

Introducción al Lenguaje R. Modelos Lineales y Fundamentos de Programación

Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Córdoba

Dr. Santiago Benitez-Vieyra & Dr. Federico Sazatornil. IMBIV (UNC-CONICET)

Índice general

Introducción	2
Práctico 1. Introducción al Lenguaje R	6
Práctico 2. Modelos Lineales Simples	13
Práctico 3. Modelos Lineales Múltiples I	15
Práctico 4. Modelos lineales múltiples II	16
Práctico 5. Manejo de gráficos y representación gráfica de modelos lineales.	19
Práctico 6. Otros paquetes gráficos: <i>lattice</i> y <i>ggplot2</i> .	25
Práctico 7. Construyendo Rutinas	28
Práctico 8. Programación y construcción de funciones	29
Práctico 9: Modelos Randomizados y Modelos Nulos	33

Introducción

R

R es un lenguaje utilizado principalmente para realizar análisis estadísticos, gráficos y para programación. Puede ser copiado y distribuido de forma gratuita y permite que los usuarios estudien como funciona, lo modifiquen de acuerdo a sus necesidades y publiquen sus mejoras y extensiones para ser compartidas con otros usuarios. Presenta además numerosas ventajas para su uso en la investigación científica.

1. Es actualmente el software que ofrece mayor número de funciones estadísticas y aplicaciones para la creación de gráficos. Colaboradores de todo el mundo producen paquetes destinados a resolver problemas particulares o desarrollan determinadas técnicas estadísticas. Cada usuario puede, además, crear sus propias funciones y rutinas combinando las funciones existentes.
2. Existe una amplia comunidad de usuarios y por lo tanto, una gran oferta de ayudas para aquellos que se inician en el uso del programa, incluyendo foros de discusión en internet y una creciente bibliografía.
3. R es una *lingua franca* para el intercambio de ideas en el ámbito científico. De la misma manera en que se escribe un artículo para comunicar ideas, pueden escribirse rutinas para comunicar un análisis. Un número creciente de trabajos citan este software o presentan rutinas escritas en este lenguaje publicadas.

¿Qué es una rutina, qué es un código?

Las rutinas utilizadas por los científicos pueden ser separadas en dos grandes categorías (Mislan *et al.* 2016).

1. Las rutinas de análisis (*analysis code*) se utilizan para ensamblar bases de datos y corregir errores, simular el resultado de modelos, realizar análisis estadísticos y crear figuras. Poner a disposición de otros investigadores las rutinas de análisis es necesario para que los resultados de un estudio puedan ser reproducidos.
2. El software científico (como puede ser un paquete de R o Python) es diseñado para poder ser utilizado en muchos proyectos diferentes. Puede ser el producto mismo de una investigación.

Sobre las rutinas de este manual

En este manual las rutinas aparecen incrustadas en la página web y pueden reconocerse por su distinta tipografía y por estar en recuadros. Sin embargo, por comodidad es recomendable utilizar block de notas, gedit, R scripts, RStudio o TinnR para realizarlas (evitar los procesadores de texto como Word o Writer). A partir de 2015 todo el material de este curso está disponibles en forma abierta en los repos <https://github.com/santiagombv/cursoR> (rutinas y archivos) y en la página http://santiagombv.github.io/Curso_R/ (teóricos y prácticos). Desde 2015 también utilizaremos de forma preferente RStudio (<https://www.rstudio.com/>) como interfaz gráfica de usuario (GUI). El objetivo de este curso es capacitar al alumno para realizar una rutina de análisis por sí mismo, aplicando conocimientos de modelos lineales, manejos de gráficos y programación.

Paquetes

Los paquetes de R son colecciones de funciones para un fin determinado, asociadas a su ayuda y, ocasionalmente, bases de datos y demostraciones de uso (*vignettes*). Para mayo de 2019, se encontraban disponibles 14191 paquetes.

Para este curso, se requieren los siguientes paquetes que no son descargados de forma automática con la instalación de R, por lo que deberá instalarlos manualmente: *arm*, *car*, *devtools*, *glmnet*, *ggplot2*, *lattice*, *leaps*, *MuMIn*, *rgl*, *rmarkdown*, *sciplot*, y todas las dependencias necesarias.

Instalación de R y de sus paquetes en Windows.

Instalación de R

Entrar a <http://cran.r-project.org/>

En download R for Windows - base, seleccionar la última versión disponible de R (3.6.0 “Planting of a Tree” actualmente). Guardar el archivo R-3.6.0-win.exe en cualquier parte de la computadora, ejecutarlo y seguir las instrucciones de instalación.

Instalación de paquetes.

Seleccionar Paquetes - Instalar Paquetes (la computadora debe estar conectada a internet). En R Studio seleccionar install en la pestaña packages.

Seleccionar el espejo CRAN desde donde se bajará el paquete.

Seleccionar un paquete de la lista desplegable.

Alternativamente utilizar:

```
install.packages("nombre_del_paquete")
```

Carga de paquetes

Para que un paquete esté disponible en una sesión de trabajo seleccionar Paquetes – Cargar paquetes y elegirlo en la lista desplegable que se abre. Alternativamente puede cargarse escribiendo en la consola principal de R.

```
library(nombre_del_paquete)
```

Actualización de R.

En Windows se puede desinstalar y volver a instalar el programa en cada actualización. Alternativamente utilizar el paquete *installr*

```
install.packages("installr")  
library(installr)  
updateR() # seguir las instrucciones que aparezcan
```

Instalación de R y de sus paquetes en Ubuntu

Instalación de R

Añadir una fuentes de software desde “Configuración del Sistema” - “Software y actualizaciones” - “Otro Software”. Seleccionar “Añadir”. En la ventana que solicita la línea de APT completa del repositorio colocar:

```
deb https://cloud.r-project.org/bin/linux/ubuntu bionic-cran35/
```

En esta línea puede cambiar el espejo CRAN elegido por alguno de los listados en <http://cran.r-project.org/>. Por ejemplo <http://cran.rstudio.com/bin/linux/ubuntu/> corresponde al espejo propio de RStudio. Puede cambiar también la distribución de Ubuntu empleada (disco, cosmic, bionic, xenial, trusty, etc. indicada antes del -cran35).

Agregar una clave de seguridad al sistema (en caso de que esta opción “no funcione”, ver otras posibilidades en <http://cran.r-project.org/>). En la terminal ingresar:

```
sudo apt-key adv --keyserver keyserver.ubuntu.com --recv-keys E298A3A825C0D65DFD57CBB651716619E084DAB9
```

Instalar R desde terminal.

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get install r-base
```

Instalación de paquetes

La manera más práctica en Ubuntu es desde terminal.

```
sudo R  
install.packages("nombre_del_paquete")
```

Carga de paquetes.

Debe cargarse desde la consola principal de R o Rstudio.

```
library(nombre_del_paquete)
```

Actualización de R.

Al agregar una fuente de software a la computadora, R se actualizará junto a todos los otros programas, automáticamente. Para mantener al día la última versión de R basta con colocar en la terminal.

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get upgrade
```

Práctico 1. Introducción al Lenguaje R

Creación de objetos

R es un lenguaje orientado a objetos: cada comando crea un objeto que debe ser “nombrado” para que permanezca en la memoria utilizando una `<-` y su nombre debe ser “invocado” para que aparezca en pantalla. A pesar de ser un lenguaje de programación, R es comparativamente simple e intuitivo.

Objetos comunes en R.

data.frame	Objeto que contiene datos. Habitualmente se crea al importar datos externos, aunque pueden ser creados dentro del mismo R. Consiste en una serie de variables (<i>vectors</i>) de igual longitud y que pueden ser del mismo tipo o no.
vectors	Colección de datos del mismo tipo (números, letras, etc.) que puede ser creado dentro de R o importado como una columna de un <i>data.frame</i> . Existen muchos tipos de vectores, entre ellos: <i>numeric</i> consiste de números reales; <i>integer</i> consiste de números enteros; <i>character</i> contiene letras, nombres, etc. (notar que cada elemento se encuentra entre comillas, por ej. “A1”); <i>factor</i> sirve para representar variables categóricas, porta información sobre los niveles del factor (<i>levels</i>) y sobre si estos niveles siguen un orden o no.
matrix	Matriz formada por la unión de vectores de un mismo tipo y largo, por un solo vector que es partido en columnas y filas o (más habitualmente) producto de ciertas funciones, por ejemplo <i>cor</i> , que construye matrices de correlación.
list	Objeto que compuesto de objetos de distinto tipo y largo.

