

# Análisis de datos en ciencias sociales y de la salud II

Antonio Pardo • Rafael San Martín

Datos disponibles en: [www.sintesis.com](http://www.sintesis.com)

mocs

2.ª Edición



EDITORIAL  
SÍNTESIS

# **Análisis de datos**

## **en ciencias sociales y de la salud II**

**2.ª Edición**

PROYECTO EDITORIAL:

Metodología de las Ciencias del Comportamiento y de la Salud

*Directores:*

Antonio Pardo Merino

Miguel Ángel Ruiz Díaz



Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los

derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos ([www.cedro.org](http://www.cedro.org)) vela por el respeto de los citados derechos.

# **Análisis de datos**

## **en ciencias sociales y de la salud II**

**Antonio Pardo • Rafael San Martín**

**2.ª Edición**



**EDITORIAL  
SÍNTESIS**

Consulte nuestra página web: [www.sintesis.com](http://www.sintesis.com)  
En ella encontrará el catálogo completo y comentado

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

© Antonio Pardo y Rafael San Martín

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.  
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid  
Teléfono 91 593 20 98  
<http://www.sintesis.com>

ISBN:978-84-975670-4-6  
Depósito Legal: M. 14.400-2015

Impreso en España - Printed in Spain

# Índice de contenidos

Presentación .....	15
--------------------	----

## 1. La inferencia estadística

La inferencia estadística .....	17
El contraste de hipótesis .....	18
Un ejemplo .....	21
Qué significa rechazar y no rechazar la hipótesis nula .....	24
Contrastes bilaterales y unilaterales .....	27
Errores Tipo I y II, y potencia de un contraste .....	29
Factores de los que depende la potencia .....	32
Tamaño del efecto .....	35
Clasificación de los contrastes de hipótesis .....	38
Programas informáticos para el análisis de datos .....	40
Apéndice 1	
Cálculo de la potencia .....	41
Curva de potencias .....	43
Ejercicios .....	46

## 2. Inferencia con una variable

Contrastes sobre el centro de una distribución .....	52
La prueba de Wilcoxon para una muestra .....	52
La prueba de los signos para una muestra .....	55
La prueba $T$ , la de Wilcoxon y la de los signos .....	60
Los contrastes sobre el centro de una distribución con SPSS .....	61
Contrastes sobre la dispersión de una distribución .....	64
Contrastes sobre la forma de una distribución .....	66
La prueba de Kolmogorov-Smirnov sobre bondad de ajuste .....	67
Los contrastes sobre la forma de una distribución con SPSS .....	68
Apéndice 2	
La prueba de las rachas .....	73
La prueba de los cuantiles .....	76
Ejercicios .....	77

### 3. Inferencia con dos variables categóricas

Proporciones independientes y relacionadas .....	80
Homogeneidad marginal y simetría .....	83
Simetría con variables dicotómicas: la prueba de McNemar .....	84
Simetría con variables politómicas: la prueba de Bowker .....	88
Homogeneidad marginal y simetría con SPSS .....	89
Índices de riesgo .....	94
Riesgo relativo .....	95
<i>Odds ratio</i> .....	97
Relación entre el riesgo relativo y la <i>odds ratio</i> .....	100
Consideraciones sobre la interpretación de los índices de riesgo .....	101
Los índices de riesgo con SPSS .....	104
Índices de acuerdo .....	106
Acuerdo con variables nominales: <i>kappa</i> .....	107
El índice de acuerdo <i>kappa</i> con SPSS .....	112
Asociación entre variables categóricas ordinales .....	114
Medidas de concordancia-discordancia .....	116
Medidas de concordancia-discordancia con SPSS .....	119
Apendice 3 .....	
Simetría relativa .....	120
Combinación de tablas 2 · 2 (Cochran y Mantel-Haenszel) .....	121
La paradoja de Simpson .....	125
Medidas de asociación basadas en la reducción proporcional del error .....	126
Coeficiente lambda .....	127
Coeficiente tau .....	128
Coeficiente de incertidumbre .....	129
Medidas de reducción proporcional del error con SPSS .....	129
Muestras pequeñas: la prueba exacta de Fisher .....	130
Concordancias y discordancias en una tabla de contingencias .....	132
Cómo reproducir una tabla de contingencias en SPSS .....	133
Ejercicios .....	135

