



# Contenido

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Acerca de los autores</b> .....                                   | <b>xv</b>   |
| <b>Prefacio</b> .....  | <b>xvii</b> |
| <b>CAPÍTULO 1</b>  |             |
| <b>Introducción</b> .....  | <b>1</b>    |
| Introducción .....   | 1           |
| 1.1 Ideas de la estadística .....                                    | 2           |
| 1.2 Organización de las ideas estadísticas .....                     | 3           |
| Análisis exploratorio de datos .....                                 | 3           |
| Estadística descriptiva .....  | 4           |
| Estadística inferencial .....  | 4           |
| Estadística inferencial y probabilidad .....                         | 5           |
| 1.3 Datos y escalas de medición .....                                | 5           |
| Origen de los datos .....  | 5           |
| Tipo de datos .....  | 7           |
| Escalas de medición: nominal, ordinal, de intervalo y de razón ..... | 7           |
| ¿Por qué son importantes las escalas de medición? .....              | 11          |
| 1.4 Planeación de un estudio estadístico .....                       | 12          |
| Estudio experimental .....   | 12          |
| Estudio observacional .....  | 12          |
| 1.5 Simulación (métodos de Monte Carlo) .....                        | 13          |
| <i>Glosario</i> .....  | 16          |
| <i>Problemas</i> .....   | 16          |
| <i>Proyectos abiertos</i> .....                                      | 19          |

**CAPÍTULO 2**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Métodos de muestreo</b> . . . . .  | <b>21</b> |
| Introducción . . . . .  | 21        |
| 2.1 Representatividad de una muestra . . . . .                                  | 22        |
| 2.2 Muestreo probabilístico . . . . .   | 23        |
| Muestreo aleatorio simple . . . . .   | 23        |
| Muestreo con el uso de una tabla de números aleatorios . . . . .                | 24        |
| Muestreo con el uso de un programa generador<br>de números aleatorios . . . . . | 24        |
| Aleatoriedad y representatividad . . . . .                                      | 25        |
| Muestreo por conglomerados o racimos . . . . .                                  | 26        |
| Muestreo estratificado . . . . .  | 27        |
| Muestreo sistemático . . . . .  | 28        |
| Muestreo de aceptación . . . . .  | 30        |
| 2.3 Muestreo no probabilístico . . . . .  | 32        |
| Muestreo por cuotas . . . . .   | 32        |
| Muestreo autoselectivo . . . . .  | 32        |
| Muestreo de juicio o de selección intencional . . . . .                         | 32        |
| <i>Glosario</i> . . . . .   | 34        |
| <i>Problemas</i> . . . . .  | 34        |
| <i>Proyectos abiertos</i> . . . . .   | 37        |

**CAPÍTULO 3**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Análisis exploratorio de datos</b> . . . . .   | <b>39</b> |
| Introducción . . . . .  | 39        |
| 3.1 Datos de una sola variable . . . . .  | 40        |
| Diagramas de puntos o dispersión . . . . .  | 40        |
| Construcción del diagrama . . . . .   | 40        |
| Instrucciones generales para analizar el diagrama . . . . .                               | 41        |
| Descripción verbal de un diagrama . . . . .   | 41        |
| Diagramas de líneas y puntos . . . . .  | 43        |
| Diagrama de tallos y hojas . . . . .  | 46        |
| Distribución de datos . . . . .   | 50        |
| Consideraciones útiles en la construcción de los diagramas<br>de tallos y hojas . . . . . | 52        |
| Comparación de conjuntos de datos . . . . .   | 54        |
| Descripción verbal . . . . .  | 55        |
| Extremos, mediana y cuartiles . . . . .   | 55        |
| Rango y rango intercuartil . . . . .  | 57        |
| Diagrama de caja y bigotes . . . . .  | 58        |
| Pasos para la construcción de un diagrama de caja y bigotes . . . . .                     | 59        |
| Interpretación del diagrama de caja y bigotes . . . . .                                   | 60        |
| Determinación formal de valores atípicos . . . . .  | 61        |
| Comparación de conjuntos de datos . . . . .   | 62        |
| Regularidad en el comportamiento de muestras . . . . .                                    | 62        |
| La media <i>versus</i> la mediana . . . . .   | 66        |
| 3.2 Datos de dos variables (bivariados) . . . . .   | 67        |
| Diagramas de dispersión . . . . .   | 68        |
| Estrategia para analizar la relación entre dos variables . . . . .                        | 69        |

