Bioestadística Aplicada e Interactiva: Guía con R, Python y Aplicaciones Shiny

Deiver Suárez Gómez

2025-06-19

Tabla de contenidos

Preface

La enseñanza de la bioestadística en contextos de salud pública, biología y ciencias biomédicas representa uno de los mayores retos pedagógicos de nuestro tiempo. Enfrentar datos reales, interpretar resultados y comunicar hallazgos de forma clara y rigurosa requiere no solo dominio conceptual, sino también habilidades prácticas y tecnológicas. Este libro nace precisamente de esa necesidad: ofrecer una guía moderna, aplicada e interactiva para aprender bioestadística desde la experiencia, con herramientas computacionales actuales como **R**, **Python** y **Shiny**.

Bioestadística Aplicada e Interactiva ha sido desarrollada a partir del trabajo docente realizado en los cursos **MPH 3102 – Métodos Estadísticos I** y **MPH 7202 – Inferential Statistics**, impartidos en la Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez. A lo largo de múltiples sesiones, se han cubierto desde fundamentos básicos hasta técnicas avanzadas, siempre con una orientación aplicada e intuitiva.

Este libro tiene tres pilares fundamentales:

- **Aplicación práctica**: cada capítulo parte de ejemplos reales en salud pública, medicina, o investigación biológica. Los datos usados provienen de estudios auténticos, accesibles, y pertinentes para los desafíos actuales de investigación.
- **Interactividad**: se ha incorporado el desarrollo de aplicaciones **Shiny** y scripts reproducibles en **R** y **Python** que permiten al lector explorar los conceptos de manera dinámica. No se trata solo de leer, sino de *hacer* estadística.
- **Accesibilidad conceptual**: sin perder el rigor estadístico, se ha privilegiado un lenguaje claro, explicaciones paso a paso, y recursos visuales tomados de las presentaciones utilizadas en clase (transformadas para uso autónomo y progresivo del lector).

Los temas abordados incluyen:

- Estadística descriptiva y visualización de datos
- Probabilidades y distribuciones (Binomial, Poisson, Normal)
- Inferencia: estimaciones, intervalos de confianza, pruebas de hipótesis
- Comparación de grupos: t-tests, ANOVA, pruebas no paramétricas
- Modelos de regresión: lineal simple, múltiple, y logística
- Análisis de frecuencias: tablas de contingencia, chi-cuadrado, prueba exacta de Fisher
- Pruebas no paramétricas: Sign Test, Wilcoxon, Mann–Whitney, Kruskal–Wallis
- Análisis de supervivencia: estimación de curvas de Kaplan–Meier, prueba log-rank, modelo de riesgos proporcionales de Cox

Este libro también está diseñado para acompañarse de un repositorio de materiales interactivos, conjuntos de datos y aplicaciones, que pueden ser consultados y reutilizados por estudiantes e investigadores.

Finalmente, este esfuerzo busca integrar la enseñanza estadística con la capacidad de analizar críticamente datos biomédicos. Que esta guía sirva para formar no solo usuarios de herramientas estadísticas, sino también **pensadores críticos** capaces de transformar datos en decisiones informadas.

Dr. Deiver Suárez Gómez, PhD
Departamento de Biología
Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez

1 Introduction

La bioestadística es una disciplina fundamental en las ciencias de la salud, la biología y la investigación biomédica. Su objetivo principal es proporcionar herramientas que permitan describir, analizar e interpretar datos cuantitativos provenientes de experimentos, estudios clínicos, encuestas y registros médicos. Comprender los principios de la estadística no solo es crucial para evaluar la validez de los hallazgos científicos, sino también para diseñar investigaciones rigurosas y tomar decisiones informadas basadas en evidencia.