Cuatro símbolos básicos: # <- ? c

```
# El símbolo # desactiva el espacio a su derecha.
# Es útil para poner aclaraciones en nuestras rutinas.

# El comando más básico: Asignar crea objetos.
n <- 15
n # escribir el nombre de un objeto es "invocarlo"

# al usar de nuevo el mismo nombre el objeto anterior se pierde ("pisar")
n <- 46 + 12
n

# los caracteres categóricos necesitan ser ingresados con comillas
di <- "A"
di

# Obtener ayudas, el símbolo ?
# si tenemos dudas sobre el funcionamiento de una función
? mean
? lm

# Si desconocemos el nombre de una función para realizar determinada
# tarea, puede realizarse una búsqueda con ?? (en los paquetes activos)
?? "linear models"

# crear vectores. La función concatenar c
vector <- c(1, 2, 3, 4)
vector <- c(1:4)
vector <- c("a", "b", "c", "d")
vector <- c("1", "a", "2", "b")
```

Funciones básicas: creación de vectores, secuencias y matrices

Las funciones de esta sección son las más sencillas de R. Como regla general las funciones siempre deben escribirse acompañadas de paréntesis, que contienen los elementos sobre los cuales la función actuará. Si no se colocan los paréntesis el programa mostrará el código mismo de la función.

```
### vectores ###
# Ya vimos c concatenar
vec <- c(1, 4, 6, 3, 7)
vec

# vectores de repetición. rep(lo_que_queremos_repetir, cuántas veces)
# esta función tiene dos argumentos, separados por una coma
xx <- rep("A", 50)
xx

# secuencias seq()
seq1 <- c(1:50) # el símbolo : indica desde:hasta
seq1

seq2 <- seq(50) # estructura: desde uno hasta (...)
```

```

seq2

seq3 <- seq(8,50) # estructura: (desde..., hasta...)
seq3

seq4 <- seq(from = 0, to = 0.99, by = 0.01) # argumentos explícitos
seq4

seq5 <- seq(0, 0.99, 0.01) # argumentos implícitos
seq5

seq6 <- seq(5, 10, length.out=20)
seq6

# combinando vectores de a pares: cbind y rbind
az <- cbind(seq1, xx)
az

za <- rbind(c(1:25), rnorm(25))
za

# construyendo una matriz: matrix()
m <- c(1:20)
matriz1 <- matrix(m, 4, 5) # (vector a usar, filas, columnas)
matriz1

# notar que es exactamente igual a
matriz2 <- matrix(c(1:20), 4, 5)
matriz2

```

Preparación e ingreso de datos: las funciones *read.table* y *read.csv*.

Los datos pueden prepararse con cualquier software para planillas de datos como Excel o LibreOffice Calc. Se recomienda:

- Que los nombres de las columnas no tengan espacios ni comiencen con números.
- Evitar los símbolos extraños como %, &, ^, ~, ñ, etc.
- Utilizar nombres cortos.
- Los datos faltantes no deben dejarse en blanco, sino señalarse con NA.

Una vez lista la planilla se recomienda guardarla en formato .txt o .csv (si bien R admite otros formatos). Pueden guardarse en cualquier carpeta del equipo. Si utilizamos R Studio y guardamos los sets de datos en la misma carpeta que la rutina, el programa determinará esa carpeta como el directorio de trabajo de forma automática, por lo que no es necesario escribir la ruta completa al archivo. También puede evitarse escribir la ruta si al abrir R seleccionamos la carpeta que donde los archivos están guardados con la opción Session - Set Working Directory, o usando la función *setwd* (para examinar cual es la carpeta en uso, utilizar *getwd*). Esta opción es muy útil si vamos a abrir varios archivos de datos guardados en el mismo directorio. Finalmente, puede abrirse una ventana de búsqueda para seleccionar el archivo con la opción *file.choose()*.


```

# la función read.table
# opción 1 con ruta completa (notar orientación de las barras /)
# en este caso asumimos que se encuentra en el directorio RD
datos <- read.table("C:/RD/peces1.txt", header=TRUE)

# opción 2 seleccionando el directorio en uso previamente desde "Archivo"
# o con setwd
setwd("C:/RD/")
datos <- read.table("peces1.txt", header=TRUE)

# opción 3 Abre una ventana de búsqueda
# desventaja: requiere que el humano piense!
datos <- read.table(file.choose(), header=TRUE)

# opción 4 la función read.csv
datos <- read.csv("C:/RD/peces1.csv", header=TRUE)

# los datos ya están guardados, pero si queremos verlos...
datos      # no siempre es buena idea, sobre todo si son muchos

# una forma práctica de ver solo las primeras filas es con head
head(datos)

# o echar un vistazo a la estructura de los datos
# str informa sobre la estructura de cualquier objeto
str(datos)

# Información básica del set de datos
nrow(datos)      #Número de filas
ncol(datos)      #Número de columnas
names(datos)     #Nombre de las columnas

```

Indexación

Estas operaciones se realizan para extraer de un objeto la parte que nos interesa, por ejemplo una columna con una variable de un marco de datos.

No usar attach(), esta función aumenta las probabilidades de confundirse e introducir errores.

```

# Para seleccionar una columna del marco de datos utilizamos $
datos$grupo

# los corchetes indican el contenido de un conjunto de datos,
# matriz o vector. La coma separa filas de columnas

#columnas
datos[, 1]
datos[, "grupo"]

# grupos de columnas
datos[, 1:3]
datos[, c("grupo", "largo.a")]
names <- c("grupo", "largo.b")
datos[, names]

```

```

# filas y datos individuales
datos[2, ]
datos[2, 3]
datos[-2, 2]

# indexando por una condición
datos[datos$largo.a > 15, ]
datos[datos$largo.a > 15 & datos$grupo == "A", ]

# Indexación de vectores
vec <- datos$largo.a
vec[1]
vec[-1]
vec[vec > 15]

# omitir todos los NA de una base de datos
datos2 <- na.omit(datos)
datos2

# La mayoría de las funciones cuentan con dos modos alternativos de
# escribirse. En el modo "fórmula" existe un argumento "data" que evita
# indexar los nombres de las columnas usadas.

plot(datos$largo.a, datos$largo.b)      #modo por default: plot(x,y)

plot(largo.b ~ largo.a, data = datos)  #modo fórmula: plot(y~x, data)

```

Modificación y creación de columnas.

```

# reemplazo (al usar el mismo nombre) una variable numérica por un factor
datos$trat
datos$trat <- as.factor(datos$trat)
datos$trat      # notar la lista de niveles del factor

# crear una nueva columna en una base de datos ya existentes
datos$pob <- c(rep("pob1", 15), rep("pob2", 15))
datos$pob <- as.factor(datos$pob)
datos$log.largo.a <- log(datos$largo.a)
head(datos)

# crear una nueva columna uniendo clasificadores
datos$clave <- paste(datos$pob, datos$trat, sep = ".")
head(datos)

# Usando factor para arreglos más complicados
datos$pais <- factor(datos$pob, levels = c("pob2", "pob1"),
                    labels = c("Bolivia", "Chile"))
head(datos)

```

Subdivisión de conjuntos de datos

```
# Subdivisión de un conjunto de datos
# Símbolos lógicos:
# == (igual)
# != (distinto),
# > (mayor),
# < (menor)
# >= (mayor o igual),
# <= (menor o igual).

dat1 <- subset(datos, datos$grupo == "A")
dat1

dat2 <- subset(datos, datos$grupo == "A" & datos$trat == 2)
dat2

# Crear una lista de bases de datos
ldat <- split(datos, f = datos$grupo)
ldat
ldat[["B"]] # indexacion especial
```

Funciones para extraer información de una columna o de un vector

```
class(xx)
length(seq1)
dim(matriz1)
max(datos$largo.a)
which.max(datos$largo.a)
min(datos$largo.a)
which.min(datos$largo.a)
```

