



# Introducción a la econometría

UN ENFOQUE MODERNO

QUINTA EDICIÓN

**Jeffrey M. Wooldridge**

*Michigan State University*

**Traducción**

Ma. del Carmen Enriqueta Hano Roa

Érika M. Jasso Hernan D´Borneville

Jorge Hernández Lanto

Traductores profesionales

**Revisión técnica**

Dr. Jesús A. Valdés Díaz de Villegas

Departamento de Estudios Empresariales

Universidad Iberoamericana

Ciudad de México



Prefacio xv

Acerca del autor xxv

## **CAPÍTULO 1 La naturaleza de la econometría y los datos económicos 1**

- 1.1 ¿Qué es la econometría? 1
  - 1.2 Pasos en un análisis económico empírico 2
  - 1.3 Estructura de los datos económicos 5
    - Datos de corte transversal* 5
    - Datos de series de tiempo* 8
    - Combinación de cortes transversales* 9
    - Datos de panel o longitudinales* 10
    - Comentario sobre las estructuras de datos* 11
  - 1.4 Causalidad y la noción de *ceteris paribus* en el análisis econométrico 12
- Resumen 16
- Términos clave 17
- Problemas 17
- Ejercicios en computadora 17

### **PARTE 1**

## **Análisis de regresión con datos de corte transversal 21**

### **CAPÍTULO 2 El modelo de regresión simple 22**

- 2.1 Definición del modelo de regresión simple 22
- 2.2 Obtención de las estimaciones de mínimos cuadrados ordinarios 27
  - Nota sobre la terminología* 34
- 2.3 Propiedades de MCO en cualquier muestra de datos 35
  - Valores ajustados y residuales* 35

*Propiedades algebraicas de los estadísticos de MCO* 36

*Bondad de ajuste* 38

- 2.4 Unidades de medición y forma funcional 39
  - Efectos de los cambios de unidades de medición sobre los estadísticos obtenidos de MCO* 40
  - Incorporación de no linealidades en la regresión simple* 41
  - Significado de regresión "lineal"* 44
- 2.5 Valores esperados y varianzas de los estimadores de MCO 45
  - Insensamiento de los estimadores MCO* 45
  - Varianza de los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios* 50
  - Estimación de la varianza del error* 54
- 2.6 Regresión a través del origen y regresión sobre una constante 57

Resumen 58

Términos clave 59

Problemas 60

Ejercicios en computadora 63

Apéndice 2A 66

### **CAPÍTULO 3 Análisis de regresión múltiple: estimación 68**

- 3.1 Motivación para la regresión múltiple 69
  - El modelo con dos variables independientes* 69
  - Modelo con k variables independientes* 71
- 3.2 Mecánica e interpretación de los mínimos cuadrados ordinarios 72
  - Obtención de las estimaciones de MCO* 72
  - Interpretación de la ecuación de regresión de MCO* 74
  - El significado de "mantener todos los demás factores constantes" en la regresión múltiple* 76

	<i>Cambiar de manera simultánea más de una variable independiente</i>	77
	<i>Valores ajustados y residuales de MCO</i>	77
	<i>Una interpretación de descuento de efectos parciales de la regresión múltiple</i>	78
	<i>Comparación entre las estimaciones de la regresión simple y de la regresión múltiple</i>	78
	<i>Bondad de ajuste</i>	80
	<i>Regresión a través del origen</i>	81
3.3	Valor esperado de los estimadores de MCO	83
	<i>Inclusión de variables irrelevantes en un modelo de regresión</i>	88
	<i>Sesgo de la variable omitida: caso sencillo</i>	88
	<i>Sesgo de la variable omitida: casos más generales</i>	91
3.4	Varianza de los estimadores de MCO	93
	<i>Los componentes de las varianzas de los estimadores de MCO: multicolinealidad</i>	94
	<i>Varianzas en modelos mal especificados</i>	98
	<i>Estimación de <math>\sigma^2</math>: errores estándar de los estimadores de MCO</i>	99
3.5	Eficiencia de MCO: el teorema de Gauss-Markov	101
3.6	Algunos comentarios acerca del lenguaje del análisis de regresión múltiple	103
	Resumen	104
	Términos clave	105
	Problemas	106
	Ejercicios en computadora	110
	Apéndice 3A	113

