

Módulo 1: Introducción a R, tipos de datos y estructuras básicas

David Caro, GIPHIN

2025-06-14

Table of contents

Introducción	2
¿Qué es R?	2
R es (básicamente) una calculadora	3
Operadores aritméticos en R	4
Operadores lógicos en R	4
Variables y tipos de datos	5
Vectores y factores matrices	5
Listas y matrices	6
Dataframes	7
Estructuras de control	7
Funciones	9
Para ver la documentación de una función:	9
Paquetes de R	10
Importación de datos	10
Conjunto de datos: Palmer Penguins	11
Entender e interactuar con los datos	13
Graficando y correlacionando datos	18
Pruebas T y ANOVA	22
Correlación y ggplot	24

Estadística descriptiva	28
Medidas de Tendencia Central	28
Media Aritmética (\bar{x})	28
Mediana (Me)	28
Moda (Mo)	29
Medidas de Dispersión	29
Rango (R)	29
Desviación Estándar (s o σ)	30
Medidas de Relación	30
Correlación (r)	30
Estadística Descriptiva Multivariada	31
Análisis de Componentes Principales (PCA)	31
Análisis de Correspondencias Simples (CA)	31
Análisis de Correspondencias Múltiples (MCA)	32
Métodos de Clasificación (Clustering)	32

Introducción

Este capítulo introduce R como lenguaje de programación enfocado en el análisis de datos. Aprenderemos los tipos de objetos más comunes, cómo crear funciones simples, estructuras de control básicas y cómo importar y explorar conjuntos de datos reales.

¿Qué es R?



R es un lenguaje de código abierto utilizado ampliamente en estadística, ciencia de datos y análisis científico. En paleontología y geología, permite analizar y visualizar datos de manera reproducible.

R es (básicamente) una calculadora

De mayor a menor precedencia:

1. Paréntesis: (,)
2. Exponente: ^ o **
3. División: /
4. Multiplicación: *
5. Suma: +
6. Resta -

R permite hacer todo tipo de operaciones y comparaciones a los objetos que usemos

```
log10(10)
```

```
[1] 1
```

```
567 / 4
```

```
[1] 141.75
```

```
sin(1)
```

```
[1] 0.841471
```

```
1 == 1
```

```
[1] TRUE
```

```
1 != 2
```

```
[1] TRUE
```

```
1 >= -9
```

```
[1] TRUE
```

```
5 < 3
```

```
[1] FALSE
```

Operadores aritméticos en R

Precedencia	Operador	Descripción	Ejemplo
0 (siempre va primero)	()	Paréntesis	$2 * (3 + 4) \rightarrow 14$
1 (alta)	\wedge o $**$	Potencia	$2 \wedge 3 \rightarrow 8$
2	-	Negación	$-5 \rightarrow -5$
3	*	Multiplicación	$4 * 2 \rightarrow 8$
3	/	División real	$8 / 2 \rightarrow 4$
3	%%	Módulo (resto)	$10 \% 3 \rightarrow 1$
3	%/%	División entera	$10 \% \% 3 \rightarrow 3$
4 (baja)	+	Suma	$3 + 5 \rightarrow 8$
4	-	Resta	$7 - 2 \rightarrow 5$

Operadores lógicos en R

Operador	Nombre	Descripción	Ejemplo
<	Menor que	Compara si un valor es menor	$5 < 10 \rightarrow \text{TRUE}$
<=	Menor o igual		$5 <= 5 \rightarrow \text{TRUE}$
>	Mayor que		$10 > 3 \rightarrow \text{TRUE}$
>=	Mayor o igual		$4 >= 4 \rightarrow \text{TRUE}$
==	Igual a	Comparación de igualdad	$3 == 3 \rightarrow \text{TRUE}$
!=	Distinto de		$5 != 4 \rightarrow \text{TRUE}$
&	Y lógico (elemento a elemento)	Ambos deben ser verdaderos	$\text{TRUE} \& \text{FALSE} \rightarrow \text{FALSE}$
	O lógico (elemento a elemento)	Uno de los dos debe ser verdadero	$\text{c}(\text{TRUE}, \text{FALSE}) \text{c}(\text{TRUE}, \text{TRUE}, \text{FALSE}) \rightarrow \text{TRUE TRUE FALSE}$
&&	Y lógico (primer elemento)	Solo compara el primer valor	$\text{c}(\text{TRUE}, \text{FALSE}) \&\& \text{c}(\text{TRUE}, \text{TRUE}) \rightarrow \text{TRUE}$

Operador	Nombre	Descripción	Ejemplo
	O lógico (primer elemento)	Solo compara el primer valor	<code>c(TRUE, FALSE, TRUE) c(FALSE, TRUE, FALSE) → TRUE</code>
%in%	Se encuentra en	Evalua si el valor está presente en la matriz	<code>"a" %in% c("b", "b", "a", "x", "b", "x") → TRUE</code>
!	Negación lógica	Invierte el valor lógico	<code>!TRUE → FALSE</code>

Variables y tipos de datos

```
# Asignación de variables
edad <- 120
formacion <- "Rosa Blanca"
es_marine <- TRUE

# Tipos de datos
class(edad)      # numeric
class(formacion) # character
class(es_marine) # logical
```

Vectores y factores matrices

```
# Crear vectores
litologias <- c("micrita", "lutita", "arenita", "micrita")
unique(litologias)
```

```
[1] "micrita" "lutita" "arenita"
```

```
# Convertir a factor
litologias <- factor(litologias)
levels(litologias)
```

```
[1] "arenita" "lutita" "micrita"
```

```
# Operar sobre vectores
```

```
x <- 1:5
```

```
x
```

```
[1] 1 2 3 4 5
```

```
2^x
```

```
[1] 2 4 8 16 32
```

Listas y matrices

```
#Las listas son como vectores pero permiten varios tipos de datos
```

```
lista <- list(1, "a", TRUE, 1+4i)
```

```
lista
```

```
lista_2 <- list(title = "Numbers", numbers = 1:10, data = TRUE )
```

```
lista_2
```

```
#Las matrices son listas bidimensionales
```

```
matrix_example <- matrix(1:18, ncol=6, nrow=3)
```

```
matrix_example
```

```
      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6]  
[1,]    1    4    7   10   13   16  
[2,]    2    5    8   11   14   17  
[3,]    3    6    9   12   15   18
```

```
dim(matrix_example)
```

```
[1] 3 6
```

```
#nrow
```

```
#ncol
```

Dataframes

Los dataframes son los objetos más usados en R

```
#Un data frame se es como una matriz pero tiene características especiales
ratones <- data.frame(color = c("gris", "negro", "blanco"),
                      peso = c(0.4, 0.2, 0.6),
                      tiene_cria = c(1, 0, 1))
head(ratones)
```

```
  color peso tiene_cria
1  gris  0.4          1
2 negro  0.2          0
3 blanco 0.6          1
```

```
#Cada columna de un df tiene puede tener una clase diferente
#las columnas se pueden indexar por su nombre
class(ratones$color)
```

```
[1] "character"
```

