

Econometría

Quinta edición

Damodar N. Gujarati

*Profesor emérito de Economía
United States Military Academy, West Point*

Dawn C. Porter

University of Southern California

Revisión técnica:

Aurora Monroy Alarcón

Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM)

José Héctor Cortés Fregoso

*Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas (CUCEA)
Universidad de Guadalajara*



MÉXICO • BOGOTÁ • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA
MADRID • NUEVA YORK • SAN JUAN • SANTIAGO • SÃO PAULO
AUCKLAND • LONDRES • MILÁN • MONTREAL • NUEVA DELHI
SAN FRANCISCO • SINGAPUR • SAN LUIS • SIDNEY • TORONTO

Contenido

Prefacio xviii

Reconocimientos xxi

Introducción 1

- 1.1 ¿Qué es la econometría? 1
- 1.2 ¿Por qué una disciplina aparte? 2
- 1.3 Metodología de la econometría 2
 - 1. Planteamiento de la teoría o hipótesis 3
 - 2. Especificación del modelo matemático de consumo 3
 - 3. Especificación del modelo econométrico de consumo 4
 - 4. Obtención de información 5
 - 5. Estimación del modelo econométrico 5
 - 6. Pruebas de hipótesis 7
 - 7. Pronóstico o predicción 8
 - 8. Uso del modelo para fines de control o de políticas 9
- 1.4 Elección entre modelos rivales 9
- 1.4 Tipos de econometría 10
- 1.5 Requisitos matemáticos y estadísticos 11
- 1.6 La función de la computadora 11
- 1.7 Lecturas sugeridas 12

PARTE UNO

MODELOS DE REGRESIÓN

UNIECUACIONALES 13

CAPÍTULO 1

Naturaleza del análisis de regresión 15

- 1.1 Origen histórico del término *regresión* 15
- 1.2 Interpretación moderna de la regresión 15
 - Ejemplos 16
- 1.3 Relaciones estadísticas y relaciones deterministas 19
- 1.4 Regresión y causalidad 19
- 1.5 Regresión y correlación 20
- 1.6 Terminología y notación 21
- 1.7 Naturaleza y fuentes de datos para el análisis económico 22
 - Tipos de datos 22
 - Fuentes de datos 25
 - Precisión de los datos 27
 - Una observación sobre las escalas de medición de las variables 27
- Resumen y conclusiones 28
- Ejercicios 29

CAPÍTULO 2

Análisis de regresión con dos variables: algunas ideas básicas 34

- 2.1 Ejemplo hipotético 34
- 2.2 Concepto de función de regresión poblacional (FRP) 37
- 2.3 Significado del término *lineal* 38
 - Linealidad en las variables* 38
 - Linealidad en los parámetros* 38
- 2.4 Especificación estocástica de la FRP 39
- 2.5 Importancia del término de perturbación estocástica 41
- 2.6 Función de regresión muestral (FRM) 42
- 2.7 Ejemplos ilustrativos 45
- Resumen y conclusiones 48
- Ejercicios 48

CAPÍTULO 3

Modelo de regresión con dos variables: problema de estimación 55

- 3.1 Método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) 55
- 3.2 Modelo clásico de regresión lineal: fundamentos del método de mínimos cuadrados 61
 - Advertencia sobre estos supuestos* 68
- 3.3 Precisión o errores estándar de las estimaciones de mínimos cuadrados 69
- 3.4 Propiedades de los estimadores de mínimos cuadrados: teorema de Gauss-Markov 71
- 3.5 Coeficiente de determinación r^2 : una medida de la "bondad del ajuste" 73
- 3.6 Ejemplo numérico 78
- 3.7 Ejemplos ilustrativos 81
- 3.8 Una observación sobre los experimentos Monte Carlo 83
- Resumen y conclusiones 84
- Ejercicios 85
- Apéndice 3A 92
- 3A.1 Derivación de estimados de mínimos cuadrados 92
- 3A.2 Propiedades de linealidad e insesgamiento de los estimadores de mínimos cuadrados 92
- 3A.3 Varianzas y errores estándar de los estimadores de mínimos cuadrados 93
- 3A.4 Covarianza entre $\hat{\beta}_1$ y $\hat{\beta}_2$ 93
- 3A.5 Estimador de mínimos cuadrados de σ^2 93

- 3A.6 Propiedad de varianza mínima de los estimadores de mínimos cuadrados 95
- 3A.7 Consistencia de los estimadores de mínimos cuadrados 96