Este libro ha sido estructurado con base en más de una docena de sesiones impartidas a estudiantes de maestría en salud pública y biología, organizadas en torno a los siguientes ejes temáticos:

- La **exploración inicial de datos** y la visualización descriptiva, abordando la importancia de las escalas de medición, la estructura de los conjuntos de datos, y las representaciones gráficas fundamentales.
- El uso de **herramientas computacionales modernas** como R y Python para aplicar conceptos estadísticos de forma práctica, reproducible e interactiva.
- La **probabilidad** como lenguaje para modelar la incertidumbre, incluyendo el enfoque clásico, empírico y bayesiano, y su relación con la toma de decisiones.
- El estudio de **distribuciones teóricas** fundamentales como la binomial, la de Poisson y la normal, esenciales para el desarrollo de la inferencia estadística.
- El desarrollo de **técnicas inferenciales**, como los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis, con énfasis en la interpretación correcta de los resultados.
- La comparación entre **modelos paramétricos y no paramétricos**, y la selección adecuada de pruebas según las características del diseño y los datos disponibles.
- La incorporación de **modelos de regresión** lineal y logística, así como el análisis de interacciones, efectos confusores y criterios de selección de variables.
- La enseñanza del **análisis de supervivencia**, incluyendo censura, curvas de Kaplan–Meier, prueba log-rank y modelo de riesgos proporcionales de Cox.

Este libro se diferencia de otros textos de bioestadística por su enfoque **altamente práctico e interactivo**. Cada capítulo incluye ejemplos basados en situaciones reales, ejercicios con datos reales, y aplicaciones **Shiny** que permiten explorar conceptos estadísticos en tiempo real.

Además, el libro ha sido concebido como un recurso integral para la docencia y el autoaprendizaje. No se requiere experiencia previa con programación: el lector será guiado

paso a paso en el uso de código en R y Python, con el objetivo de desarrollar competencia y autonomía en el análisis de datos.

En conjunto, este libro ofrece una experiencia de aprendizaje accesible, actualizada y centrada en la aplicación del conocimiento estadístico. Está dirigido a estudiantes de posgrado, investigadores, profesionales de la salud y docentes que deseen fortalecer su formación cuantitativa y aplicar la estadística de forma rigurosa y efectiva.

2 Summary

Bioestadística Aplicada e Interactiva: Guía con R, Python y Aplicaciones Shiny es un texto integral y didáctico diseñado para estudiantes y profesionales de la salud, biología, y ciencias afines que desean dominar la estadística aplicada en un contexto real y computacional. A partir de una docencia activa y más de una docena de sesiones desarrolladas en cursos como **MPH 3102** y **MPH 7202**, el libro articula teoría, práctica y tecnología para ofrecer un enfoque accesible, moderno e interactivo.

El contenido del libro abarca los fundamentos de la bioestadística, el análisis descriptivo, la teoría de la probabilidad y la inferencia estadística, hasta técnicas avanzadas como regresión múltiple, regresión logística y análisis de supervivencia. Todos los temas están acompañados por ejemplos reproducibles en R y Python, así como aplicaciones interactivas desarrolladas en Shiny que permiten explorar los conceptos de forma visual y práctica.

2.1 Estructura Temática

El libro se organiza en capítulos progresivos que abarcan:

- **Fundamentos de bioestadística**: variables, tipos de datos, escalas de medición y exploración inicial.
- **Visualización y estadística descriptiva**: gráficos, tablas, medidas de tendencia central y dispersión.
- **Teoría de la probabilidad**: enfoques clásico, empírico y bayesiano, eventos y reglas de probabilidad.
- **Distribuciones de probabilidad**: binomial, Poisson y normal, con aplicaciones biomédicas.
- **Inferencia estadística**: estimación de parámetros, intervalos de confianza y pruebas de hipótesis.
- **Comparaciones entre grupos**: t-student, ANOVA, pruebas no paramétricas (Wilcoxon, Kruskal–Wallis).
- **Modelos de regresión**:
  - **Regresión lineal simple y múltiple**
  - **Regresión logística binaria**
  - Inclusión de interacciones y análisis de confusión
  - Selección de variables y diagnóstico de modelos

- **Análisis de frecuencias**: tablas de contingencia, pruebas chi-cuadrado y prueba exacta de Fisher.
- **Análisis de supervivencia**: censura, curvas de Kaplan–Meier, log-rank test, modelo de Cox y supuestos.

