

Notas de Programación en R

Rubén Fernández Casal (rubenfcasal@gmail.com)

Edición: Marzo de 2023. Impresión: 2023-03-31

Índice general

Prólogo	5
1 Introducción	7
1.1 Organización	8
I El entorno estadístico R	13
2 El lenguaje R	15
2.1 Paquetes	15
2.2 Funciones	17
2.3 Programación orientada a objetos (funciones genéricas)	18
2.4 Desarrollo de funciones y paquetes	20
3 Generación de informes	23
3.1 RMarkdown	23
3.2 Sintaxis de Markdown	24
3.3 Inclusión de código R	24
3.4 Tablas	27
3.5 Cabecera YAML	28
3.6 Extracción del código R	29
3.7 Spin	29
3.8 Extensiones RMarkdown de pandoc	30
II Tidyverse	33
4 El ecosistema tidyverse	35
4.1 Operador <i>pipe</i> (redirección)	36
5 Manipulación de datos con dplyr y tidyr	39
5.1 El paquete dplyr	39
5.2 Operaciones con variables (columnas)	40
5.3 Operaciones con casos (filas)	41
5.4 Herramientas tidyr	43
5.5 Operaciones con tablas de datos	43
5.6 Bases de datos con dplyr	43
Referencias	49
Bibliografía por temas	49
Enlaces	50
A Pandoc	53
A.1 Conversión de documentos con Pandoc	53
A.2 Pandoc y RMarkdown	54

Prólogo

Este es un libro, *en proceso de elaboración*, con notas personales sobre programación en R para el análisis de datos, en el que incluyen referencias a información y recursos adicionales (se asumen unos conocimientos básicos de R). El contenido está sesgado por la experiencia personal (es mi forma de programar en R) pero puede resultar útil para otras personas. Cualquier sugerencia de mejora o comentario será bien recibido.

Este libro ha sido escrito en R-Markdown empleando el paquete `bookdown` y está disponible en el repositorio Github: `rubenfcasal/book_notasr`. Se puede acceder a la versión en línea a través del siguiente enlace:

https://rubenfcasal.github.io/book_notasr.

donde puede descargarse en formato pdf.

Para seguir los ejemplos mostrados en el libro (en la carpeta ejemplos se incluyen algunos ejemplos adicionales) se recomienda tener instalados los siguientes paquetes (realmente no se emplean todos): `Rcmdr`, `caret`, `tidymodels`, `tidyverse`, `openxlsx`, `DT`, `rmarkdown`, `knitr`, `remotes`, `devtools`. Por ejemplo mediante los siguientes comandos:

```
pkgs <- c("Rcmdr", "caret", "tidymodels", "tidyverse", "openxlsx", "DT",  
          "rmarkdown", "knitr", "remotes", "devtools")  
install.packages(setdiff(pkgs, installed.packages()[,"Package"]), dependencies = TRUE)
```

(puede que haya que seleccionar el repositorio de descarga, e.g. *Oficina de software libre (CIXUG)*).

El código anterior no reinstala los paquetes ya instalados, por lo que podrían aparecer problemas debidos a incompatibilidades entre versiones (aunque no suele ocurrir, salvo que nuestra instalación de R esté muy desactualizada). Si es el caso, en lugar de la última línea se puede ejecutar:

```
install.packages(pkgs, dependencies = TRUE) # Instala todos...
```

Para generar el libro (compilar) serán necesarios paquetes adicionales, para lo que se recomendaría consultar el libro de “Escritura de libros con bookdown” en castellano.

Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0 Internacional (esperamos poder liberarlo bajo una licencia menos restrictiva más adelante...).



Capítulo 1

Introducción

Como aparece en el prólogo, estos apuntes contienen recomendaciones y notas personales sobre programación en R para el análisis de datos, en el que incluyen referencias a información y recursos adicionales que considero de interés. Se tratará de mostrar una forma de llevar a cabo las distintas tareas que pueden surgir en el análisis de datos empleando R, esto no quiere decir que sea la mejor forma de hacerlo o la más cómoda (que dependerá de cada persona).

En estas notas *se asumen unos conocimientos básicos de R*, un lenguaje de programación (interpretado) y un entorno estadístico desarrollado específicamente para el análisis estadístico. Puede ser una herramienta de gran utilidad a lo largo de todo el proceso de obtención de información a partir de datos (ver Figura 1.1).

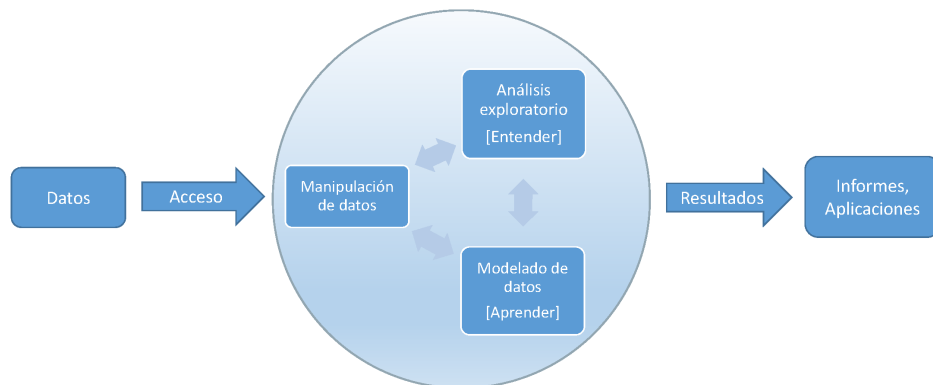


Figura 1.1: Etapas del proceso

Para una introducción a la programación en R se puede consultar el libro:

Fernández-Casal R., Roca-Pardiñas J., Costa J. y Oviedo-de la Fuente M. (2022). *Introducción al Análisis de Datos con R* (github).

Adicionalmente, en este post se incluyen enlaces a recursos adicionales, incluyendo libros y cursos, que pueden ser útiles para el aprendizaje de R.

El primer paso es la instalación de R, para ello se recomienda seguir los pasos en este post.

Para el desarrollo de código e informes la recomendación es emplear *RStudio Desktop*, que se puede instalar y configurar siguiendo las indicaciones en este post. También puede resultar de interés consultar:

- RStudio IDE Cheat Sheet (menú de RStudio *Help* > *Cheat Sheets* > *RStudio IDE Cheat Sheet*).
- Using the RStudio IDE.

Sin embargo, en ciertos casos puede ser recomendable ejecutar el código R directamente desde una ventana de comandos (por ejemplo para ejecutar varios programas de forma simultánea en distintos directorios de trabajo o si los requerimientos computacionales son grandes). En mi caso, cuando trabajo en Windows, acostumbro a emplear el explorador para situarme en el directorio donde quiero ejecutar código y abrir una ventana de comandos, escribiendo `cmd` en el cuadro superior donde se muestra la ruta. Posteriormente, como añadí en directorio de instalación de R al *path* (ver post), ejecuto¹ R y finalmente un comando de la forma:

```
source("mi_script.R", echo = TRUE, encoding = "UTF-8") # UTF-8 importante en R < 4.2
```

1.1 Organización

Para la organización de archivos (datos, código, informes...) lo recomendable es emplear un directorio con la estructura adecuada.

Dependiendo del objetivo puede interesar emplear un proyecto de RStudio (menú *File > New project...*). En mi caso empleo esta opción para paquetes, libros en bookdown, webs con blogdown y aplicaciones shiny. En otros casos empleo una carpeta que puede tener subdirectorios (si el proyecto es más grande) para distintos tipos de archivos o para distintas tareas (con el objetivo de facilitar la búsqueda). Por ejemplo: *datos*, *informes*, *resultados_2023...*

Mi recomendación es emplear nombres de archivos y carpetas en minúscula (o con la primera letra en mayúsculas), sin espacios (por ejemplo empleando `_` para separar palabras o iniciales) y sin caracteres especiales (ASCII, sin acentos...). Los nombres deberían ser lo más descriptivos posibles (en el sentido de evitar confusión). Pueden incluirse descripciones más completas en el código, en ficheros de texto (e.g. *Descripcion_archivos.txt*), o incluso en hojas de cálculo. Yo además acostumbro a incluir archivos del tipo *Notas.txt* (con recordatorios, decisiones...) o *Pendiente.txt* (con próximos pasos, mejoras o verificaciones pendientes...).

Además, nos puede interesar establecer opciones de R específicas para el proyecto (por ejemplo opciones de configuración de memoria, de paquetes o variables de entorno, incluyendo claves privadas), de forma que se establezcan automáticamente al iniciar R o RStudio. Para más detalles ver la ayuda de `?Startup`, el apéndice *Invoking R* o el post de RStudio *Managing R with .Rprofile*, *.Renv*, *.Rprofile.site*, *Renv.site*, *rsession.conf*, and *repos.conf*

Para desarrollar código y proyectos de forma colaborativa, la recomendación es emplear un sistema de control de versiones. Se puede configurar RStudio para emplear Git (ver el libro *Happy Git and GitHub for the user* o la sección *Git and GitHub*), sin embargo yo prefiero emplear GitHub Desktop.

1.1.1 Código e informes

Mi recomendación a la hora de escribir código es seguir un **proceso iterativo**. Se comienza realizando pruebas y al finalizar cada etapa se trata de reorganizar el código (adaptándolo al estilo de programación elegido, lo que incluiría añadir comentarios y secciones) de forma que sea más cómodo continuar trabajando en siguientes etapas (y si es posible que resulte más fácil de adaptar para otros casos).

En el caso de informes el proceso sería similar, empleando como punto de partida un fichero de código en formato spin (ver Sección 3.7), en el que el texto RMarkdown se incluye como un comentario de código empleando `#'`. Por ejemplo:

```
#' # Sección
#'#' ## Subsección
#'#' Texto rmarkdown...
```

¹También se puede ejecutar un script de R de forma no interactiva ejecutando en el intérprete de comandos del sistema operativo: `R CMD BATCH [opciones] mi_script.R [fichero_salida]` (cambiando R por la ruta completa, e.g. `"C:\Program Files\R\R-4.2.1\bin\R.exe"`, si no se añadió al path. También se puede incluir en un fichero *.bat*, para poder ejecutarlo repetidas veces con mayor facilidad). Ver Appendix B *Invoking R* de *Introduction to R* para información sobre las distintas opciones.

En primer lugar me preocupo de escribir un código funcional y, además de ir añadiendo comentarios de la forma habitual, voy añadiendo secciones y texto markdown en formato spin. Finalmente, cuando tengo una primera versión del código (que puedo ir previsualizando; en RStudio basta con pulsar² *Ctrl + Shift + K*, el icono correspondiente en la barra superior, o seleccionar *File > Compile Report...*), lo transformo a formato *.Rmd* con un comando de la forma:

```
knitr::spin("Informe.R", knit = FALSE)
```

donde termino de redactar (`knitr::purl("Informe.Rmd", documentation = 2)` genera un nuevo fichero *Informe.R* donde resulta más cómodo modificar o desarrollar código).

Se recomienda **elegir un estilo que sea consistente y seguirlo por completo** en todo el proyecto. Lo principal sería el operador de asignación, el espaciado y el estilo de nombres (de objetos, variables o ficheros):

- `estilo.clasico`: es el estilo del paquete base de R. Muchos programadores no lo recomiendan (principalmente porque este separador no se admite en otros lenguajes y porque puede dar lugar a confusión con métodos S3, ver Sección 2.3).
- `estilo_serpiente` (o `Estilo_serpiente`): es el estilo de la colección de paquetes `tidyverse`.
- `EstiloCamello` (o `estiloCamello`): es el estilo (casi obligatorio) para las clases R6 (ver Sección 2.3). El paquete `shiny` emplea la variante que comienza por minúsculas.

Recomiendo emplear `<-` como operador de asignación y escribir todos los **nombres en minúsculas**. Yo tengo tendencia a emplear el `estilo.clasico`, sobre todo si el código no depende de paquetes `tidyverse` (en ese caso suelo emplear `estilo_serpiente`). También influye el estilo de nombres empleado por la fuente de datos o el requerido en los resultados.