## **CAPÍTULO 4 Análisis de regresión múltiple: inferencia 118**

4.1	Distribución de muestreo de los estimadores de MCO	118
4.2	Prueba de hipótesis sobre un solo parámetro poblacional: la prueba $t$	121
	<i>Pruebas contra alternativas de una cola</i>	123
	<i>Alternativas de dos colas</i>	128
	<i>Otras pruebas de hipótesis acerca de <math>\beta_1</math></i>	130
	<i>Cálculo del valor-p en las pruebas <math>t</math></i>	133
	<i>Repaso del lenguaje empleado en las pruebas de hipótesis clásicas</i>	135
	<i>Significancia económica o práctica frente a significancia estadística</i>	135
4.3	Intervalos de confianza	138
4.4	Pruebas de hipótesis de una sola combinación lineal de los parámetros	140

4.5	Pruebas para restricciones lineales múltiples: la prueba $F$	143
	<i>Prueba para las restricciones de exclusión</i>	143
	Relación entre los estadísticos $F$ y $t$	149
	<i>Forma R-cuadrada del estadístico <math>F</math></i>	150
	<i>Cálculo de los valores-p para pruebas <math>F</math></i>	151
	<i>El estadístico <math>F</math> para la significancia general de una regresión</i>	152
	<i>Prueba para las restricciones generales lineales</i>	153
4.6	Informe de los resultados de la regresión	154
	Resumen	157
	Términos clave	159
	Problemas	159
	Ejercicios en computadora	164

## **CAPÍTULO 5 Análisis de regresión múltiple: MCO asintóticos 168**

5.1	Consistencia	169
	<i>Obtención de la inconsistencia en MCO</i>	172
5.2	Normalidad asintótica e inferencia con muestras grandes	173
	<i>Otras pruebas con muestras grandes: el estadístico del multiplicador de Lagrange</i>	178
5.3	Eficiencia asintótica de MCO	181
	Resumen	182
	Términos clave	183
	Problemas	183
	Ejercicios en computadora	183
	Apéndice 5A	185

## **CAPÍTULO 6 Análisis de regresión múltiple: temas adicionales 186**

6.1	Efectos del escalamiento de datos sobre los estadísticos de MCO	186
	<i>Coefficientes beta</i>	189
6.2	Más acerca de la forma funcional	191
	<i>Más acerca del empleo de las formas funcionales logarítmicas</i>	191
	<i>Modelos con funciones cuadráticas</i>	194
	<i>Modelos con términos de interacción</i>	198
6.3	Más sobre bondad de ajuste y selección de los regresores	200
	<i>R-cuadrada ajustada</i>	202

	<i>Uso de la R-cuadrada ajustada para elegir entre modelos no anidados</i>	203
	<i>Control de demasiados factores en un análisis de regresión</i>	205
	<i>Adición de regresores para reducir la varianza del error</i>	206
6.4	Predicción y análisis de residuales	207
	<i>Intervalos de confianza para predicciones</i>	207
	<i>Análisis de residuales</i>	211
	<i>Predicción de y cuando <math>\log(y)</math> es la variable dependiente</i>	212
	Resumen	216
	Términos clave	217
	Problemas	218
	Ejercicios en computadora	220
	Apéndice 6A	225

## **CAPÍTULO 7 Análisis de regresión múltiple con información cualitativa: variables binarias (o *dummy*) 227**

7.1	Descripción de la información cualitativa	227
7.2	Una sola variable binaria independiente	228
	<i>Interpretación de los coeficientes de variables explicativas binarias cuando la variable dependiente es <math>\log(y)</math></i>	233
7.3	Uso de variables binarias en categorías múltiples	235
	<i>Incorporación de información ordinal mediante el uso de variables binarias</i>	237
7.4	Interacciones en las que intervienen variables binarias	240
	<i>Interacciones entre variables binarias</i>	240
	<i>Considerar pendientes diferentes</i>	241
	<i>Prueba para diferencias en las funciones de regresión a través de los grupos</i>	245
7.5	Una variable dependiente binaria: el modelo de probabilidad lineal	248
7.6	Más acerca del análisis de políticas y evaluación de programas	253
7.7	Interpretación de los resultados de una regresión con variables dependientes discretas	256
	Resumen	257
	Términos clave	258
	Problemas	258
	Ejercicios en computadora	262