2.2 Enfoque Pedagógico

Este libro ha sido diseñado no solo como material de consulta, sino como una herramienta **interactiva de aprendizaje autónomo**. Cada capítulo incluye:

- Explicaciones teóricas accesibles
- Casos reales y ejemplos contextualizados
- Código comentado en R y Python
- Ejercicios guiados y soluciones
- Aplicaciones **Shiny** interactivas para visualización y análisis

2.3 Público Objetivo

- Estudiantes de maestría y doctorado en salud pública, biología, epidemiología, psicología y áreas afines
- Profesionales que deseen fortalecer sus competencias en análisis de datos biomédicos
- Docentes que buscan recursos modernos y prácticos para sus cursos

---

Este libro busca transformar la forma en que se enseña y se aprende bioestadística: desde una práctica pasiva y memorística hacia una experiencia activa, exploratoria y fundamentada en datos reales.

3 Tipos y Naturaleza de los Datos

3.1 Introducción

Todo análisis estadístico comienza con datos. Comprender su naturaleza, origen y estructura es fundamental para aplicar correctamente las técnicas estadísticas. Este capítulo introduce los conceptos básicos sobre tipos de datos, variables y su clasificación, ilustrados con ejemplos prácticos en **R** y **Python**.

Al finalizar este capítulo, podrás:

- Definir qué se entiende por datos en el contexto de salud pública
- Clasificar variables según su naturaleza y escala de medición
- Reconocer la diferencia entre variables cualitativas y cuantitativas
- Crear y explorar conjuntos de datos simples en R y Python

3.2 ¿Qué son los datos?

En estadística, los **datos** representan observaciones o mediciones recolectadas sobre unidades de análisis: personas, comunidades, eventos u objetos.

En salud pública, los datos pueden provenir de:

- Encuestas poblacionales
- Registros clínicos o epidemiológicos
- Ensayos clínicos
- Estudios de vigilancia

Ejemplos comunes de variables recolectadas incluyen:

- Edad de los pacientes
- Presión arterial
- Nivel socioeconómico
- Diagnóstico de enfermedad

3.3 Tipos de variables

Las variables se pueden clasificar de acuerdo con:

- Su **naturaleza** (cualitativa o cuantitativa)
- Su **escala de medición** (nominal, ordinal, intervalo o razón)

3.3.1 Variables cualitativas

Representan categorías o atributos. No tienen significado numérico.

- **Nominales:** No poseen un orden inherente
  Ejemplo: tipo de sangre (A, B, AB, O)
- **Ordinales:** Poseen un orden lógico
  Ejemplo: nivel de dolor (leve, moderado, severo)

3.3.2 Variables cuantitativas

Representan cantidades numéricas.

- **Discretas:** Valores enteros contables
  Ejemplo: número de hijos
- **Continuas:** Pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo
  Ejemplo: estatura, peso corporal

3.3.3 Tabla resumen

Tipo	Subtipo	Ejemplo
Cualitativa	Nominal	Tipo de sangre
Cualitativa	Ordinal	Nivel de dolor (leve, moderado, severo)
Cuantitativa	Discreta	Número de visitas médicas
Cuantitativa	Continua	Índice de masa corporal

3.4 Cargar y explorar datos

A continuación, se presentan ejemplos prácticos para crear y explorar conjuntos de datos simples en **R** y **Python**, simulando variables típicas en salud pública.

3.4.1 En R

```r
# Crear un DataFrame en R
datos <- data.frame(
  sexo = c("F", "M", "F", "M"),
  edad = c(23, 35, 29, 41),
  peso = c(55.2, 70.3, 60.1, 82.5)
)
# Ver datos
print(datos)
```

```
  sexo edad peso
1    F   23 55.2
2    M   35 70.3
3    F   29 60.1
4    M   41 82.5
```

```r
# Ver estructura
str(datos)
```

```
'data.frame':   4 obs. of  3 variables:
 $ sexo: chr  "F" "M" "F" "M"
 $ edad: num  23 35 29 41
 $ peso: num  55.2 70.3 60.1 82.5
```

```r
# Ver resumen
summary(datos)
```

```
     sexo                edad           peso
 Length:4           Min.   :23.0   Min.   :55.20
 Class :character   1st Qu.:27.5   1st Qu.:58.88
 Mode  :character   Median :32.0   Median :65.20
                    Mean   :32.0   Mean   :67.03
                    3rd Qu.:36.5   3rd Qu.:73.35
                    Max.   :41.0   Max.   :82.50
```