Funciones estadísticas básicas

Se detallan abajo algunas como la media, varianza, desvío estándar, etc. En general si cualquiera de ellas se aplica sobre datos que contienen NA el resultado será NA también, por lo cual hay indicarle a la función que los elimine. Una alternativa es eliminar previamente todas las filas con datos faltantes usando la función na.omit.

```
# media
M <- mean(datos$largo.a, na.rm = TRUE)
M

# desvío estándar
S <- sd(datos$largo.a, na.rm = TRUE)
S

# varianza
V <- var(datos$largo.a, na.rm = TRUE)
V
```

```

# sobre un conjunto de datos, se obtiene una matriz de varianza-covarianza
VC <- var(datos[,c(3,4)], na.rm = TRUE)
VC

# de forma parecida, puede obtenerse una matriz de correlación
CO <- cor(datos[, c(3, 4)], use="complete.obs") #complete.obs elimina NA
CO

# en cambio, para realizar un test de correlación
cor.test(datos$largo.a, datos$largo.b, method = "pearson")

# resumen de datos
summary(datos)

# una función útil para aplicar una función a un subconjunto de los datos
# es aggregate, con una estructura ligeramente más complicada

MG<-aggregate(datos$largo.a, by=list(datos$grupo), FUN=mean, na.rm=TRUE)
MG

```

Notas

- En RStudio las dos ventanas principales contienen la rutina (con el archivo sobre el cual estamos trabajando) y la consola de R. **siempre** trabajar sobre el archivo, no sobre la consola.
- El símbolo `>` en la consola indica que R está listo para recibir una orden. En caso de que aparezca `+` en su lugar, indica que no se ha completado una orden (la razón más común es no haber cerrado un paréntesis). Una manera de solucionarlo es colocarse en la consola y presionar Esc.
- Para cálculos muy complejos, la consola puede quedar inutilizada por un tiempo. En ese caso veremos que el símbolo `>` no aparece. Puede detenerse un cálculo con **stop**.
- **Qué sigue:** Manipular bases de datos es un campo en desarrollo. El paquete *dplyr* de Hadley Wickham es altamente recomendable (<https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/>). Para una excelente introducción a *dplyr* consultar <http://www.dataschool.io/dplyr-tutorial-part-2/>.

Práctico 2. Modelos Lineales Simples

Caso 1

Se examina la relación entre la altura y la capacidad pulmonar. Los datos se encuentran en el archivo fumadores.txt.

```
# complete la ruta al directorio en ...
fum <- read.table("../fumadores.txt", header = TRUE)
fum

# inspección de datos 1: gráfico tipo Cleveland
plot(fum$ca.pulm)
plot(fum$alt)

# inspección de datos 2: gráfico bivariado
plot(fum$alt, fum$ca.pulm)

# modelo lineal (regresión)
fit<-lm(ca.pulm ~ alt, data=fum)

# componentes del objeto fit (algunos)
fit
fit$coefficients
fit$residuals[1:20] # sólo los primeros 20
fit$fitted[1:20] # sólo los primeros 20

# resúmenes de información
summary(fit)
anova(fit)

# Diagnósticos gráficos. Layout dividirá la ventana gráfica en lo que
# indique la matriz (4 en este caso, en 2 filas y 2 columnas). Para que la
# ventana gráfica vuelva a la normalidad usaremos layout(1)
layout(matrix(1:4,2,2))
plot(fit)
layout(1)

# Diagnósticos numéricos
shapiro.test(fit$residuals)

# Validación cruzada
library(boot)
git1 <- glm(ca.pulm ~ alt, data=fum) # modelo generalizado normal, equivale a lm
git2 <- glm(ca.pulm ~ I(alt^2), data=fum) # modelo generalizado normal, equivale a lm
cv.err1 <- cv.glm(fum, git1, K = 10)
cv.err2 <- cv.glm(fum, git2, K = 10)
cv.err1$delta
cv.err2$delta
```

Caso 2

Muertes de mosquitos en respuesta a distintos insecticidas. Datos de ejemplo cargado en R: InsectSprays.

```
data(InsectSprays)
head(InsectSprays)

plot(sqrt(count) ~ spray, data = InsectSprays)

# utilizando la function lm
fit.spray1 <- lm(sqrt(count) ~ spray, data = InsectSprays)
anova(fit.spray1)
summary(fit.spray1)
# utilizando la function aov
fit.spray2 <- aov(sqrt(count)~spray, data = InsectSprays)
summary(fit.spray2)

# diagnósticos gráficos
layout(matrix(1:4,2,2))
plot(fit.spray2)
layout(1)

# diagnósticos numéricos
shapiro.test(resid(fit.spray2))
bartlett.test(resid(fit.spray2)~InsectSprays$spray)

# Test de Tukey
# notar que trabaja sobre un objeto aov, no sobre un objeto lm
tuk<-TukeyHSD (fit.spray2)
tuk
```

Ejercicios

1. Se intenta probar si el éxito reproductivo (medido como polinarios exportados) de la orquídea *Cyclopogon elatus* aumenta en flores con nectarios más profundos. El archivo cyclop.txt contiene las variables de interés nectario y pol.exp. Realizar gráficos exploratorios, ajustar un modelo de regresión lineal, extraer la tabla de parámetros y la tabla ANOVA y realizar gráficos de diagnóstico.
2. Determinar si existen diferencias en el peso de pecaríes según el mes de su captura: febrero, mayo, agosto y noviembre, con los datos del archivo pecaries.txt. Explorar los datos gráficamente, realizar un análisis de la varianza, obtener la tabla de parámetros y la tabla ANOVA. Realizar diagnósticos gráficos y numéricos (pruebas de Shapiro-Wilks y Bartlett) y realizar un test de Tukey.

Práctico 3. Modelos Lineales Múltiples I

Caso 1

Se estudió el efecto del número de parejas sexuales sobre la longevidad de moscas de la fruta macho. Los tratamientos fueron: A = control (sin hembras), B = control (una hembra no receptiva al día), C = control (8 hembras no receptivas al día), D = una hembra virgen al día, E = 8 hembras vírgenes al día. Ya que la longevidad puede estar relacionada con el tamaño del insecto se tomó el diámetro del tórax como covariable. Los datos se encuentran en el archivo moscas.txt.

```
# complete la ruta al directorio en ...
dat <- read.table("../moscas.txt", header = TRUE)

plot(dat$torax)
plot(dat$vida)
plot(dat$trat, dat$vida)
plot(dat$torax, dat$vida)

# diferentes sumas de cuadrados
fit1.a <- lm(vida ~ trat*torax, data = dat)
fit1.b <- lm(vida ~ torax*trat, data = dat)
anova(fit1.a) #tipo I
anova(fit1.b)

library(car)
Anova(fit1.a, type = "II")
Anova(fit1.b, type = "II")
Anova(fit1.a, type = "III")
Anova(fit1.b, type = "III")

summary(fit1.a)

# selección del modelo
fit2 <- lm(vida ~ trat + torax, data = dat)
Anova(fit2, type = "II")
fit3 <- lm(vida ~ trat, data = dat)
Anova(fit3, type = "II")

layout(matrix(1:4, 2, 2))
plot(fit3)
layout(1)
```

Ejercicios

1. Se busca un modelo que prediga la biomasa (peso.seco) de las almejas en función de su largo máximo (largo). Debido al ciclo de vida de las almejas, la relación biomasa-largo puede variar a lo largo del año, por lo que se ha tomado el mes de colecta (mes) como covariable. Los datos para el ejercicio se encuentran en el archivo almejas.txt.
2. Se intenta determinar el efecto de la estación (IP= invierno/primavera vs. VO= verano/otoño) y la densidad de adultos (A=8, B=15, C=30, D=45 en 225 cm²) sobre la producción de huevos de bivalvos. Los datos para el ejercicio se encuentran en el archivo bivalvos.txt.