## **CAPÍTULO 8 Heterocedasticidad 268**

8.1	Consecuencias de la heterocedasticidad para MCO	268
8.2	Inferencia robusta a la heterocedasticidad en la estimación por MCO	269
	<i>Cálculo de pruebas ML robustas a la heterocedasticidad</i>	274
8.3	Pruebas para heterocedasticidad	275
	<i>Prueba de White para heterocedasticidad</i>	279
8.4	Estimación por mínimos cuadrados ponderados	280
	<i>Heterocedasticidad conocida, salvo una constante multiplicativa</i>	281
	<i>La función de heterocedasticidad debe ser estimada: MCG factibles</i>	286
	<i>¿Qué pasa si la función de heterocedasticidad supuesta es incorrecta?</i>	290
	<i>Predicción e intervalos de predicción con heterocedasticidad</i>	292
8.5	Reconsideración del modelo de probabilidad lineal	294
	Resumen	296
	Términos clave	297
	Problemas	297
	Ejercicios en computadora	299

## **CAPÍTULO 9 Más sobre especificación y temas de datos 303**

9.1	Especificación incorrecta de la forma funcional	304
	<i>RESET como una prueba general para especificación incorrecta de formas funcionales</i>	306
	<i>Pruebas contra alternativas no anidadas</i>	307
9.2	Uso de las variables proxy para las variables explicativas no observadas	308
	<i>Utilización de variables dependientes rezagadas como variables proxy</i>	313
	<i>Un enfoque diferente de la regresión múltiple</i>	314
9.3	Modelos con pendientes aleatorias	315
9.4	Propiedades de MCO bajo error de medición	317
	<i>Error de medición en la variable dependiente</i>	318
	<i>Error de medición en las variables explicativas</i>	320
9.5	Datos faltantes, muestras no aleatorias y observaciones aberrantes	324

<i>Datos faltantes</i>	324
<i>Muestras no aleatorias</i>	324
<i>Observaciones influyentes y observaciones aberrantes</i>	326
<b>9.6</b> Estimación por mínimas desviaciones absolutas	331
Resumen	334
Términos clave	335
Problemas	335
Ejercicios en computadora	338

## PARTE 2

### Análisis de regresión con datos de series de tiempo 343

#### CAPÍTULO 10 Análisis básico de regresión con datos de series de tiempo 344

<b>10.1</b> Naturaleza de los datos de series de tiempo	344
<b>10.2</b> Ejemplos de modelos de regresión con series de tiempo	345
<i>Modelos estáticos</i>	346
<i>Modelos de rezagos distribuidos finitos</i>	346
<i>Una convención sobre el índice de tiempo</i>	349
<b>10.3</b> Propiedades en muestras finitas de MCO bajo los supuestos clásicos	349
<i>Insegamiento de MCO</i>	349
<i>Las varianzas de los estimadores de MCO y el teorema de Gauss-Markov</i>	352
<i>Inferencia bajo los supuestos del modelo lineal clásico</i>	355
<b>10.4</b> Forma funcional, variables binarias y números índice	356
<b>10.5</b> Tendencias y estacionalidad	363
<i>Caracterización de la tendencia en las series de tiempo</i>	363
<i>Uso de variables con tendencia en el análisis de regresión</i>	366
<i>Interpretación de las regresiones con tendencia en el tiempo mediante la eliminación de la tendencia</i>	368
<i>Cálculo de la R-cuadrada cuando la variable dependiente tiene tendencia</i>	370
<i>Estacionalidad</i>	371
Resumen	373
Términos clave	374