CAPÍTULO 4

Modelo clásico de regresión lineal normal (MCRLN) 97

- 4.1 Distribución de probabilidad de las perturbaciones u_i 97
- 4.2 Supuesto de normalidad de u_i 98
¿Por qué debe formularse el supuesto de normalidad? 99
- 4.3 Propiedades de los estimadores de MCO según el supuesto de normalidad 100
- 4.4 Método de máxima verosimilitud (MV) 102
Resumen y conclusiones 102
Apéndice 4A 103
- 4A.1 Estimación de máxima verosimilitud del modelo de regresión con dos variables 103
- 4A.2 Estimación de máxima verosimilitud del gasto en alimentos en India 105
Apéndice 4A Ejercicios 105

CAPÍTULO 5

Regresión con dos variables: estimación por intervalos y pruebas de hipótesis 107

- 5.1 Requisitos estadísticos 107
- 5.2 Estimación por intervalos: algunas ideas básicas 108
- 5.3 Intervalos de confianza para los coeficientes de regresión β_1 y β_2 109
Intervalo de confianza para β_2 109
Intervalo de confianza para β_1 y β_2 simultáneamente 111
- 5.4 Intervalo de confianza para σ^2 111
- 5.5 Prueba de hipótesis: comentarios generales 113
- 5.6 Pruebas de hipótesis: método del intervalo de confianza 113
Prueba bilateral o de dos colas 113
Prueba unilateral o de una cola 115
- 5.7 Pruebas de hipótesis: enfoque de la prueba de significancia 115
Prueba de significancia de los coeficientes de regresión: La prueba t 115
Prueba de significancia de σ^2 : la prueba χ^2 118
- 5.8 Prueba de hipótesis: algunos aspectos prácticos 119
Significado de "aceptar" o "rechazar" una hipótesis 119

Hipótesis nula "cero" y regla práctica "2t" 120
Formación de las hipótesis nula y alternativa 121
Selección del nivel de significancia α 121
Nivel exacto de significancia: Valor p 122
Significancia estadística y significancia práctica 123
Elección entre los enfoques de intervalos de confianza y pruebas de significancia en las pruebas de hipótesis 124

- 5.9 Análisis de regresión y análisis de varianza 124
- 5.10 Aplicación del análisis de regresión: problema de predicción 126
Predicción media 127
Predicción individual 128
- 5.11 Informe de resultados del análisis de regresión 129
- 5.12 Evaluación de los resultados del análisis de regresión 130
Pruebas de normalidad 130
Otras pruebas del ajuste del modelo 132
Resumen y conclusiones 134
Ejercicios 135
Apéndice 5A 143
- 5A.1 Distribuciones de probabilidad relacionadas con la distribución normal 143
- 5A.2 Derivación de la ecuación (5.3.2) 145
- 5A.3 Derivación de la ecuación (5.9.1) 145
- 5A.4 Derivación de las ecuaciones (5.10.2) y (5.10.6) 145
Varianza de la predicción media 145
Varianza de la predicción individual 146

CAPÍTULO 6

Extensiones del modelo de regresión lineal con dos variables 147

- 6.1 Regresión a través del origen 147
 r^2 para el modelo de regresión a través del origen 150
- 6.2 Escalas y unidades de medición 154
Advertencia sobre la interpretación 157
- 6.3 Regresión sobre variables estandarizadas 157
- 6.4 Formas funcionales de los modelos de regresión 159
- 6.5 Cómo medir la elasticidad: modelo log-lineal 159
- 6.6 Modelos semilogarítmicos: log-lin y lin-log 162
Cómo medir la tasa de crecimiento: modelo log-lin 162
El modelo lin-log 164
- 6.7 Modelos recíprocos 166
Modelo log hipérbola o recíproco logarítmico 172
- 6.8 Elección de la forma funcional 172

- 6.9 Nota sobre la naturaleza del término de error estocástico: término de error estocástico aditivo o multiplicativo 174
Resumen y conclusiones 175
Ejercicios 176
Apéndice 6A 182
- 6A.1 Derivación de los estimadores de mínimos cuadrados para la regresión a través del origen 182
- 6A.2 Prueba de que la variable estandarizada tiene media cero y varianza unitaria 183
- 6A.3 Logaritmos 184
- 6A.4 Fórmulas para calcular la tasa de crecimiento 186
- 6A.5 Modelo de regresión Box-Cox 187