El estilo también debe especificar el sangrado, el espaciado, etc. Por ejemplo:

- Tidyverse style guide
- Google's R Style Guide

Para facilitar la legibilidad **es muy recomendable incluir un espacio** entre los elementos del comando. En RStudio se puede seleccionar un trozo de (una línea de) código y pulsar *Ctrl + Shift + A* para formatearlo. También podemos emplear el paquete `styler` para formatear el código. Por ejemplo, en RStudio podemos emplear *Addins > Styler > Style active file*.

Además se recomienda **crear secciones y documentar el código adecuadamente**. En RStudio se puede crear una sección pulsando *Ctrl + Shift + R* o añadiendo al menos 4 guiones (`-`, también `=` o `#`) después de un comentario. Por ejemplo:

```
# Sección ----
## Subsección ----
```

El orden de las secciones y subsecciones es importante. Al principio del código debería ir:

1. Los parámetros o variables globales.
2. La carga de paquetes (únicamente los mínimos requeridos).
3. La carga de código externo.
4. La carga de archivos de datos (o al principio de la sección donde se emplean, si son datos auxiliares).

No se recomienda emplear rutas absolutas en el código, del tipo:

```
setwd("C:/Documentos/Proyectos/Proyecto_X")
load("C:/Documentos/Proyectos/Proyecto_X/datos_x.RData")
source("C:/Documentos/Proyectos/R/Herramientas.R")
```

Como punto de partida el directorio de trabajo debería ser la carpeta del proyecto. Esto ya ocurre por defecto si empleamos proyectos de RStudio o si iniciamos RStudio abriendo un archivo de código

²Para mostrar las combinaciones de teclas en RStudio podemos emplear el menú *Tools > Keyboard Shortcuts Help*.

en esta carpeta. En general, la recomendación es asumir que el directorio de trabajo es aquel en el que se encuentra el archivo de código (lo que también ocurre por defecto al compilar un documento RMarkdown). Si no es el caso se puede emplear el menú *Sesion > Set Working Directory > To Source File Location*.

Para establecer la ruta a archivos o directorios **se recomienda emplear rutas relativas** (usando `../` para acceder a la carpeta anterior; `./` sería el actual directorio de trabajo). Por ejemplo:

```
load("datos/datos_x.RData")
source("../R/Herramientas.R")
fecha_txt <- as.character(Sys.Date() - 1, format = "%m_%d") # Por ejemplo...
rmarkdown::render("informe.Rmd", params = list(fecha_txt = fecha_txt),
                  output_file = paste0('informes/informe_', fecha_txt, '.html'),
                  envir = new.env(), encoding = "UTF-8")
```

La mejor forma de organizar funciones es desarrollar un paquete, como se comenta más adelante en la Sección 2.4.

1.1.2 Datos

La recomendación es emplear ficheros de datos con el formato por defecto de R (datos binarios comprimidos), con extensión *.RData*. Hay que tener en cuenta que lo esperable es que el archivo contenga un conjunto de datos con el mismo nombre, aunque podría no ser el caso e incluso contener varios objetos.

Uno de los problemas con los ficheros *.RData* es que, al cargarlos con `load()` de la forma habitual, se añaden al entorno de trabajo los objetos que contienen con los nombres con que se almacenaron (y si ya existe alguno con ese nombre lo sobrescribe). Para almacenar un único objeto de forma que se pueda cargar posteriormente especificando el nombre, se pueden emplear las funciones `saveRDS()` y `readRDS()`.

Sin embargo, lo habitual es que inicialmente los datos procedan de una fuente externa. Se pueden importar datos externos en casi cualquier formato a R (aunque puede requerir instalar paquetes adicionales). Mi recomendación es separar los análisis de la importación de los datos. Crear un fichero de código específicamente para importar los datos³, hacer el (pre)procesado y guardarlos en formato *.RData*. Yo habitualmente empleo el mismo nombre para el archivo de código y el archivo de datos que se genera (e.g. *datos.R* contiene el código necesario para generar *datos.RData*; no suelo renombrar el fichero fuente de datos externo, aunque se aleje mucho del estilo elegido). Asociado a un mismo conjunto de datos puede haber distintos archivos de código para realizar distintos análisis (el nombre de esos archivos debería dar una pista del análisis que realizan).

En muchas ocasiones, para modificar los nombres de las variables o los niveles de un factor, suelo recurrir a la función `dput()` para escribirlos en modo texto (e.g. `dput(tolower(names(datos)))` o `dput(levels(datos$factor))`) y posteriormente modificarlos a mano.

Yo recomiendo añadir un atributo `variable.labels` que contenga un vector de etiquetas de las variables y empleando como nombres de las componentes las propias variables:

```
data(cars)
# dput(names(cars))
var.lab <- c(speed = "Speed (mph)", dist = "Stopping distance (ft)")
attr(cars, "variable.labels") <- var.lab
str(cars)

## 'data.frame':   50 obs. of  2 variables:
## $ speed: num  4 4 7 7 8 9 10 10 10 11 ...
## $ dist : num  2 10 4 22 16 10 18 26 34 17 ...
## - attr(*, "variable.labels")= Named chr [1:2] "Speed (mph)" "Stopping distance (ft)"
## ..- attr(*, "names")= chr [1:2] "speed" "dist"
```

³Con algunos tipos de datos, se puede emplear los submenús de RStudio *File > Import Dataset* para seleccionar los ajustes, previsualizando el resultado, y generar el código para importarlos.

```
# View(cars)
# with(cars, plot(speed, dist, xlab = var.lab["speed"],
#               ylab = var.lab["dist"]))
```

Para leer ficheros de Excel acostumbro a utilizar los paquetes **openxlsx** (solo para archivos con extensión *.xlsx*) o **readxl** (colección **tidyverse**; Sección 4). En estos casos además se puede añadir una nueva hoja de cálculo con los nombres de las variables junto con su etiqueta, que se puede cargar y emplear durante el preprocesado. Adicionalmente esta tabla puede incluir una columna con los nuevos nombres (yo recomiendo no modificar los antiguos en este fichero), otra con un filtro para seleccionar variables (o el orden después del procesado) e incluso una columna con anotaciones o observaciones. Ver `top500.R` en ejemplos.

Parte I

El entorno estadístico R

Capítulo 2

El lenguaje R

Cualquier análisis de R requiere programación, aunque normalmente se puede llevar a cabo sin conocimientos profundos del lenguaje (*useR*). Sin embargo, para desarrollar nuevas herramientas de forma efectiva (*programeR*) es necesario tener una idea del funcionamiento interno de R. La referencia recomendada para usuarios de R que deseen mejorar sus conocimientos de programación y comprensión del lenguaje es:

Wickham, Hadley (2019). *Advanced R*, 2ª edición, Chapman & Hall, 1ª edición.

También puede ser de utilidad el manual R Language Definition para consultas adicionales¹.

2.1 Paquetes

Al instalar R se instalan los denominados **paquetes base** y (por defecto) los **paquetes recomendados** por los desarrolladores de R (el *R Core Team*). Podemos acceder a la lista de paquetes instalados:

```
pkgs <- installed.packages()
names(which(pkgs[, "Priority"] == "base"))

## [1] "base"      "compiler"  "datasets"  "graphics"  "grDevices" "grid"
## [7] "methods"   "parallel"  "splines"   "stats"     "stats4"    "tcltk"
## [13] "tools"     "utils"

names(which(pkgs[, "Priority"] == "recommended"))

## [1] "boot"      "class"     "cluster"   "codetools" "foreign"
## [6] "KernSmooth" "lattice"   "MASS"      "Matrix"    "mgcv"
## [11] "nlme"      "nnet"      "rpart"     "spatial"   "survival"
```

Para instalar paquetes adicionales se puede emplear `install.packages()` (actualmente, 2023-03-31, están disponibles 19214 en CRAN, incluso para interactuar con ChatGPT como `gptstudio`). Por ejemplo:

```
pkgs <- c("Rcmdr", "caret", "tidymodels", "tidyverse", "remotes", "devtools",
          "sf", "gstat", "geoR", "quadprog", "DEoptim", "spam", "openxlsx",
          "bookdown", "blogdown", "pkgdown")
install.packages(setdiff(pkgs, installed.packages()[, "Package"]), dependencies = TRUE)
```

En Windows (y en MacOS) esta función instala por defecto paquetes compilados (`type = "binary"`, que dependen del sistema operativo y de la versión R) disponibles en CRAN. Aunque podría instalar paquetes disponibles en otros repositorios. Por ejemplo:

¹Los manuales oficiales también están disponibles en formato bookdown en este post.

```
url <- "https://github.com/rubenfcasal/simres/releases/download/v0.1/simres_0.1.3.zip"
install.packages(url, repos = NULL)
```

También se pueden instalar paquetes directamente a partir del código fuente con `type = "source"` (por defecto en Linux), pero en ciertos casos es necesario tener instaladas herramientas adicionales (por ejemplo Rtools en Windows si el paquete contiene código en C, C++ o Fortran). Esto permitiría incluso instalar paquetes retirados de CRAN (e.g. actualmente `kedd`), ya que siempre se mantiene el código (en un archivo comprimido de la forma `paquete_x.y.z.tar.gz`).

Si se quieren instalar paquetes de repositorios distintos de CRAN (GitHub, GitLab, Bitbucket, ...), puede ser recomendable instalar `remotes`. Por ejemplo:

```
remotes::install_github("rubenfcasal/simres", INSTALL_opts = "--with-keep.source")
```

Además puede ser de utilidad mantener los comentarios originales del paquete para entender mejor el código (por ejemplo si se quiere modificar).

Otras funciones que pueden ser de interés son: `remove.packages()`, `update.packages()` y `available.packages()`.

Al iniciar el programa R se cargan por defecto en memoria los principales paquetes base, añadiéndolos a la ruta de búsqueda (a continuación del entorno de trabajo `.GlobalEnv` y siempre terminando con en el paquete `base`, el primero que se carga):

```
search()

## [1] ".GlobalEnv"      "package:dbplyr"    "package:forcats"
## [4] "package:stringr" "package:dplyr"     "package:purrr"
## [7] "package:readr"    "package:tidyr"     "package:tibble"
## [10] "package:ggplot2"  "package:tidyverse" "package:magrittr"
## [13] "package:stats"    "package:graphics"  "package:grDevices"
## [16] "package:utils"    "package:datasets"  "package:methods"
## [19] "Autoloads"        "package:base"
```

Concretamente se añade a la ruta de búsqueda un entorno que contiene el conjunto de objetos exportables del paquete, definido en el denominado *namespace* del paquete. Esta ruta determina los objetos visibles en el entorno global y el orden en se buscan (para más detalles ver 7.2 Environment basics y 7.4 Special environments de Advanced R).

Podemos cargar paquetes adicionales (previamente instalados) con `library()` o `require()`, por ejemplo:

```
if (!require(knitr)) {
  install.packages("knitr")
  library(knitr)
}
spin("01-Introduccion.R", knit = FALSE)
```

Aunque **no se recomienda que el código instale automáticamente paquetes** (en general que haga cambios en la configuración del equipo en el que se ejecuta).

Al cargar un paquete se añade por defecto en la segunda posición de la ruta de búsqueda (justo después del entorno global, desplazando al resto). También se podrían añadir otros objetos, por ejemplo `data.frames`, con la función `attach()` pero **no se recomienda** (se puede utilizar `with()` como alternativa).

Hay que tener cuidado con las versiones instaladas de los paquetes:

```
packageVersion("dplyr")
```

```
## [1] '1.0.10'
```


y con sus dependencias (los paquetes tienen su propia ruta de búsqueda, determinada por el *namespace* del paquete). Al actualizar o instalar nuevos paquetes pueden aparecer problemas al ejecutar código antiguo (a veces al trabajar en nuevos proyectos acabamos haciendo que los antiguos dejen de funcionar).

Se puede instalar versiones específicas de un paquete con `remotes::install_version()`:

```
remotes::install_version("dplyr", version = "1.11") # repos = "https://ftp.ciug.es/CRAN"
```

Para asegurarse que el código de un proyecto se pueda ejecutar a lo largo del tiempo se puede emplear el paquete `renv` (se puede configurar automáticamente al crear un proyecto de RStudio). Este paquete permite registrar las versiones exactas de los paquetes de los que depende un proyecto y volver a instalarlas (incluso en otro equipo) si es necesario. Para más detalles ver la viñeta Introduction to `renv`.

