

PRIMERA EDICIÓN

ANÁLISIS ECONOMÉTRICO DE SERIES DE TIEMPO

Teoría y Problemas

J. Fernando Larios / V. Josué Álvarez

VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD
SAN IGNACIO
DE LOYOLA

FONDO EDITORIAL

ANÁLISIS ECONÓMICO DE SERIES DE TIEMPO

Primera edición, Lima, julio de 2014

©de esta edición

Fondo Editorial

Universidad San Ignacio de Loyola

Av. La Fontana 550, La Molina

Teléfono: 317-1000 anexo 3705

Autores:

J. Fernando Larios

V. Josué Álvarez

Coordinador de producción editorial:

María Olivera Cano

moliverac@usil.edu.pe

Fondo Editorial - Centro de Investigación USIL

Corrección de Estilo

Rafael Felices Taboada

Diagramación y Diseño de la portada:

Roger Toledo Rodriguez

ISBN: 978-612-4119-50-7

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nro 2014-10375

Impresión:

Editorial Pacasmayo S.A.C.

Calle Juan Castro 585 Urb. Balconcillo La Victoria

Impreso en el Perú

ACERCA DE LOS AUTORES

J. Fernando Larios

Es profesor de la Universidad San Ignacio de Loyola desde 2008 hasta la actualidad. Ha ejercido la función de coordinador académico y la de encargado de la Dirección de las carreras de Economía, Economía y Finanzas y Economía y Negocios Internacionales de esta casa de estudios desde 2009. Su experiencia de docente es extensa y la llevó a cabo en el Perú y en el extranjero.

El profesor Larios obtuvo su doctorado en Educación en la Universidad de San Martín de Porres. Asimismo, posee el grado de Master of Science en Economía de Iowa State University. Tiene el grado de bachiller y el título de ingeniero estadístico de la Universidad Nacional Agraria, La Molina. Realizó estudios de especialización en desarrollo agrícola en University of Wisconsin-Madison y en educación para la sostenibilidad, medio ambiente, economía e interculturalidad en la Universidad de Granada.

El Dr. Larios ha sido Chief of Party, director técnico y consultor internacional en proyectos de desarrollo agrícola y desarrollo alternativo en Angola y el Perú, respectivamente, ejecutados por instituciones norteamericanas como Development Alternatives Inc., ACDI/VOCA e International Relief & Development. También ha sido consultor internacional del IICA, OEA-CICAD y FAO en varios países de América Latina y el Caribe. Igualmente, ha trabajado para varias instituciones del sector público del Perú, entre las que destacan el Banco Central de Reserva del Perú, el Ministerio de Economía y Finanzas y DEVIDA.

El profesor Larios fue becario de USAID, lo que le permitió financiar sus estudios de postgrado en Iowa State University (USA) y su especialización en University of Wisconsin-Madison (USA). También fue becario de Association of Universities and Colleges of Canada (AUCC) para asistir como profesor visitante de América Latina a las universidades de Calgary (Calgary) y de Laval (Quebec).

El Dr. Larios ha publicado sobre comercio y negociaciones internacionales agrícolas, desarrollo alternativo, crédito y finanzas rurales, aspectos institucionales e influencia de la política macroeconómica sobre la agricultura en países de América Latina. Entre sus más importantes publicaciones figuran: *Reflexiones sobre el desarrollo alternativo en los países del área andina* (coeditor), *Flujos y negociaciones comerciales agroalimentarias en el Perú*, *Nuevo contexto mundial y reformas institucionales en la agricultura de América Latina y el Caribe* (coeditor), *Comercio agroalimentario de Venezuela con el Grupo 3-Ecuador-Chile*, *Los mecanismos de estabilización del costo de importación de alimentos: El caso de la franja de precios. Un enfoque metodológico* (coautor), *La competitividad del sector agropecuario en el mercado subregional andino* (coautor), *Incentivos de política macroeconómica y sectorial para la reactivación de la agricultura en el Perú*, *Impacto de las políticas de ajuste macroeconómico sobre el sector agrario en el Perú* (coautor), *Impacto de la política cambiaria sobre el sector agrario en el Perú*, *El impacto de la política monetaria sobre los precios relativos de los sectores agrario y no-agrario en Perú*, *The Differential Effects of Monetary Policy on Relative Expected Prices in the Agricultural and non-agricultural Sectors of Peru*.

