando que el patrón de crecimiento será mayor en departamentos *especialistas* que en los *generalistas* y con una tendencia más acusada.

CONCLUSIONES

- Necesidad de realizar estudios longitudinales para analizar la producción científica, ya que los estudios longitudinales permiten hacer inferencias cualificadas que superan la inmediatez de los hallazgos propios de los estudios transversales.
- La metodología ARIMA es un modelo analítico potente que permite realizar pronósticos ajustados, sobre datos de diseños longitudinales.
- La investigación española en Educación Matemática, a nivel de tesis doctorales, se manifiesta como un campo fértil de indagación ajustado a un modelo de crecimiento lineal; aunque los pronósticos obtenidos por la metodología ARIMA manifiestan que seguirá creciendo en un futuro a medio plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, N. (2001). *Econometría: Análisis de modelos econométricos de series temporales*. Madrid: Editorial AC.
- Blatchford, P., Goldstein, H., Martin, C. y Browne, W. (2002). A study of class size effects in English school reception year classes. *British Educational Research Journal*, 28 (2), 169-185.
- Box, G. E. P. y Jenkins, G. M. (1970). *Time series analysis: Forecasting and control*. San Francisco: Holden-Day.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M. y Reinsel, G. (1994). *Time series analysis: Forecasting and control* (3ª edición). Englewood Cliff, NJ: Prantice Hall.

- Boaler, J., William, D. y Brown, M. (2000). Students' experiences of abilities grouping-disaffection, polarisation and the construction of failure. *British Educational Research Journal*, 26 (5), 1141-1192.
- Campbell, J. R., Hombo, C. y Mazzeo, J. (2000). NAEP 1999. Trends in Academia Progress. Three decades of student performance. *Educational Statistics Quarterly*, 2 (4), 31-36.
- Fernández Cano, A. (2004). *Diseños longitudinales en investigación evaluativa*. Informe de docencia. Facultad de Educación: Universidad de Granada.
- Fernández Cano, A., Torralbo, M. y Vallejo, M. (2004). Reconsidering the Price's model of scientific growth: An overview. *Scientometrics*, 61 (3), 301-321.
- Keeves, J. P. (Ed.) (1997). *Educational research, methodology and measurement. An international handbook*. Nueva York: Pergamon Press.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C. y Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting. Methods and applications*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Molinero, L. M. (2004). Análisis de series temporales. *Ajuste*, 1, 1-8.
- Mullis, I. V. S. (1994). *NAEP 1992. Trends in Academia Progress*. Washington: NAEP.
- National Science Foundation (1982). *Academic science: Scientists and engineers*. Washington: NSF.
- Owens, D. T. y Reed, M. K. (2000). *Research in mathematics education*. Washington: ED.
- Price, D. J. S. (1986). *Little science, big science... and beyond*. Nueva York: Columbia University Press. Edición original Little science, big science (1963).
- Rodríguez Morilla, C. (2000). *Análisis de series temporales*. Madrid: La Muralla.
- Safford-Ramus, K. (2001). *A review and summary of research on adult mathematics education in North America (1980-2000)*. Nueva Jersey: Peppercorn Press.
- Skaalvik, E. M. y Valas, H. (1999). Relations among achievement, self-concept and motivation in mathematics and language arts: A longitudinal study. *Journal of Experimental Education*, 67 (2), 135- 149.
- Smith, J. K. y Heshusius, L. (1986). Closing down conversation: The end of the quantitative-qualitative debate. *Educational Research*, 15 (1), 4-12.
- Suydam, M. N. (1989). Research on mathematics education reported in 1988. *Journal for Research in Mathematics Education*, 20 (4), 379-426.
- Vallejo Seco, G. (1996). *Diseño de series temporales interrumpidas*. Barcelona: Ariel.