|  |    |
|--|----|
| Línea de ajuste $y = x$ .....                      | 71 |
| Línea de ajuste mediana .....                      | 74 |
| Método gráfico .....                               | 75 |
| Método analítico (método incompleto de Theil)..... | 79 |
| <i>Glosario</i> .....                              | 82 |
| <i>Problemas</i> .....                             | 82 |
| <i>Proyectos abiertos</i> .....                    | 90 |

**CAPÍTULO 4**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Estadística descriptiva .....</b>                          | <b>91</b> |
| Introducción .....  | 91        |
| 4.1 Descripción de datos .....                                | 93        |
| Gráficas de barras .....                                      | 93        |
| Cambio de escala .....  | 94        |
| Comparación de conjuntos de datos .....                       | 96        |
| Diagramas de Pareto .....                                     | 98        |
| Diagrama de Pareto de causas o de segundo nivel.....          | 99        |
| Elaboración de una gráfica de barras en Excel .....           | 100       |
| Gráficas circulares o de pastel .....                         | 100       |
| Elaboración de una gráfica de pastel en Excel .....           | 102       |
| Gráficas de líneas .....                                      | 103       |
| Tablas de distribución de frecuencias.....                    | 105       |
| Número de clases y límites de clase .....                     | 107       |
| Presentación gráfica de una distribución de frecuencias ..... | 111       |
| Histograma de frecuencias .....                               | 111       |
| Formas o perfiles de distribución .....                       | 112       |
| Modificación del ancho de clase .....                         | 113       |
| Comparación de grupos de datos .....                          | 114       |
| Polígonos de frecuencia .....                                 | 116       |
| Polígono de frecuencia acumulada u ojiva.....                 | 117       |
| 4.2 Medidas de tendencia central o de posición.....           | 119       |
| Media muestral y media poblacional .....                      | 120       |
| Media ponderada .....   | 122       |
| Moda .....  | 124       |
| Media geométrica .....  | 124       |
| Datos agrupados .....   | 126       |
| Media .....   | 127       |
| Mediana .....   | 127       |
| Moda .....  | 129       |
| Posiciones relativas de la media, la mediana y la moda .....  | 129       |
| 4.3 Medidas de variabilidad o dispersión .....                | 129       |
| Rango .....   | 130       |
| Desviación media .....  | 130       |
| Varianza y desviación estándar.....                           | 132       |
| Medidas de dispersión de datos agrupados .....                | 134       |
| Interpretación de la desviación estándar .....                | 135       |
| Dispersión relativa .....                                     | 135       |
| 4.4 Datos bivariados .....                                    | 138       |
| Línea de ajuste por mínimos cuadrados.....                    | 138       |

|  |     |
|--|-----|
| Cálculos para encontrar la recta de ajuste por mínimos cuadrados .....   | 141 |
| Predicción .....   | 143 |
| Obtención de la recta de mínimos cuadrados con Excel .....               | 144 |
| Efecto de los valores atípicos sobre la recta de mínimos cuadrados ..... | 147 |
| Líneas Rectas Ajustadas, Racimos y Curvatura .....                       | 148 |
| <i>Glosario</i> .....  | 150 |
| <i>Problemas</i> .....   | 151 |
| <i>Proyectos abiertos</i> .....  | 159 |