Sin embargo de esta forma aún dependemos del sistema operativo que deberíamos configurar adecuadamente. La recomendación para que un proyecto en R (por ejemplo una aplicación shiny) se pueda ejecutar en cualquier equipo, es emplear un contenedor docker. Para más detalles ver Docker overview y The Rocker Project. Ver ejemplos/covid19/prediccion_cooperativa.

2.2 Funciones

“Everything that happens in R is the result of a function call”.

— John M. Chambers

Como es bien conocido, en R se pueden asignar los argumentos de una función por posición o por nombre (del correspondiente parámetro en la definición de la función, denominado *argumento formal en R*). En general, la recomendación es asignar los argumentos por nombre:

```
funcion(parametro1 = argumento1, parametro2 = argumento2, ...)
```

De esta forma no importa el orden de los parámetros y, por ejemplo, evitaremos problemas si en el futuro hay cambios en la definición de la función. Los parámetros pueden tener valores por defecto y solo sería necesario especificarlos para asignarles un valor distinto.

Podemos llamar a una función de un paquete sin necesidad de cargarlo (añadirlo a la ruta de búsqueda) empleando `paquete::funcion`. Esto es especialmente recomendable al desarrollar nuevas funciones (es un requisito para subir paquetes a CRAN), ya que de esta forma se evitan conflictos entre funciones con el mismo nombre en paquetes distintos. Por ejemplo:

```
if (!requireNamespace("knitr")) stop("'knitr' package required")
knitr::spin("01-Introduccion.R", knit = FALSE)
```

Hay que tener en cuenta que R emplea Lazy evaluation, los argumentos no se evalúan hasta que se necesitan (lo cual puede producir mensajes de error inesperados, pero también permite añadir funcionalidades adicionales empleando la denominada evaluación no estándar o metaprogramación).

R es un lenguaje interpretado y podemos evaluar expresiones empleando código. Por ejemplo, podemos reproducir el proceso de introducir un comando en la consola con las funciones `eval()` y `parse()` (aunque esta forma de proceder no es la más eficiente):

```
eval(parse(text = "1:10"))

## [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

distr <- "norm" # "unif", "exp", "t"
ddistr <- eval(parse(text = paste0("d", distr)))
# str(ddistr)
# curve(ddistr(x, 0, 0.5), -3, 3)
```

Para llamar a una función especificando los parámetros de forma dinámica (empleando una lista) podemos emplear `do.call()`. Por ejemplo:

```
# Listar ficheros csv
files.csv <- dir(path = "datos", pattern = "*.csv", full.names = TRUE)
# Leer datos a una lista
# (suponemos variante local con ; para separar valores)
data.list <- lapply(files.csv, read.csv2)
# Combinar
datos <- do.call('rbind', data.list)
```

R dispone además de otras herramientas que permiten la programación dinámica. Por ejemplo `reformulate()` permite construir formulas para ajuste de modelos o análisis descriptivos.

Hay que tener en cuenta que las funciones tienen su propio entorno y su propia ruta de búsqueda, determinada por el entorno donde se crearon (el *namespace* en el caso de las funciones de un paquete). Esto es lo que se conoce como Lexical scoping.

```
x <- 1
addx <- function(y) {
  x + y
}
addx(10)

## [1] 11

addx10 <- function() {
  x <- 10 # x <- 10 # assign("x", 10, envir = .GlobalEnv)
  addx(x)
}
addx10()

## [1] 11

x

## [1] 1
```

2.3 Programación orientada a objetos (funciones genéricas)

“Everything that exists in R is an object”.

— John M. Chambers

R implementa programación orientada a objetos (OOP). Por ejemplo, es bien conocido que algunas funciones (entre ellas `print()`, `plot()` o `summary()`) se comportan de manera diferente dependiendo de la clase (el tipo de objeto) de sus argumentos, son las denominadas *funciones genéricas*.

Realmente R dispone de varios sistemas de OOP, entre ellos podríamos destacar (ver capítulos en Object-oriented programming de Advanced R):

- S3: Es un sistema muy simple, las clases no tienen una definición formal (no se verifica su consistencia). Es el empleado en el paquete `base` de R y en la mayoría de paquetes que usan OOP. Descrito inicialmente en:

Becker R.A., Chambers J.M. y Wilks A.R. (1988), *The New S Language: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics* (A.K.A. the *Blue Book*). Chapman & Hall.

Chambers J.M. y Hastie T.J. eds. (1992), *Statistical Models in S* (A.K.A. the *White Book*). Chapman & Hall.

- S4 (**no lo recomiendo**): Es similar a S3 pero mucho más formal. Está implementado en el paquete `methods` (uno de los *paquetes base*) de R. Se emplea por ejemplo en los paquetes `sp` y `distr`. Descrito inicialmente en:

Chambers J.M. (1998), *Programming with Data* (A.K.A. the *Green Book*). Springer.

- R6: Es un sistema OOP encapsulado similar al de otros lenguajes de programación. Está implementado en el paquete R6 (no se instala por defecto).

Yo en principio **recomendaría usar el sistema S3**, aunque es bastante rudimentario y puede resultar inicialmente confuso a programadores con experiencia en otros lenguajes. En cualquier caso es muy recomendable conocer su funcionamiento. Este sistema esta basado en funciones genéricas. La clase es un atributo de los objetos (*encapsulación*), una cadena de texto o un vector de cadenas (*herencia*), al que se puede acceder con la función `class()`. A partir de la clase del argumento, la función genérica determina el método (función especializada) al que debe llamar (*polimorfismo*). En S3 el despacho de métodos (*method dispatch*) es muy simple, si la función genérica es `generica()` y la clase del primer argumento es "clase", se llama a la función (método) `generica.clase()` si existe. Si la clase del objeto es heredada (un vector de cadenas), se van buscando los métodos por orden de parentesco y si no se encuentra ninguno, se llama al método por defecto `generica.default()` (se llama a la primera función de `paste0("generica.", c(class(x), "default"))` que se encuentre en la ruta de búsqueda; podríamos reemplazarla...).

La función genérica suele ser muy sencilla, básicamente incluye una llamada a `UseMethod("generica")`. Por ejemplo:

```
plot

## function (x, y, ...)
## UseMethod("plot")
## <bytecode: 0x000000001e09ef38>
## <environment: namespace:base>
```

Podemos obtener los métodos asociados a una función genérica con `methods(generica)`. Por ejemplo:

```
methods(plot)

## [1] plot,ANY-method      plot,color-method    plot.acf*
## [4] plot.data.frame*     plot.decomposed.ts*  plot.default
## [7] plot.dendrogram*     plot.density*        plot.ecdf
## [10] plot.factor*         plot.formula*        plot.function
## [13] plot.ggplot*         plot.gtable*         plot.hcl_palettes*
## [16] plot.hclust*         plot.histogram*      plot.HoltWinters*
## [19] plot.isoreg*         plot.lm*             plot.medpolish*
## [22] plot.nlm*            plot.ppr*            plot.prcomp*
## [25] plot.princomp*       plot.profile.nls*    plot.R6*
## [28] plot.raster*         plot.spec*           plot.stepfun
## [31] plot.stl*            plot.table*          plot.trans*
## [34] plot.ts              plot.tskernel*       plot.TukeyHSD*
## see '?methods' for accessing help and source code
```

Podemos acceder a la ayuda del correspondiente método de la forma habitual (e.g. `?plot.lm`), pero puede que algunos métodos no sean objetos definidos como exportables en el *namespace* del paquete que los implementa (los marcados con un `*`) y por tanto no son en principio accesibles para el usuario. Siempre podemos acceder a ellos empleando `paquete::metodo` o `getAnywhere(metodo)` (e.g. `stats::plot.lm` o `getAnywhere(plot.lm)`).

Para listar los métodos disponibles para una clase, podemos emplear el parámetro `class`. Por ejemplo:

```
methods(class = "lm")

## [1] add1          alias          anova          case.names    coerce
## [6] confint       cooks.distance deviance      dfbeta        dfbetas
## [11] drop1        dummy.coef     effects       extractAIC    family
## [16] formula      fortify        hatvalues     influence     initialize
## [21] kappa        labels         logLik        model.frame   model.matrix
## [26] nobs         plot           predict       print         proj
## [31] qr           residuals      rstandard     rstudent     show
```

```
## [36] simulate      slotsFromS3    summary      variable.names vcov
## see '?methods' for accessing help and source code
```

Para una programación orientada a objetos más formal la recomendación es emplear el sistema R6.

2.4 Desarrollo de funciones y paquetes

Antes de ponerse a programar, sobre todo si puede terminar siendo un código complejo, la recomendación es hacer una búsqueda por si resulta que ya está implementado (o hay algo que podemos tomar como base; es lo bueno de GNU!): en la descripción de los paquetes en CRAN, en los buscadores especializados (rdr.io, RDocumentation o RSeek), en foros de programación (StackOverflow, StackOverflow.es, Cross Validated), en listas de correo (r-project.org, r-help-es) o directamente en Google (añadiendo “r-project” o similar en la búsqueda).

El primer paso es escribir el código como si fuese un programa, asignando valores de prueba a los parámetros, y cuando nos aseguramos de que funciona, reescribirlo como función (yo suelo mantener unos valores de prueba como comentarios por si quiero ejecutar paso a paso el cuerpo de la función).

Al finalizar, la recomendación es **documentar la función**, preferiblemente empleando el formato **roxygen2** (ver el menú de RStudio *Help > Roxygen Quick Reference*). Por ejemplo:

```
# read_excel_list(path, pattern, ...)
# .....
#' Lee los ficheros xls yxlsx de un directorio
#'
#' @param path Ruta al directorio con los ficheros excel
#' (por defecto el directorio de trabajo).
#' @param pattern Expresión regular empleada en la selección de ficheros
#' (ver `list.files()`).
#' @param ... Parámetros adicionales de `readxl::read_excel()`.
#' @return Una lista cuyas componentes son las correspondientes tablas de datos
#' (`tibble`) y con nombres los nombres de los archivos sin extensión.
#' @examples \dontrun{
#' data_list <- read_excel_list("datos") # "./datos"
#' data_all <- dplyr::bind_rows(data_list)
#' }
# .....
# Pruebas:
# readxl::readxl_example("geometry.xls")
# path = "C:/Program Files/R/R-4.2.2/library/readxl/extdata"
# pattern = "\\.(xls|xlsx)$"
# Pendiente:
# - Controlar posible error al leer
# .....
read_excel_list <- function(path = ".", pattern = "\\.(xls|xlsx)$", ...) {
  if (!requireNamespace(readxl)) stop("'readxl' package required")
  files <- dir(path, pattern = pattern, full.names = TRUE) # ?list.files
  data_list <- vector(length(files), mode = 'list')
  for (i in seq_along(files))
    data_list[[i]] <- readxl::read_excel(files[i], ...)
  data_names <- sub('\\.xlsx$', '', basename(files))
  names(data_list) <- data_names
  data_list
}
```

Como ya se comentó, en ocasiones se emplea como punto de partida una función ya implementada en algún paquete de R. En RStudio la forma más sencilla de obtener el código de la función es emplear `View(funcion)` (si la función es visible, en caso contrario `View(paquete:::funcion)`).

Si la función llama a funciones internas (que no se exportan en el namespace) del paquete que la implementa, podríamos emplear también los tres dobles puntos para llamarlas, pero la recomendación sería descargar el código del paquete (si está en CRAN, un fichero comprimido de la forma `paquete_x.y.z.tar.gz` que se puede descargar en la sección *Downloads* de la web del paquete <https://CRAN.R-project.org/package=paquete>).

La mejor forma de organizar funciones es crear un paquete. Para ello se recomienda seguir:

Wickham, Hadley (2015). *R packages: organize, test, document, and share your code* (actualmente 2ª edición en desarrollo con H. Bryan), O'Reilly, 1ª edición.

También puede ser de utilidad el manual *Writing R Extensions* para información adicional.