CAPÍTULO 7

Análisis de regresión múltiple: el problema de estimación 188

- 7.1 Modelo con tres variables: notación y supuestos 188
- 7.2 Interpretación de la ecuación de regresión múltiple 191
- 7.3 Significado de los coeficientes de regresión parcial 191
- 7.4 Estimación de MCO y MV de los coeficientes de regresión parcial 192
Estimadores de MCO 192
Varianzas y errores estándar de los estimadores de MCO 194
Propiedades de los estimadores de MCO 195
Estimadores de máxima verosimilitud 196
- 7.5 El coeficiente múltiple de determinación R^2 y el coeficiente múltiple de correlación R 196
- 7.6 Un ejemplo ilustrativo 198
Regresión sobre variables estandarizadas 199
Efecto sobre la variable dependiente de un cambio unitario en más de una regresora 199
- 7.7 Regresión simple en el contexto de regresión múltiple: introducción al sesgo de especificación 200
- 7.8 R^2 y R^2 ajustada 201
Comparación de dos valores de R^2 203
Asignación de R^2 entre regresoras 206
El "juego" de maximizar R^2 206
- 7.9 La función de producción Cobb-Douglas: más sobre la forma funcional 207
- 7.10 Modelos de regresión polinomial 210
- 7.11 Coeficientes de correlación parcial 213
Explicación de los coeficientes de correlación simple y parcial 213
Interpretación de los coeficientes de correlación simple y parcial 214

- Resumen y conclusiones 215
- Ejercicios 216
- Apéndice 7A 227
- 7A.1 Derivación de los estimadores de MCO dados en las ecuaciones (7.4.3) a (7.4.5) 227
- 7A.2 Igualdad entre los coeficientes del PIBPC en las ecuaciones (7.3.5) y (7.6.2) 229
- 7A.3 Derivación de la ecuación (7.4.19) 229
- 7A.4 Estimación de máxima verosimilitud del modelo de regresión múltiple 230
- 7A.5 Listado de EViews de la función de producción Cobb Douglas de la ecuación (7.9.4) 231

CAPÍTULO 8

Análisis de regresión múltiple: el problema de la inferencia 233

- 8.1 Una vez más, el supuesto de normalidad 233
- 8.2 Pruebas de hipótesis en regresión múltiple: comentarios generales 234
- 8.3 Pruebas de hipótesis sobre coeficientes de regresión individuales 235
- 8.4 Prueba de significancia general de la regresión muestral 237
El método del análisis de varianza en las pruebas de significancia general de una regresión múltiple observada: la prueba F 238
Prueba de significancia general de una regresión múltiple: la prueba F 240
Una relación importante entre R^2 y F 241
Prueba de significancia general de una regresión múltiple en términos de R^2 242
La contribución "incremental" o "marginal" de una variable explicativa 243
- 8.5 Prueba de igualdad de dos coeficientes de regresión 246
- 8.6 Mínimos cuadrados restringidos: pruebas de restricciones de igualdades lineales 248
El enfoque de la prueba t 249
Enfoque de la prueba F: mínimos cuadrados restringidos 249
Prueba F general 252
- 8.7 Prueba para la estabilidad estructural o paramétrica de los modelos de regresión: la prueba de Chow 254
- 8.8 Predicción con regresión múltiple 259
- 8.9 La tríada de las pruebas de hipótesis: razón de verosimilitud (RV), de Wald (W) y del multiplicador de Lagrange (ML) 259
- 8.10 Prueba de la forma funcional de la regresión: elección entre modelos de regresión lineal y log-lineal 260
Resumen y conclusiones 262

- Ejercicios 262
 Apéndice 8A: Prueba de la razón
 de verosimilitud (RV) 274

CAPÍTULO 9

Modelos de regresión con variables dicótomas 277

- 9.1 Naturaleza de las variables dicótomas 277
 9.2 Modelos ANOVA 278
 Precaución con las variables dicótomas 281
 9.3 Modelos ANOVA con dos variables cualitativas 283
 9.4 Regresión con una mezcla de regresoras cualitativas y cuantitativas: los modelos ANCOVA 283
 9.5 La variable dicótoma alternativa a la prueba de Chow 285
 9.6 Efectos de interacción al utilizar variables dicótomas 288
 9.7 Uso de las variables dicótomas en el análisis estacional 290
 9.8 Regresión lineal por segmentos 295
 9.9 Modelos de regresión con datos en panel 297
 9.10 Algunos aspectos técnicos de la técnica con variables dicótomas 297
 Interpretación de variables dicótomas en regresiones semilogarítmicas 297
 Variables dicótomas y heteroscedasticidad 298
 Variables dicótomas y autocorrelación 299
 ¿Qué sucede si la variable dependiente es dicótoma? 299
 9.11 Temas para estudio posterior 300
 9.12 Ejemplo para concluir 300
 Resumen y conclusiones 304
 Ejercicios 305
 Apéndice 9A: Regresión semilogarítmica con regresora dicótoma 314