3.4.2 En Python

```python
# Crear un DataFrame en Python
import pandas as pd

datos = pd.DataFrame({
    "sexo": ["F", "M", "F", "M"],
    "edad": [23, 35, 29, 41],
    "peso": [55.2, 70.3, 60.1, 82.5]
})

# Ver datos
datos
```

```
  sexo  edad  peso
0    F    23  55.2
1    M    35  70.3
2    F    29  60.1
3    M    41  82.5
```

```python
# Ver estructura
datos.info()
```

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 4 entries, 0 to 3
Data columns (total 3 columns):
 #   Column  Non-Null Count  Dtype
---  ------  --------------  -----
 0   sexo    4 non-null      object
 1   edad    4 non-null      int64
 2   peso    4 non-null      float64
dtypes: float64(1), int64(1), object(1)
memory usage: 224.0+ bytes
```

```python
# Ver resumen
datos.describe()
```

```
             edad       peso
count   4.000000   4.000000
mean   32.000000  67.025000
```

```
std     7.745967  12.082874
min    23.000000  55.200000
25%    27.500000  58.875000
50%    32.000000  65.200000
75%    36.500000  73.350000
max    41.000000  82.500000
```

3.5 Conclusión

Comprender los tipos de variables es el primer paso para aplicar correctamente métodos de análisis estadístico. Esta clasificación influye directamente en:

- La selección de pruebas estadísticas
- La representación gráfica
- El resumen numérico apropiado

En los siguientes capítulos, profundizaremos en la **estadística descriptiva** como base del análisis de datos en salud pública.

4 Estadística Descriptiva

Este capítulo utiliza un conjunto de datos real descargado de Kaggle: Stroke Prediction Dataset, que contiene información demográfica, médica y conductual de pacientes. El objetivo es explorar los datos aplicando técnicas de estadística descriptiva, apoyados por gráficos, código en R y Python, una aplicación Shiny y material audiovisual.

4.1 1. Carga y descripción del conjunto de datos

```r
datos <- read.csv("healthcare-dataset-stroke-data.csv")
summary(datos)
```

```
       id            gender                age          hypertension
 Min.   :   67   Length:5110        Min.   : 0.08   Min.   :0.00000
 1st Qu.:17741   Class :character   1st Qu.:25.00   1st Qu.:0.00000
 Median :36932   Mode  :character   Median :45.00   Median :0.00000
 Mean   :36518                      Mean   :43.23   Mean   :0.09746
 3rd Qu.:54682                      3rd Qu.:61.00   3rd Qu.:0.00000
 Max.   :72940                      Max.   :82.00   Max.   :1.00000
 heart_disease     ever_married        work_type         Residence_type
 Min.   :0.00000   Length:5110        Length:5110        Length:5110
 1st Qu.:0.00000   Class :character   Class :character   Class :character
 Median :0.00000   Mode  :character   Mode  :character   Mode  :character
 Mean   :0.05401
 3rd Qu.:0.00000
 Max.   :1.00000
 avg_glucose_level     bmi            smoking_status         stroke
 Min.   : 55.12    Length:5110        Length:5110        Min.   :0.00000
 1st Qu.: 77.25    Class :character   Class :character   1st Qu.:0.00000
 Median : 91.89    Mode  :character   Mode  :character   Median :0.00000
 Mean   :106.15                                          Mean   :0.04873
```

```
 3rd Qu.:114.09                                          3rd Qu.:0.00000
 Max.   :271.74                                          Max.   :1.00000
```