Estructuras de control

```
x <- 100

# Condicional
if (x >= 50) {
  print("x es mayor o igual que 50")
} else if (x < 50) {
  print("x es mayor a 50, pero menor a 100")
} else {
  print("x es menor a 50")
}
```

```
[1] "x es mayor o igual que 50"
```

```
# Bucle for
for (i in 1:3) {
  print(i)
}
```

```
[1] 1
[1] 2
[1] 3
```

```
# Se pueden correr bucles dentro de bucles
for(i in 1:5){
  for(j in c('a', 'b', 'c')){
    print(paste(i,j))
  }
}
```

```
[1] "1 a"
[1] "1 b"
[1] "1 c"
[1] "2 a"
[1] "2 b"
[1] "2 c"
[1] "3 a"
[1] "3 b"
[1] "3 c"
[1] "4 a"
[1] "4 b"
[1] "4 c"
[1] "5 a"
[1] "5 b"
[1] "5 c"
```

! Ejercicio

Escribe un código que con un vector `x 1:10` evalúe cada número e imprima si es par o impar

```
x <- 1:10
for(i in x){
  if (i%%2 == 0){
    print(paste(i,"es par"))
  } else {
    print(paste(i,"es impar"))
  }
}
```



```
[1] "1 es impar"
[1] "2 es par"
[1] "3 es impar"
[1] "4 es par"
[1] "5 es impar"
[1] "6 es par"
[1] "7 es impar"
[1] "8 es par"
[1] "9 es impar"
[1] "10 es par"
```

Funciones

Documentación o ayuda

Todas las funciones en R ya sean de base o de algún paquete tiene una documentación que nos explica su funcionamiento, sus argumentos y su salida.

Para ver la documentación de una función:

- `?función`
- `help(función)`
- `??función` cuando no se conoce bien el nombre de la función

```
# Función simple
doblar <- function(x) {
  return(x * 2)
}

doblar(5)
```

```
[1] 10
```

```
#Para crear un error, podemos usar la función stop() y que el código pare
#si las condiciones no se están cumpliendo
#R provee la función stopifnot() para no tener que crear un condicional if
```

! Ejercicio

Escribe una función que convierta de grados kelvin a celsius y pare si los datos ingresados no son numericos

```
kelvin_a_celsius <- function(temp) {  
  stopifnot(is.numeric(temp))  
  kelvin <- temp - 273.15  
  rm(temp)  
  return(kelvin)  
}  
  
kelvin_a_celsius(300)
```

```
[1] 26.85
```

Paquetes de R

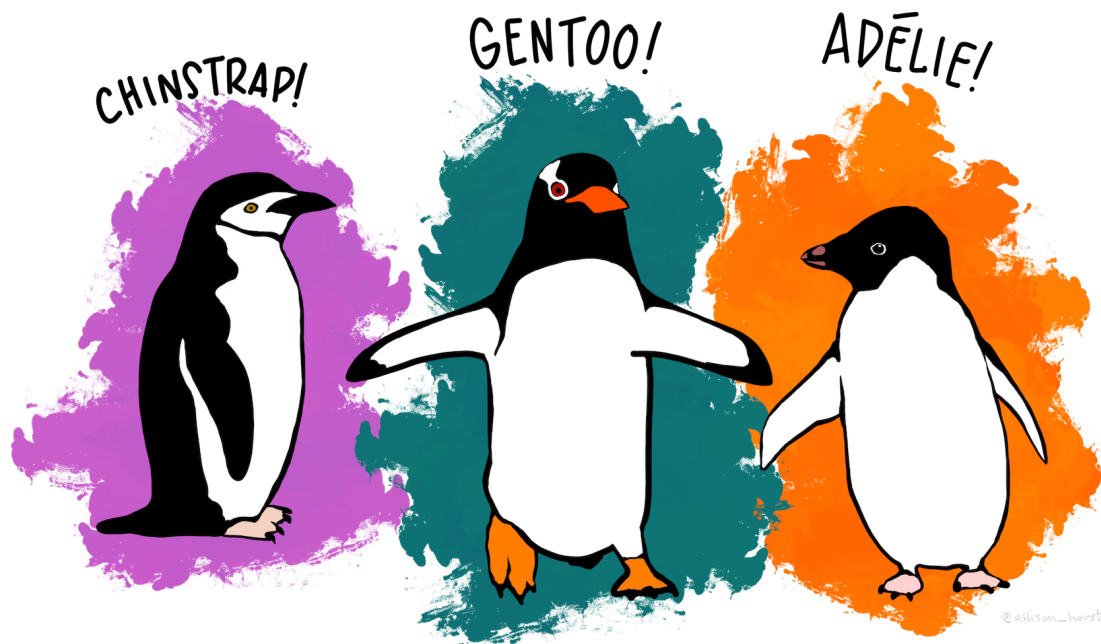
Un **paquete** es una colección de funciones, datos y documentación que amplía las capacidades básicas de R. Existen miles de paquetes creados por la comunidad científica para tareas específicas como visualización, análisis geoespacial, manipulación de datos, entre otros.

- Algunos de los paquetes que vamos a usar:
 - Tidyverse conjunto de paquetes para manipular y visualizar datos de forma organizada.
 - * ggplot2 para gráficos y visualizaciones.
 - * dplyr para manipulación de datos.
 - SDAR permite crear columnas estratigraficas facilmente.
 - paleoverse conjunto de paquetes orientados a paleontología.
 - * macrostrat permite visualizar y cargar para datos estratigráficos.
 - * sepkosky permite visualizar y acceder a datos de géneros de fosiles marinos.

Importación de datos

En R hay varias formas de importar datos, se pueden leer los archivos usando las funciones base de R, que permiten cargar diversos formatos, se pueden usar las funciones del paquete **readr** o se pueden importar por medio de un paquete que contiene un dataset.

Conjunto de datos: Palmer Penguins



```
#install.packages("palmerpenguins")  
library(tidyverse)  
library(palmerpenguins)
```

```
# Visualizar  
head(penguins)
```

```
# A tibble: 6 x 8  
  species island  bill_length_mm bill_depth_mm flipper_length_mm body_mass_g  
  <fct>   <fct>         <dbl>         <dbl>         <int>         <int>  
1 Adelie  Torgersen      39.1          18.7          181          3750  
2 Adelie  Torgersen      39.5          17.4          186          3800  
3 Adelie  Torgersen      40.3          18           195          3250  
4 Adelie  Torgersen      NA           NA           NA           NA  
5 Adelie  Torgersen      36.7          19.3          193          3450  
6 Adelie  Torgersen      39.3          20.6          190          3650  
# i 2 more variables: sex <fct>, year <int>
```

```
str(penguins)
```

```
tibble [344 x 8] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
 $ species      : Factor w/ 3 levels "Adelie","Chinstrap",...: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
 $ island       : Factor w/ 3 levels "Biscoe","Dream",...: 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 ...
 $ bill_length_mm : num [1:344] 39.1 39.5 40.3 NA 36.7 39.3 38.9 39.2 34.1 42 ...
 $ bill_depth_mm  : num [1:344] 18.7 17.4 18 NA 19.3 20.6 17.8 19.6 18.1 20.2 ...
 $ flipper_length_mm: int [1:344] 181 186 195 NA 193 190 181 195 193 190 ...
 $ body_mass_g    : int [1:344] 3750 3800 3250 NA 3450 3650 3625 4675 3475 4250 ...
 $ sex           : Factor w/ 2 levels "female","male": 2 1 1 NA 1 2 1 2 NA NA ...
 $ year          : int [1:344] 2007 2007 2007 2007 2007 2007 2007 2007 2007 2007 ...
```

```
summary(penguins)
```