Práctico 4. Modelos lineales múltiples II

Caso 1

Se intenta realizar un modelo que prediga el contenido de azúcar en el néctar en flores de *Salvia polystachia*, a partir de 7 variables morfológicas medidas. Los datos se encuentran en el archivo `s_poly.txt`.

```
# complete la ruta al directorio en ...
dat <- read.table("../s_poly.txt", header = TRUE)

# exploración de los datos
layout(matrix(1:8,2,4))
plot(dat$azucar); plot(dat$largo.l.tot); plot(dat$largo.tubo)
plot(dat$caliz.sup); plot(dat$caliz.med); plot(dat$caliz.inf)
plot(dat$labio.sup); plot(dat$labio.inf)
layout(1)

# exploración bivariada de los datos
pairs(dat)

# Detección de la colinealidad
library(car)

# A) Gráficos SPLOM
scatterplotMatrix(~ largo.l.tot + largo.tubo + caliz.sup + caliz.med +
  caliz.inf + labio.sup + labio.inf, # variables a graficar
  reg.line=lm,                      # añadir rectas de regresión a los gráficos
  smooth=TRUE,                     # añadir curvas suavizadas a los gráficos
  diagonal = 'density',            # gráficos de la diagonal
  data = dat)                      # conjunto de datos

# B) Matrices de correlación
CORR <- cor(dat[, c("largo.l.tot", "largo.tubo", "caliz.sup",
  "caliz.med", "caliz.inf", "labio.sup", "labio.inf")],
  use = "complete.obs")
CORR

# C) Factores de inflación de la varianza
fit <- lm(azucar ~ largo.l.tot + largo.tubo + caliz.sup + caliz.med +
  caliz.inf + labio.sup + labio.inf, data = dat)
vif(fit)

# Decisión: usar el criterio de  $r < 0.7$  y parcialmente los vif,
# descartamos el cáliz inferior y construimos un nuevo modelo

fit2 <- lm(azucar ~ largo.l.tot + largo.tubo + caliz.sup + caliz.med +
  labio.sup + labio.inf, data = dat)
summary(fit2)
anova(fit2)

layout(matrix(1:4, 2, 2))
plot(fit2)
layout(1)
```



```

# revisando su colinealidad nuevamente
vif(fit2)

# Selección de modelos. Best subset selection.
# Construyendo todos los modelos posibles
# (pueden utilizarse forward o backward cambiando el argumento method)

library(leaps)
BS.fit <- regsubsets(azucar ~ largo.l.tot + largo.tubo + caliz.sup +
                    caliz.med + labio.sup + labio.inf, data = dat,
                    method = "exhaustive")
BS.summary <- summary(BS.fit)
BS.summary

plot(BS.summary$cp, xlab = "número de variables", ylab = "Cp", type = "l")
plot(BS.summary$bic, xlab = "número de variables", ylab = "BIC", type = "l")

plot(BS.fit, scale = "Cp")
plot(BS.fit, scale = "bic")

coef(BS.fit, 3)
coef(BS.fit, 1)

# stepAIC (MASS) realiza una búsqueda automática del mejor modelo
library(MASS)
stepAIC(fit2, direction = "both") # para usar AIC

# para usar BIC cambio los grados de libertad de la penalización
n <- nrow(dat)
stepAIC(fit2, direction = "both", k = log(n)) # ajustar el modelo final

# Model averaging. Uso básico de MuMin

library(arm)
library(MuMin)

global <- lm(azucar ~ largo.l.tot + largo.tubo + caliz.sup + caliz.med +
            labio.sup + labio.inf, data = dat, na.action = na.fail)

std.model <- standardize(global, standardize.y = FALSE)

set <- dredge(std.model)
set

top.mod <- get.models(set, subset = delta < 2)
top.mod

AVG <- model.avg(top.mod)
summary(AVG)

# Selección de Modelos. Shrinkage
# Lasso

```

```

library(glmnet)
x <- model.matrix(azucar ~ largo.l.tot + largo.tubo + caliz.sup + caliz.med +
                  labio.sup + labio.inf, data = dat)[,-1]
y <- dat$azucar

lasso.mod <- glmnet(x, y, alpha = 1)
plot(lasso.mod)
coef(lasso.mod, s = 0.1) # ejemplo

# Cross validation.
cv.out <- cv.glmnet(x, y, alpha = 1, nfolds = 10)
plot(cv.out)

cv.out$lambda.min
coef(cv.out, s = "lambda.min")

```

Ejercicios

1. Los datos del archivo Loyn.txt corresponden a un estudio donde la densidad de aves (ABUND) se midió en 56 parches del sur de Victoria, Australia. El objetivo del estudio es determinar cuáles características del hábitat explican esa abundancia. Para ello se midió: tamaño del parche (AREA), distancia al parche más cercano (DIST), distancia al parche grande más cercano (LDIST), altura s.n.m. (ALT), años de aislamiento (YR.ISOL) y un índice de pastoreo (GRAZE). Explorar gráficamente los datos y examinar si las variables AREA, DIST Y LDIST requieren una transformación. Examinar la colinealidad de las variables y seleccionar un modelo adecuado.
2. Los datos del archivo fumadores.txt corresponden a un estudio donde se intenta explicar la capacidad pulmonar en función de dos variables continuas (edad y altura) y dos variables discretas (fumar = si/no; sexo = m/f). Observar cuidadosamente la colinealidad entre las variables (incluyendo las variables discretas).

Práctico 5. Manejo de gráficos y representación gráfica de modelos lineales.

Comandos gráficos básicos

- Comandos gráficos de alto nivel: abren una ventana gráfica y crean un gráfico nuevo completo. Modificando sus opciones es posible cambiar colores, tamaños, tipo de fuente y otras características.
- Comandos gráficos de bajo nivel: agregan más información a un gráfico ya existente, como puntos extra, líneas, funciones y leyendas.
- Comandos gráficos interactivos: permiten agregar o extraer información de un gráfico existente, usando el mouse.

Uso de la función plot.

```
# complete la ruta al directorio en ...
datos <- read.table("../cyclop.txt", header = TRUE)

# UNA VARIABLE
plot(datos$nectario) # gráfico tipo Cleveland
plot(~datos$nectario) # Stripchart

# con los datos ordenados de menor a mayor
plot(sort(datos$nectario))

# cambiando el tipo de gráfico
# probar los diferentes "type": p, l, b, o, h, s, S
plot(sort(datos$nectario), type = "h")

# agregamos una línea horizontal señalando la posición de la media
# usando la función de bajo nivel abline
m.nec <- mean(datos$nectario, na.rm = TRUE)
abline(h = m.nec)

# DOS VARIABLES
plot(datos$nectario, datos$pol.exp)      #forma plot(x,y)
plot(pol.exp ~ nectario, data=datos)    #forma plot(y~x)

# manipulación de los PARAMETROS GRÁFICOS
plot(datos$nectario, datos$pol.exp,
      pch= 16,                          #tipo de símbolo
      col= "blue2",                     #color del símbolo
      xlab= "profundidad del nectario",  #nombre eje x
      ylab= "polinios exportados")      #nombre eje y

# agregando una línea de regresión
fit<-lm(datos$pol.exp ~ datos$nectario)
summary(fit)
abline(fit, lty = 3, lwd = 2)
```

Devices

Colocando `?Devices` obtenemos la lista de formatos gráficos disponibles en R. No todos los formatos son accesibles en todos los sistemas.

Los gráficos pueden guardarse utilizando Export en RStudio. Lo mismo puede hacerse utilizando comandos (veremos los principales) con la ventaja de un control más fino sobre la forma final del gráfico.

```
?Devices

# revisar donde se guardaran los gráficos
getwd()
# puede cambiarse con setwd()

# JPG
jpeg(file = "mi_grafico.jpg",
      width = 12, height = 10, # ancho y alto en lo que indique units
      units = "cm",           # unidades (pixeles por defecto)
      quality = 95,           # grado de no-compresión
      res = 300)               # resolución en puntos por pulgada
plot(pol.exp ~ nectarario, data=datos) # comandos gráficos
dev.off()                        # cerrar el gráfico (importante!!)

# PDF
pdf(file = "mi_grafico.pdf",
    width = 7, height = 6, # ancho y alto en pulgadas (= 2.54cm)
    paper = "a4")          # tamaño del papel, por defecto igual al gráfico
plot(pol.exp ~ nectarario, data=datos) # comandos gráficos
dev.off()                      # cerrar el gráfico

# EPS
postscript(file = "mi_grafico.eps",
            width = 7, height = 6, # ancho y alto en pulgadas (=2.54cm)
            paper = "a4",          # tamaño del papel, por defecto igual al gráfico
            horiz = TRUE)          # horizontal (FALSE) o vertical (TRUE)
plot(pol.exp ~ nectarario, data=datos) # comandos gráficos
dev.off()                              # cerrar el gráfico

# SVG
svg(file = "mi_grafico.svg",
    width = 7, height = 6) # ancho y alto en pulgadas (=2.54cm)
plot(pol.exp ~ nectarario, data=datos) # comandos gráficos
dev.off()                              # cerrar el gráfico
```