```r
head(datos)
```

```
     id gender age hypertension heart_disease ever_married     work_type
1  9046   Male  67            0             1          Yes       Private
2 51676 Female  61            0             0          Yes Self-employed
3 31112   Male  80            0             1          Yes       Private
4 60182 Female  49            0             0          Yes       Private
5  1665 Female  79            1             0          Yes Self-employed
6 56669   Male  81            0             0          Yes       Private
  Residence_type avg_glucose_level  bmi  smoking_status stroke
1          Urban            228.69 36.6 formerly smoked      1
2          Rural            202.21  N/A    never smoked      1
3          Rural            105.92 32.5    never smoked      1
4          Urban            171.23 34.4          smokes      1
5          Rural            174.12   24    never smoked      1
6          Urban            186.21   29 formerly smoked      1
```

```python
import pandas as pd
datos = pd.read_csv("healthcare-dataset-stroke-data.csv")
datos.head()
```

```
      id  gender   age  ...   bmi   smoking_status stroke
0   9046    Male  67.0  ...  36.6  formerly smoked      1
1  51676  Female  61.0  ...   NaN     never smoked      1
2  31112    Male  80.0  ...  32.5     never smoked      1
3  60182  Female  49.0  ...  34.4           smokes      1
4   1665  Female  79.0  ...  24.0     never smoked      1

[5 rows x 12 columns]
```

```python
datos.describe(include='all')
```

```
                  id  gender  ...  smoking_status       stroke
count    5110.000000    5110  ...            5110  5110.000000
unique           NaN       3  ...               4          NaN
top              NaN  Female  ...    never smoked          NaN
freq             NaN    2994  ...            1892          NaN
```

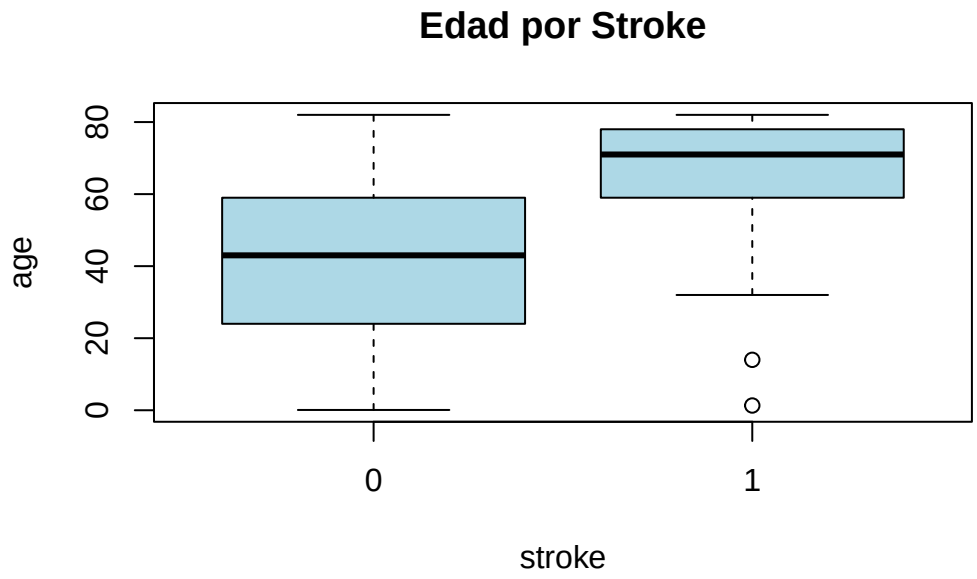
```
mean    36517.829354     NaN  ...            NaN     0.048728
std     21161.721625     NaN  ...            NaN     0.215320
min        67.000000     NaN  ...            NaN     0.000000
25%     17741.250000     NaN  ...            NaN     0.000000
50%     36932.000000     NaN  ...            NaN     0.000000
75%     54682.000000     NaN  ...            NaN     0.000000
max     72940.000000     NaN  ...            NaN     1.000000