species	island	bill_length_mm	bill_depth_mm
Adelie :152	Biscoe :168	Min. :32.10	Min. :13.10
Chinstrap: 68	Dream :124	1st Qu.:39.23	1st Qu.:15.60
Gentoo :124	Torgersen: 52	Median :44.45	Median :17.30
		Mean :43.92	Mean :17.15
		3rd Qu.:48.50	3rd Qu.:18.70
		Max. :59.60	Max. :21.50
		NA's :2	NA's :2
flipper_length_mm	body_mass_g	sex	year
Min. :172.0	Min. :2700	female:165	Min. :2007
1st Qu.:190.0	1st Qu.:3550	male :168	1st Qu.:2007
Median :197.0	Median :4050	NA's : 11	Median :2008
Mean :200.9	Mean :4202		Mean :2008
3rd Qu.:213.0	3rd Qu.:4750		3rd Qu.:2009
Max. :231.0	Max. :6300		Max. :2009
NA's :2	NA's :2		

```
#glimpse(penguins)
```

```
#Para tener una mejor idea de los datos seleccionamos 10 al azar
```

```
penguins[sample(nrow(penguins), 10), ]
```

```
# A tibble: 10 x 8
```

species	island	bill_length_mm	bill_depth_mm	flipper_length_mm	body_mass_g
<fct>	<fct>	<dbl>	<dbl>	<int>	<int>
1 Adelie	Biscoe	41.4	18.6	191	3700
2 Chinstrap	Dream	50.2	18.8	202	3800

3	Chinstrap	Dream	51.3	18.2	197	3750
4	Adelie	Torgers~	37.7	19.8	198	3500
5	Adelie	Torgers~	39	17.1	191	3050
6	Adelie	Torgers~	35.2	15.9	186	3050
7	Gentoo	Biscoe	44.4	17.3	219	5250
8	Gentoo	Biscoe	50.5	15.2	216	5000
9	Gentoo	Biscoe	43.5	14.2	220	4700
10	Chinstrap	Dream	49	19.5	210	3950

i 2 more variables: sex <fct>, year <int>

```
unique(penguins$island)
```

```
[1] Torgersen Biscoe Dream
Levels: Biscoe Dream Torgersen
```

Entender e interactuar con los datos

```
# Extraer solo ciertas filas y columnas para crear subsets
penguins[, -c(3:5)]
```

```
# A tibble: 344 x 5
  species island body_mass_g sex year
  <fct>   <fct>      <int> <fct> <int>
1 Adelie Torgersen    3750 male  2007
2 Adelie Torgersen    3800 female 2007
3 Adelie Torgersen    3250 female 2007
4 Adelie Torgersen     NA <NA>    2007
5 Adelie Torgersen    3450 female 2007
6 Adelie Torgersen    3650 male    2007
7 Adelie Torgersen    3625 female 2007
8 Adelie Torgersen    4675 male    2007
9 Adelie Torgersen    3475 <NA>    2007
10 Adelie Torgersen    4250 <NA>    2007
# i 334 more rows
```

```
# la función select pertenece a tidyverse y permite seleccionar solo lo descrito
# el operador %>% se llama pipe y nos deja pasar un objeto por una o más funciones
penguins %>% select(bill_length_mm)
```

```
# A tibble: 344 x 1
  bill_length_mm
    <dbl>
1         39.1
2         39.5
3         40.3
4          NA
5         36.7
6         39.3
7         38.9
8         39.2
9         34.1
10        42
# i 334 more rows
```

! Ejercicio

Crea un data frame llamado `penguins_2009` que sea el subset de `penguins`, que solo tenga los datos del año 2009, que no tenga las medidas de tamaño y sin los valores NA. Usa la función `na.omit()`

```
penguins_2009 <- na.omit(penguins[penguins$year == 2009, -c(3:5)])
penguins_2009
```

```
# A tibble: 117 x 5
  species island body_mass_g sex    year
  <fct>    <fct>      <int> <fct> <int>
1 Adelie  Biscoe        3725 female 2009
2 Adelie  Biscoe        4725 male   2009
3 Adelie  Biscoe        3075 female 2009
4 Adelie  Biscoe        4250 male   2009
5 Adelie  Biscoe        2925 female 2009
6 Adelie  Biscoe        3550 male   2009
7 Adelie  Biscoe        3750 female 2009
8 Adelie  Biscoe        3900 male   2009
9 Adelie  Biscoe        3175 female 2009
10 Adelie Biscoe        4775 male   2009
# i 107 more rows
```

R permite calcular muy facilmente los valores importantes de [Estadística descriptiva](#) para un dataset, hay algunos paquetes que hacen esto incluso más sencillo.

```
#Esta libreria tiene funciones muy utiles para estadística descriptiva
#install.packages("psych")
library(psych)
```

```
mass_2009 <- penguins_2009$body_mass_g
#Calculamos el promedio y la desviación estandar de los datos
mean(mass_2009)
```

```
[1] 4200.214
```

```
sd(mass_2009)
```

```
[1] 826.2301
```

```
summary(mass_2009)
```

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
2900	3500	4000	4200	4850	6000

```
#La función describe del paquete psych nos da una mejor visión de los datos
describe(mass_2009)
```

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis
X1	1	117	4200.21	826.23	4000	4160.26	926.62	2900	6000	3100	0.42	-1.01
			se									
X1			76.39									

```
#plot(penguins_2009$body_mass_g)
hist(mass_2009)
```