PARTE DOS

FLEXIBILIZACIÓN DE LOS SUPUESTOS DEL MODELO CLÁSICO 315

CAPÍTULO 10

Multicolinealidad: ¿qué pasa si las regresoras están correlacionadas? 320

- 10.1 Naturaleza de la multicolinealidad 321
 10.2 Estimación en presencia de multicolinealidad perfecta 324
 10.3 Estimación en presencia de multicolinealidad "alta" pero "imperfecta" 325

- 10.4 Multicolinealidad: ¿tanto para nada? Consecuencias teóricas de la multicolinealidad 326
 10.5 Consecuencias prácticas de la multicolinealidad 327
 Estimadores de MCO con varianzas y covarianzas grandes 328
 Intervalos de confianza más amplios 330
 Razones t "no significativas" 330
 Una R^2 alta pero pocas razones t significativas 331
 Sensibilidad de los estimadores de MCO y sus errores estándar ante cambios pequeños en los datos 331
 Consecuencias de la micronumerosidad 332
 10.6 Ejemplo ilustrativo 332
 10.7 Detección de la multicolinealidad 337
 10.8 Medidas correctivas 342
 No hacer nada 342
 Procedimientos de reglas prácticas 342
 10.9 ¿Es la multicolinealidad necesariamente mala? Quizá no, si el objetivo es sólo la predicción 347
 10.10 Ejemplo ampliado: los datos Longley 347
 Resumen y conclusiones 350
 Ejercicios 351

CAPÍTULO 11

Heteroscedasticidad: ¿qué pasa si la varianza del error no es constante? 365

- 11.1 Naturaleza de la heteroscedasticidad 365
 11.2 Estimación por MCO en presencia de heteroscedasticidad 370
 11.3 El método de mínimos cuadrados generalizados (MCG) 371
 Diferencia entre MCO y MCG 373
 11.4 Consecuencias de utilizar MCO en presencia de heteroscedasticidad 374
 Estimación por MCO con heteroscedasticidad 374
 Estimación por MCO sin heteroscedasticidad 374
 Nota técnica 376
 11.5 Detección de la heteroscedasticidad 376
 Métodos informales 376
 Métodos formales 378
 11.6 Medidas correctivas 389
 Cuando se conoce σ_i^2 : método de los mínimos cuadrados ponderados 389
 Cuando no se conoce σ_i^2 391
 11.7 Ejemplos para concluir 395
 11.8 Advertencia respecto de una reacción exagerada ante la heteroscedasticidad 400
 Resumen y conclusiones 400
 Ejercicios 401
 Apéndice 11A 409

- 11A.1 Prueba de la ecuación (11.2.2) 409
 11A.2 Método de mínimos cuadrados ponderados 409
 11A.3 Prueba de que $E(\hat{\sigma}^2) \neq \sigma^2$ en presencia de heteroscedasticidad 410
 11A.4 Errores estándar robustos de White 411

CAPÍTULO 12

Autocorrelación: ¿qué pasa si los términos de error están correlacionados? 412

- 12.1 Naturaleza del problema 413
 12.2 Estimación de MCO en presencia de autocorrelación 418
 12.3 Estimador MELI en presencia de autocorrelación 422
 12.4 Consecuencias de utilizar MCO en presencia de autocorrelación 423
 Estimación por MCO tomando en cuenta la autocorrelación 423
 Estimación por MCO ignorando la autocorrelación 423
 12.5 Relación entre salarios y productividad en el sector de negocios de Estados Unidos, 1960-2005 428
 12.6 Detección de la autocorrelación 429
 I. Método gráfico 429
 II. Prueba de "las rachas" 431
 III. Prueba *d* de Durbin-Watson 434
 IV. Una prueba general de autocorrelación: la prueba de Breusch-Godfrey (BF) 438
 ¿Por qué tantas pruebas para la autocorrelación? 440
 12.7 Qué hacer cuando hay autocorrelación: medidas correctivas 440
 12.8 Especificación incorrecta del modelo frente a autocorrelación pura 441
 12.9 Corrección de la autocorrelación (pura): el método de los mínimos cuadrados generalizados (MCG) 442
 Cuando se conoce ρ 442
 Cuando no se conoce ρ 443
 12.10 El método Newey-West para corregir los errores estándar de MCO 447
 12.11 MCO versus MCG y CHA 448
 12.12 Otros aspectos de la autocorrelación 449
 Variables dicótomas y autocorrelación 449
 Modelos ARCH y GARCH 449
 Coexistencia de la autocorrelación y la heteroscedasticidad 450
 12.13 Ejemplo para concluir 450
 Resumen y conclusiones 452
 Ejercicios 453
 Apéndice 12A 466

- 12A.1 Prueba de que el término de error v_t en la ecuación (12.1.11) está autocorrelacionado 466
 12A.2 Pruebas de las ecuaciones (12.2.3), (12.2.4) y (12.2.5) 466