[11 rows x 12 columns]
```

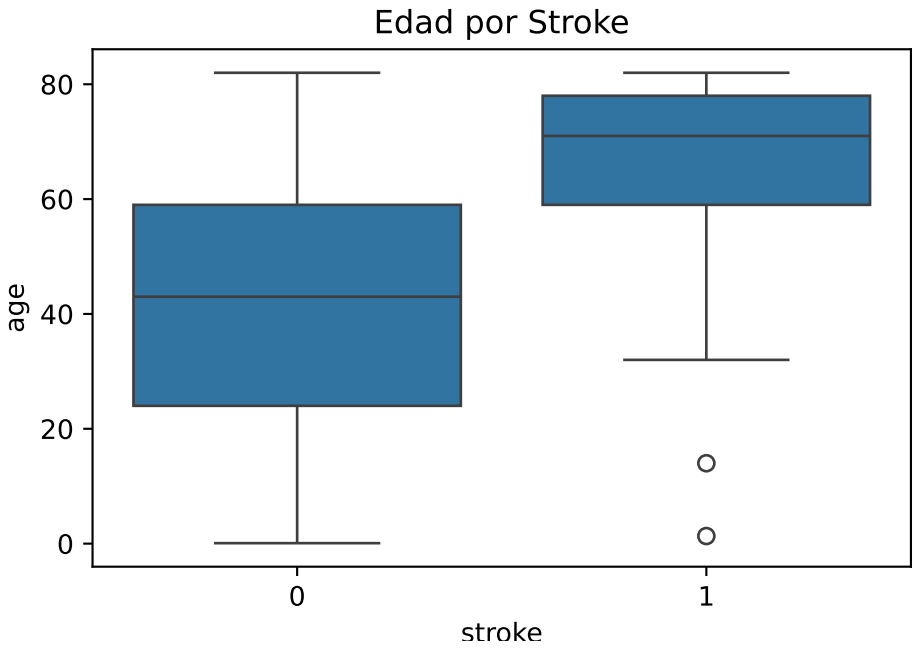
4.2 2. Gráficos descriptivos

4.2.1 Boxplot de edad según presencia de ACV

```r
boxplot(age ~ stroke, data = datos, main = "Edad por Stroke", col = "lightblue")
```

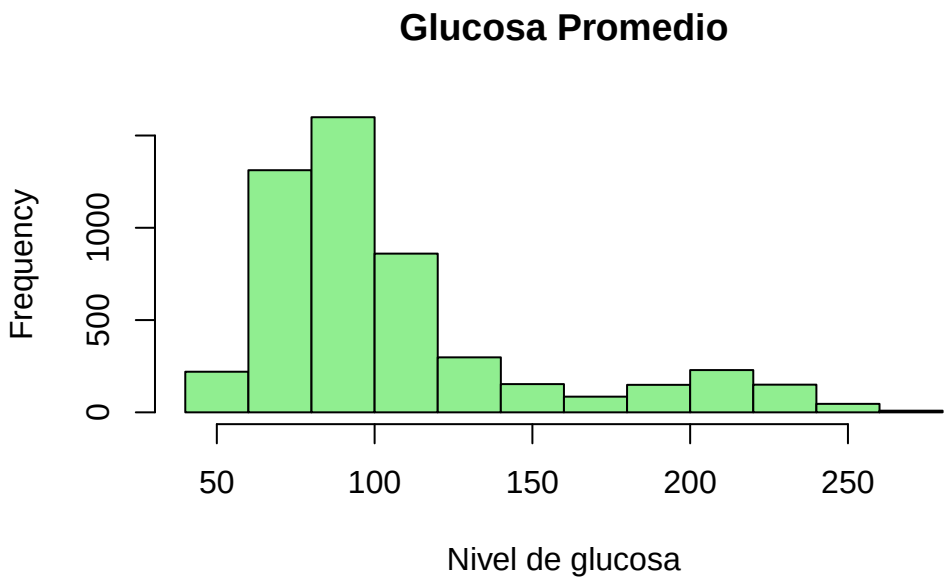