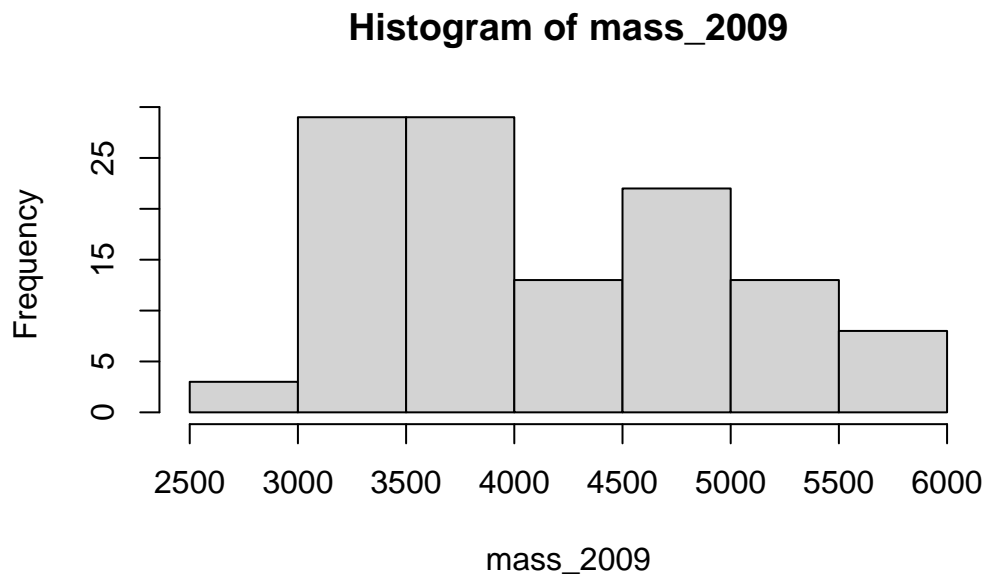


Figure 1: Histograma

```
#La función describeBy nos permite ver los valores por grupo
#cada grupo es una especie ya que son diferentes poblaciones
describeBy( x=penguins_2009$body_mass_g, group=penguins_2009$species)
```

Descriptive statistics by group

group: Adelie

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis
X1	1	52	3664.9	475.25	3600	3637.5	463.31	2900	4775	1875	0.44	-0.58
			se									
X1			65.91									

group: Chinstrap

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
X1	1	24	3725	330.1	3675	3707.5	407.71	3250	4450	1200	0.35	-0.84	67.38

group: Gentoo

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis
X1	1	41	5157.32	426.73	5200	5143.18	518.91	4375	6000	1625	0.15	-1.17
			se									
X1			66.64									


```
# Tidyverse nos permite agrupar y ordenar los datos como deseemos
mass_by_island_species <- penguins_2009 %>%
  group_by(island,species) %>%
  summarise(mean_mass=mean(body_mass_g),
            sd_mass=sd(body_mass_g))
```

`summarise()` has grouped output by 'island'. You can override using the
`.groups` argument.

```
mass_by_island_species
```

```
# A tibble: 5 x 4
# Groups:   island [3]
  island species mean_mass sd_mass
  <fct>   <fct>      <dbl>  <dbl>
1 Biscoe Adelie      3858.    579.
2 Biscoe Gentoo      5157.    427.
3 Dream  Adelie      3651.    398.
4 Dream  Chinstrap    3725     330.
5 Torgersen Adelie      3489.    398.
```

#tambien existe la función mutate que nos permite crear nuevas variables

```
mass_2009_kg <- penguins_2009 %>%
  mutate(body_mass_kg=body_mass_g/1000)
mass_2009_kg
```

```
# A tibble: 117 x 6
  species island body_mass_g sex    year body_mass_kg
  <fct>   <fct>      <int> <fct> <int>      <dbl>
1 Adelie Biscoe      3725 female 2009        3.72
2 Adelie Biscoe      4725 male   2009        4.72
3 Adelie Biscoe      3075 female 2009        3.08
4 Adelie Biscoe      4250 male   2009        4.25
5 Adelie Biscoe      2925 female 2009        2.92
6 Adelie Biscoe      3550 male   2009        3.55
7 Adelie Biscoe      3750 female 2009        3.75
8 Adelie Biscoe      3900 male   2009        3.9
9 Adelie Biscoe      3175 female 2009        3.18
10 Adelie Biscoe      4775 male   2009        4.78
# i 107 more rows
```

Graficando y correlacionando datos

Para graficar usaremos la libreria `ggplot`, si bien la función base `plot` nos permite crear graficas `ggplot` añade muchas opciones y mejor calidad, también se puede usar la libreria `ggpubr` que facilita el uso de `ggplot` para algunas graficas (usaremos unos ejemplos de `ggpubr` en donde mejor se desempeña), pero nos vamos a centrar en `ggplot`.

```
#ggplot viene incluida en Tidyverse y permite crear graficos de gran calidad
#install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
#ggpubr nos permite crear graficas usando ggplot pero con mayor facilidad
#install.packages("ggpubr")
library(ggpubr)
```

`ggpubr` facilita mucho el uso y creación de algunas graficas como:

- Histogramas
- Diagramas de caja
- Diagramas de dispersión

```
#Se invoca la función con el dataset
ggbarplot(penguins,
  #Se dice que datos van a ocupar cada eje
  x = "species",
  y = "bill_length_mm",
  #Se añade la desviación estandar
  add = c("mean_sd"),
  #Que determina el relleno de los datos
  fill = "species",
  #Se añaden las etiquetas
  label = TRUE,
  #Cantidad de digitos en las etiquetas
  lab.nb.digits = 2,
  #Color y ajuste vertical de las etiquetas
  lab.vjust = -2.2,
  lab.col = "red",
  #Titulo, subtítulo y valores de las etiquetas de los ejes
  title = "Longitud media del pico de los pingüinos",
  subtitle = "La barra de error muestran la desviación estandar",
  xlab = "Especies",
  ylab = "Largo del pico (mm)",
```

```
#Paleta de colores y limite de los ejes  
ylim = c(0,60),  
palette = "npg")
```