V. Josué Álvarez

El profesor Álvarez ha dictado clases en cursos y talleres relacionados con la *Econometría de las Series de Tiempo* en la Universidad San Ignacio de Loyola. Asimismo, participa en las cátedras de cursos como *Econometría I*, *Econometría II*, *Proyecto de investigación económica* y *Teoría de los juegos para la toma de decisiones*; ha participado en las clases de *Economía-Matemática* y *Asesoramiento en matemática para economía*. También ha ejercido la docencia en otras instituciones académicas, impartiendo las cátedras de *Economía general*, *Gestión empresarial* y

Análisis matemático. Su experiencia de 18 años en el dictado de los cursos de *Geometría plana, espacial, proyectiva, descriptiva, analítica y vectorial* lo han convertido en un geómetra en ascenso.

Acerca de su formación profesional, ostenta el grado de bachiller en Economía por la Universidad San Ignacio de Loyola. Cuenta con formación en Matemática por la Sociedad Matemática Peruana y por el Instituto de Matemática y Ciencias Afines (IMCA). Además, es miembro de las sociedades académicas The Econometric Society, American Mathematical Society (AMS), American Economic Association (AEA) y Sociedad Matemática Peruana.

El profesor Álvarez ha iniciado su camino en la investigación a través del desarrollo de los siguientes papers: *Función cúbica de costo total de producción* (2011), *Optimización del beneficio extraordinario del monopolista discriminador de precios de tercer grado* (USIL, Sociedad Matemática Peruana, PUCP, coautoría con el Dr. Larios, 2010), *Análisis de la demanda de cemento en Lima Metropolitana bajo el modelo combinado de expectativas adaptativas y de ajuste parcial* (2009), *Algoritmo para calcular la raíz n -ésima aritmética de un número* (2003).

Actualmente, en el sector público, el profesor Álvarez ocupa el cargo de Jefe de Finanzas en ESSALUD; y, en el sector privado, es Gerente de Economía y Finanzas en una empresa del sector belleza.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	26
1.1. Definición	27
1.2. Ecuación en diferencias homogénea.....	27
1.3. Ecuación característica de una ecuación en diferencias homogénea.....	27
1.4. Ecuación cúbica completa.....	27
1.5. Raíces cúbicas de la unidad	28
1.6. Solución homogénea completa de una ecuación en diferencias homogénea	29
1.7. Condiciones de los coeficientes para la estabilidad de una ecuación en diferencias homogénea	29
1.8. Teorema sobre la estabilidad de ecuaciones en diferencias homogéneas por ubicación de raíces características en el Círculo Unitario del Plano Gaussiano.....	30
1.9. Corolario sobre la estabilidad de ecuaciones en diferencias homogéneas debido al módulo del radio-vector de la raíz característica en el Círculo Unitario del Plano Gaussiano...	31
Problemas resueltos	31
Parte 1.4. Gráfico de la trayectoria de tiempo de la solución homogénea completa de la ecuación en diferencias estocástica	37
Parte 1.5. Solución homogénea convergente de una ecuación en diferencias estocástica.....	40
Parte 1.5. Solución homogénea divergente de una ecuación en diferencias estocástica.....	40
Parte 1.6. Solución homogénea monótona de una ecuación en diferencias estocástica	41
Parte 1.6. Solución homogénea oscilatoria de una ecuación en diferencias estocástica	41
Parte 1.7. Estabilidad de un modelo AR(3) a partir de los coeficientes	41
Actividades para desarrollar	45
CAPÍTULO II	50
2.1. Definición	51
2.2. Propiedades del operador de rezagos.....	51
2.3. Operador de rezagos en modelos AR.....	51
2.4. Diferenciación de primer orden.....	52
2.5. Diferenciación de segundo orden	52
2.6. Momentos de un proceso ruido blanco.....	52
2.7. Test de Ljung-Box.....	53
Problemas resueltos	54
Prob. 2: Serie convergente.....	56
CAPÍTULO III	62
3.1. Ecuación en diferencias estocástica de primer orden.....	63
3.2. Definición de estacionariedad de series de tiempo.....	64
3.3. Condiciones de estacionariedad débil para una serie de tiempo.....	64
3.4. Definición de modelos AR.....	64
3.5. Modelo caminata aleatoria.....	64
3.6. Condición de estacionariedad de un modelo AR(1)	64
3.7. Condición de estacionariedad de un modelo AR(2)	65
3.8. Solución particular de un modelo AR(1)	66
3.9. Operador de rezago en modelos AR(2)	66
3.10. Ecuación vectorial en diferencias de primer orden para un modelo AR(p).....	67