Capítulo 3

Generación de informes

Este documento se ha generado empleando RMarkdown, una extensión de Markdown que permite incorporar código y resultados de R. RMarkdown es recomendable para difundir análisis realizados con R en formato HTML, PDF y DOCX (Word), entre otros.

3.1 RMarkdown

El paquete `rmarkdown` permite combinar Markdown con R para la generación de documentos. Markdown se diseñó inicialmente para la creación de páginas web a partir de documentos de texto de forma muy sencilla y rápida (tiene unas reglas sintácticas muy simples). Es lo que se conoce como un lenguaje de marcado ligero, tiene unas reglas sintácticas muy simples y se busca principalmente la facilidad de lectura. Posteriormente se fueron añadiendo funcionalidades, por ejemplo para incluir opciones de publicación en muchos otros formatos. La implementación original de Markdown es de John Gruber, pero actualmente están disponibles múltiples dialectos (sobre todo para publicar en gestores de contenido). RMarkdown utiliza las extensiones de la sintaxis proporcionada por *Pandoc* (ver Apéndice A), y adicionalmente permite la inclusión de código R.

Al renderizar un fichero RMarkdown se generará un documento que incluye el código R y los resultados incrustados en el documento¹. En RStudio basta con hacer clic en el botón *Knit*. En R se puede emplear la función `render` del paquete `rmarkdown` (por ejemplo `render("Informe.Rmd")`). También se puede abrir directamente el informe generado:

```
library(rmarkdown)
browseURL(url = render("Informe.Rmd"))
```

A continuación se darán algunos detalles sobre RMarkdown (y las extensiones Markdown de Pandoc que admite: notas al pie de página, tablas, citas, ecuaciones LaTeX, ...). Para más información (incluyendo introducciones a Markdown y RMarkdown), se recomienda consultar alguna de las numerosas fuentes disponibles, comenzando por la web oficial <http://rmarkdown.rstudio.com/>.

También se dispone de información en la ayuda de RStudio:

- *Help > Markdown Quick Reference*
- *Help > Cheatsheets > R Markdown Cheat Sheet*
- *Help > Cheatsheets > R Markdown Reference Guide*

Otras fuentes permiten obtener documentación más detallada, como por ejemplo:


- Web del paquete `knitr` (Xie, 2021): <https://yihui.name/knitr>.

¹Se llama al paquete `knitr` para “tejer” el código de R y los resultados en un fichero Markdown, que posteriormente es procesado con *pandoc*

- Xie et al. (2018) : R Markdown: The Definitive Guide, <https://bookdown.org/yihui/rmarkdown/>.
- Extensiones RMarkdown de Pandoc: https://rmarkdown.rstudio.com/authoring_pandoc_markdown.html%23raw-tex.

3.2 Sintaxis de Markdown

Como ya se comentó la sintaxis de Markdown es muy sencilla. El texto no marcado se renderiza como texto normal aunque es necesario dejar una línea en blanco para insertar un salto de línea. Las principales reglas de Markdown se resumen en la siguiente tabla:

Escribir	o alternativamente	para obtener ...
# Título 1	Título 1 =====	Los distintos niveles de encabezados
## Título 2	Título 2 -----	
### Título 3	### Título 3	<i>Cursiva</i> Negrita Enlace
Cursiva	_Cursiva_	
Negrita	__Negrita__	
[Enlace] (http://url.gz)	[Enlace] [1] Más adelante... [1]: http://url.gz	
![Imagen] (rmarkdown.png)	![Imagen] [1] Más adelante... [1]: http://url/b.jpg	
> Blockquote > > --- El Autor		Blockquote — El Autor
* Lista	- Lista	• Lista
* Lista	- Lista	• Lista
+ Sub-lista	- Sub-lista	- Sub-lista
1. Uno	1) Uno	1. Uno
2. Dos	2) Dos	2. Dos
a. A	a) A	a. A
Regla horizontal	Regla horizontal	Regla horizontal
--- `código en línea` entre comillas invertidas ````	*** [····]# bloque de código [····]3 comillas invertidas [····]o sangría de 4 espaci os	código en línea entre comillas invertidas # bloque de código 3 comillas invertidas o sangría de 4 espacios

Es muy recomendable dejar siempre una línea de separación entre elementos distintos consecutivos.

3.3 Inclusión de código R

Se puede incluir código R entre los delimitadores ``{r}`` y ``{}``. Por defecto, se mostrará el código, se evaluará y se mostrarán los resultados justo a continuación. Por ejemplo el siguiente código:


```
```{r}
head(mtcars[1:3])
summary(mtcars[1:3])
```
```

produce:

```
head(mtcars[1:3])
```

```
##              mpg cyl  disp
## Mazda RX4      21.0   6   160
## Mazda RX4 Wag  21.0   6   160
## Datsun 710     22.8   4   108
## Hornet 4 Drive  21.4   6   258
## Hornet Sportabout 18.7   8   360
## Valiant        18.1   6   225
```

```
summary(mtcars[1:3])
```

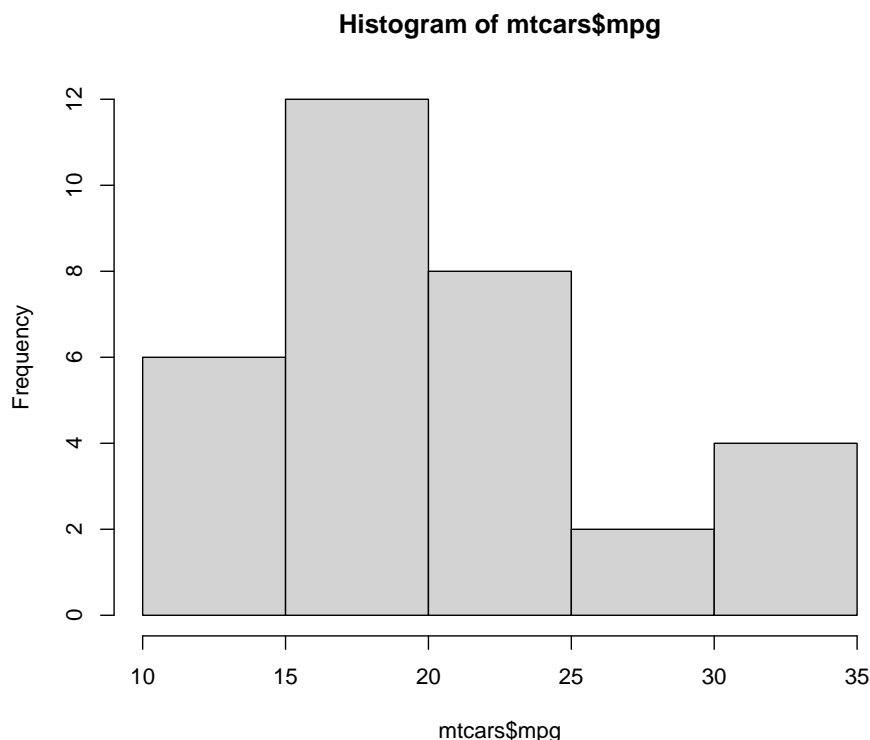
```
##           mpg           cyl           disp
##  Min.      :10.40   Min.      :4.000   Min.      : 71.1
##  1st Qu.:15.43   1st Qu.:4.000   1st Qu.:120.8
##  Median :19.20   Median :6.000   Median :196.3
##  Mean   :20.09   Mean   :6.188   Mean   :230.7
##  3rd Qu.:22.80   3rd Qu.:8.000   3rd Qu.:326.0
##  Max.   :33.90   Max.   :8.000   Max.   :472.0
```

En RStudio pulsando *Ctrl + Alt + I* o en el icono correspondiente se incluye un trozo de código.

También se puede incluir código en línea empleando ``r código``, por ejemplo ``r 2 + 2`` produce 4.

3.3.1 Gráficos

Si el código genera un gráfico, este se incluirá en el documento justo después de donde fué generado (por defecto). Por ejemplo el siguiente gráfico:



se generó empleando:

```
```{r figural, echo=FALSE}
hist(mtcars$mpg)
```
```

aunque no se mostró previamente el código al haber establecido la opción ````{r, echo=FALSE}`.

3.3.2 Opciones de bloques de código

Los trozos de código pueden tener nombre y opciones, se establecen en la cabecera de la forma ````{r nombre, op1, op2}`. Para un listado de las opciones disponibles ver <http://yihui.name/knitr/options> (en la Sección 2.6 del libro de RMarkdown se incluye un resumen). En RStudio se puede pulsar en los iconos en la parte superior derecha del bloque de código para establecer opciones, ejecutar todo el código anterior o sólo el correspondiente trozo.

Algunas opciones sobre evaluación y resultados:

- **eval:** si `=FALSE` no se evalúa el código.
- **echo:** si `=FALSE` no se muestra el código.
- **include:** si `=FALSE` no se muestra el código ni ningún resultado.
- **message, warning, error:** oculta el correspondiente tipo de mensaje de R (los errores o warnings se mostrarán en la consola).
- **cache:** si se activa, guarda los resultados de la última evaluación y se reutilizan si no cambió el bloque de código (más detalles aquí). Puede ser de utilidad durante la redacción del documento para reducir el tiempo de renderizado (usándolo con cuidado y desactivándolo al terminar).

Algunas opciones sobre resultados gráficos:

- **fig.width, fig.height, fig.dim:** dimensiones del dispositivo gráfico de R (no confundir con el tamaño del resultado), e.g. `fig.width = 5`.
- **out.width, out.height:** tamaño del gráfico, e.g. `'80%'`.
- **fig.align:** `'left', 'center', 'right'`, establece la alineación.

- `fig.cap`: leyenda de la figura².
- `dev`: dispositivo gráfico de R, por defecto `'pdf'` para LaTeX y `'png'` para HTML. Otras opciones son `'svg'` o `'jpeg'`.

Para establecer valores por defecto para todos los bloques de código se suele incluir uno de configuración al principio del documento, por ejemplo:

```
```{r, setup, include=FALSE}
knitr::opts_chunk$set(comment=NA, prompt=TRUE, dev='svg', fig.dim=c(5, 7), collapse=TRUE)
```
```

3.4 Tablas

En Markdown se pueden escribir tablas en varios formatos (ver Pandoc Tables). Por ejemplo:

| Right | Left | Center | Default |
|-------|-------|--------|---------|
| ----- | ----- | ----- | ----- |
| 12 | 12 | 12 | 12 |
| 123 | 123 | 123 | 123 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

También:

| Variable | Descripción |
|----------|--|
| ----- | ----- |
| mpg | Millas / galón (EE.UU.) |
| cyl | Número de cilindros |
| disp | Desplazamiento (pulgadas cúbicas) |
| hp | Caballos de fuerza bruta |
| drat | Relación del eje trasero |
| wt | Peso (miles de libras) |
| qsec | Tiempo de 1/4 de milla |
| vs | Cilindros en V/Straight (0 = cilindros en V, 1 = cilindros en línea) |
| am | Tipo de transmisión (0 = automático, 1 = manual) |
| gear | Número de marchas (hacia adelante) |
| carb | Número de carburadores |

que resulta en:

| Variable | Descripción |
|----------|--|
| mpg | Millas / galón (EE.UU.) |
| cyl | Número de cilindros |
| disp | Desplazamiento (pulgadas cúbicas) |
| hp | Caballos de fuerza bruta |
| drat | Relación del eje trasero |
| wt | Peso (miles de libras) |
| qsec | Tiempo de 1/4 de milla |
| vs | Cilindros en V/Straight (0 = cilindros en V, 1 = cilindros en línea) |
| am | Tipo de transmisión (0 = automático, 1 = manual) |
| gear | Número de marchas (hacia adelante) |
| carb | Número de carburadores |

Para convertir resultados de R en tablas de una forma simple se puede emplear la función `ktable()` del paquete `knitr`. Por ejemplo la Tabla 3.3 se obtuvo mediante el siguiente código:

²Si se genera un documento en PDF/LaTeX el gráfico se mostrará en un entorno flotante y se puede ajustar la posición empleando la opción `fig.pos` (por ejemplo, `fig.pos = 'htb'`).