## **CAPÍTULO 5**

### **Probabilidad teórica y empírica ..... 161**

|  |     |
|--|-----|
| Introducción .....   | 162 |
| 5.1 Acercamiento teórico o clásico a la probabilidad .....       | 164 |
| Generalización de la regla aditiva de probabilidades .....       | 170 |
| 5.2 Acercamiento experimental o empírico a la probabilidad ..... | 175 |
| Asignación de probabilidad al evento $E$ .....                   | 177 |
| 5.3 Probabilidad geométrica: estimación de áreas .....           | 185 |
| <i>Glosario</i> .....  | 188 |
| <i>Problemas</i> .....   | 188 |
| <i>Proyectos abiertos</i> .....                                  | 193 |

## **CAPÍTULO 6**

### **Análisis combinatorio y teorema de Bayes. .... 195**

|  |     |
|--|-----|
| Introducción .....   | 196 |
| 6.1 Principio fundamental del conteo .....                             | 196 |
| Probabilidad de sucesos compuestos .....                               | 199 |
| Lanzamiento de dos monedas .....                                       | 201 |
| Lanzamiento de dos dados .....   | 202 |
| 6.2 Técnicas de conteo .....   | 204 |
| Permutaciones .....  | 204 |
| Permutaciones con repetición .....                                     | 206 |
| Permutaciones generalizadas .....                                      | 208 |
| Combinaciones .....  | 212 |
| 6.3 Estrategias generales de solución de problemas combinatorios ..... | 214 |
| Lectura de comprensión y visualización de la situación .....           | 214 |
| Identificación de la idea básica .....                                 | 215 |
| Traducción del problema a otro equivalente .....                       | 216 |
| Fijación de variables .....  | 216 |
| Descomposición en subproblemas .....                                   | 217 |
| 6.4 Probabilidad condicional .....                                     | 218 |
| Acercamiento I .....   | 218 |
| Acercamiento II .....  | 221 |
| 6.5 Teorema de Bayes .....   | 225 |
| Aplicación del teorema de Bayes en el dopaje .....                     | 229 |
| <i>Glosario</i> .....  | 230 |
| <i>Problemas</i> .....   | 231 |
| <i>Proyectos abiertos</i> .....  | 235 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 9.2 | Distribución de probabilidad uniforme continua. . . . .   | 299 |
|     | Media y varianza de la distribución uniforme continua. . . . .  | 302 |
|     | Función de distribución acumulada . . . . .   | 304 |
| 9.3 | Distribución de probabilidad normal . . . . .   | 305 |
|     | Análisis de la función densidad de probabilidad normal . . . . .  | 308 |
|     | Función de distribución normal acumulada . . . . .  | 311 |
|     | Área bajo la curva normal estandarizada en un intervalo cualquiera . . . . .  | 313 |
|     | Distribución normal (no estándar) . . . . .   | 315 |
| 9.4 | Aplicaciones de la distribución normal. . . . .   | 319 |
|     | Control de calidad. Gráficas de control de Shewhart. . . . .  | 319 |
|     | Puntos de corte . . . . .   | 321 |
| 9.5 | Aproximación de la distribución binomial mediante la distribución normal. . . . .   | 322 |
| 9.6 | Análisis de las modificaciones de la curva normal al cambiar los parámetros $\mu$ y $\sigma$ (material opcional). . . . . | 324 |
|     | Glosario. . . . .   | 328 |
|     | Problemas . . . . .   | 328 |
|     | Proyectos abiertos . . . . .  | 333 |

## **CAPÍTULO 10**

### **Distribución de muestras y el teorema del límite central . . . 335**

|      |  |     |
|------|--|-----|
|      | Introducción . . . . .   | 336 |
| 10.1 | Distribución de muestras . . . . .   | 337 |
| 10.2 | Distribución de medias de muestras (método teórico). . . . .                                   | 338 |
|      | Muestreo con restitución . . . . .   | 340 |
|      | Conclusiones del muestreo con restitución . . . . .  | 348 |
|      | Muestreo sin restitución . . . . .   | 346 |
|      | Conclusiones en el muestreo sin restitución . . . . .  | 348 |
|      | Análisis del factor de corrección por población finita (muestreo sin restitución) . . . . .    | 350 |
| 10.3 | Distribución de medias de muestras (método empírico) y el teorema del límite central . . . . . | 351 |
| 10.4 | Distribución de proporciones de muestras. . . . .  | 357 |
|      | Corrección por continuidad. . . . .  | 359 |
|      | Aplicaciones. . . . .  | 360 |
|      | Gráficas de control $\bar{p}$ . . . . .  | 361 |
|      | Glosario. . . . .  | 363 |
|      | Problemas . . . . .  | 363 |
|      | Proyectos abiertos . . . . .   | 367 |