3.11. Raíces del polinomio de rezagos de un modelo AR(p)	68
3.12. Teorema sobre las raíces características inversas.....	68
3.13. Definición de raíces características inversas	69
Problemas resueltos	69
Parte 2.1. Solución particular de una ecuación en diferencias estocástica.....	75
Parte 2.3. Límite de una solución particular en una ecuación en diferencias estocástica	76
Actividades para desarrollar	85
CAPÍTULO IV	90
4.1. Teorema de descomposición de Wold.....	91
4.2. Función de autocorrelación simple (FAS)	92
4.3. Ecuación matricial de Yule-Walker.....	92
4.4. Identificación de modelos ARMA.....	92
4.5. Intervalo de confianza para la función de autocorrelación parcial (FAP)	93
4.6. Test de Ljung-Box.....	93
Problemas resueltos	94
Prob. 2: Correlograma tabular de un modelo AR(2)	96
Actividades para desarrollar	105
CAPÍTULO V	110
5.1. Intervalo de confianza para la función de autocorrelación simple.....	111
5.2. Función de autocorrelación parcial (FAP)	112
5.3. Test de Ljung-Box.....	112
5.4. Estimación del modelo AR(p) a través de los coeficientes de autocorrelación parcial muestrales de orden p	112
5.5. Elección del modelo de ajuste de acuerdo con el correlograma de una serie	113
5.6. Test de significancia del parámetro en un modelo AR.....	114
Problemas resueltos	115
Parte 1.1. Correlograma gráfico horizontal	118
Parte 1.1. Bandas de significancia en un correlograma gráfico.....	120
Actividades para desarrollar	131
CAPÍTULO VI	134
6.1. Análisis de correlogramas de modelos caminata aleatoria	135
6.2. Modelo poblacional de regresión semilog	135
6.3. Test de significancia de un parámetro en modelos AR.....	136
6.4. Test de significancia global de parámetros.....	136
6.5. Bondad de ajuste.....	136
6.6. Regresión espúrea	136
6.7. Test del estadístico d de Durbin-Watson	136
6.8. Autocorrelación serial	136
6.9. Modelo semilog autorregresivo de primer orden.....	136
6.10. Test de significancia de un parámetro en modelos AR.....	137
6.11. R ² ajustado.....	138
6.12. Relaciones entre SCT, SCE y SCR	138
6.13. Test de significancia global de parámetros.....	138
6.14. Ciclo de un número complejo	139
6.15. Test de autocorrelación serial de Breusch-Godfrey.....	140
Problemas resueltos	141
Parte 1.4. Cálculo del estadístico F a partir del estadístico t del coeficiente de pendiente en un modelo de regresión lineal univariado MCO	145

Parte 1.6. Raíces características de un modelo AR en el círculo unitario del Plano	
Gaussiano	155
Actividades para desarrollar	161
CAPÍTULO VII	180
7.1. Estacionariedad de un modelo AR	181
7.2. Coeficiente de autocorrelación simple	181
7.3. Condición para una función creciente	182
7.4. Condición para una función decreciente	182
7.5. Condición para tasas crecientes en una función creciente o decreciente	182
7.6. Condición para tasas decrecientes en una función creciente o decreciente	182
7.6. Esperanza condicional a la información pasada de y_{t+i}	182
7.7. Modelo de caminata aleatoria.....	182
7.8. Modelo de caminata aleatoria con constante.....	182
7.9. Modelo de caminata aleatoria con constante y con tendencia de tiempo lineal.....	182
Problemas resueltos	182
Parte 1.2. FAS en función de t para modelo de caminata aleatoria	186
Parte 1.3. Función racional	186
Parte 1.10. Gráfica del FAS para un modelo de caminata aleatoria.....	190
Parte 2.1. Solución del modelo actualizado de caminata aleatoria por el método de iteración.	192
Prob. 3: Solución particular de un modelo de caminata aleatoria con constante por el	
método de iteración	193
Actividades para desarrollar	197
CAPÍTULO VIII	202
Problemas resueltos	203
Prob. 1: Varianza condicional de un modelo AR actualizado	203
Prob. 2: Test ARCH.....	204
Parte 2.1. Selección del rezago para un modelo ARCH.....	207
Parte 2.2. Estadístico LM para modelos ARCH	208
Parte 2.6. Grados de libertad del estadístico LM para modelos ARCH.....	210
Parte 2.7. Hipótesis del Test ARCH	210
Parte 2.8. Prueba de hipótesis del Test ARCH.....	210
Actividades para desarrollar	213
CAPÍTULO IX	218
9.1. Modelo de caminata aleatoria puro	219
9.2. Modelo de caminata aleatoria con constante.....	219
9.3. Modelo de caminata aleatoria con constante y con tendencia de tiempo lineal.....	219
9.4. Test de raíz unitaria	219
9.5. Test de Dickey-Fuller.....	219
9.6. Test Dickey-Fuller aumentado	220
Problemas resueltos	221
Parte 1.4. Selección del rezago para el modelo auxiliar del Test de Dickey-Fuller aumentado	222
Actividades para desarrollar	231
CAPÍTULO X	234
10.1. Función de distribución de probabilidad asintótica del estadístico Dickey-Fuller	235
10.2. Test de Phillips-Perron	236
Problemas resueltos	238
Prob. 1: Función del Movimiento Browniano Estándar	239
Actividades para desarrollar	249