Longitud media del pico de los pingüinos

La barra de error muestran la desviación estandar

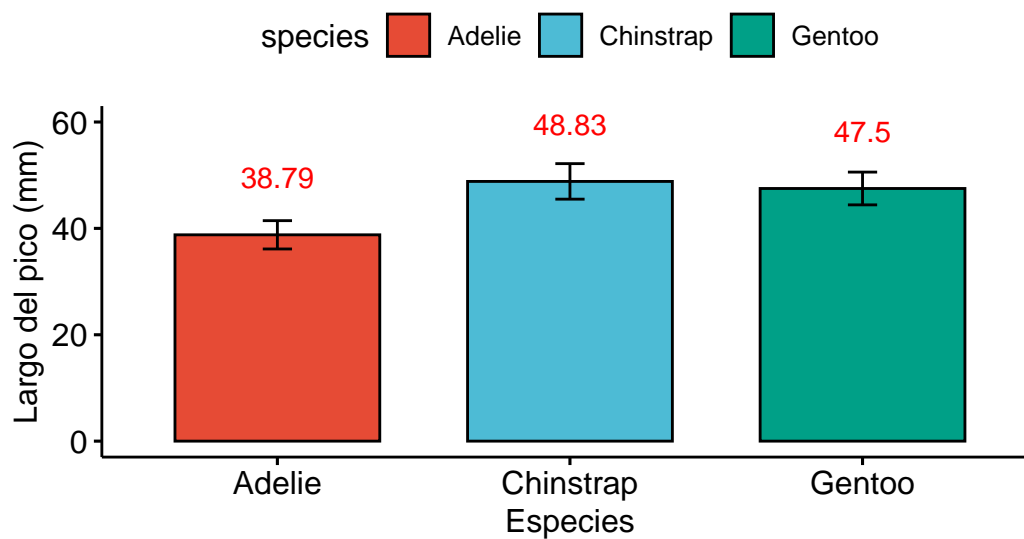
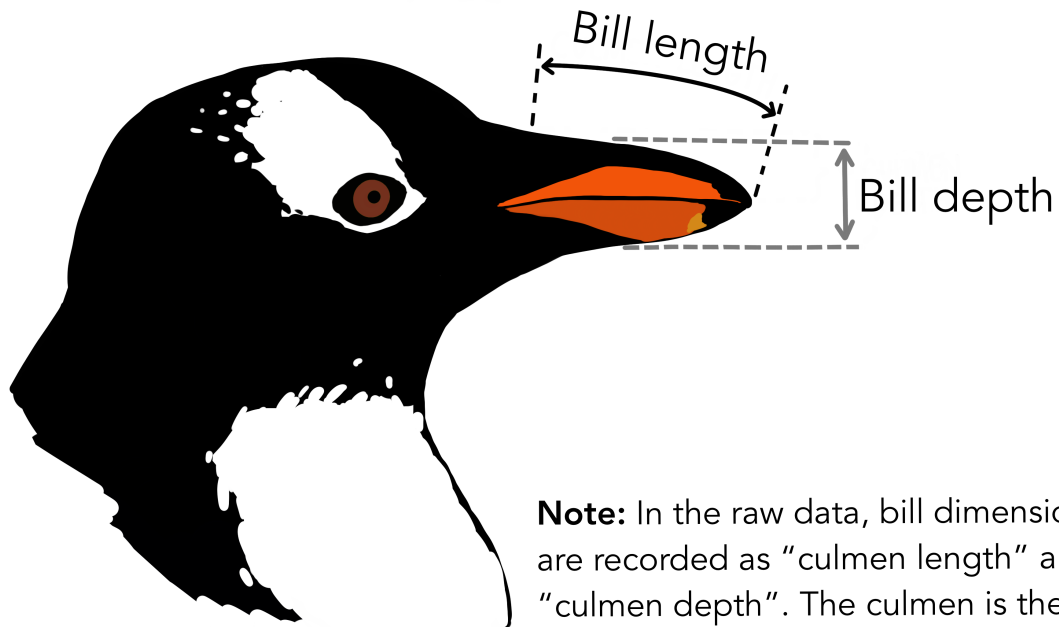


Figure 2: Histograma picos ggpubr



Note: In the raw data, bill dimensions are recorded as "culmen length" and "culmen depth". The culmen is the dorsal ridge atop the bill.

! Ejercicio

Crea un diagrama de violín o de densidad usando `ggviolin()` o `ggdensity()`

```
ggviolin(penguins ,
  x = "species",
  y = "bill_depth_mm",
  title = "Profundidad promedio del pico de los pingüinos",
  xlab = "Especies de pingüinos",
  ylab = "Profundidad del pico (mm)",
  fill = "species",
  palette = "npg",
  add = "boxplot",
  shape = "species")
```

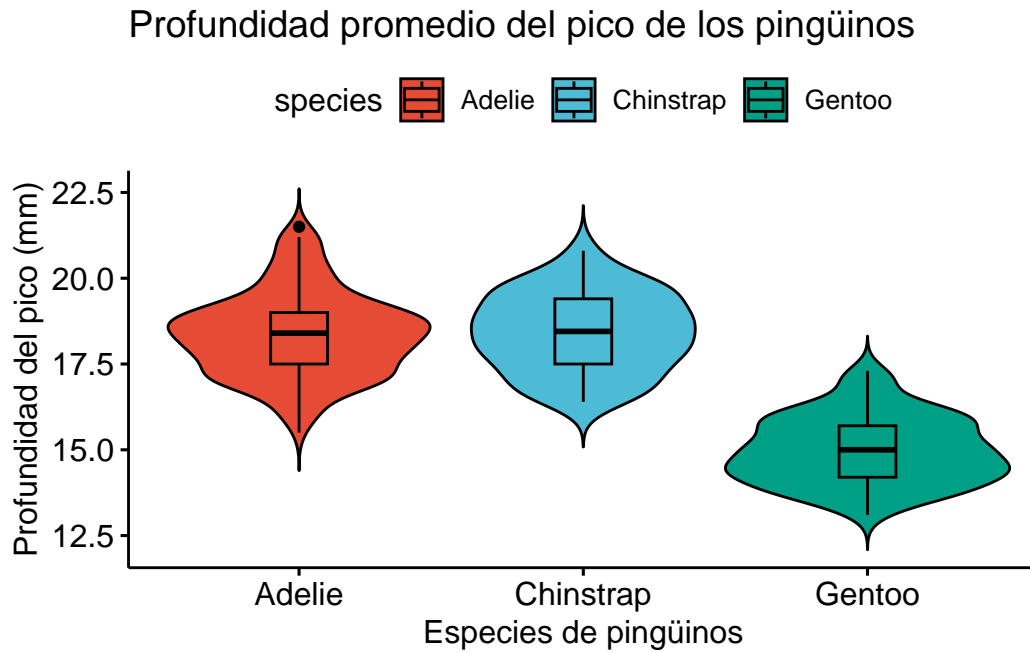


Figure 3: gráfica de violín ggpubr

```
ggdensity(penguins,
  x = "body_mass_g",
  color = "species",
  rug = TRUE,
  fill = "species",
  add = "mean",
  title = "Masa corporal promedio de los pingüinos",
  xlab = "Masa corporal (g)",
  palette = "lancet")
```

Masa corporal promedio de los pingüinos

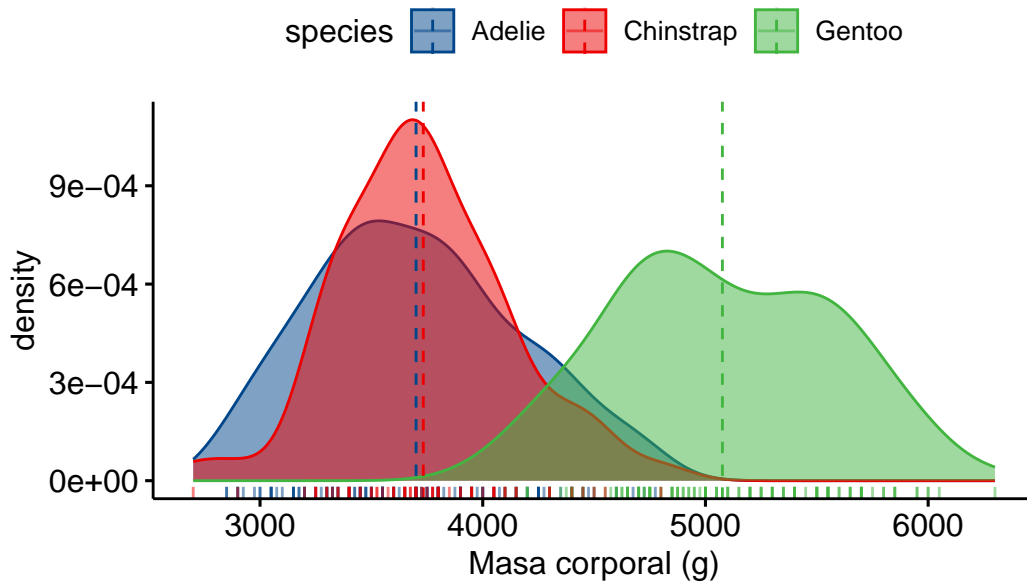


Figure 4: gráfica de densidad ggpubr

💡 Guardad gráficas en ggpubr

Usando la función `ggexport()` se pueden guardar las gráficas

```
ggexport(filename = "my_plot.png", width = 800, height = 600, res = 150)
```

Pruebas T y ANOVA

El análisis de varianza (ANOVA) es una prueba estadística utilizada para comparar las medias de tres o más grupos. Analiza la varianza dentro y entre grupos para determinar si las diferencias entre las medias son significativas. **La prueba T** se usa entre dos grupos.