Otros gráficos sencillos con variables continuas.

```
# histogramas
hist(datos$nectario, col = "orange1", main= "histograma",
      xlab = "nectario", ylab = "frecuencia")

# QQplots
qqnorm(datos$nectario)
```

División de la ventana gráfica.

```
# Básica con la función layout
layout(matrix(1:4, 2, 2))
hist(datos$nectario, col= "#CAFF70")
hist(datos$flores, col= "#BCEE68")
hist(datos$frutos, col= "#A2CD5A")
hist(datos$pol.exp, col= "#6E8B3D")
layout (1)

# Por defecto, layout() divide el dispositivo en dimensiones regulares:
# esto se puede modificar con las opciones widths y heights.
m <- matrix(1:4, 2, 2)
layout(m, widths=c(1, 2),
heights = c(2, 1))
layout.show(4)
hist(datos$nectario, col = "#CAFF70")
hist(datos$flores, col = "#BCEE68")
hist(datos$frutos, col = "#A2CD5A")
hist(datos$pol.exp, col = "#6E8B3D")
layout(1)

# división de la ventana usando las opciones de par
par(mfrow = c(2, 2))
hist(datos$nectario, col = "#CAFF70")
hist(datos$flores, col = "#BCEE68")
hist(datos$frutos, col = "#A2CD5A")
hist(datos$pol.exp, col = "#6E8B3D")

par(mfcol = c(1, 4))
hist(datos$nectario, col = "#CAFF70")
hist(datos$flores, col = "#BCEE68")
hist(datos$frutos, col = "#A2CD5A")
hist(datos$pol.exp, col = "#6E8B3D")

# cerrar la ventana gráfica para desactivar par o
par(mfcol=c(1,1)) # deshacer lo anterior

# revisar las opciones gráficas de par
?par
```

Gráficos de cajas.

```
# complete la ruta al directorio en ...
peces <- read.table("../peces.txt", header = TRUE)
peces$Species <- as.factor(peces$Species)

# dos formas alternativas de hacer box-plots
plot(peces$Species, peces$Weight)
boxplot(Weight ~ Species, data = peces, col = "light blue")
```

Interacciones entre variables categóricas.

```
# complete la ruta al directorio en ...
bival <- read.table("../bivalvos.txt", header = TRUE)

# modelo
fit <- lm(huevos ~ densidad*estacion, data = bival)
anova(fit)

library(sciplot)

# GRÁFICOS DE BARRAS
bargraph.CI(x.factor = densidad, # factor (eje x)
            response = huevos,   # respuesta (eje y)
            group = estacion,    # factor optativo (distintos colores)
            legend = TRUE,
            data = bival)

# GRAFICOS DE INTERACCIÓN
lineplot.CI(x.factor = densidad, response = huevos, group = estacion,
            data = bival, legend = TRUE,
            col = c("red", "black"), # modificación de varios parámetros
            pch = c(1,20),
            xlab = "densidad",
            ylab = "número de huevos",
            trace.label = "estación")
```

Gráficos a partir de predichos.

```
# complete la ruta al directorio en ...
datos <- read.table("../cyclop.txt", header = TRUE)

fit.c <- lm(pol.exp ~ flores + I(flores^2), data = datos)
summary(fit.c)

# A partir de los coeficientes
B <- coef(fit.c)
o <- order(datos$flores) # obtenemos el orden de x
Y1 <- B[1] + B[2]*datos$flores[o] + B[3]*datos$flores[o]^2
plot(datos$flores, datos$pol.exp)
points(datos$flores[o], Y1, type = "l")

# A partir de los predichos.
Y2 <- predict(fit.c, datos[o, ]) # los datos originales pueden reemplazarse
plot(datos$flores, datos$pol.exp)
points(datos$flores[o], Y2, type = "l")

# A partir de los predichos, con un set de datos nuevo y "suave"
FLO2 <- seq(min(datos$flores, na.rm = TRUE), # desde el mínimo
            max(datos$flores, na.rm = TRUE), # hasta el máximo
            length.out = 200)               # nueva longitud
Y3 <- predict(fit.c, newdata = data.frame(flores=FLO2))
```

```
plot(datos$flores, datos$pol.exp)
points(FLO2, Y3, type = "l")
```

Interacciones de variables continuas: superficies.

Se necesitan datos uniformemente espaciados para construir superficies. Existen alternativas no paramétricas que “suavizan” los datos para darnos una idea mejor de la forma “real” de una superficie, en este caso lo haremos “a mano” usando un modelo lineal.

```
# complete la ruta al directorio en ...
datos <- read.table("../cyclop.txt", header = TRUE)

fit <- lm(formula = pol.exp ~ flores * nectarario + I(flores^2) + I(nectarario^2), data = datos)

r.nec <- range(datos$nectario, na.rm = TRUE)
NEC <- seq(r.nec[1], r.nec[2], length.out = 100)
r.flo <- range(datos$flores, na.rm=T)
FLO <- seq(r.flo[1], r.flo[2], length.out = 100)

# Construcción de una grilla
grilla <- expand.grid(flores=FLO, nectarario=NEC)

# predicción del eje Z
Z1<-predict(fit, newdata = grilla)
Z2<-matrix(Z1, 100, 100)
# GRAFICOS 3 D: DISTINTAS OPCIONES

# 2D, con curvas de nivel (tipo "mapa topografico")
contour(x=FLO, y=NEC, z=Z2, col = "Black")

# 2D, con un gradiente de color y curvas de nivel
filled.contour(x=FLO, y=NEC, z=Z2, color = rainbow)

# crear paletas de color
grises <- grey(seq(0, 1, 0.1)) # 10 tonos de gris
varios <- rainbow(10, start=0.1, end=0.5)

# 2D, con un gradiente de color y sin curvas de nivel
image(x = FLO, y = NEC, z = Z2, col = grises)

# Superposición de image, contour y points
image(x=FLO, y=NEC, z=Z2, col = varios, xlab = "número de flores", ylab = "nectario")
contour(x = FLO, y = NEC, z = Z2, col = "red", add = TRUE)
points(x = datos$flores, y = datos$nectario, col = "red", pch = 19)

# 3D, con rejilla y en perspectiva
persp(x = FLO, y = NEC, z = Z2)

# manejo de los parámetros gráficos (sólo algunos)
persp(x = FLO, y = NEC, z = Z2,
      border = "slateblue4",      # border: color de la rejilla
      col = "aquamarine2",        # col: color de la superficie
```

```

xlab = "número de flores",    # xlab, ylab, zlab: etiquetas ejes
ylab = "nectario",
zlab = "polinarios",
theta = -45,                  # theta: ángulo de giro horizontal
phi = 20,                     # phi: ángulo de rotación vertical
ticktype = "detailed"        # para que ponga el valor de los ejes
) -> res                      # guardo la "forma" del gráfico

# agregar de los puntos observados con la funcion trans3d
pru<-trans3d(x = datos$flores, y = datos$nectario, z = datos$pol.exp, pmat = res)
points(pru, col = "royalblue4", pch = 20)

```

Ejercicios

1. Usar los datos de s_poly.txt para hacer gráficos bivariados, utilizar comandos gráficos de bajo nivel para darle colores y cambiar los símbolos y agregar una recta de regresión. Guarde el gráfico obtenido como pdf.
2. Represente gráficamente el resultado del ejercicio 2 del práctico 2: Determinar si existen diferencias en el peso de pecaríes según el mes de su captura: febrero, mayo, agosto y noviembre, con los datos del archivo pecaries.txt.

Práctico 6. Otros paquetes gráficos: *lattice* y *ggplot2*.

Gráficos del paquete *lattice*.