Tabla 3.3: Una kable knitr

| | mpg | cyl | disp | hp | drat | wt | qsec | vs | am | gear | carb |
|-------------------|------|-----|------|-----|------|-------|-------|----|----|------|------|
| Mazda RX4 | 21.0 | 6 | 160 | 110 | 3.90 | 2.620 | 16.46 | 0 | 1 | 4 | 4 |
| Mazda RX4 Wag | 21.0 | 6 | 160 | 110 | 3.90 | 2.875 | 17.02 | 0 | 1 | 4 | 4 |
| Datsun 710 | 22.8 | 4 | 108 | 93 | 3.85 | 2.320 | 18.61 | 1 | 1 | 4 | 1 |
| Hornet 4 Drive | 21.4 | 6 | 258 | 110 | 3.08 | 3.215 | 19.44 | 1 | 0 | 3 | 1 |
| Hornet Sportabout | 18.7 | 8 | 360 | 175 | 3.15 | 3.440 | 17.02 | 0 | 0 | 3 | 2 |
| Valiant | 18.1 | 6 | 225 | 105 | 2.76 | 3.460 | 20.22 | 1 | 0 | 3 | 1 |

```
knitr::kable(
  head(mtcars),
  caption = "Una kable knitr"
)
```

Otros paquetes proporcionan opciones adicionales: `xtable`, `stargazer`, `pander`, `tables` y `ascii`.

3.5 Cabecera YAML

En un fichero RMarkdown se puede incluir metadatos en una cabecera en formato YAML (YAML Ain't Markup Language, <https://en.wikipedia.org/wiki/YAML>), comenzando y terminando con tres guiones `---`. Los metadatos de YAML son típicamente opciones de renderizado consistentes en pares de etiquetas y valores separados por dos puntos. Por ejemplo:

```
---
title: "Creación de contenidos con RMarkdown"
author: "Fernández-Casal, R. y Cotos-Yáñez, T.R."
date: "`r Sys.Date() `"
output: html_document
---
```

Aunque no siempre es necesario, se recomienda que los valores de texto se introduzcan entre comillas (se puede incluir código R en línea, como por ejemplo ``r Sys.Date() `` para obtener la fecha actual). Para valores lógicos se puede emplear `yes/true` y `no/false` para verdadero y falso, respectivamente.

Los valores pueden ser vectores, por ejemplo las siguientes opciones son equivalentes:

```
bibliography: [book.bib, packages.bib]
```

```
bibliography:
- book.bib
- packages.bib
```

También pueden ser listas, añadiendo una sangría de dos espacios (importante):

```
output:
  html_document:
    toc: yes
    toc_float: yes
  pdf_document:
    toc: yes
```

El campo `output` permite especificar el formato y las opciones de salida (por defecto se empleará la primera). Empleando este campo también se pueden especificar opciones gráficas para los bloques de código, por ejemplo:

```
output:
  html_document:
    fig_width: 7
```

```
fig_height: 6
fig_caption: true
```

La mayoría de los campos YAML son opciones que el paquete `rmarkdown` le pasa a Pandoc (ver documentación en el Apéndice A).

Un ejemplo adicional³:

```
---
title: "Creación de contenidos con RMarkdown"
subtitle: "Curso de introducción a R"
author:
- name: "Rubén Fernández Casal (ruben.fcasal@udc.es)"
  affiliation: "Universidade da Coruña"
- name: "Tomás R. Cotos Yáñez (tcotos@uvigo.es)"
  affiliation: "Universidade de Vigo"
date: "2023-03-31"
logo: rmarkdown.png
output:
  html_document:
    toc: yes # incluir tabla de contenido
    toc_float: yes # toc flotante a la izquierda
    number_sections: yes # numerar secciones y subsecciones
    code_folding: hide # por defecto el código aparecerá oculto
    mathjax: local # emplea una copia local de MathJax, hay que establecer:
    self_contained: false # las dependencias se guardan en ficheros externos
    lib_dir: libs # directorio para librerías (Bootstrap, MathJax, ...)
  pdf_document:
    toc: yes
    toc_depth: 2
    keep_tex: yes # conservar fichero latex
---
```

Como se puede deducir del ejemplo anterior, en el formato YAML podemos incluir comentarios con el carácter `#` (por ejemplo para no emplear alguna de las opciones sin borrarla del encabezado).

En el Capítulo 3 del libro de RMarkdown se tiene información detallada sobre las opciones de los distintos formatos de salida (sobre ficheros HTML en la sección HTML document y sobre PDF/LaTeX en PDF document).

3.6 Extracción del código R

Para generar un fichero con el código R se puede emplear la función `knitr::ktable()`. Por ejemplo:

```
purl("Informe.Rmd")
```

Si se quiere además el texto RMarkdown como comentarios tipo `spin()`, se puede emplear:

```
purl("Informe.Rmd", documentation = 2)
```

3.7 Spin

Una forma rápida de crear este tipo de informes a partir de un fichero de código R es emplear la función `spin()` del paquete `knitr` (ver p.e. <https://yihui.org/knitr/demo/stitch/#spin-comment-out-texts>).

Para ello se debe comentar todo lo que no sea código R de una forma especial:

³Puede ser interesante ejecutar `str(rmarkdown::html_document())` para ver un listado de todas las opciones disponibles de `html_document`

- El texto RMarkdown se comenta con `#'`.

Por ejemplo:

```
#' # Este es un título de primer nivel
#' ## Este es un título de segundo nivel
```

- Las opciones de un trozo de código se comentan con `#+`.

Por ejemplo:

```
#+ setup, include=FALSE
opts_chunk$set(comment=NA, prompt=TRUE, dev='svg', fig.height=6, fig.width=6)
```

Para generar el informe se puede emplear la función `knitr::purl()`. Por ejemplo: `spin("Ridge_Lasso.R")`. También se podría abrir directamente el informe generado:

```
browseURL(url = knitr::spin("Ridge_Lasso.R"))
```

Pero puede ser recomendable renderizarlo con `rmarkdown`:

```
library(rmarkdown)
browseURL(url = render(knitr::spin("Ridge_Lasso.R", knit = FALSE)))
```

En RStudio basta con pulsar *Ctrl + Shift + K*, el icono correspondiente en la barra superior, o seleccionar *File > Compile Report...*

Por ejemplo, si se quiere convertir la salidas de un fichero de código de R a formato LaTeX (para añadirlas fácilmente a un documento en este formato), bastaría con incluir una cabecera de la forma:

```
#' ---
#' title: "Título"
#' author: "Autor"
#' date: "Fecha"
#' output:
#'   pdf_document:
#'     keep_tex: true
#' ---
```

3.8 Extensiones RMarkdown de pandoc

Como ya se comentó, RMarkdown utiliza la sintaxis extendida proporcionada por Pandoc. Por ejemplo, se pueden añadir sub^{índices} y super^{índices} con `sub~índices~` y `super^índices^`, y notas al pie con `^[texto]`.

Podemos incluir expresiones matemáticas en formato LaTeX:

- En línea escribiendo la expresión latex entre dos símbolos de dolar, por ejemplo `$$\alpha, \beta, \gamma, \delta$` resultaría en $\alpha, \beta, \gamma, \delta$.
- En formato ecuación empleando dos pares de símbolos de dolar. Por ejemplo: `$$\Theta = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix}$$$` resultaría en:

$$\Theta = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix}$$

También admite bibliografía, ver p.e. Pandoc Citations. Lo más cómodo puede ser emplear un archivo de bibliografía en formato BibTeX, lo que se describe con detalle en Citations. Será necesario añadir un campo `bibliography` en la cabecera YAML, por ejemplo:

```
bibliography: bibliografia.bib
csl: apa.csl # opcional
```

Suponiendo que en el directorio de trabajo están los ficheros de bibliografía *bibliografia.bib* y de estilo *apa.csl* (ver <http://citationstyles.org/>, desde donde se pueden descargar distintos archivos de estilo).

Las referencias en el texto RMarkdown se incluyen con `@referencia` o `[@referencia]`. Pandoc generará el listado de referencias al final del documento, por lo que nos puede interesar insertar una última sección `# Bibliografía {-}` al generar documentos HTML (en PDF se hará automáticamente al emplear LaTeX). En RStudio se puede instalar el “Addin” `citr` para insertar citas a referencias bibliográficas en formato BibTeX.

Para más detalles de las extensiones de Pandoc ver por ejemplo Pandoc’s Markdown.

Parte II

Tidyverse

Capítulo 4

El ecosistema tidyverse

En los capítulos de esta parte se pretende realizar una breve introducción al *ecosistema Tidyverse*, una colección de paquetes diseñados de forma uniforme (con la misma filosofía y estilo) para trabajar conjuntamente.

La referencia recomendada para usuarios de R que deseen iniciarse en el uso de estos paquetes es:

Wickham, H., y Grolemund, G. (2016). *R for data science: import, tidy, transform, visualize, and model data*, online-castellano, O'Reilly.

El paquete **tidyverse** está diseñado para facilitar la instalación y carga de los paquetes principales de la colección tidyverse con un solo comando. Al instalar este paquete se instalan paquetes que forman el denominado núcleo de tidyverse (se cargan con `library(tidyverse)`):

- **ggplot2**: visualización de datos.
- **dplyr**: manipulación de datos.
- **tidyr**: reorganización (limpieza) de datos.
- **readr**: importación de datos.
- **tibble**: tablas de datos (extensión de `data.frame`).
- **purrr**: programación funcional.
- **stringr**: manipulación de cadenas de texto.
- **forcats**: manipulación de factores.
- **lubridate**: manipulación de fechas y horas.

y un conjunto de paquetes recomendados (**feather**, **haven**, **modelr**, **broom**...), entre los que destacaría:

- **readxl**: archivos excel.
- **hms**: manipulación de medidas de tiempo.
- **httr**: web APIs.
- **jsonlite**: archivos JSON.
- **rvest**: web scraping.
- **xml2**: archivos XML.

```
library(tidyverse)
```

También hay paquetes “asociados”:

- **rlang**
- **tidyselect**
- **tidymodels**

Muchos otros paquetes están adaptando este estilo (ver e.g. **tidyverts**): **fable**, **sf**...

Resumiendo, está muy de moda y puede terminar convirtiéndose en un dialecto del lenguaje R... para mí ya lo es... todo lo que resulte de utilidad es bien venido... Recomiendo evitar estos paquetes en las primeras etapas de formación en R...

El estilo de programación tiene como origen la gramática de `ggplot2` para crear gráficos de forma declarativa, basado a su vez en:

Wilkinson, L. (2005). *The Grammar of Graphics*. Springer.

Yo empleo este paquete como sustituto de los gráficos `lattice`, en algunos informes finales o aplicaciones para empresas, o para gráficos muy especializados. En condiciones normales **prefiero emplear los gráficos estándar** de R (mucho más rápidos de generar y programar).

Para iniciarse en este paquete lo recomendado es consultar los capítulos Data Visualización y Graphics for communication de R for Data Science. También puede resultar de interés la chuleta). La referencia que cubre con mayor profundidad este paquete es:

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for Data Analysis* (3ª edición, en desarrollo junto a Navarro, D. y Pedersen, T.L.). Springer.

En `ggplot2` se emplea el operador `+` para añadir componentes de los gráficos (ver , en *Tidyverse* se emplea un operador de redirección para añadir operaciones.

4.1 Operador *pipe* (redirección)

El operador `%>%` (paquete `magrittr`) permite canalizar la salida de una función a la entrada de otra. Por ejemplo, `segundo(primer(datos))` se traduce en `datos %>% primero %>% segundo`, lo que facilita la lectura de operaciones al escribir las funciones de izquierda a derecha.