### 4. Inferencia con dos variables cuantitativas

Cómo comparar dos variables cuantitativas .....	140
La prueba <i>t</i> de Student para muestras relacionadas .....	140
La prueba de Wilcoxon para dos muestras .....	142
La prueba de Wilcoxon para dos muestras con SPSS .....	145
La prueba de los signos para dos muestras .....	148
La prueba de los signos para dos muestras con SPSS .....	149
Cómo relacionar dos variables cuantitativas .....	151
El coeficiente de correlación de Pearson .....	151
El coeficiente de correlación de Spearman .....	153
El coeficiente de correlación de Spearman con SPSS .....	157



Medidas del tamaño del efecto .....	158
Cálculo de la potencia y del tamaño muestral .....	159
Apéndice 4	
Correlaciones parciales .....	160
Ejercicios .....	162
 <b>5. Inferencia con una variable categórica y una cuantitativa</b>	
La prueba <i>T</i> de Student para muestras independientes .....	166
Asumiendo varianzas poblacionales iguales .....	168
Independencia, normalidad e igualdad de varianzas .....	172
No asumiendo varianzas poblacionales iguales .....	173
La prueba <i>T</i> para muestras independientes con SPSS .....	176
La prueba <i>U</i> de Mann-Whitney .....	179
La prueba <i>U</i> de Mann-Whitney con SPSS .....	183
Medidas del tamaño del efecto .....	184
Medidas del tamaño del efecto con SPSS .....	189
Cálculo de la potencia y del tamaño muestral .....	190
Contrastes de equivalencia y no-inferioridad .....	191
Métodos para demostrar equivalencia .....	192
Doble contraste unilateral de Schuirman .....	192
Intervalo de confianza de Westlake .....	193
Métodos para demostrar no-inferioridad .....	195
Limitaciones de los contrastes de equivalencia y no-inferioridad .....	196
Apéndice 5	
La distribución muestral del estadístico <i>T</i> asumiendo $\sigma_1 = \sigma_2$ .....	197
La prueba de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras independientes .....	199
La prueba de las rachas de Wald-Wolfowitz .....	199
La prueba de reacciones extremas de Moses .....	200
Ejercicios .....	201
 <b>6. Análisis de varianza (I). Un factor completamente aleatorizado</b>	
Modelos de análisis de varianza .....	206
Número de factores .....	206
Tipo de asignación de las unidades de análisis a las condiciones del estudio .....	207
Forma de establecer los niveles del factor .....	208
Clasificación de los modelos de análisis de varianza .....	209
La lógica del análisis de varianza .....	210
ANOVA de un factor completamente aleatorizado .....	213
Supuestos del ANOVA de un factor .....	217
Independencia .....	218
Normalidad .....	219
Igualdad de varianzas (homocedasticidad) .....	219



Transformación de las puntuaciones	220
Efectos fijos y aleatorios	222
Medidas del tamaño del efecto	222
Cálculo de la potencia y del tamaño muestral	226
Comparaciones múltiples entre medias	228
Comparaciones lineales	228
Tasa de error en las comparaciones múltiples	231
Comparaciones planeadas o <i>a priori</i>	233
Prueba de Dunn-Bonferroni	234
Comparaciones de tendencia	238
Prueba de Dunnett	241
Comparaciones <i>post hoc</i> o <i>a posteriori</i>	243
Prueba de Tukey	243
Prueba de Scheffé	246
Comparaciones múltiples: qué procedimiento elegir	248
ANOVA de un factor completamente aleatorizado con SPSS	249
Supuestos	250
Hipótesis de igualdad de medias	252
Tamaño del efecto y potencia observada	254
Comparaciones <i>post hoc</i>	255
Comparaciones planeadas y de tendencia	257
La prueba de Kruskal-Wallis	260
Apéndice 6	
Distribución muestral del estadístico $F$	264
Tabla de la distribución $F$	266
La distribución $F$ con SPSS	266
Estadísticos $F$ robustos: Welch y Brown-Forsythe	267
Comparaciones <i>post hoc</i> : procedimientos alternativos	267
Efectos aleatorios	270
Ejercicios	272