Problemas	375
Ejercicios en computadora	377

#### CAPÍTULO 11 Aspectos adicionales de MCO con datos de series de tiempo 380

<b>11.1</b> Series de tiempo estacionarias y débilmente dependientes	381
<i>Series de tiempo estacionarias y no estacionarias</i>	381
<i>Series de tiempo débilmente dependientes</i>	382
<b>11.2</b> Propiedades asintóticas de MCO	384
<b>11.3</b> Uso de series de tiempo altamente persistentes en el análisis de regresión	391
<i>Series de tiempo altamente persistentes</i>	391
<i>Transformaciones de series de tiempo altamente persistentes</i>	395
<i>Decidir si una serie de tiempo es o no <math>I(1)</math></i>	396
<b>11.4</b> Modelos dinámicamente completos y ausencia de correlación serial	399
<b>11.5</b> El supuesto de homocedasticidad en los modelos de series de tiempo	402
Resumen	402
Términos clave	404
Problemas	404
Ejercicios en computadora	407

#### CAPÍTULO 12 Correlación serial y heterocedasticidad en regresiones de series de tiempo 412

<b>12.1</b> Propiedades de MCO con errores correlacionados serialmente	412
<i>Insegamiento y consistencia</i>	412
<i>Eficiencia e inferencia</i>	413
<i>Bondad de ajuste</i>	414
<i>Correlación serial en presencia de variables dependientes rezagadas</i>	415
<b>12.2</b> Métodos de prueba de la correlación serial	416
<i>Prueba t de correlación serial <math>AR(1)</math> con regresores estrictamente exógenos</i>	416
<i>Prueba de Durbin-Watson bajo los supuestos clásicos</i>	418
<i>Prueba de correlación serial <math>AR(1)</math> sin regresores estrictamente exógenos</i>	420
<i>Prueba de correlación serial de orden superior</i>	421

- 12.3** Corrección de correlación serial con regresores estrictamente exógenos 423  
*Obtención del mejor estimador lineal insesgado en el modelo AR(1)* 423  
*Estimación por MCG factibles con errores AR(1)* 425  
*Comparación de MCO y MCGF* 427  
*Corrección de la correlación serial de orden superior* 428
- 12.4** Diferenciación y correlación serial 429
- 12.5** Inferencia robusta a la correlación serial después de MCO 431
- 12.6** Heterocedasticidad en regresiones de series de tiempo 434  
*Estadísticos robustos a la heterocedasticidad* 435  
*Pruebas de heterocedasticidad* 435  
*Heterocedasticidad condicional autorregresiva* 436  
*Heterocedasticidad y correlación serial en modelos de regresión* 438
- Resumen 439  
 Términos clave 440  
 Problemas 440  
 Ejercicios en computadora 441

### PARTE 3

## Temas avanzados 447

### CAPÍTULO 13 Combinación de cortes transversales en el tiempo: métodos simples para datos de panel 448

- 13.1** Combinación independiente de cortes transversales en el tiempo 449  
*Prueba de Chow para el cambio estructural en el tiempo* 453
- 13.2** Análisis de políticas con combinación de cortes transversales 454
- 13.3** Análisis de datos de panel para un periodo de dos años 459  
*Organización de los datos de panel* 465
- 13.4** Análisis de políticas con datos de panel de dos periodos 465
- 13.5** Diferenciación con más de dos periodos 468  
*Posibles dificultades con la primera diferenciación en los datos de panel* 473
- Resumen 474  
 Términos clave 474

- Problemas 474  
 Ejercicios en computadora 476  
 Apéndice 13A 481

### CAPÍTULO 14 Métodos avanzados para datos de panel 484

- 14.1** Estimación de efectos fijos 484  
*Regresión de variables binarias* 488  
*¿Efectos fijos o primera diferencia?* 489  
*Efectos fijos con paneles no balanceados* 491
- 14.2** Modelos de efectos aleatorios 492  
*¿Efectos aleatorios o efectos fijos?* 495
- 14.3** Método de efectos aleatorios correlacionados 497
- 14.4** Aplicación de métodos de datos de panel a otras estructuras de datos 499
- Resumen 501  
 Términos clave 502  
 Problemas 502  
 Ejercicios en computadora 503  
 Apéndice 14A 509