Desde la versión 4.1 de R está disponible un operador interno `|>` (aunque yo sigo prefiriendo `%>%`). Por ejemplo:

```
# El fichero 'empleados.RData' contiene datos de empleados de un banco.
# Supongamos por ejemplo que estamos interesados en estudiar si hay
# discriminación por cuestión de sexo o raza.

load("datos/empleados.RData")
# NOTA: Cuidado con la codificación latin1 (no declarada)
# al abrir archivos creados en versiones anteriores de R < 4.2:
# load("datos/empleados.latin1.RData")

# Listamos las etiquetas
knitr::kable(attr(empleados, "variable.labels"), col.names = "Etiqueta")
```

| | Etiqueta |
|----------|-------------------------------|
| id | Código de empleado |
| sexo | Sexo |
| fechnac | Fecha de nacimiento |
| educ | Nivel educativo (años) |
| catlab | Categoría laboral |
| salario | Salario actual |
| salini | Salario inicial |
| tiempemp | Meses desde el contrato |
| expprev | Experiencia previa (meses) |
| minoria | Clasificación étnica |
| sexoraza | Clasificación por sexo y raza |

```
# Eliminamos las etiquetas para que no molesten...
# attr(empleados, "variable.labels") <- NULL
```

```
empleados |> subset(catlab == "Directivo", catlab:sexoraza) |> summary()
```

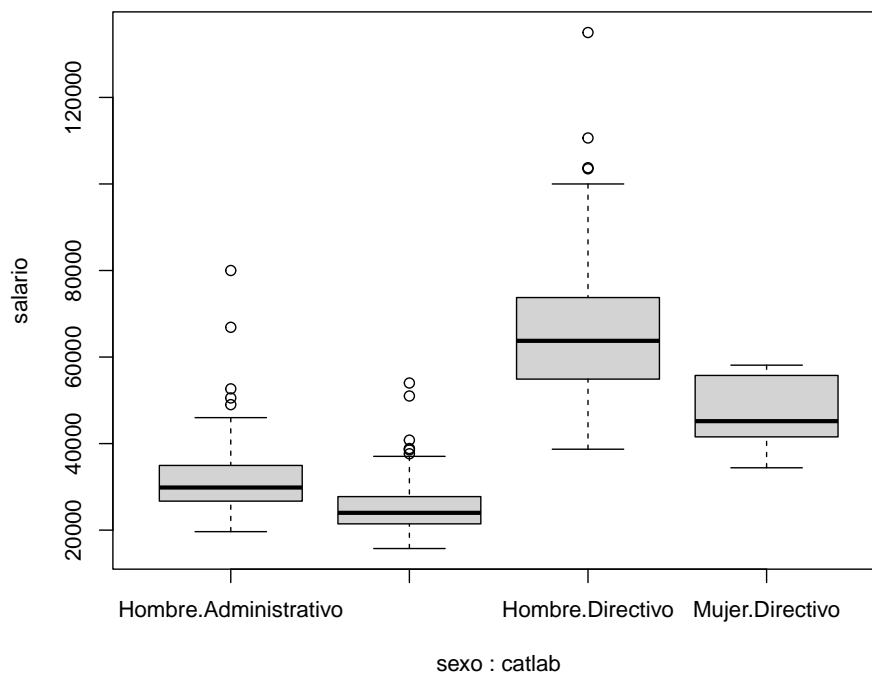
```
##           catlab      salario      salini      tiempemp
## Administrativo: 0   Min.    : 34410   Min.    :15750   Min.    :64.00
```

```
## Seguridad      : 0   1st Qu.: 51956   1st Qu.:23063   1st Qu.:73.00
## Directivo      :84   Median  : 60500   Median  :28740   Median  :81.00
##               Mean   : 63978   Mean   :30258   Mean   :81.15
##               3rd Qu.: 71281   3rd Qu.:34058   3rd Qu.:91.00
##               Max.   :135000   Max.   :79980   Max.   :98.00
## expprev        minoria        sexoraza
## Min.   : 3.00   No:80   Blanca varón :70
## 1st Qu.: 19.75  Sí: 4   Blanca mujer  : 4
## Median : 52.00          Minoría varón:10
## Mean   : 77.62          Minoría mujer: 0
## 3rd Qu.:125.25
## Max.   :285.00
```

Para que una función sea compatible con este tipo de operadores el primer parámetro debería ser siempre los datos. Sin embargo, el operador `%>%` permite redirigir el resultado de la operación anterior a un parámetro distinto mediante un `..` Por ejemplo:

```
# "?" />"
# empleados /> subset(catlab != "Seguridad") /> droplevels />
#   boxplot(salario ~ sexo*catlab, data = .) # ERROR

library(magrittr)
empleados %>% subset(catlab != "Seguridad") %>% droplevels() %>%
  boxplot(salario ~ sexo*catlab, data = .)
```



Capítulo 5

Manipulación de datos con dplyr y tidyr

En este capítulo se realiza una breve introducción al paquete `dplyr` y se comentan algunas de las utilidades del paquete `tidyr` que pueden resultar de interés¹.

La referencia recomendada para iniciarse en esta herramienta es el Capítulo 5 Data transformation de R for Data Science. También puede resultar de utilidad la viñeta del paquete Introduction to dplyr o la chuleta (menú de RStudio *Help > Cheat Sheets > Data Transformation with dplyr*).

5.1 El paquete dplyr

```
library(dplyr)
```

La principal ventaja de `dplyr` es que permite trabajar (de la misma forma) con datos en distintos formatos:

- `data.frame`, `tibble`.
- `data.table`: extensión (paquete *backend*) `dtplyr`.
- conjuntos de datos más grandes que la memoria disponible: extensiones `duckdb` y `arrow` (incluyendo almacenamiento en la nube, e.g. AWS).
- bases de datos relacionales (lenguaje SQL, locales o remotas); extensión `dbplyr`.
- grandes volúmenes de datos (incluso almacenados en múltiples servidores; ecosistema Hadoop/Spark): extensión `sparklyr` (ver menú de RStudio *Help > Cheat Sheets > Interfacing Spark with sparklyr*).

El paquete `dplyr` permite sustituir operaciones con funciones base de R (como `subset`, `split`, `apply`, `sapply`, `lapply`, `tapply`, `aggregate`...) por una “gramática” más sencilla para la manipulación de datos. En lugar de operar sobre vectores como la mayoría de las funciones base, opera sobre conjuntos de datos (de forma que es compatible con el operador `%>%`). Los principales “verbos” (funciones) son:

- `select()`: seleccionar variables (ver también `rename`, `relocate`, `pull`).
- `mutate()`: crear variables (ver también `transmute()`).
- `filter()`: seleccionar casos/filas (ver también `slice()`).
- `arrange()`: ordenar casos/filas.
- `summarise()`: resumir valores.

¹Otra alternativa (más rápida) es `data.table` pero en versiones recientes ya se puede emplear desde `dplyr`, como se comenta más adelante.

- `group_by()`: permite operaciones por grupo empleando el concepto “dividir-aplicar-combinar” (`ungroup()` elimina el agrupamiento).

NOTA: Para entender el funcionamiento de ciertas funciones (como `rowwise()`) y las posibilidades en el manejo de datos, hay que tener en cuenta que un `data.frame` no es más que una lista cuyas componentes (variables) tienen la misma longitud. Realmente las componentes también pueden ser listas de la misma longitud y, por tanto, podemos almacenar casi cualquier estructura de datos en un `data.frame`.

En la primera parte de este capítulo consideraremos solo `data.frame` por comodidad. Emplearemos como ejemplo los datos de empleados de banca almacenados en el fichero `empleados.RData` (y supondremos que estamos interesados en estudiar si hay discriminación por cuestión de sexo o raza).

```
load("datos/empleados.RData")
attr(empleados, "variable.labels") <- NULL
```

En la Sección 5.6 final emplearemos una base de datos relacional como ejemplo.

5.2 Operaciones con variables (columnas)

Podemos **seleccionar variables con `select()`**:

```
emplea2 <- empleados %>% select(id, sexo, minoria, tiempemp, salini, salario)
head(emplea2)
```

```
##   id  sexo minoria tiempemp salini salario
## 1  1 Hombre      No      98  27000  57000
## 2  2 Hombre      No      98  18750  40200
## 3  3 Mujer      No      98  12000  21450
## 4  4 Mujer      No      98  13200  21900
## 5  5 Hombre      No      98  21000  45000
## 6  6 Hombre      No      98  13500  32100
```

Se puede cambiar el nombre (ver también `rename()`):

```
empleados %>% select(sexo, noblanca = minoria, salario) %>% head()
```

```
##      sexo noblanca salario
## 1 Hombre      No  57000
## 2 Hombre      No  40200
## 3 Mujer      No  21450
## 4 Mujer      No  21900
## 5 Hombre      No  45000
## 6 Hombre      No  32100
```

Se pueden emplear los nombres de variables como índices:

```
empleados %>% select(sexo:salario) %>% head()
```

```
##      sexo  fechnac educ      catlab salario
## 1 Hombre 1952-02-03  15 Directivo  57000
## 2 Hombre 1958-05-23  16 Administrativo 40200
## 3 Mujer 1929-07-26  12 Administrativo 21450
## 4 Mujer 1947-04-15   8 Administrativo 21900
## 5 Hombre 1955-02-09  15 Administrativo 45000
## 6 Hombre 1958-08-22  15 Administrativo 32100
```

```
# empleados %>% select(-(sexo:salario)) %>% head()
empleados %>% select(!(sexo:salario)) %>% head()
```

```
##   id salini tiempemp expprev minoria  sexoraza
## 1  1  27000      98    144      No Blanca varón
```



```
## 2 2 18750      98      36      No Blanca varón
## 3 3 12000      98     381      No Minoría varón
## 4 4 13200      98     190      No Minoría varón
## 5 5 21000      98     138      No Blanca varón
## 6 6 13500      98      67      No Blanca varón
```

Se pueden emplear distintas herramientas (*selection helpers*) para seleccionar variables (ver paquete `tidyselect`):

- `starts_with`, `ends_with`, `contains`, `matches`, `num_range`: variables que coincidan con un patrón.
- `all_of`, `any_of`: variables de un vector de caracteres.
- `everything`, `last_col`: todas las variables o la última variable.
- `where()`: a partir de una función (e.g. `where(is.numeric)`)

Por ejemplo:

```
empleados %>% select(starts_with("s")) %>% head()
```

```
##      sexo salario salini      sexoraza
## 1 Hombre  57000 27000  Blanca varón
## 2 Hombre  40200 18750  Blanca varón
## 3 Mujer   21450 12000  Minoría varón
## 4 Mujer   21900 13200  Minoría varón
## 5 Hombre  45000 21000  Blanca varón
## 6 Hombre  32100 13500  Blanca varón
```

Podemos crear variables con `mutate()`:

```
emplea2 %>% mutate(incsal = salario - salini, tsal = incsal/tiempemp) %>% head()
```

```
##   id  sexo minoria tiempemp salini salario incsal      tsal
## 1  1 Hombre      No      98 27000  57000 30000 306.12245
## 2  2 Hombre      No      98 18750  40200 21450 218.87755
## 3  3 Mujer      No      98 12000  21450  9450  96.42857
## 4  4 Mujer      No      98 13200  21900  8700  88.77551
## 5  5 Hombre      No      98 21000  45000 24000 244.89796
## 6  6 Hombre      No      98 13500  32100 18600 189.79592
```

5.3 Operaciones con casos (filas)

Podemos seleccionar casos con `filter()`:

```
emplea2 %>% filter(sexo == "Mujer", minoria == "Sí") %>% head()
```

```
##   id  sexo minoria tiempemp salini salario
## 1 14 Mujer      Sí      98 16800  35100
## 2 23 Mujer      Sí      97 11100  24000
## 3 24 Mujer      Sí      97  9000  16950
## 4 25 Mujer      Sí      97  9000  21150
## 5 40 Mujer      Sí      96  9000  19200
## 6 41 Mujer      Sí      96 11550  23550
```

Podemos reordenar casos con `arrange()`:

```
emplea2 %>% arrange(salario) %>% head()
```

```
##   id  sexo minoria tiempemp salini salario
## 1 378 Mujer      No      70 10200  15750
## 2 338 Mujer      No      74 10200  15900
```

```
## 3  90 Mujer      No      92  9750  16200
## 4 224 Mujer      No      82 10200  16200
## 5 411 Mujer      No      68 10200  16200
## 6 448 Mujer      Si      66 10200  16350

emplea2 %>% arrange(desc(salini), salario) %>% head()
```

```
##   id  sexo minoria tiempemp salini salario
## 1  29 Hombre     No      96  79980 135000
## 2 343 Hombre     No      73  60000 103500
## 3 205 Hombre     No      83  52500  66750
## 4 160 Hombre     No      86  47490  66000
## 5 431 Hombre     No      66  45000  86250
## 6  32 Hombre     No      96  45000 110625
```

Podemos resumir valores con `summarise()`:

```
empleados %>% summarise(sal.med = mean(salario), n = n())
```

```
##   sal.med  n
## 1 34419.57 474
```

Para realizar **operaciones con múltiples variables podemos emplear `across()`** (admite selección de variables `tidyselect`):

```
empleados %>% summarise(across(where(is.numeric), mean), n = n())
```

```
##   id      educ  salario  salini tiempemp expprev  n
## 1 237.5 13.49156 34419.57 17016.09 81.1097 95.86076 474
```

```
# empleados %>% summarise(across(where(is.numeric) & !id, mean), n = n())
```

NOTA: Esta función sustituye a las “variantes de ámbito” `_at()`, `_if()` y `_all()` de versiones anteriores de `dplyr` (como `summarise_at()`, `summarise_if()`, `summarise_all()`, `mutate_at()`, `mutate_if()`...) y también el uso de `vars()`. En el caso de `filter()` se puede emplear `if_any()` e `if_all()`.