El paquete *lattice* ofrece flexibilidades especiales para representar interacciones y particularmente datos multivariados. Sus funciones son independientes de las funciones gráficas principales y se caracterizan por tener una gramática ligeramente distinta.

```
library(lattice)

# complete la ruta al directorio en ...
fum <- read.table("../fumadores.txt", header=T)

# gráficos bivariados
# Notar que ingresar los datos como una fórmula es más eficiente
xyplot(ca.pulm ~ alt, data = fum)
xyplot(ca.pulm ~ alt | edad, data = fum)
xyplot(ca.pulm ~ alt | fuma, data = fum)
xyplot(ca.pulm ~ alt | fuma*sexo, data = fum)
xyplot(ca.pulm ~ alt, groups = fuma, data = fum)

# ayuda de la funcion básica xyplot
?xyplot

# manipular alguna de sus opciones...
xyplot(ca.pulm ~ alt, groups = fuma, data = fum, xlab = "altura",
       ylab = "capacidad\npulmonar", col = c("red", "black"), pch = 19,
       lwd = 2, key = list(text = list(c("no fumadores", "fumadores")),
                           space = "bottom",
                           points = list(pch = 19, col = c("red", "black"))))

# GRÁFICOS DE CAJAS
bwplot(ca.pulm ~ fuma | sexo, data = fum)

# HISTOGRAMAS Y DIAGRAMAS DE DENSIDAD
histogram(~ ca.pulm, data = fum)
densityplot(~ ca.pulm | fuma, data = fum)
```

Gráficos del paquete *ggplot2*

Este paquete ofrece gráficos elegantes e intuitivos. Sin embargo, su escritura posee una gramática propia (una especie de “dialecto” dentro de R), por lo que requiere cierto tiempo hasta lograr su aprendizaje. La ayuda básica para *ggplot2* puede hallarse en la página <http://ggplot2.tidyverse.org/reference/>. Un gráfico de *ggplot2* debe contar de al menos estos tres elementos:

- * *ggplot*: función principal donde se especifica el set de datos y se crea el gráfico.
- * *aes*: Especifica las variables y además colores, forma, transparencia, tipo de línea, etiquetas de los ejes, etc.
- * *geoms*: objetos geométricos como puntos, barras, líneas, etc. En la práctica indica el tipo de gráfico a realizar.

```
library(ggplot2)

# complete la ruta al directorio en ...
fum <- read.table("../fumadores.txt", header=T)
```

```

ggplot(data = fum, aes(x = edad, y = ca.pulm)) + geom_point()

# notar como los gráficos se van acumulando
g1 <- ggplot(data = fum, aes(x = edad, y = ca.pulm))
g2 <- g1 + geom_point()
g2

# modificando algunos detalles comunes
g1 <- ggplot(data = fum, aes(x = edad, y = ca.pulm, color = fuma))
g2 <- g1 + geom_point(size=3, aes(shape=sexo))
g3 <- g2 + xlab("Edad")
g4 <- g3 + ylab("Capacidad Pulmonar")
g5 <- g4 + theme_bw()
g5

# modificando los colores
g1 <- ggplot(data = fum, aes(x = edad, y = ca.pulm, color = fuma))
g2 <- g1 + scale_colour_manual(values=c("red", "black"))
g3 <- g2 + geom_point(size=3)
g3

# modificando los colores con una escala continua
g1 <- ggplot(data = fum, aes(x = edad, y = ca.pulm, color = alt))
g2 <- g1 + geom_point(size=3)
g2

# modificando tamaños con una escala continua
g1 <- ggplot(data = fum, aes(x = edad, y = ca.pulm, size = alt, color = fuma))
g2 <- g1 + geom_point()
g2

# Faceting (división de la ventana gráfica como en lattice)
g1 <- ggplot(data = fum, aes(x = edad, y = ca.pulm, color = fuma))
g2 <- g1 + geom_point(size=3) + theme_bw()
g3 <- g2 + facet_grid(. ~ sexo)
g3

g1 <- ggplot(data = fum, aes(x = edad, y = ca.pulm, color = fuma))
g2 <- g1 + geom_point(size = 3) + theme_bw()
g3 <- g2 + facet_grid(fuma ~ .) + scale_color_manual(values = c("red", "blue"))
g3

# agregar líneas de regresión
g1 <- ggplot(data = fum, aes(x = edad, y = ca.pulm, color = fuma))
g2 <- g1 + geom_point(size = 3) + theme_bw()
g3 <- g2 + geom_smooth(method = "lm")
g3

# gráficos de cajas
g1 <- ggplot(data = fum, aes(x = fuma, y = ca.pulm))
g2 <- g1 + geom_boxplot()
g2

```

```
# histogramas
g1 <- ggplot(data = fum, aes(x = ca.pulm))
g2 <- g1 + geom_histogram(fill="red")
g2
```

Ejercicios

1. Utilizar los datos de turnera.txt para hacer una regresión con dummy para el polen.tot en función del morfo y del área del pétalo. Representar los resultados utilizando lattice (sin líneas de regresión).
2. Utilizando los mismos datos realice gráficos de densidad para la altura del estambre (alt.estambre) según el morfo, utilizando lattice y ggplot2.
3. Utilizar los datos de Bahamas2.txt para construir una superficie en la cual el logaritmo de la densidad del pez loro (Parrot) se encuentre en función de la riqueza de especies de coral (CoralRichness) y de la cobertura de coral (CoralTotal).

Práctico 7. Construyendo Rutinas

El objetivo de este trabajo es practicar la escritura de una rutina, la cual debe incluir el ingreso de datos, la carga de paquetes (en caso de ser necesario), la modificación de variables (en caso de ser necesario), exploración gráfica de los datos, planteo de diferentes modelos, comprobación de supuestos y el modelo final elegido. Utilizaremos RStudio para construir la rutina, la cual guardaremos con la extensión .R.

Luego utilizaremos el mismo programa para construir un documento R Markdown, el cual combina la naturaleza de una rutina de R con la habilidad de generar un documento que presente los resultados del análisis (el manual de este curso está construido de esta forma). Para esto, en R Studio seleccione New file - R Markdown. En output format, elija HTML (para pdf es necesario instalar algunos programas extra en la computadora). Se abrirá un documento auto-explicado, solo es necesario reemplazar su contenido por el contenido deseado. Al finalizar, haga click en el ícono de “Knit HTML”. La ayuda general de R Markdown puede encontrarse en [aquí](#).

Markdown es un lenguaje ligero, entendible en forma directa, y editable con cualquier editor de textos, que permite su traducción a otros lenguajes para dar documentos que se utilizarán como páginas web, pdf. Su integración con R permite realizar reportes dinámicos, presentaciones, páginas web, etc. Los materiales de este curso están escritos íntegramente en RMarkdown y Github Flavored Markdown. Markdown fue creado por John Gruber y el activista Aaron Swartz.

Ejercicio 1. Nereis.txt

Identificar el efecto de la densidad de especies y del tipo de nutriente que estas reciben sobre la concentración de sólidos solubles en el bentos marino. Las variables incluidas son: concentration: concentración de sólidos solubles. biomass: densidad del poliqueto Nereis diversicolor. nutrient: tipo de nutriente (1= NH₄-N, 2=PO₃-P, 3= NO₃-N).

Ejercicio 2. Sparrows2.txt

Modelar el número de gorrones de las marismas en función de varias variables que describen la cobertura de distintas especies de plantas. La variable respuesta es banded (número de gorrones), las variables de cobertura son Avgmaxht, Avgdens, ht.thatch, S.patens, Distichlis, S.alternifloraShort, S.alternifloraTall, Juncus, Bare, Other, Phragmites, Shrub, Tallsedge, Water.

Ejercicio 3. Sparrows3.txt

Probar si la relación entre la longitud del ala y el peso en ejemplares de gorrión varía de acuerdo al mes de muestreo y al sexo. Las variables de importancia son: wingcrd: longitud del ala wt: peso Month: mes sex: sexo

Práctico 8. Programación y construcción de funciones

Introducción

Las herramientas de programación en R son usadas con dos fines principales:

- * Construir funciones que realicen tareas no contempladas en un paquete de R, o combinar funciones existentes para dar origen a otras nuevas.
- * Reducir el número de operaciones que debe realizar el operador humano, por ejemplo al hacer simulaciones o al aplicar una misma función a numerosos sets de datos.

Construcción de funciones.