CAPÍTULO 13

Creación de modelos econométricos: especificación del modelo y pruebas de diagnóstico 467

- 13.1 Criterios de selección del modelo 468
 13.2 Tipos de errores de especificación 468
 13.3 Consecuencias de los errores de especificación del modelo 470
 Omisión de una variable relevante (subajuste de un modelo) 471
 Inclusión de una variable irrelevante (sobreajuste de un modelo) 473
 13.4 Pruebas de errores de especificación 474
 Detección de variables innecesarias (sobreajuste de un modelo) 475
 Pruebas para variables omitidas y forma funcional incorrecta 477
 13.5 Errores de medición 482
 Errores de medición en la variable dependiente Y 482
 Errores de medición en la variable explicativa X 483
 13.6 Especificación incorrecta del término de error estocástico 486
 13.7 Modelos anidados y no anidados 487
 13.8 Pruebas de hipótesis no anidadas 488
 Método de discriminación 488
 Método de discernimiento 488
 13.9 Criterios para la selección de modelos 493
 El criterio R^2 493
 R^2 ajustada 493
 Criterio de información Akaike (CIA) 494
 Criterio de información Schwarz (CIS) 494
 Criterio C_p de Mallows 494
 Advertencia sobre los criterios de selección de modelos 495
 Pronóstico ji cuadrada (χ^2) 496
 13.10 Otros temas relacionados con la creación de modelos econométricos 496
 Valores atípicos, apalancamiento e influencia 496
 Mínimos cuadrados recursivos 498
 Prueba de la falla de predicción de Chow 498
 Datos faltantes 499
 13.11 Ejemplos para concluir 500
 1. Un modelo de determinación de salarios por hora 500

2. *Función de consumo real de Estados Unidos, 1947-2000* 505
- 13.12** Errores no normales y regresoras estocásticas 509
1. *¿Qué pasa si el término de error no está distribuido normalmente?* 509
 2. *Variables explicativas estocásticas* 510
- 13.13** Advertencia para el profesional 511
- Resumen y conclusiones 512
- Ejercicios 513
- Apéndice 13A 519
- 13A.1** Prueba de que $E(b_{12}) = \beta_2 + \beta_3 b_{32}$ [ecuación (13.3.3)] 519
- 13A.2** Consecuencias de la inclusión de una variable irrelevante: propiedad de insesgamiento 520
- 13A.3** Prueba de la ecuación (13.5.10) 521
- 13A.4** Prueba de la ecuación (13.6.2) 522

PARTE TRES

TEMAS DE ECONOMETRÍA 523

CAPÍTULO 14

Modelos de regresión no lineales 525

- 14.1** Modelos de regresión intrínsecamente lineales e intrínsecamente no lineales 525
- 14.2** Estimación de modelos de regresión lineales y no lineales 527
- 14.3** Estimación de modelos de regresión no lineales: método de ensayo y error 527
- 14.4** Métodos para estimar modelos de regresión no lineales 529
- Búsqueda directa o método de ensayo y error; o de libre derivación* 529
- Optimización directa* 529
- Método de linealización iterativa* 530
- 14.5** Ejemplos ilustrativos 530
- Resumen y conclusiones 535
- Ejercicios 535
- Apéndice 14A 537
- 14A.1** Derivación de las ecuaciones (14.2.4) y (14.2.5) 537
- 14A.2** Método de linealización 537
- 14A.3** Aproximación lineal de la función exponencial dada en (14.2.2) 538

CAPÍTULO 15

Modelos de regresión de respuesta cualitativa 541

- 15.1** Naturaleza de los modelos de respuesta cualitativa 541

- 15.2** Modelo lineal de probabilidad (MLP) 543
- No normalidad de las perturbaciones u_i* 544
- Varianzas heteroscedásticas de las perturbaciones* 544
- No cumplimiento de $0 \leq E(Y_i|X_i) \leq 1$* 545
- Valor cuestionable de R^2 como medida de la bondad del ajuste* 546
- 15.3** Aplicaciones del MLP 549
- 15.4** Alternativas al MLP 552
- 15.5** El modelo logit 553
- 15.6** Estimación del modelo logit 555
- Datos de nivel individual* 556
- Datos agrupados o duplicados* 556
- 15.7** Modelo logit agrupado (glogit): ejemplo numérico 558
- Interpretación del modelo logit estimado* 558
- 15.8** El modelo logit para datos no agrupados o individuales 561
- 15.9** Modelo probit 566
- Estimación de probit con datos agrupados: gprobit* 567
- El modelo probit para datos no agrupados o individuales* 570
- Efecto marginal de un cambio unitario en el valor de una regresora sobre los diversos modelos de regresión* 571
- 15.10** Modelos logit y probit 571
- 15.11** Modelo tobit 574
- Ilustración del modelo tobit: modelo de Ray Fair para las relaciones extramaritales* 575
- 15.12** Creación de modelos para datos de cuenta: modelo de regresión de Poisson 576
- 15.13** Otros temas de los modelos de regresión de respuesta cualitativa 579
- Modelos ordinales logit y probit* 580
- Modelos multinomiales logit y probit* 580
- Modelos de duración* 580
- Resumen y conclusiones 581
- Ejercicios 582
- Apéndice 15A 589
- 15A.1** Estimación de máxima verosimilitud de los modelos probit y logit para datos individuales (no agrupados) 589