## 7. Análisis de varianza (II). Dos factores completamente aleatorizados

Estructura de los datos y notación	278
La interacción entre factores	280
ANOVA de dos factores completamente aleatorizados	284
Supuestos del ANOVA de dos factores	291
Efectos fijos y aleatorios	291
Medidas del tamaño del efecto	292
Cálculo de la potencia y del tamaño muestral	294
Comparaciones múltiples	296
Efectos principales	296
Efectos simples	299
Efecto de la interacción	302

ANOVA de dos factores completamente aleatorizados con SPSS .....	306
Hipótesis globales (efecto de $A$ , de $B$ y de $AB$ ) .....	307
Tamaño del efecto y potencia observada .....	308
Comparaciones múltiples: efectos principales .....	309
Comparaciones múltiples: efectos simples .....	311
Comparaciones múltiples: efecto de la interacción .....	313
Apéndice 7 .....	
Casillas con tamaños muestrales distintos .....	315
Más sobre los efectos simples y el efecto de la interacción .....	317
La sentencia <i>LMATRIX</i> .....	319
Análisis de los efectos simples .....	320
Comparaciones entre los niveles de un mismo efecto simple .....	321
Análisis del efecto de la interacción .....	323
Modelos jerárquicos o anidados .....	324
Ejercicios .....	325

## 8. Análisis de varianza (III). Un factor con medidas repetidas

Características de los diseños con medidas repetidas .....	329
ANOVA de un factor con medidas repetidas .....	332
Supuestos del modelo .....	338
Alternativas al estadístico $F$ .....	339
Estadístico $F$ con los grados de libertad modificados .....	339
Aproximación multivariada .....	340
Qué solución elegir .....	340
Medidas del tamaño del efecto .....	341
Cálculo de la potencia y del tamaño muestral .....	342
Comparaciones múltiples .....	343
ANOVA de un factor con medidas repetidas con SPSS .....	344
Esfericidad .....	346
Igualdad de medias .....	346
Tamaño del efecto y potencia observada .....	348
Comparaciones planeadas .....	348
Comparaciones <i>post hoc</i> .....	350
La prueba de Friedman .....	351
Apéndice 8 .....	
Cómo estimar $\epsilon$ .....	354
Prueba de Cochran .....	356
Coeficiente de concordancia $W$ de Kendall .....	358
Prueba de no-aditividad de Tukey .....	360
Ejercicios .....	362

**9. Análisis de varianza (IV). Dos factores con medidas repetidas**

ANOVA de dos factores con medidas repetidas en ambos .....	367
Supuestos del modelo .....	371
Medidas del tamaño del efecto .....	372
Cálculo de la potencia y del tamaño muestral .....	372
Comparaciones múltiples .....	373
ANOVA de dos factores con medidas repetidas en ambos con SPSS .....	373
Esfericidad .....	377
Hipótesis globales (efecto de <i>A</i> , de <i>B</i> y de <i>AB</i> ) .....	378
Tamaño del efecto y potencia observada .....	380
Comparaciones <i>post hoc</i> : efectos principales .....	380
Comparaciones múltiples: efectos simples .....	381
Comparaciones múltiples: efecto de la interacción .....	382
ANOVA de dos factores con medidas repetidas en uno .....	385
Supuestos del modelo .....	389
Medidas del tamaño del efecto .....	390
Cálculo de la potencia y del tamaño muestral .....	391
Comparaciones múltiples .....	391
ANOVA de dos factores con medidas repetidas en uno con SPSS .....	392
Esfericidad multi-muestra e igualdad de varianzas .....	396
Hipótesis globales (efecto de <i>A</i> , de <i>B</i> y de <i>AB</i> ) .....	397
Comparaciones <i>post hoc</i> : efectos principales .....	399
Comparaciones múltiples: efectos simples .....	400
Comparaciones múltiples: efecto de la interacción .....	401
Apéndice 9	
La sentencia <i>MMATRIX</i> .....	403
Análisis de los efectos simples .....	404
Comparaciones entre los niveles de un mismo efecto simple .....	405
Análisis del efecto de la interacción .....	407
Ejercicios .....	409