💡 Valor p

El famoso **valor p**, también conocido como valor de probabilidad, es un número que indica la probabilidad de obtener los resultados observados o más extremos que los observados, si la hipótesis nula fuera verdadera. En otras palabras, representa la evidencia en contra de la hipótesis nula.

- **Valor p bajo (inferior a 0.05):**

Indica que los resultados son estadísticamente significativos, es decir, es poco probable que se deban al azar si la hipótesis nula fuera cierta. Se suele rechazar la hipótesis nula cuando el valor p es menor que 0.05.

- **Valor p alto (superior a 0.05):**

Indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, es decir, los resultados podrían deberse al azar.

los asteriscos indican el nivel de significancia estadística. Normalmente, un asterisco * indica significancia al nivel de 0.05 (95%), dos asteriscos ** al nivel de 0.01 (99%), y tres *** al nivel de 0.001 (99.9%). Esto significa que existe una alta probabilidad de que la relación observada en la muestra sea también verdadera en la población general.

```
comparar <- list(c("Adelie", "Chinstrap"), c("Adelie", "Gentoo"), c("Chinstrap", "Gentoo"))

ggboxplot(penguins ,
  x = "species",
  y = "bill_depth_mm",
  title = "Profundidad promedio del pico de los pingüinos",
  xlab = "Especies de pingüinos",
  ylab = "Profundidad del pico (mm)",
  color = "species",
  palette = "npg",
  add = "jitter",
  shape = "species") +
  stat_compare_means(method = "anova", label.y = 25) + #anova test
  stat_compare_means(comparisons = comparar, method = "t.test") # post hoc test using t-test
```

Profundidad promedio del pico de los pingüinos

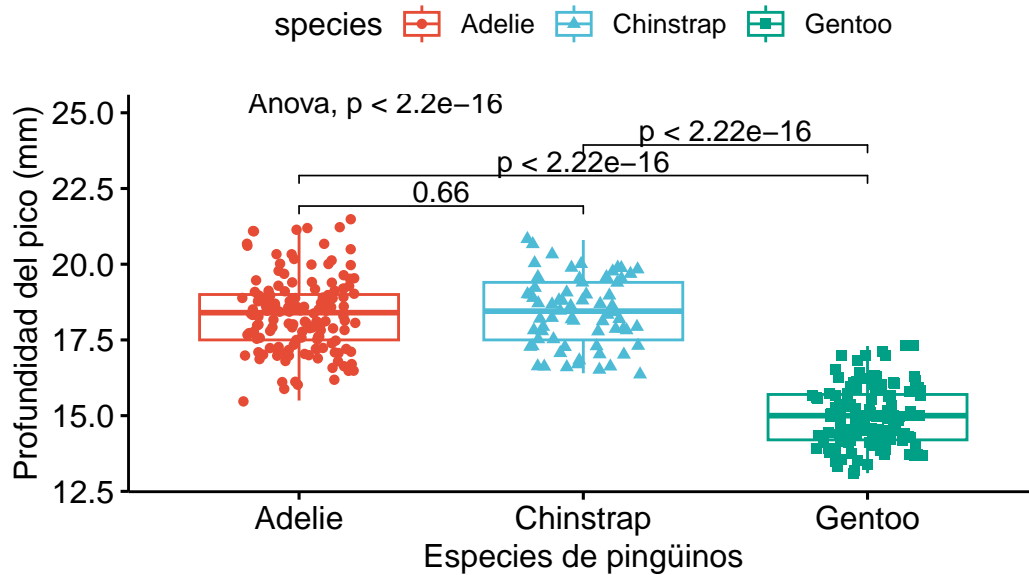


Figure 5: ANOVA y T-test ggpubr

Correlación y ggplot

Primero veremos como podemos explorar los datos usando gráficas con `ggplot`

En `ggplot` podemos agregar cada característica que deseemos a la gráfica usando `+` todo los detalles y opciones se pueden encontrar en: [referencia del paquete ggplot2](#).

```
#Invocamos la función ggplot() con los datos a usar
# aes() determina que valor cumple cada variable en el data set
ggplot(penguins, aes(x = sex, fill = species)) +
  geom_bar(alpha = 0.8) +
  #Elige el tema minimal
  theme_minimal() +
  # Con facet se agrupan las tres gráficas
  facet_wrap(~species, ncol = 1) +
  # Se voltean los histogramas para ser verticales
  coord_flip()
```