CAPÍTULO 16

Modelos de regresión con datos de panel 591

- 16.1** ¿Por qué datos de panel? 592
- 16.2** Datos de panel: un ejemplo ilustrativo 593
- 16.3** Modelo de regresión con MCO agrupados o de coeficientes constantes 594

- 16.4 Modelo de mínimos cuadrados con variable dicótoma (MCVD) de efectos fijos 596
Advertencia sobre el modelo de MCVD de efectos fijos 598
- 16.5 Estimador de efectos fijos dentro del grupo (DG) 599
- 16.6 Modelo de efectos aleatorios (MEFA) 602
Prueba del multiplicador de Lagrange de Breusch y Pagan 605
- 16.7 Propiedades de varios estimadores 605
- 16.8 Modelo de efectos fijos y modelo de efectos aleatorios: algunos lineamientos 606
- 16.9 Regresiones con datos de panel: algunos comentarios para concluir 607
- 16.10 Algunos ejemplos ilustrativos 607
Resumen y conclusiones 612
Ejercicios 613

CAPÍTULO 17

Modelos econométricos dinámicos: modelos autorregresivos y de rezagos distribuidos 617

- 17.1 El papel del “tiempo” o “rezago” en economía 618
- 17.2 Razones de los rezagos 622
- 17.3 Estimación de modelos de rezagos distribuidos 623
Estimación ad hoc de los modelos de rezagos distribuidos 623
- 17.4 Método de Koyck para los modelos de rezagos distribuidos 624
Mediana de los rezagos 627
Rezago medio 627
- 17.5 Racionalización del modelo de Koyck: modelo de expectativas adaptativas 629
- 17.6 Otra racionalización del modelo de Koyck: el modelo de ajuste de existencias o de ajuste parcial 632
- 17.7 Combinación de los modelos de expectativas adaptativas y de ajuste parcial 634
- 17.8 Estimación de modelos autorregresivos 634
- 17.9 Método de variables instrumentales (VI) 636
- 17.10 Detección de autocorrelación en modelos autorregresivos: prueba *h* de Durbin 637
- 17.11 Ejemplo numérico: demanda de dinero en Canadá de I-1979 a IV-1988 639
- 17.12 Ejemplos ilustrativos 642
- 17.13 El método de Almon para los modelos de rezagos distribuidos: rezagos distribuidos polinomiales (RDP) o de Almon 645

- 17.14 Causalidad en economía: prueba de causalidad de Granger 652
Prueba de Granger 653
Nota sobre causalidad y exogeneidad 657
Resumen y conclusiones 658
Ejercicios 659
Apéndice 17A 669
- 17A.1 Prueba de Sargan para la validez de los instrumentos 669

PARTE CUATRO

MODELOS DE ECUACIONES SIMULTÁNEAS Y ECONOMETRÍA DE SERIES DE TIEMPO 671

CAPÍTULO 18

Modelos de ecuaciones simultáneas 673

- 18.1 Naturaleza de los modelos de ecuaciones simultáneas 673
- 18.2 Ejemplos de modelos de ecuaciones simultáneas 674
- 18.3 Sesgo en las ecuaciones simultáneas: inconsistencia de los estimadores de MCO 679
- 18.4 Sesgo de las ecuaciones simultáneas: ejemplo numérico 682
Resumen y conclusiones 684
Ejercicios 684

CAPÍTULO 19

El problema de la identificación 689

- 19.1 Notación y definiciones 689
- 19.2 Problema de identificación 692
Subidentificación 692
Identificación precisa o exacta 694
Sobreidentificación 697
- 19.3 Reglas para la identificación 699
Condición de orden para la identificación 699
Condición de rango para la identificación 700
- 19.4 Prueba de simultaneidad 703
Prueba de especificación de Hausman 703
- 19.5 Pruebas de exogeneidad 705
Resumen y conclusiones 706
Ejercicios 706