```
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
sns.boxplot(x="stroke", y="age", data=datos)
plt.title("Edad por Stroke")
plt.show()
```

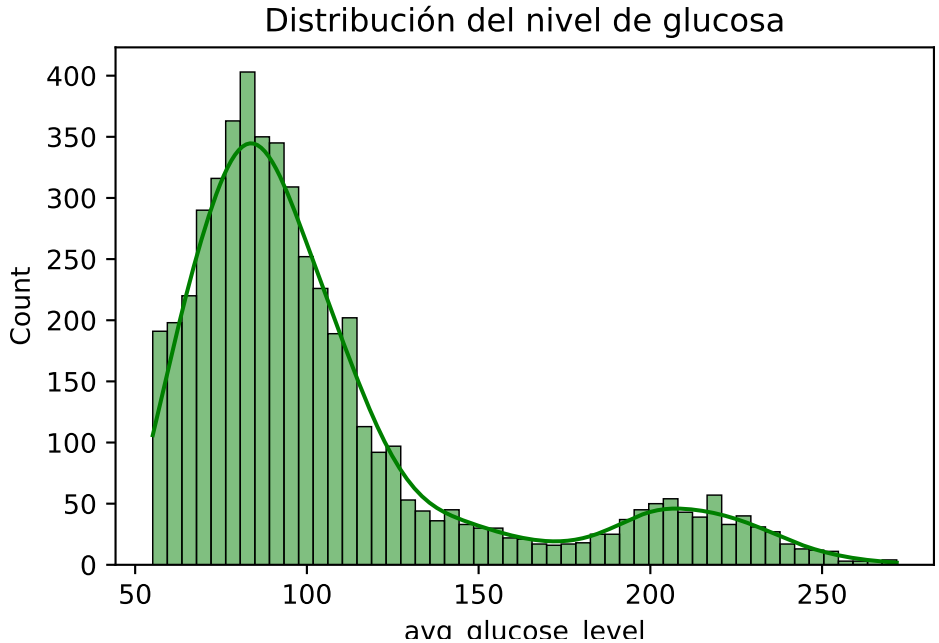


4.2.2 Histograma de glucosa promedio

```
hist(datos$avg_glucose_level, main = "Glucosa Promedio", xlab = "Nivel de glucosa", col = "li
```




```
sns.histplot(data=datos, x="avg_glucose_level", kde=True, color="green")
plt.title("Distribución del nivel de glucosa")
plt.show()
```



4.2.3 Frecuencias y proporciones

```r
table(datos$gender)
```

```
Female   Male  Other
  2994   2115      1
```

```r
prop.table(table(datos$stroke))
```

```
         0          1
0.95127202 0.04872798
```

```python
print(datos["gender"].value_counts())
```

```
gender
Female    2994
Male      2115
Other        1
Name: count, dtype: int64
```

```python
print(datos["stroke"].value_counts(normalize=True))
```

```
stroke
0    0.951272
1    0.048728
Name: proportion, dtype: float64
```

4.2.4 Aplicación interactiva

Como complemento a este capítulo, se ha desarrollado una aplicación interactiva utilizando Shiny que permite explorar conceptos de estadística descriptiva y análisis exploratorio con visualizaciones dinámicas y opciones personalizables para el usuario.

Accede a la app aquí:
https://deiversg.shinyapps.io/app_statistical_Methods/

Video tutorial – ¿Cómo usar la app?

Video tutorial: ¿Cómo usar la app?

4.3 5. Recursos audiovisuales

4.3.1 Introducción a la estadística descriptiva

Video: Introducción a la estadística descriptiva

4.3.2 Visualización de datos en R (boxplots, histogramas)

Video: Visualización de datos en R

4.3.3 Exploración con Python (Seaborn, pandas)

Video: Exploración con Python

4.4 6. Conclusión

El análisis exploratorio de datos con herramientas como R y Python permite obtener una comprensión inicial robusta de los patrones en datos biomédicos. Esto es esencial antes de aplicar modelos predictivos como regresión o clasificación. El uso de gráficos y resúmenes numéricos fortalece la interpretación clínica y estadística de los fenómenos observados.

5 Probabilidades

6 Inferencia

7 Regresion

References