Podemos agrupar casos con `group_by()`:

```
empleados %>% group_by(sexo, minoria) %>%
  summarise(sal.med = mean(salario), n = n()) %>%
  ungroup()
```

```
## # A tibble: 4 x 4
##   sexo  minoria sal.med  n
##   <fct> <fct>    <dbl> <int>
## 1 Hombre No      44475.  194
## 2 Hombre Si      32246.   64
## 3 Mujer No      26707.  176
## 4 Mujer Si      23062.   40
```

```
empleados %>% group_by(sexo, minoria) %>%
  summarise(sal.med = mean(salario), n = n(), .groups = "drop")
```

```
## # A tibble: 4 x 4
##   sexo  minoria sal.med  n
##   <fct> <fct>    <dbl> <int>
## 1 Hombre No      44475.  194
## 2 Hombre Si      32246.   64
## 3 Mujer No      26707.  176
## 4 Mujer Si      23062.   40
```

```
# dplyr >= 1.1.0 # packageVersion("dplyr")
# empleados %>% summarise(sal.med = mean(salario), n = n(),
#                          .by = c(sexo, minoria))
```

Por defecto la agrupación se mantiene para el resto de operaciones, habría que emplear `ungroup()` (o el argumento `.groups = "drop"`) para eliminarla (se puede emplear `group_vars()` o `str()` para ver la agrupación). Desde dplyr 1.1.0 (2023-01-29) está disponible un parámetro `.by/by` en `mutate()`, `summarise()`, `filter()` y `slice()` como alternativa a agrupar y desagrupar posteriormente. Para más detalles ver [Per-operation grouping with .by/by](#).

5.4 Herramientas tidy

Algunas funciones del paquete `tidyr` que pueden resultar de especial interés son:

- `pivot_wider()`: permite transformar valores de grupos de casos a nuevas variables.
- `pivot_longer()`: realiza la transformación inversa, colapsar varias columnas en una.

Ver la viñeta [Pivoting](#) para más detalles.

- `separate()`: permite separar una columna de texto en varias (ver también `extract()`).

Ver [mortalidad.R](#) en ejemplos.

5.5 Operaciones con tablas de datos

Se emplean funciones `xxx_join()` (ver la documentación del paquete [Join two tbls together](#), o la vignette [Two-table verbs](#)):

- `inner_join()`: devuelve las filas de `x` que tienen valores coincidentes en `y`, y todas las columnas de `x` e `y`. Si hay varias coincidencias entre `x` e `y`, se devuelven todas las combinaciones.
- `left_join()`: devuelve todas las filas de `x` y todas las columnas de `x` e `y`. Las filas de `x` sin correspondencia en `y` contendrán `NA` en las nuevas columnas. Si hay varias coincidencias entre `x` e `y`, se devuelven todas las combinaciones (duplicando las filas).
- `right_join()` hace lo contrario, devuelve todas las filas de `y`.
- `full_join()` devuelve todas las filas de `x` e `y` (duplicando o asignando `NA` si es necesario).
- `semi_join()`: devuelve las filas de `x` que tienen valores coincidentes en `y`, manteniendo sólo las columnas de `x` (al contrario que `inner_join()` no duplica filas).
- `anti_join()` hace lo contrario, devuelve las filas sin correspondencia.

El parámetro `by` determina las variables clave para las correspondencias. Si no se establece se considerarán todas las que tengan el mismo nombre en ambas tablas. Se puede establecer a un vector de nombres coincidentes y en caso de que los nombres sean distintos a un vector con nombres de la forma `c("clave_x" = "clave_y")`.

Adicionalmente, si las tablas `x` e `y` tienen las mismas variables, se pueden combinar las observaciones con operaciones de conjuntos:

- `intersect(x, y)`: observaciones en `x` y en `y`.
- `union(x, y)`: observaciones en `x` o `y` no duplicadas.
- `setdiff(x, y)`: observaciones en `x` pero no en `y`.

5.6 Bases de datos con dplyr

Para poder usar tablas en bases de datos relacionales con `dplyr` hay que emplear el paquete `dbplyr` (convierte automáticamente el código de `dplyr` en consultas SQL).

Algunos enlaces:

- Best Practices in Working with Databases
- Introduction to dbplyr
- Data Carpentry: SQL databases and R,
- R and Data – When Should we Use Relational Databases?

5.6.1 Ejemplos

Como ejemplo emplearemos la base de datos de SQLite Sample Database Tutorial, almacenada en el archivo *chinook.db*.

```
# install.packages('dbplyr')
library(dplyr)
library(dbplyr)
```

En primer lugar hay que conectar la base de datos:

```
chinook <- DBI::dbConnect(RSQLite::SQLite(), "datos/chinook.db")
```

Podemos listar las tablas:

```
src_dbi(chinook)
```

```
## src:  sqlite 3.36.0 [D:\OneDrive - Universidade da Coruña\__Actual\__IGE\__book_notasr\datos\chinook.db]
## tbls: albums, artists, customers, employees, genres, invoice_items, invoices,
##      media_types, playlist_track, playlists, sqlite_sequence, sqlite_stat1, tracks
```

Para enlazar una tabla:

```
invoices <- tbl(chinook, "invoices")
invoices
```

```
## # Source:   table<invoices> [?? x 9]
## # Database: sqlite 3.36.0 [D:\OneDrive - Universidade da
## # Coruña\__Actual\__IGE\__book_notasr\datos\chinook.db]
##   InvoiceId CustomerId InvoiceDate Billi~2 Billi~3 Billi~4 Billi~5 Billi~6 Total
##   <int>      <int>      <chr>      <chr>   <chr>   <chr>   <chr>   <dbl>
## 1         1          2 2009-01-0~ Theodo~ Stuttg~ <NA>   Germany 70174    1.98
## 2         2          4 2009-01-0~ Ullevå~ Oslo   <NA>   Norway  0171    3.96
## 3         3          8 2009-01-0~ Grétry~ Brusse~ <NA>   Belgium 1000    5.94
## 4         4         14 2009-01-0~ 8210 1~ Edmont~ AB     Canada  T6G 2C7  8.91
## 5         5         23 2009-01-1~ 69 Sal~ Boston MA     USA     2113    13.9
## 6         6         37 2009-01-1~ Berger~ Frankf~ <NA>   Germany 60316    0.99
## 7         7         38 2009-02-0~ Barbar~ Berlin <NA>   Germany 10779    1.98
## 8         8         40 2009-02-0~ 8, Rue~ Paris  <NA>   France  75002    1.98
## 9         9         42 2009-02-0~ 9, Pla~ Bordea~ <NA>   France  33000    3.96
## 10        10         46 2009-02-0~ 3 Chat~ Dublin Dublin Ireland <NA>    5.94
## # ... with more rows, and abbreviated variable names 1: InvoiceDate,
## # 2: BillingAddress, 3: BillingCity, 4: BillingState, 5: BillingCountry,
## # 6: BillingPostalCode
```

Ojo [?? x 9]: de momento no conoce el número de filas.

```
nrow(invoices)
```

```
## [1] NA
```

Podemos mostrar la consulta SQL correspondiente a una operación:

```
show_query(head(invoices))
```

```
## <SQL>
## SELECT *
## FROM `invoices`
## LIMIT 6
# str(head(invoices))
```

Al trabajar con bases de datos, dplyr intenta ser lo más vago posible:

- No exporta datos a R a menos que se pida explícitamente (`collect()`).
- Retrasa cualquier operación lo máximo posible: agrupa todo lo que se desea hacer y luego hace una única petición a la base de datos.

```
invoices %>% head %>% collect
```

```
## # A tibble: 6 x 9
##   InvoiceId CustomerId InvoiceDate Billi~1 Billi~2 Billi~3 Billi~4 Billi~5 Total
##   <int>      <int> <chr>      <chr> <chr> <chr> <chr> <chr> <dbl>
## 1         1         2 2009-01-01~ Theodo~ Stuttg~ <NA> Germany 70174 1.98
## 2         2         4 2009-01-02~ Ullevå~ Oslo <NA> Norway 0171 3.96
## 3         3         8 2009-01-03~ Grétry~ Brusse~ <NA> Belgium 1000 5.94
## 4         4        14 2009-01-06~ 8210 1~ Edmont~ AB Canada T6G 2C7 8.91
## 5         5        23 2009-01-11~ 69 Sal~ Boston MA USA 2113 13.9
## 6         6        37 2009-01-19~ Berger~ Frankf~ <NA> Germany 60316 0.99
## # ... with abbreviated variable names 1: BillingAddress, 2: BillingCity,
## #   3: BillingState, 4: BillingCountry, 5: BillingPostalCode
```

```
invoices %>% count # número de filas
```

```
## # Source:   lazy query [?? x 1]
## # Database: sqlite 3.36.0 [D:\OneDrive - Universidade da
## #   Coruña\__Actual\__IGE\__book_notasr\datos\chinook.db]
##         n
##   <int>
## 1    412
```

Por ejemplo, para obtener el importe mínimo, máximo y la media de las facturas:

```
res <- invoices %>% summarise(min = min(Total, na.rm = TRUE),
                              max = max(Total, na.rm = TRUE), med = mean(Total, na.rm = TRUE))
# show_query(res)
res %>% collect
```

```
## # A tibble: 1 x 3
##   min  max  med
##   <dbl> <dbl> <dbl>
## 1  0.99 25.9  5.65
```

Para obtener el total de las facturas de cada uno de los países:

```
res <- invoices %>% group_by(BillingCountry) %>%
  summarise(n = n(), total = sum(Total, na.rm = TRUE))
# show_query(res)
res %>% collect
```

```
## # A tibble: 24 x 3
##   BillingCountry      n total
##   <chr>          <int> <dbl>
## 1 Argentina         7  37.6
## 2 Australia         7  37.6
## 3 Austria           7  42.6
## 4 Belgium           7  37.6
```

```
## 5 Brazil          35 190.
## 6 Canada          56 304.
## 7 Chile            7  46.6
## 8 Czech Republic  14  90.2
## 9 Denmark          7  37.6
## 10 Finland         7  41.6
## # ... with 14 more rows
```