CAPÍTULO 20

Métodos de ecuaciones simultáneas 711

- 20.1 Enfoques para la estimación 711
- 20.2 Modelos recursivos y mínimos cuadrados ordinarios 712

- 20.3** Estimación de una ecuación exactamente identificada: el método de mínimos cuadrados indirectos (MCI) 715
Ejemplo ilustrativo 715
Propiedades de los estimadores por MCI 718
- 20.4** Estimación de una ecuación sobreidentificada: método de mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E) 718
- 20.5** MC2E: ejemplo numérico 721
- 20.6** Ejemplos ilustrativos 724
 Resumen y conclusiones 730
 Ejercicios 730
 Apéndice 20A 735
- 20A.1** Sesgo en los estimadores de mínimos cuadrados indirectos 735
- 20A.2** Estimación de los errores estándar de los estimadores de MC2E 736

CAPÍTULO 21

Econometría de series de tiempo: algunos conceptos básicos 737

- 21.1** Repaso rápido a una selección de series de tiempo económicas de Estados Unidos 738
- 21.2** Conceptos fundamentales 739
- 21.3** Procesos estocásticos 740
Procesos estocásticos estacionarios 740
Procesos estocásticos no estacionarios 741
- 21.4** Proceso estocástico de raíz unitaria 744
- 21.5** Procesos estocásticos estacionarios en tendencia (ET) y estacionarios en diferencias (ED) 745
- 21.6** Procesos estocásticos integrados 746
Propiedades de las series integradas 747
- 21.7** El fenómeno de regresión espuria 747
- 21.8** Pruebas de estacionariedad 748
 1. *Análisis gráfico* 749
 2. *Función de autocorrelación (FAC) y correlograma* 749
Significancia estadística de los coeficientes de autocorrelación 753
- 21.9** Prueba de raíz unitaria 754
La prueba Dickey-Fuller aumentada (DFA) 757
Prueba de la significancia de más de un coeficiente: prueba F 758
Las pruebas de raíz unitaria Phillips-Perron (PP) 758
Prueba de cambios estructurales 758
Crítica de las pruebas de raíz unitaria 759
- 21.10** Transformación de las series de tiempo no estacionarias 760
Procesos estacionarios en diferencias 760
Procesos estacionarios en tendencia 761

- 21.11** Cointegración: regresión de una serie de tiempo con raíz unitaria sobre otra serie de tiempo con raíz unitaria 762
Prueba de cointegración 763
Cointegración y mecanismo de corrección de errores (MCE) 764
- 21.12** Algunas aplicaciones económicas 765
 Resumen y conclusiones 768
 Ejercicios 769

CAPÍTULO 22

Econometría de series de tiempo: pronósticos 773

- 22.1** Enfoques de los pronósticos económicos 773
Métodos de suavizamiento exponencial 774
Modelos de regresión uniecuacionales 774
Modelos de regresión de ecuaciones simultáneas 774
Modelos ARIMA 774
Modelos VAR 775
- 22.2** Creación de modelos AR, PM y ARIMA para series de tiempo 775
Proceso autorregresivo (AR) 775
Proceso de medias móviles (MA) 776
Proceso autorregresivo y de promedios móviles (ARMA) 776
Proceso autorregresivo integrado de promedios móviles (ARIMA) 776
- 22.3** Metodología de Box-Jenkins (BJ) 777
- 22.4** Identificación 778
- 22.5** Estimación del modelo ARIMA 782
- 22.6** Verificación de diagnóstico 782
- 22.7** Pronóstico 782
- 22.8** Otros aspectos de la metodología BJ 784
- 22.9** Vectores autorregresivos (VAR) 784
Estimación de VAR 785
Pronóstico con el modelo VAR 786
VAR y causalidad 787
Algunos problemas en la creación de modelos VAR 788
Una aplicación de VAR: un modelo VAR de la economía de Texas 789
- 22.10** Medición de la volatilidad de las series de tiempo financieras: modelos ARCH y GARCH 791
¿Qué hacer cuando ARCH está presente? 795
Advertencia sobre la prueba d de Durbin-Watson y el efecto ARCH 796
Nota sobre el modelo GARCH 796
- 22.11** Ejemplos para concluir 796
 Resumen y conclusiones 798
 Ejercicios 799