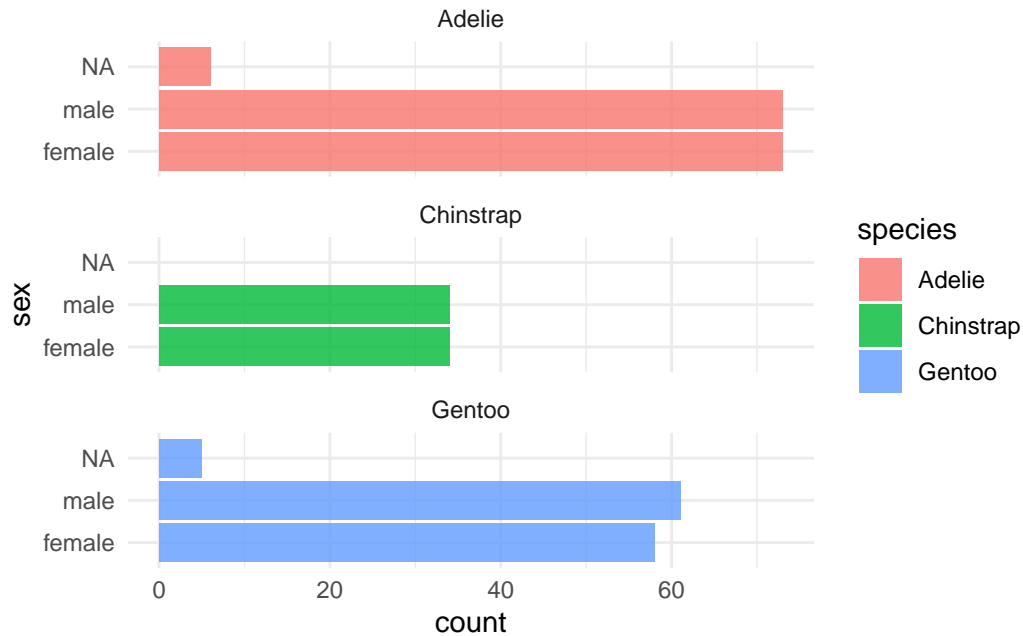



Figure 6: Histograma por especie

La correlación entre los datos se puede ver por cada par de variables, lo más común con varias variables es graficar como se correlaciona cada par, el coeficiente varia de -1 hasta 1, * significa un valor de p menor a 0.05, ** es un valor de p 0.1

```
#El paquete GGally nos permite hacer automaticamente un diagrama de
# dispersión y densidad "kernel" por cada par de variables
library(GGally)
penguins %>%
  select(species, body_mass_g, ends_with("_mm")) %>%
  GGally::ggpairs(aes(color = species)) +
  scale_colour_manual(values = c("darkorange", "purple", "cyan4")) +
  scale_fill_manual(values = c("darkorange", "purple", "cyan4"))
```

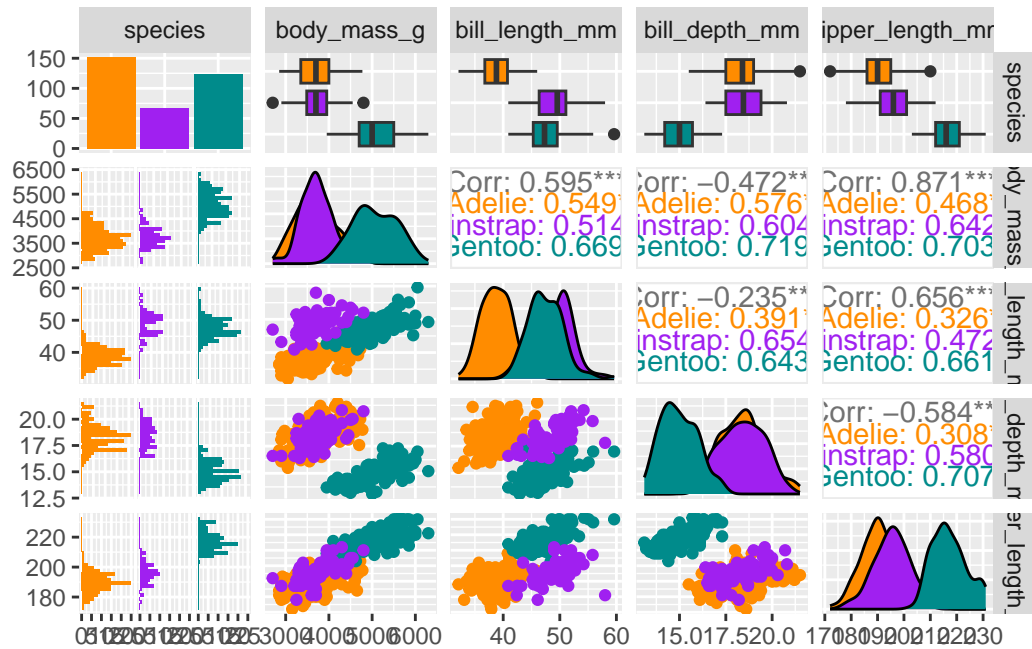


Figure 7: Correlación entre las diferentes variables de los pingüinos

Los modelos lineales nos permiten crear un modelo que usando la correlación entre las variables nos permite clasificar o predecir una variable con respecto a la otra u otras

```
ggplot(penguins, aes(x = bill_length_mm, y = bill_depth_mm, color = species)) +
  geom_point() +
  geom_smooth(method = "lm", se = FALSE) +
  scale_colour_manual(values = c("darkorange", "purple", "cyan4"))
```

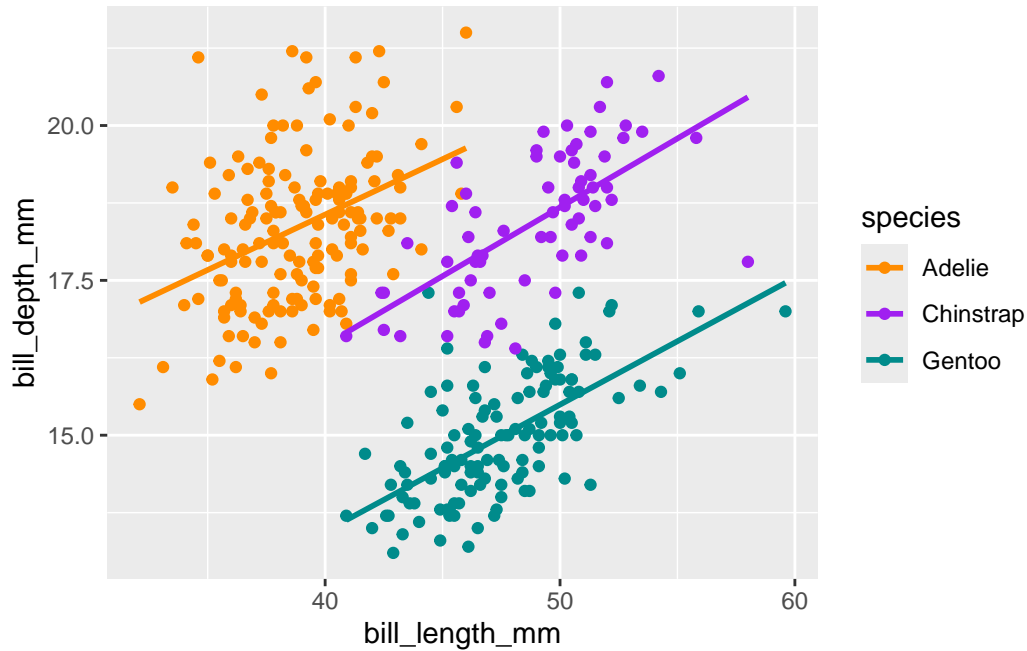


Figure 8: Modelo lineal y correlación en los picos de los pingüinos

```
modelo <- lm(bill_length_mm ~ bill_depth_mm + species,
             data = penguins)
summary(modelo)
```