### CAPÍTULO 15 Estimación con variables instrumentales y mínimos cuadrados en dos etapas 512

- 15.1** Justificación: variables omitidas en un modelo de regresión simple 513  
*Inferencia estadística con el estimador de VI* 517  
*Propiedades de VI con una variable instrumental deficiente* 521  
*Cálculo de la R-cuadrada después de la estimación de VI* 523
- 15.2** Estimación de VI del modelo de regresión múltiple 524
- 15.3** Mínimos cuadrados en dos etapas 528  
*Una sola variable explicativa endógena* 528  
*Multicolinealidad y MC2E* 530  
*Múltiples variables explicativas endógenas* 531  
*Pruebas de hipótesis múltiples después de la estimación de MC2E* 532
- 15.4** Soluciones de VI a los problemas de errores en las variables 532
- 15.5** Pruebas de endogeneidad y pruebas de restricciones de sobreidentificación 534

Problemas	669
Ejercicios en computadora	671

## CAPÍTULO 19 Realización de un proyecto empírico 676

---

19.1 Plantear una pregunta	676
19.2 Revisión bibliográfica	678
19.3 Recolección de datos	679
<i>Decidir el conjunto apropiado de datos</i>	679
<i>Ingresar y almacenar los datos</i>	680
<i>Inspección, depuración y resumen de los datos</i>	682
19.4 Análisis econométrico	683
19.5 La redacción de un trabajo empírico	686
<i>Introducción</i>	686
<i>Marco conceptual (o teórico)</i>	687
<i>Métodos econométricos y métodos de estimación</i>	687
<i>Los datos</i>	690
<i>Resultados</i>	690
<i>Conclusiones</i>	691
<i>Sugerencias de estilo</i>	692
Resumen	694
Términos clave	694
Muestra de proyectos empíricos	694
Lista de publicaciones	700
Fuentes de datos	701

## APÉNDICE A Herramientas matemáticas básicas 703

---

A.1 El operador de suma y la estadística descriptiva	703
A.2 Propiedades de las funciones lineales	705
A.3 Proporciones y porcentajes	707
A.4 Algunas funciones especiales y sus propiedades	710
<i>Funciones cuadráticas</i>	710
<i>Logaritmo natural</i>	712
<i>La función exponencial</i>	716
A.5 Cálculo diferencial	717
Resumen	719
Términos clave	719
Problemas	719

## APÉNDICE B Fundamentos de probabilidad 722

---

B.1 Variables aleatorias y sus distribuciones de probabilidad	722
<i>Variables aleatorias discretas</i>	723
<i>Variables aleatorias continuas</i>	725
B.2 Distribuciones conjuntas, distribuciones condicionales e independencia	727
<i>Distribuciones conjuntas e independencia</i>	727
<i>Distribuciones condicionales</i>	729
B.3 Características de las distribuciones de probabilidad	730
<i>Una medida de tendencia central: el valor esperado</i>	730
<i>Propiedades de los valores esperados</i>	731
<i>Otra medida de tendencia central: la mediana</i>	733
<i>Medidas de variabilidad: varianza y desviación estándar</i>	734
<i>Varianza</i>	734
<i>Desviación estándar</i>	736
<i>Estandarización de una variable aleatoria</i>	736
<i>Sesgo y curtosis</i>	737
B.4 Características de las distribuciones conjuntas y de las condicionales	737
<i>Medidas de asociación: covarianza y correlación</i>	737
<i>Covarianza</i>	737
<i>Coficiente de correlación</i>	739
<i>Varianza de sumas de variables aleatorias</i>	740
<i>Esperanza condicional</i>	741
<i>Propiedades de la esperanza condicional</i>	742
<i>Varianza condicional</i>	744
B.5 La distribución normal y otras distribuciones semejantes	745
<i>La distribución normal</i>	745
<i>La distribución normal estándar</i>	746
<i>Propiedades adicionales de la distribución normal</i>	748
<i>La distribución ji-cuadrada</i>	749
<i>La distribución t</i>	749
<i>La distribución F</i>	750