## **CAPÍTULO 11**

### **Estimación puntual y de intervalo . . . . . 369**

|      |  |     |
|------|--|-----|
|      | Introducción . . . . .   | 370 |
| 11.1 | Sesgo y variabilidad de los estimadores puntuales. . . . .   | 371 |
| 11.2 | Estimación de intervalo para la media de una población: caso de muestra grande ( $n \geq 30$ ). . . . .                                | 375 |
|      | Caso de muestra grande donde se conoce $\sigma$ . . . . .  | 375 |
|      | Error máximo de estimación. . . . .  | 378 |
|      | Justificación del uso de la distribución normal estándar en el cálculo de los valores críticos $z_\gamma$ (material opcional). . . . . | 378 |
|      | Caso de muestra grande con $\sigma$ estimado mediante $s$ . . . . .  | 379 |

11.3 Estimación de intervalo para la media de una población: caso de muestra pequeña ( $n < 30$ ) . . . . . 380

    Caso de muestra pequeña cuya población se distribuye aproximadamente en forma normal, y donde se conoce  $\sigma$  . . . . . 380

    Caso de muestra pequeña cuya población se distribuye aproximadamente en forma normal y donde no se conoce  $\sigma$  . . . . . 381

    Distribución  $t$  de Student . . . . . 381

    Consulta de los valores críticos de la distribución  $t$  de Student dados tabularmente . . . . . 383

    Excel . . . . . 385

    Grados de libertad (material opcional) . . . . . 386

    Caso de muestra pequeña donde la población de origen no es normal ni se conoce  $\sigma$  . . . . . 387

11.4 Estimación de intervalo para la proporción de una población: caso de muestra grande ( $n\bar{p} > 5$  y  $n(1 - \bar{p}) > 5$ ) . . . . . 389

    Aplicaciones . . . . . 391

    Captura-recaptura . . . . . 392

11.5 Determinación del tamaño de muestra . . . . . 393

    Determinación del tamaño de muestra para la media y la proporción . . . . . 393

    Indicaciones generales para el cálculo de  $n$  . . . . . 395

11.6 Estimación de intervalo para las diferencias de medias y de proporciones poblacionales . . . . . 396

    Distribución muestral de  $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$  . . . . . 397

    Caso de muestras grandes donde se conocen  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  . . . . . 397

    Caso de muestras pequeñas donde no se conocen  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  . . . . . 399

    Diferencia de proporciones  $\pi_1 - \pi_2$  para muestras grandes ( $n_1\bar{p}_1 > 5$ ,  $n_1(1 - \bar{p}_1) > 5$ ) y ( $n_2\bar{p}_2 > 5$ ,  $n_2(1 - \bar{p}_2) > 5$ ) . . . . . 403