APÉNDICE A**Revisión de algunos conceptos estadísticos 801**

- A.1 Operadores de sumatoria y de producto 801
- A.2 Espacio muestral, puntos muestrales y sucesos 802
- A.3 Probabilidad y variables aleatorias 802
 - Probabilidad* 802
 - Variables aleatorias* 803
- A.4 Función de densidad de probabilidad (FDP) 803
 - Función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria discreta* 803
 - Función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria continua* 804
 - Funciones de densidad de probabilidad conjunta* 805
 - Función de densidad de probabilidad marginal* 805
 - Independencia estadística* 806
- A.5 Características de las distribuciones de probabilidad 808
 - Valor esperado* 808
 - Propiedades de los valores esperados* 809
 - Varianza* 810
 - Propiedades de la varianza* 811
 - Covarianza* 811
 - Propiedades de la covarianza* 812
 - Coefficiente de correlación* 812
 - Esperanza condicional y varianza condicional* 813
 - Propiedades de la esperanza y la varianza condicionales* 814
 - Momentos superiores de las distribuciones de probabilidad* 815
- A.6 Algunas distribuciones de probabilidad teóricas importantes 816
 - Distribución normal* 816
 - Distribución χ^2 (ji cuadrada)* 819
 - Distribución t de Student* 820
 - Distribución F* 821
 - Distribución binomial de Bernoulli* 822
 - Distribución binomial* 822
 - Distribución de Poisson* 823
- A.7 Inferencia estadística: estimación 823
 - Estimación puntual* 823
 - Estimación por intervalos* 824
 - Métodos de estimación* 825
 - Propiedades de las muestras pequeñas* 826
 - Propiedades de las muestras grandes* 828
- A.8 Inferencia estadística: pruebas de hipótesis 831
 - Método del intervalo de confianza* 832
 - Método de la prueba de significancia* 836
- Referencias 837

APÉNDICE B**Nociones básicas de álgebra matricial 838**

- B.1 Definiciones 838
 - Matriz* 838
 - Vector columna* 838
 - Vector renglón* 839
 - Trasposición* 839
 - Submatriz* 839
- B.2 Tipos de matrices 839
 - Matriz cuadrada* 839
 - Matriz diagonal* 839
 - Matriz escalar* 840
 - Matriz identidad o unitaria* 840
 - Matriz simétrica* 840
 - Matriz nula* 840
 - Vector nulo* 840
 - Matrices iguales* 840
- B.3 Operaciones matriciales 840
 - Adición de matrices* 840
 - Resta de matrices* 841
 - Multipliación por escalar* 841
 - Multipliación de matrices* 841
 - Propiedades de la multipliación de matrices* 842
 - Trasposición de matrices* 843
 - Inversión de matrices* 843
- B.4 Determinantes 843
 - Cálculo de un determinante* 844
 - Propiedades de los determinantes* 844
 - Rango de una matriz* 845
 - Menor* 846
 - Cofactor* 846
- B.5 Forma de encontrar la inversa de una matriz cuadrada 847
- B.6 Diferenciación matricial 848
- Referencias 848

APÉNDICE C**Método matricial para el modelo de regresión lineal 849**

- C.1 Modelo de regresión lineal con k variables 849
- C.2 Supuestos del modelo clásico de regresión lineal en notación matricial 851
- C.3 Estimación por MCO 853
 - Una ilustración* 855
 - Matriz de varianza-covarianza de $\hat{\beta}$* 856
 - Propiedades del vector de MCO $\hat{\beta}$* 858
- C.4 Coeficiente de determinación R^2 en notación matricial 858
- C.5 Matriz de correlación 859

- C.6 Pruebas de hipótesis sobre coeficientes de regresión individuales en notación matricial 859
- C.7 Prueba de significancia global de la regresión: análisis de varianza en notación matricial 860
- C.8 Pruebas de restricciones lineales: prueba F general con notación matricial 861
- C.9 Predicción mediante regresión múltiple: formulación matricial 861
 - Predicción media* 861
 - Varianza de la predicción media* 862
 - Predicción individual* 862
 - Varianza de la predicción individual* 862
- C.10 Resumen del método matricial: un ejemplo ilustrativo 863
- C.11 Mínimos cuadrados generalizados (MCG) 867
- C.12 Resumen y conclusiones 868
 - Ejercicios 869
 - Apéndice CA 874
- CA.1 Derivación de k ecuaciones normales o simultáneas 874
- CA.2 Derivación matricial de las ecuaciones normales 875
- CA.3 Matriz de varianza-covarianza de $\hat{\beta}$ 875
- CA.4 Propiedad MELI de los estimadores de MCO 875

APÉNDICE D**Tablas estadísticas 877****APÉNDICE E****Resultados de computadora de EViews, MINITAB, Excel y STATA 894**

- E.1 *EViews* 894
- E.2 MINITAB 896
- E.3 Excel 897
- E.4 STATA 898
- E.5 Comentarios finales 898
 - Referencias 899

APÉNDICE F**Datos económicos en la World Wide Web 900****Bibliografía selecta 902****Índice de nombres 905****Índice analítico 909**