CAPÍTULO XI	254
11.1. Modelo VAR estructural	255
11.2. Caso más simple: VAR (1) bivariado	255
11.3. Estacionariedad de los shocks estándar	257
11.4. Valores propios y vectores propios.....	259
11.5. Operaciones adicionales con matrices.....	259
Problemas resueltos	263
Prob. 1: VAR (1) trivariado estructural.....	239
Parte 3.4. Ecuación característica de la matriz A_1	284
Actividades para desarrollar	287
CAPÍTULO XII	296
12.1. Estacionariedad de un modelo VAR estándar	297
12.2. Diagonalización de una matriz	301
Problemas resueltos	302
Prob. 3: VAR (2) Estándar trivariado estimado.....	320
Parte 3.6. Determinante de la matriz de varianza - covarianza ajustada estimada de los shocks estándar	326
Parte 3.7. Matriz de varianza - covarianza ajustada estimada de los shocks estándar.....	326
Actividades para desarrollar	329
CAPÍTULO XIII	340
13.1. Función de impulso-respuesta	341
13.2. Descomposición de la varianza de Sims-Bernanke	345
13.3. Descomposición de la varianza de Choleski	347
Problemas resueltos	350
Parte 4.1. Vector impulso de una función de impulso - respuesta de un VAR estándar....	366
Actividades para desarrollar	367
CAPÍTULO XIV	372
14.1. Equilibrio estático de largo plazo en un VAR(1) estándar bivariado	373
14.2. Estacionariedad y cointegración en un VAR(1) estándar bivariado	375
Problemas resueltos	382
Parte 1.1. Vector de equilibrio estático de largo plazo en un VAR	382
Parte 2.7. Vector de cointegración	387
Parte 2.13. Test de cointegración de Johansen	389
Actividades para desarrollar	393
ANEXOS	396
Anexo 1.....	397
Anexo 2.....	398
Anexo 3.....	399
Anexo 4.....	400
Anexo 5.....	401
Anexo 6.....	407
BIBLIOGRAFÍA	409

“.....es un excelente trabajo que complementa los libros de texto internacionales sobre la material que actualmente se encuentran en el Mercado. No sólo ha sido escrito por dos académicos con varios años de experiencia en el dictado de esta difícil materia sino que el desarrollo de las lecciones traduce un orden y una lógica difícil de igualar.”

MAGALI SILVA VELARDE-ALVAREZ

Ministra de Comercio Exterior y Turismo del Perú
Master of Economics, University of Oregon, USA
Economista, Universidad del Pacífico, Perú.

“The importance of Time Series Analysis is increasing within Econometrics. This book is an important addition to the excellent academic material on the subject. The readers will find that the exposition has theoretical adequacy, empirical validity and policy effectiveness in the analysis of cases whether they relate to past behaviour, forecasting, evaluating the achievements or comparison.”

ANAND ASTHANA, Ph.D.

Ph.D. in Economics, Fordham University, USA.
Master in Development Studies, University of Bath, UK.
Professor of Centrum, Pontificia Universidad Católica del Perú

**VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN**



UNIVERSIDAD
**SAN IGNACIO
DE LOYOLA**

FONDO EDITORIAL