    Glosario . . . . . 405

    Problemas . . . . . 407

    Proyectos abiertos . . . . . 413

**CAPÍTULO 12**  
**Pruebas de hipótesis . . . . . 415**

    Introducción . . . . . 416

12.1 Pruebas de hipótesis . . . . . 416

    Pregunta de investigación . . . . . 416

    Modelo estadístico . . . . . 416

    Errores y aciertos en la toma de decisiones . . . . . 417

    Análisis de los errores y aciertos en las pruebas de hipótesis . . . . . 417

    Resumen . . . . . 418

    Tipos de pruebas estadísticas . . . . . 419

    Muestra aleatoria (estadísticos) . . . . . 420

    Estadístico de prueba . . . . . 421

    Pruebas de cola derecha y dos colas . . . . . 423

    Análisis de  $\alpha$  y  $\beta$  . . . . . 424

12.2 Pruebas de hipótesis para la media  $\mu$  de una población: caso de muestra grande ( $n \geq 30$ ) . . . . . 425

    Valor  $p$  . . . . . 428

|                   |  |            |
|-------------------|--|------------|
| 12.3              | Pruebas de hipótesis para la media $\mu$ de una población:<br>caso de muestra pequeña ( $n < 30$ ) . . . . .   | 430        |
|                   | Población distribuida aproximadamente en forma normal y<br>$\sigma$ conocida . . . . .   | 430        |
|                   | Población distribuida aproximadamente en forma normal y<br>$\sigma$ desconocida . . . . .  | 430        |
| 12.4              | Pruebas de hipótesis para la proporción $\pi$ de una población:<br>caso de muestra grande ( $n\bar{p} > 5$ y $n(1 - \bar{p}) > 5$ ) . . . . .  | 432        |
| 12.5              | Pruebas de hipótesis para las diferencias de medias y<br>de proporciones poblacionales . . . . .   | 434        |
|                   | Diferencia de medias: muestras independientes . . . . .  | 434        |
|                   | Caso de muestras grandes donde se conocen las varianzas $\sigma_1^2$ y $\sigma_2^2$ . . . . .  | 434        |
|                   | Caso de muestras pequeñas donde se conocen las varianzas $\sigma_1^2$ y $\sigma_2^2$ . . . . .   | 436        |
|                   | Caso de muestras pequeñas donde no se conocen las varianzas<br>$\sigma_1^2$ y $\sigma_2^2$ . . . . .   | 436        |
|                   | Muestras dependientes (pareadas) . . . . .   | 440        |
|                   | Elección correcta de la prueba . . . . .   | 441        |
|                   | Pruebas de hipótesis para diferencias de proporciones $\pi_1 - \pi_2$ :<br>muestras grandes ( $n_1\bar{p}_1 > 5$ , $n_1(1 - \bar{p}_1) > 5$ ) y ( $n_2\bar{p}_2 > 5$ ,<br>$n_2(1 - \bar{p}_2) > 5$ ) . . . . . | 442        |
| 12.6              | Pruebas de bondad de ajuste . . . . .  | 445        |
|                   | Frecuencias esperadas pequeñas . . . . .   | 451        |
|                   | Prueba de normalidad de una población . . . . .  | 452        |
| 12.7              | Pruebas de independencia (tablas de contingencia) . . . . .  | 455        |
|                   | Pruebas de homogeneidad . . . . .  | 459        |
|                   | Glosario . . . . .   | 460        |
|                   | Problemas . . . . .  | 463        |
|                   | Proyectos abiertos . . . . .   | 472        |
| <b>Apéndice A</b> | <b>Números aleatorios . . . . .</b>  | <b>475</b> |
| <b>Apéndice B</b> | <b>Distribución de probabilidad binomial<br/><math>b(x; n, p)</math> . . . . .</b>   | <b>479</b> |
| <b>Apéndice C</b> | <b>Distribución de probabilidad de Poisson:<br/><math>p(x; \lambda)</math> . . . . .</b>   | <b>489</b> |
| <b>Apéndice D</b> | <b>Áreas de la distribución normal estándar . . . . .</b>  | <b>497</b> |
| <b>Apéndice E</b> | <b>Áreas de la distribución <math>t</math> de Student . . . . .</b>  | <b>501</b> |
| <b>Apéndice F</b> | <b>Áreas de la distribución ji cuadrada (<math>\chi^2</math>) . . . . .</b>  | <b>503</b> |
| <b>Apéndice G</b> | <b>Obtención del sistema de ecuaciones<br/>para llegar a la recta de ajuste<br/>por mínimos cuadrados . . . . .</b>  | <b>505</b> |
| <b>Apéndice H</b> | <b>Teoría de conjuntos . . . . .</b>   | <b>509</b> |
|                   | <b>Soluciones a problemas impares . . . . .</b>  | <b>515</b> |
|                   | <b>Índice . . . . .</b>  | <b>545</b> |