Call:

```
lm(formula = bill_length_mm ~ bill_depth_mm + species, data = penguins)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-8.0300	-1.5828	0.0733	1.6925	10.0313

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	13.2164	2.2475	5.88	9.83e-09 ***
bill_depth_mm	1.3940	0.1220	11.43	< 2e-16 ***
speciesChinstrap	9.9390	0.3678	27.02	< 2e-16 ***
speciesGentoo	13.4033	0.5118	26.19	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.518 on 338 degrees of freedom
(2 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.7892, Adjusted R-squared: 0.7874
F-statistic: 421.9 on 3 and 338 DF, p-value: < 2.2e-16

Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es la base para entender cualquier conjunto de datos y así saber qué análisis realizar y como interpretar estos datos. Aquí se explican las medidas más importantes, primero las medidas univariadas.

Medidas de Tendencia Central

Media Aritmética (\bar{x})

La **media aritmética**, o simplemente la media, es el promedio de un conjunto de datos. Es la suma de todos los valores dividida por el número total de observaciones. Es muy sensible a valores extremos (outliers), lo que la hace útil para datos distribuidos simétricamente.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde:

- \bar{x} es la media muestral.
- $\sum_{i=1}^n x_i$ es la suma de todos los valores individuales x_i en el conjunto de datos.
- n es el número total de observaciones.

Mediana (Me)

La **mediana** es el valor central en un conjunto de datos cuando estos están ordenados de menor a mayor. Si hay un número impar de observaciones, la mediana es el valor en la posición central. Si hay un número par, es el promedio de los dos valores centrales. La mediana es menos sensible a los valores extremos que la media, lo que la hace una medida robusta para datos asimétricos.

Cómo calcularla:

1. Se ordenan todos los datos de forma ascendente o descendente.
2. Si n es impar, la mediana es el valor en la posición $(n + 1)/2$.

3. Si n es par, la mediana es el promedio de los valores en las posiciones $n/2$ y $n/2 + 1$.

Moda (Mo)

La **moda** es el valor que aparece con mayor frecuencia en un conjunto de datos. Un conjunto de datos puede tener una moda (unimodal), dos modas (bimodal), o más (multimodal), o incluso ninguna moda si todos los valores son únicos.

Medidas de Dispersión

Rango (R)

El **rango** es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo en un conjunto de datos. Es una medida simple de la dispersión, pero muy susceptible a los valores extremos.

$$R = X_{mx} - X_{mn}$$

Donde:

- X_{mx} es el valor máximo en el conjunto de datos.
- X_{mn} es el valor mínimo en el conjunto de datos.

Varianza (s^2 o σ^2)

La **varianza** mide la dispersión promedio de cada punto de datos con respecto a la media. Cuanto mayor sea la varianza, más dispersos estarán los datos.

Para una **muestra** (varianza muestral):

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Para una **población** (varianza poblacional):

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}$$

Donde:

- s^2 es la varianza muestral.
- σ^2 es la varianza poblacional.

- x_i es cada valor individual.
- \bar{x} es la media muestral.
- μ es la media poblacional.
- n es el número de observaciones en la muestra.
- N es el número de observaciones en la población.

Desviación Estándar (s o σ)

La **desviación estándar** es la raíz cuadrada de la varianza. Es una medida de dispersión más interpretable que la varianza, ya que está en las mismas unidades que los datos originales. Nos dice la dispersión típica de los datos alrededor de la media.

Para una **muestra** (desviación estándar muestral):

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Para una **población** (desviación estándar poblacional):

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}$$

Medidas de Relación

Estas medidas nos ayudan a entender la relación entre dos o más variables.

Correlación (r)

La **correlación** mide la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables numéricas. El coeficiente de correlación de Pearson (r) varía entre -1 y +1.

- Un valor cercano a +1 indica una fuerte correlación positiva (a medida que una variable aumenta, la otra también lo hace).
- Un valor cercano a -1 indica una fuerte correlación negativa (a medida que una variable aumenta, la otra disminuye).
- Un valor cercano a 0 indica poca o ninguna correlación lineal.

$$r = \frac{n \sum (x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

Donde:

- n es el número de pares de datos.
- x_i e y_i son los valores individuales de las dos variables.
- $\sum x_i y_i$ es la suma de los productos de cada par de valores.
- $\sum x_i$, $\sum y_i$, $\sum x_i^2$, $\sum y_i^2$ son las sumas de los valores y los cuadrados de los valores, respectivamente.

Estadística Descriptiva Multivariada

En paleontología, raramente trabajamos con una sola variable. Los organismos son complejos, los ecosistemas interactúan, y los datos que recolectamos son inherentemente multivariados. La estadística descriptiva multivariada nos permite explorar relaciones y patrones en conjuntos de datos con múltiples variables simultáneamente.

Análisis de Componentes Principales (PCA)

El **Análisis de Componentes Principales** (PCA por sus siglas en inglés: *Principal Component Analysis*) es una técnica de reducción de dimensionalidad. Su objetivo es transformar un conjunto de variables posiblemente correlacionadas en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas llamadas componentes principales. Los primeros componentes principales capturan la mayor parte de la varianza total en los datos, permitiéndonos visualizar y entender la estructura subyacente en conjuntos de datos complejos con muchas variables.

Aplicación en Paleontología: Se usa comúnmente para analizar datos morfométricos (por ejemplo, muchas medidas de un cráneo o partes del poscráneo) para identificar las principales direcciones de variación morfológica y agrupar especímenes con formas similares.

Análisis de Correspondencias Simples (CA)

El **Análisis de Correspondencias Simples** (CA por sus siglas en inglés: *Correspondence Analysis*) es una técnica exploratoria utilizada para visualizar la relación entre las filas y las columnas de una tabla de contingencia (frecuencias o proporciones). Permite detectar asociaciones entre categorías de variables cualitativas y representarlas gráficamente en un espacio de baja dimensionalidad.

Aplicación en Paleontología: Útil para analizar la asociación entre diferentes taxones fósiles y los tipos de sedimento donde se encuentran, o entre la presencia de ciertas especies y las condiciones paleoambientales inferidas.

Análisis de Correspondencias Múltiples (MCA)

El **Análisis de Correspondencias Múltiples** (MCA por sus siglas en inglés: *Multiple Correspondence Analysis*) es una extensión del CA que permite analizar las relaciones entre más de dos variables cualitativas. Es útil cuando tenemos múltiples variables categóricas y queremos explorar cómo se asocian entre sí y cómo los individuos (o especímenes) se agrupan en función de estas categorías.

Aplicación en Paleontología: Podría usarse para analizar la distribución de múltiples características de un fósil (tipo de dentición, forma de las extremidades, tipo de dieta inferida) a través de diferentes grupos taxonómicos o estratos geológicos.

Métodos de Clasificación (Clustering)

Los **métodos de clasificación** (también conocidos como *clustering* o análisis de agrupamiento) son técnicas utilizadas para agrupar objetos o individuos en clases o grupos, de manera que los objetos dentro de un mismo grupo son más similares entre sí que a los objetos en otros grupos. No requieren información previa sobre la pertenencia a un grupo, lo que los convierte en métodos “no supervisados”.

Existen varios algoritmos, como:

- **Clustering jerárquico:** Crea una jerarquía de clústeres, que se puede visualizar en un dendrograma.
- **K-means:** Agrupa los datos en un número predefinido de clústeres (k).

Aplicación en Paleontología: Indispensable para la **taxonomía numérica**, donde se agrupan especímenes fósiles basándose en múltiples características morfológicas para identificar posibles nuevas especies o variedades. También se usa para agrupar localidades fósiles con composiciones faunísticas o florísticas similares, lo que puede indicar paleoambientes o paleocomunidades específicas.