Se realiza mediante la función *function*. Esta función requiere de dos grupos de argumentos: aquellos sobre los cuales esa función actuará (los datos, parámetros a usar, etc.) que se introducen entre paréntesis, y las operaciones a realizar con esos argumentos, que se introducen entre llaves.

Caso 1.

El índice de diversidad de Shannon para un sitio se define por la fórmula

$$H' = - \sum p_i \ln(p_i)$$

Donde S es el número de especies, n_i es el número de individuos de la especie i , N es el número total de individuos en el sitio y p_i es, por tanto, la abundancia relativa de cada especie. Primero mostraremos el desarrollo para calcular H' en un conjunto de datos consistentes en un vector donde cada valor corresponde al número de individuos de una especie diferente. Luego, construiremos una función para que la fórmula utilice cualquier set de datos.

```
DAT <- c(13, 2, 4, 0, 36, 3, 2, 7, 1, 11) # datos originales (inventados)
dat <- (DAT[DAT>0])                       # elimino los 0 (por los log)
N <- sum(dat)                             # total de individuos
p <- dat/N                                # abundancias relativas
H <- -sum(p*log(p))
H                                          # resultado

# construcción de la función
# notar las similitudes y diferencias con los pasos de arriba.
shann <- function(x) {
  z <- (x[x>0])
  N <- sum(z)
  p <- z/N
  H <- -sum(p*log(p))
  H                                     # la última línea es lo que mostrará la función
}

# probamos la función con el set de datos original
shann(DAT)

# probamos la función con el otro set de datos
Y <- c(67, 8, 1, 6, 8, 5, 9, 7, 10, 1, 0, 1, 2, 0, 2, 1)
shann(Y)
```

Funciones de simulación y muestreo.

En muchos casos en estas rutinas usamos datos simulados utilizando, por ejemplo, *rnorm*. Estas funciones forman una familia donde la primera letra informa si son una distribución de probabilidad (p), de densidad (d) o una muestra al azar (r) y la segunda parte informa sobre la distribución (norm = normal, unif = uniforme, poiss = poisson, etc.).

```
# simulación de datos
X <- rnorm(100, mean = 4, sd = 0.5)
hist(X)

# probabilidad de observar el valor z < 5.4 bajo la distribución simulada arriba
pnorm(5.4, mean = 4, sd = 0.5)

# valor del percentil 75 bajo la misma distribución
qnorm(0.75, mean = 4, sd = 0.5)
```

Por otra parte, la función básica de muestreo en R es *sample*. En el caso de que queramos que otro usuario obtenga exactamente los mismos resultados que nosotros en una simulación debemos fijar la “semilla” con *set.seed()*.

```
# Exploración de las utilidades de sample
AA <- c(1:10)
AA

# sólo cambio el orden: permutación
sample(AA, size = 10, replace = FALSE)

# muestreo aleatorio sin remplazo
sample(AA, size = 5, replace = FALSE)

# muestreo aleatorio con remplazo
sample(AA, size = 5, replace = TRUE)

# idem, pero de igual n que la muestra original, base del bootstrap
sample(AA, size = 10, replace = TRUE)

?sample
```

Programación con R

Una ventaja de R es la posibilidad de programar una serie de análisis para que se ejecuten de manera sucesiva, sin necesidad de muchos conocimientos técnicos sobre programación, ya que el lenguaje de R es comparativamente sencillo. Una manera de realizar una serie de funciones repetitivas es mediante bucles (“loops”). Las principales funciones que realizan bucles son *for* e *if*. Para evitar realizar bucles pueden utilizarse las funciones de la serie *apply*.

for posee la estructura general: para (cada elemento en un vector) {realizar x acción}. Si necesitamos que los resultados de la acción sean guardados, es necesario crear un vector vacío antes de ejecutar la función y luego rellenarlo con el resultado del bucle.

```
Dat <- runif(1000)
vec <- numeric(length=50)
vec                                     # vector vacío antes del loop
for(i in 1:50) {vec[i] <- mean(sample(Dat, 20))}
```

```
vec                                # vector luego de aplicar el loop
plot(density(vec))                 # teorema central del límite
```

if agrega una condición: si (condición) entonces hacer X, en caso contrario hacer Y.

```
# construir una distribución normal truncada
X1 <- rnorm(1000, mean= 3, sd=5)
X2 <- numeric(1000)
for (i in 1:1000) if (X1[i] < 0) X2[i] <- NA else X2[i] <- X1[i]
hist(X2)
```

apply aplica una función a las columnas o filas de una matriz. Por ejemplo, para obtener la media de cada columna de una matriz de 5 columnas y 40 filas, con números generados al azar desde una distribución normal. Existen funciones similares como *lapply*, *tapply*, *sapply* (ver ayuda de la función *apply* para conocer la utilización de cada una).

```
m <- rnorm(200)
X <- matrix(m, 40, 5)

apply(X, 2, mean)
apply(X, 1, mean)
```

Siempre que sea posible, es preferible aplicar una función *apply* (o álgebra sencilla) en vez de un bucle hecho con *for*.

```
# ejemplo 1
A <- c(8, 23, 11, 10)
B <- c(15, 3, 2, 1)

# con loop (MAL)
C <- numeric(4)
for(i in 1:4) C[i] <- A[i] + B[i]
C

# vectorizado (BIEN)
C <- A + B
C

# ejemplo 2
m <- rnorm(200)
X <- matrix(m, 40, 5)

# con loop (MAL)
med <- numeric(5)
for(i in 1:5) med[i] <- mean(X[, i])
med

# vectorizado (BIEN)
med<-apply(X, 2, mean)
med
```

Ejercicios

- Construir una función que calcule el error estándar (SE) de la media y calcularlo para todas las variables en el archivo `s_poly.txt` (guardándolos en un solo vector).

$$S.E. = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

2. Utilizando la siguiente tabla de presencia/ausencia de especies en dos sitios.

Especie	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
Sitio 1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
Sitio 2	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1

Construir una función para calcular el índice de Sørensen para datos de presencia/ausencia, según la fórmula

$$Q_s = \frac{2C}{A + B}$$

Donde A y B es el número de especies de los sitios 1 y 2, respectivamente, y C es el número de especies compartidas por los sitios 1 y 2. Probar la eficacia de la función con otro set de datos.

3. Simule una población de 1000 observaciones donde dos variables (X e Y) se encuentren relacionadas de forma que $Y = 0,1 + 2,5X + 0,3X^2 + \epsilon$ donde ϵ es un error de distribución normal y varianza = 0.7. Luego genere un gráfico, divida la población al azar en dos grupos (*training* y *test*), ajuste un modelo a los datos de *training* y use el modelo para predecir los valores de Y en los datos de *test*. Calcule la suma de cuadrados de los residuos de la predicción.

Práctico 9: Modelos Randomizados y Modelos Nulos

Caso 1. Modelos lineales randomizados

Se intenta conocer si la cantidad de grasa en la leche de vaca es influida por su raza (Ayrshire, Canadian, Guernsey, Holstein-Fresian o Jersey). Se plantea en primer lugar un modelo lineal general. Ante la violación de los supuestos del modelo se realizará un modelo randomizado construyendo una tabla ad-hoc de pseudo-F.

```
# complete la ruta al directorio en ...
vacas <- read.table("../vacas.txt", header = TRUE)

fit <- lm(fat ~ breed, data = vacas)
summary(fit)
anova(fit)
layout(matrix(1:4, 2, 2))
plot(fit) # examinar violación de supuestos
layout(1)

# Guardar las F observadas
Fobs <- anova(fit)[1, 4]
Fobs

# construir una function que repita los pasos del modelo
rd.aov <- function(Y, X){
  s.Y <- sample(x = Y, size = length(Y), replace = F) # "reshuffling"
  fit <- lm(s.Y ~ X)                                # modelo lineal
  res <- anova(fit)[1, 4]                             # extracción de las F
  c(res)                                               # mostrar: un vector de F
}

# Probar la función varias veces (debe dar distinto resultado)
rd.aov(Y = vacas$fat, X = vacas$breed)
rd.aov(Y = vacas$fat, X = vacas$breed)
# Realizar réplicas para obtener la distribución de pseudo F
pseudoF <- replicate(1000, rd.aov(Y = vacas$fat, X = vacas$breed))
PF <- t(pseudoF) # transposición para que cada F quede en una columna

# histograma para ver los resultados simulados y los observados
hist(PF)
abline(v = Fobs, col = "red")

hist(PF, xlim=c(0, 51))
abline(v = Fobs, col = "red")

# valores P
P.breed <- length(PF[PF >= Fobs]) / length(PF)
P.breed
# como nuestra simulación llegó hasta mil
# no podemos asegurar que sea 0, sino  $P < 0.001$ 
```