Resumen	752
Términos clave	752
Problemas	752

## APÉNDICE C Fundamentos de estadística matemática 755

---

<b>C.1</b>	Poblaciones, parámetros y muestreo aleatorio	755
	<i>Muestreo</i>	756
<b>C.2</b>	Propiedades de muestras finitas de los estimadores	756
	<i>Estimadores y estimaciones</i>	757
	<i>Insegadez</i>	758
	<i>La varianza de muestreo de los estimadores</i>	760
	<i>Eficiencia</i>	762
<b>C.3</b>	Propiedades asintóticas o de muestra grande de los estimadores	763
	<i>Consistencia</i>	763
	<i>Normalidad asintótica</i>	766
<b>C.4</b>	Métodos generales para estimar parámetros	768
	<i>El método de momentos</i>	768
	<i>Máxima verosimilitud</i>	769
	<i>Mínimos cuadrados</i>	770
<b>C.5</b>	Estimación de intervalos e intervalos de confianza	770
	<i>La naturaleza de la estimación de intervalos</i>	770
	<i>Intervalos de confianza para la media de una población normalmente distribuida</i>	772
	<i>Una sencilla regla general para un intervalo de confianza a 95%</i>	775
	<i>Intervalos de confianza asintóticos para poblaciones no normales</i>	776
<b>C.6</b>	Prueba de hipótesis	777
	<i>Fundamentos de la prueba de hipótesis</i>	778
	<i>Pruebas de hipótesis para la media de una población normal</i>	780
	<i>Pruebas asintóticas para poblaciones no normales</i>	783
	<i>Cálculo y uso de los valores-p</i>	784
	<i>La relación entre intervalos de confianza y pruebas de hipótesis</i>	787

*Significancia práctica frente a significancia estadística* 788

<b>C.7</b>	Comentarios sobre la notación	789
	Resumen	790
	Términos clave	790
	Problemas	791

## APÉNDICE D Resumen de álgebra matricial 796

---

<b>D.1</b>	Definiciones básicas	796
<b>D.2</b>	Operaciones matriciales	797
	<i>Suma matricial</i>	797
	<i>Multiplicación escalar</i>	798
	<i>Multiplicación matricial</i>	798
	<i>Transposición</i>	799
	<i>Multiplicación parcial particionada</i>	800
	<i>Traza</i>	800
	<i>Inversa</i>	801
<b>D.3</b>	Independencia lineal y rango de una matriz	801
<b>D.4</b>	Formas cuadráticas y matrices definidas positivas	802
<b>D.5</b>	Matrices idempotentes	802
<b>D.6</b>	Diferenciación de formas lineales y cuadráticas	803
<b>D.7</b>	Momentos y distribuciones de vectores aleatorios	803
	<i>Valor esperado</i>	803
	<i>Matriz varianza-covarianza</i>	803
	<i>Distribución normal multivariada</i>	804
	<i>Distribución ji-cuadrada</i>	804
	<i>Distribución t</i>	805
	<i>Distribución F</i>	805
	Resumen	805
	Términos clave	805
	Problemas	806

## APÉNDICE E El modelo de regresión lineal en forma matricial 807

---

<b>E.1</b>	El modelo de estimación de los mínimos cuadrados ordinarios	807
<b>E.2</b>	Propiedades muestrales finitas de MCO	809
<b>E.3</b>	Inferencia estadística	813
<b>E.4</b>	Algunos análisis asintóticos	815
	<i>Estadístico de Wald para probar hipótesis múltiples</i>	818

Resumen 819

Términos clave 819

Problemas 819

**APÉNDICE F Respuestas a las preguntas  
del capítulo 821**

---

**APÉNDICE G Tablas estadísticas 831**

---

Referencias 838

Glosario 844

Índice 860