Para obtener un listado con Nombre y Apellidos de cliente y el importe de cada una de sus facturas (Hint: WHERE customer.CustomerID=invoices.CustomerID):

```
customers <- tbl(chinook, "customers")
tbl_vars(customers)
```

```
## <dplyr::vars>
## [1] "CustomerId" "FirstName" "LastName" "Company" "Address"
## [6] "City" "State" "Country" "PostalCode" "Phone"
## [11] "Fax" "Email" "SupportRepId"
```

```
res <- customers %>% inner_join(invoices, by = "CustomerId") %>% select(FirstName, LastName, Country)
show_query(res)
```

```
## <SQL>
## SELECT `FirstName`, `LastName`, `Country`, `Total`
## FROM (SELECT `LHS`.`CustomerId` AS `CustomerId`, `FirstName`, `LastName`, `Company`, `Address`, `City`, `State`, `PostalCode`, `Phone`, `Fax`, `Email`, `SupportRepId`
## FROM `customers` AS `LHS`
## INNER JOIN `invoices` AS `RHS`
## ON (`LHS`.`CustomerId` = `RHS`.`CustomerId`))
## )
```

```
res %>% collect
```

```
## # A tibble: 412 x 4
##   FirstName LastName Country Total
##   <chr>      <chr>    <chr>  <dbl>
## 1 Luís      Gonçalves Brazil    3.98
## 2 Luís      Gonçalves Brazil    3.96
## 3 Luís      Gonçalves Brazil    5.94
## 4 Luís      Gonçalves Brazil    0.99
## 5 Luís      Gonçalves Brazil    1.98
## 6 Luís      Gonçalves Brazil   13.9
## 7 Luís      Gonçalves Brazil    8.91
## 8 Leonie    Köhler    Germany  1.98
## 9 Leonie    Köhler    Germany  13.9
## 10 Leonie   Köhler    Germany  8.91
## # ... with 402 more rows
```

Para listar los 10 mejores clientes (aquellos a los que se les ha facturado más cantidad) indicando Nombre, Apellidos, Pais y el importe total de su facturación:

```
customers %>% inner_join(invoices, by = "CustomerId") %>% group_by(CustomerId) %>%
  summarise(FirstName, LastName, country, total = sum(Total, na.rm = TRUE)) %>%
  arrange(desc(total)) %>% head(10) %>% collect
```

```
## # A tibble: 10 x 5
##   CustomerId FirstName LastName Country total
##   <int> <chr>      <chr>    <chr>  <dbl>
## 1         6 Helena    Holý      Czech Republic  49.6
## 2        26 Richard  Cunningham USA        47.6
## 3         57 Luis      Rojas     Chile        46.6
## 4         45 Ladislav Kovács    Hungary     45.6
```

| | | | | | | |
|----|----|----|--------|------------|---------|------|
| ## | 5 | 46 | Hugh | O'Reilly | Ireland | 45.6 |
| ## | 6 | 28 | Julia | Barnett | USA | 43.6 |
| ## | 7 | 24 | Frank | Ralston | USA | 43.6 |
| ## | 8 | 37 | Fynn | Zimmermann | Germany | 43.6 |
| ## | 9 | 7 | Astrid | Gruber | Austria | 42.6 |
| ## | 10 | 25 | Victor | Stevens | USA | 42.6 |

Al finalizar hay que desconectar la base de datos:

```
DBI::dbDisconnect(chinook)
```


Referencias

Fernández-Casal R., Costa J. y Oviedo de la Fuente, M. (2021). *Aprendizaje Estadístico*. github.

Fernández-Casal R., Roca-Pardiñas J., Costa J. y Oviedo-de la Fuente M. (2023). *Introducción al Análisis de Datos con R*. ISBN: 978-84-09-41823-7. github.

Grolemund, G. (2014). *Hands-on programming with R: Write your own functions and simulations*, O'Reilly.

Kuhn, M. y Silge, J. (2022). *Tidy Modeling with R*. O'Reill.

Matloff, N. (2011). *The art of R programming: A tour of statistical software design*, No Starch Press.

Wickham, H. (2015). *R packages: organize, test, document, and share your code* (actualmente 2ª edición en desarrollo con H. Bryan), O'Reilly, 1ª edición.

Wickham, H. (2019). *Advanced R, 2ª edición*, Chapman & Hall, 1ª edición..

Wickham, H., y Grolemund, G. (2016). *R for data science: import, tidy, transform, visualize, and model data*, online-castellano, O'Reilly.

NOTA: En la bibliografía complementaria se incluyen algunas de estas referencias, y una selección de libros en abierto, organizados por temas.

Bibliografía por temas

En preparación...

A continuación se muestra una selección de **libros en abierto** que considero que pueden resultar de utilidad. Para referencias adicionales recomiendo consultar:

- Baruffa, O. (2022). *Big Book of R: Your last-ever bookmark (hopefully...)*.

Iniciación a la programación en R

- Wickham, H., y Grolemund, G. (2016). *R for data science: import, tidy, transform, visualize, and model data*, online-castellano, O'Reilly.
- Grolemund, G. (2014). *Hands-on programming with R: Write your own functions and simulations*, O'Reilly.
- Fernández-Casal R., Roca-Pardiñas J., Costa J., y Oviedo de la Fuente, M. (2022). *Introducción al Análisis de Datos con R*. github.
- Peng, R.D. (2022). *R Programming for Data Science*, Leanpub.

Programación avanzada en R

- Wickham, H. (2019). *Advanced R, 2ª edición*, Chapman & Hall, 1ª edición..
- Wickham, H. (2015). *R packages: organize, test, document, and share your code* (actualmente 2ª edición en desarrollo con H. Bryan), O'Reilly, 1ª edición.

Rmarkdown

- Fernández-Casal, R. y Cotos-Yáñez, T.R. (2018). *Escritura de libros con bookdown*, github. Incluye un apéndice con una Introducción a RMarkdown.

Gráficos

- Chang, W. (2023). *The R Graphics Cookbook*. O'Reilly.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for Data Analysis* (3ª edición, en desarrollo junto a Navarro, D. y Pedersen, T.L.). Springer.

Regresión y aprendizaje estadístico

- Fernández-Casal R., Costa J. y Oviedo de la Fuente, M. (2021). *Aprendizaje Estadístico*. github.
- Kuhn, M., y Silge, J. (2022). *Tidy Modeling with R*, O'Reilly.
- Fernández-Casal R., Cao R. y Costa J. (2023). *Técnicas de Simulación y Remuestreo* (github). La anterior edición (Fernández-Casal R. y Cao R., 2022, *Simulación Estadística*) está disponible en la rama *primera_edicion*.

Datos temporales y espaciales

- Fernández-Casal R. y Cotos-Yáñez T.R. (2021). *Estadística Espacial con R*. github.
- Hyndman, R.J., y Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: principles and practice*. OTexts.
- Lovelace, R., Nowosad, J., y Muenchow, J. (2019). *Geocomputation with R*. CRC.
- Moraga, P. (2019). *Geospatial health data: Modeling and visualization with R-INLA and shiny*, CRC.
- Pebesma, E., y Bivand, R. (2021). *Spatial Data Science*.

Datos faltantes

- Buuren, S. (2018). *Flexible Imputation of Missing Data*, Chapman & Hall.

Manuales oficiales

<https://cran.r-project.org/manuals.html>

- Intro to R
- R Data Import/Export
- R Installation and Administration
- Writing R extensions
- The R language definition
- R Internals

Enlaces

Repositorio: [rubencasal/book_notasr](https://github.com/rubencasal/book_notasr)

Recursos para el aprendizaje de R: En este post se muestran algunos recursos que pueden ser útiles para el aprendizaje de R y la obtención de ayuda.

Bookdown:

- Notas de programación en R

- Introducción a RMarkdown.

Posit (RStudio)

- Blog
- Videos
- Chuletas (Cheatsheets)
- ***tidyverse***:
 - dplyr
 - tibble
 - tidyr
 - stringr
 - readr
 - Best Practices in Working with Databases
- tidymodels
- sparklyr
- shiny

Apéndice A

Pandoc

Pandoc es un conversor de documentos libre y de código abierto, Pandoc puede leer archivos en distintos formatos, incluyendo:

- Distintos dialectos de Markdown
- HTML
- LaTeX
- Microsoft Word docx
- LibreOffice ODT
- EPUB

Puede convertir los documentos de entrada a muchos otros formatos, incluyendo Office Open XML, OpenDocument, HTML, Wiki markup, InDesign ICML, ebooks, OPML, y varios formatos basados en TeX (desde donde se puede producir un PDF). En la web oficial <https://pandoc.org> hay un listado completo de los formatos soportados. Pandoc también proporciona distintas extensiones de Markdown para que admita resultados más complejos.

Pandoc es una herramienta independiente de línea de comandos (sin interfaz gráfica), que se instala automáticamente con RStudio porque el paquete `rmarkdown` la emplea para generar los documentos de salida a partir de documentos Markdown (por ejemplo, en Windows en `C:\Program Files\RStudio\bin\pandoc\pandoc.exe`).

A.1 Conversión de documentos con Pandoc

La sintaxis del comando es `pandoc [opciones] [ficheros]`. Si se ejecuta `pandoc --help`, en la ventana de comandos o en la pestaña *Terminal* de RStudio, se obtiene un listado detallado de las opciones. También se puede consultar el manual de Pandoc <https://pandoc.org/MANUAL.html>.

Si Pandoc no está configurado en la ruta de búsqueda, habrá que reemplazar `pandoc` por la ruta completa al ejecutable. Por ejemplo, para emplear la versión instalada con RStudio en Windows habrá que introducir `"C:\Program Files\RStudio\bin\pandoc\pandoc"`.

Podemos emplear Pandoc para convertir contenido escrito en otros formatos a Markdown, por ejemplo:

- Un fichero word a markdown `"C:\Program Files\RStudio\bin\pandoc\pandoc" fichero.docx -f docx -t markdown --extract-media . -o fichero.Rmd`

Ver `docx2md.bat` y `alldocx2md.bat` (o `alldocx2md2.bat` si RStudio/quarto).

- Un fichero LaTeX a markdown `"C:\Program Files\RStudio\bin\pandoc\pandoc" fichero.tex -f latex -t markdown -o fichero.Rmd`

Ver `tex2md.bat` y `alltex2md.bat` (o `alltex2md2.bat` si RStudio/quarto).

- Una web a markdown "C:\Program Files\RStudio\bin\pandoc\pandoc" `http://url.org -f html -t markdown -o fichero.Rmd`

Ver web2md.bat (o web2md2.bat si RStudio/quarto).

Por defecto *pandoc* produce en algunos casos un fragmento de documento (cuando el formato de salida no es markdown). Para obtener un documento independiente (e.g. un fichero HTML válido incluyendo `<head>` y `<body>`), habrá que emplear la opción `-s` o `--standalone`.

A.2 Pandoc y RMarkdown

Como ya se comentó, el paquete *rmarkdown* llama a *pandoc* para renderizar un documento RMarkdown¹, y esta llamada se muestra en la consola (o en la correspondiente pestaña de RStudio):

```
"C:/Program Files/RStudio/bin/pandoc/pandoc" +RTS -K512m -RTS Informes.utf8.md --to html4
--from markdown+autolink_bare_uris+ascii_identifiers+tex_math_single_backslash
--output Informes.html --smart --email-obfuscation none --self-contained --standalone
--section-divs --table-of-contents --toc-depth 3 --variable toc_float=1
--variable toc_selectors=h1,h2,h3 --variable toc_collapsed=1 --variable toc_smooth_scroll=1
--variable toc_print=1 --template "C:\PROGRA~1\R\R-35~1.1\library\RMARKD~1\rmd\h\DEFAULT~1.HTM"
--no-highlight --variable highlightjs=1 --variable "theme:bootstrap" --include-in-header
"C:\Users\RUBEN~1\FCA\AppData\Local\Temp\RtmpkntXD8\rmarkdown-str2084caf51da.html" --mathjax
--variable "mathjax-url:https://mathjax.rstudio.com/latest/MathJax.js?config=TeX-AMS-MML_HTMLorMML"
```

Output created: Informes.html

La mayoría de los campos de la cabecera YAML de un fichero RMarkdown se traducen en las opciones de Pandoc. Por ejemplo, la cabecera:

```
---
output:
  html_document:
    number_sections: yes
---
```

(que produce la numeración de secciones y subsecciones), se corresponde con la opción `--number-sections` de *pandoc*. También se puede establecer cualquier opción de Pandoc en la cabecera YAML mediante el campo `pandoc_args`, por ejemplo:

```
---
output:
  html_document:
    pandoc_args: ["--number-offset", "4,0", "--number-sections"]
---
```

(en este caso la numeración comenzaría en 4).

¹Desde la versión 2, antes se utilizaba *knitr* y *markdown*.

Bibliografía

Xie, Y. (2021). *knitr: A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R*. R package version 1.33.

Xie, Y., Allaire, J., and Golemund, G. (2018). *R Markdown: The Definitive Guide*. CRC Press.