**10. Análisis de regresión lineal**

Regresión lineal simple .....	414
Diagramas de dispersión .....	416
La recta de regresión .....	417
Mínimos cuadrados .....	418
Coeficientes de regresión .....	419
Coeficientes de regresión tipificados .....	421
Bondad de ajuste .....	422
Significación de los coeficientes de regresión .....	425
Intervalos de confianza .....	427
Cómo efectuar pronósticos .....	428

Regresión lineal múltiple .....	430
La ecuación de regresión .....	430
Coeficientes de regresión .....	431
Coeficientes de regresión tipificados .....	432
Bondad de ajuste .....	433
Significación de los coeficientes de regresión .....	434
Importancia relativa de las variables .....	437
Variables independientes categóricas .....	440
Regresión jerárquica o por pasos .....	441
Criterios para seleccionar variables .....	442
Métodos para seleccionar variables .....	443
Supuestos del modelo de regresión lineal .....	445
Linealidad .....	445
No colinealidad .....	447
Independencia .....	449
Normalidad .....	451
Homocedasticidad .....	452
Casos atípicos e influyentes .....	453
Casos atípicos .....	453
Casos atípicos en $Y$ .....	453
Casos atípicos en $X_j$ .....	455
Casos influyentes .....	455
Cambio en los coeficientes de regresión .....	457
Cambio en los pronósticos .....	458
Cambio en los residuos .....	458
Qué hacer con los casos atípicos e influyentes .....	458
Regresión lineal con SPSS .....	459
Regresión múltiple .....	459
Bondad de ajuste .....	460
Ecuación de regresión .....	461
Significación de los coeficientes de regresión .....	462
Pronósticos .....	462
Importancia relativa de las variables .....	462
Chequeo de los supuestos .....	464
Casos atípicos e influyentes .....	468
Regresión jerárquica o por pasos .....	469
Regresión jerárquica o por pasos con variables categóricas .....	472
Comentarios finales .....	473
Validación de una ecuación de regresión .....	473
Consideraciones sobre el tamaño muestral .....	473
Apéndice 10 .....	
Regresión curvilínea .....	474
Mediación estadística .....	477
Ejercicios .....	480

<b>Apéndice final. Tablas estadísticas</b> .....	485
<b>Glosario de símbolos</b> .....	515
<b>Referencias</b> .....	519
<b>Índice de materias</b> .....	535



Los contenidos y la exposición del presente manual están orientados a resaltar la utilidad de los procedimientos estadísticos disponibles y las claves para saber elegirlos, aplicarlos e interpretarlos correctamente, sin prescindir de los detalles necesarios para entenderlos. En esta segunda edición revisada se han reorganizado algunos contenidos y se han aligerado otros, así como incluido algunas modificaciones con el propósito de mejorar las explicaciones.

Esta obra va dirigida a estudiantes, profesores e investigadores que se ven en la necesidad de aplicar herramientas estadísticas. Al diseñarla se ha asumido que los profesionales de las ciencias sociales y de la salud no necesitan ser expertos en los fundamentos matemáticos de las herramientas estadísticas que aplican. Además, gracias a los programas informáticos de análisis estadístico, ya no es necesario invertir tiempo en complejos cálculos. Aunque todos los procedimientos se presentan con suficiente detalle para poder aplicarlos con una calculadora de bolsillo, se explica cómo aplicarlos con el programa *SPSS Statistics* y cómo interpretar correctamente los resultados que se obtienen.

**Antonio Pardo** es profesor titular del departamento de Psicología Social y Metodología de la Universidad Autónoma de Madrid.

**Rafael San Martín** es catedrático en la Universidad Autónoma de Madrid.

ISBN 978-84-975670-4-6



55 103



9 788497 567046

Datos disponibles en:  
[www.sintesis.com](http://www.sintesis.com)



EDITORIAL  
SÍNTESIS