Caso 2: Un Monte Carlo sencillo

Se intenta probar si la distribución espacial de árboles en un área de 4 km² se aparta de una distribución aleatoria uniforme.

```
# complete la ruta al directorio en ...
esp <- read.table("../espMC.txt", header = TRUE)
plot(y ~ x, data=esp)

# calcular las distancias euclídeas entre las filas de la base de datos
# como parámetro observado se elige la media de todas las distancias

Dobs<-mean(dist(esp))      # revisar la ayuda de la función dist
Dobs

# Realizamos una simulación de la distribución de los árboles según una
# distribución uniforme
X.azar <- runif(n = nrow(esp), min = 0, max = 2)
Y.azar <- runif(n = nrow(esp), min = 0, max = 2)
plot(X.azar, Y.azar)
Dazar <- mean(dist(cbind(X.azar, Y.azar)))
Dazar

# Repetimos la simulación 1000 veces y guardamos los resultados
Ds <- numeric(length(1000))
for (i in 1:1000) {
  X.azar <- runif(n=24, min=0, max=2)
  Y.azar <- runif(n=24, min=0, max=2)
  Ds[i] <- mean(dist(cbind(X.azar, Y.azar)))
}

# visualizamos los resultados con un histograma
hist(Ds)
abline(v = Dobs, col = "red")
# calcular el valor P
P <- length(Ds[Ds < Dobs]) / length(Ds)
P
```

Ejercicios

1. Los datos del archivo nidos.txt contienen la cantidad de nidos de cierta especie de ave (nidos) presentes en árboles de diferentes diámetros (diametros) en 3 sitios diferentes (sitio).
 - Realizar el modelo lineal correspondiente para probar la existencia de un efecto del sitio y del diámetro del árbol sobre la cantidad de nidos (añadir interacción).
 - Realizar diagnósticos y discutir si se cumplen los supuestos de un modelo lineal.
 - Aplicar un modelo lineal randomizado.
2. El test de Mantel es utilizado para evaluar la asociación entre dos matrices de distancia (por ejemplo distancia genética y distancia geográfica) calculando la asociación entre dos matrices y comparando esta medida observada con la esperada por azar. La asociación entre matrices se calcula utilizando la correlación pareada entre los elementos de las matrices. Dado que las matrices X e Y son simétricas se utiliza solamente la mitad de ellas (arriba o abajo de la diagonal), esta mitad puede obtenerse por indexación. Obtener la asociación observada robs entre las dos matrices de distancia de los archivos

yanomamaGEN y yanomamaGEO, correspondientes a las matrices de distancia geográfica y genética entre 19 aldeas Yanomama en Brasil. Realizar una randomización para obtener pseudo-valores de **r** y obtener su distribución. Probar si **r_obs** es significativa.

```
# la mitad superior de la matriz X es  
X[col(X) > row(X)]
```

3. Hall et al. (Evolution (2008) 62-9: 2305–2315) proponen un test mediante permutaciones para conocer si existen diferencias significativas entre la oportunidad para la selección (I) masculina y femenina que actúan en una población. Hacer este test utilizando los datos de cyclopogon sabiendo que:
 - La oportunidad de la selección (I) se define como la varianza del éxito reproductivo.
 - Las medidas de éxito femenino y masculino son frutos y pol.exp.

Tips

Existen funciones para realizar el test de Mantel en el paquete *vegan*, puede confirmar su resultado consultándolas). Hay alternativas a este test más recomendables, por ejemplo *protest* en el mismo paquete *vegan*.

Para realizar el ejercicio 3 la base de datos debe ser reordenada para agregar una variable de clasificación en masculino y femenino.

#Práctico 10: Bootstrap.

##Caso1 Se aplicará un bootstrap para establecer los intervalos de confianza de los coeficientes de regresión de un modelo lineal entre el éxito reproductivo de *Turnera ulmifolia* L. (medido como número de semillas) y características de sus flores (número de flores, producción de néctar y tamaño medio de la corola).

```
# complete la ruta al directorio en ...
ulm <- read.table("../ulmifolia.txt", header = TRUE)

reg <- lm(semillas ~ flores + nectar + tamano, data = ulm)
summary(reg)

layout(matrix(1:4, 2, 2))
plot(reg)
layout(1)

# Guardamos los coeficientes observados
Bobs <- reg$coeff
Bobs

# BOOTSTRAP
library(boot)

# PASO 1: crear una función para "bootstrapear"
REG <- function(datos, indices) {
  newdata <- datos[indices, ] #sobre esta línea actuará la función boot
  fit <- lm(semillas ~ flores + nectar + tamano, data = newdata)
  fit$coeff
}

# PASO 2: el bootstrap en sí
?boot

boot.reg <- boot(ulm, REG, 9999)
boot.reg
summary(boot.reg)

# histograma de los resultados
layout(matrix(1:4, 2, 2))
hist(boot.reg$t[, 1])
abline(v = Bobs[1], col="red")
hist(boot.reg$t[, 2])
abline(v = Bobs[2], col="red")
hist(boot.reg$t[, 3])
abline(v = Bobs[3], col = "red")
hist(boot.reg$t[,4])
abline(v = Bobs[4], col = "red")
layout(1)

## PASO 3: intervalos de confianza
?boot.ci # examinar la ayuda

# prueba, los 5 intervalos distintos que calcula R
int3.95<-boot.ci(boot.reg, conf = 0.90, type = "all", index = 3)
int3.95
```

```

# Examinamos que el intervalo de confianza NO incluya al 0
# (nos salteamos la significancia de la ordenada al origen)
# intervalos para la pendiente de "flores"
int2.90 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.90, type = "bca", index = 2)
int2.95 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.95, type = "bca", index = 2)
int2.99 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.99, type = "bca", index = 2)
int2.999 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.999, type = "bca", index = 2)

int2.90
int2.95
int2.99
int2.999

# intervalos para la pendiente de "nectar"
int3.90 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.90, type = "bca", index = 3)
int3.95 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.95, type = "bca", index = 3)
int3.99 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.99, type = "bca", index = 3)
int3.999 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.999, type = "bca", index = 3)

int3.90
int3.95
int3.99
int3.999

# intervalos para la pendiente de "tamaño"
int4.90 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.90, type = "bca", index = 4)
int4.95 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.95, type = "bca", index = 4)
int4.99 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.99, type = "bca", index = 4)
int4.999 <- boot.ci(boot.reg, conf = 0.999, type = "bca", index = 4)

int4.90
int4.95
int4.99
int4.999

# PASO 4: Un plot de diagnóstico: el jack.after.boot
# influencia de las observaciones individuales sobre la pendiente de
# "flores"
jack.after.boot(boot.reg, index = 2)

# ídem sobre la pendiente de "néctar"
jack.after.boot(boot.reg, index = 3)

# ídem sobre la pendiente de "tamaño"
jack.after.boot(boot.reg, index = 4)

# la línea horizontal es una medida de la influencia de cada observación
# la línea vertical presenta los percentiles 5, 10, 16, 50, 84, 90 y 95 de
# la distribución del coeficiente

# Otro plot de diagnóstico alternativo puede realizarse con plot
# esto nos puede ayudar a decidir el tipo de intervalo

```

```
plot(boot.reg, index = 2, jack = T)
plot(boot.reg, index = 3, jack = T)
plot(boot.reg, index = 4, jack = T)
```

##Ejercicios

1. El número de ramas y el número de semillas en `ulmifolia.txt` no son variables de distribución normal. Obtenga intervalos de confianza del 95% utilizando bootstraps para el índice de correlación (r de Pearson) entre estas 2 variables. Comparar los resultados con el intervalo de confianza obtenido de aplicar la función `cor.test`, que asume normalidad de las variables.
2. Utilice un bootstrap para calcular un intervalo de confianza para el índice de diversidad de Shannon, obtenido en el práctico 8.