

# Práctica 2: ¿Cómo realizar la limpieza y análisis de datos?

David Fernández Álvarez y Sara Robisco Cavite

Diciembre 2022

## Contents

<b>1. Introducción y descripción del dataset</b>	<b>2</b>
1.1. ¿Por qué es importante y qué pregunta/problema pretende responder? . . . . .	2
1.2. Descripción visual y estructura . . . . .	2
1.3. Transformación de variables . . . . .	4
<b>2. Integración y selección de los datos de interés a analizar</b>	<b>7</b>
2.1. Limpieza de los datos . . . . .	7
2.2. Identificación y gestión de los valores extremos . . . . .	11
<b>3. Análisis de los datos</b>	<b>12</b>
3.1. Selección de los grupos de datos que se quieren analizar/comparar . . . . .	12
3.2. Comprobación de la normalidad y homogeneidad de la varianza . . . . .	12
3.3. Aplicación de pruebas estadísticas para comparar los grupos de datos . . . . .	14
<b>4. Resolución del problema</b>	<b>18</b>
<b>6. Vídeo</b>	<b>18</b>

# 1. Introducción y descripción del dataset

## 1.1. ¿Por qué es importante y qué pregunta/problema pretende responder?

La importancia de este conjunto de datos radica en nuestra curiosidad por conocer más a fondo los datos que componen las **detecciones de ondas gravitacionales** detectadas por el consorcio **LIGO, VIRGO y KAGRA**, tanto las confirmadas como las rechazadas. La idea es aprender más de estos fenómenos gracias a sus datos.

Con estos datos queremos intentar responder algunas preguntas:

- ¿Qué intervalos de masas de objetos son los más detectados?
- ¿Influyen las masas de los objetos antes de la colisión en la masa del objeto resultante?
- ¿Hay periodos del año donde haya más probabilidad de detecciones de cierta masa? Si es así ¿De qué región del espacio provienen?
- ¿Cuáles son las detecciones más cercanas? ¿Y las más lejanas?

## 1.2. Descripción visual y estructura

Para describir el dataset de una forma visual, cargamos las librerías `ggplot2` y `dplyr`:

```
# https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html
if (!require('ggplot2')) install.packages('ggplot2'); library('ggplot2')
# https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html
if (!require('dplyr')) install.packages('dplyr'); library('dplyr')
```

Ahora cargamos el fichero de datos:

```
dataset <- read.csv('../dataset/detecciones_ondas_gravitacionales.csv',
  filas=dim(dataset)[1]
```

Para describir el conjunto de datos en profundidad vamos a comenzar verificando su estructura:

```
str(dataset)
```

```
## 'data.frame':   119 obs. of  36 variables:
## $ name          : chr  "GW200322_091133" "GW200316_215756" "GW200311_115853" "GW200310_105853"
## $ version       : chr  "v1" "v1" "v1" "v1" ...
## $ release       : chr  "GWTC-3-confident" "GWTC-3-confident" "GWTC-3-confident" "GWTC-3-confident"
## $ gps           : num  1.27e+09 1.27e+09 1.27e+09 1.27e+09 1.27e+09 ...
## $ mass_1        : num  34 13.1 34.2 NA 36.4 28.3 37.8 19.3 40 38.9 ...
## $ mass_1_upper   : num  48 10.2 6.4 NA 11.2 17.1 8.7 5 6.9 14.1 ...
## $ mass_1_lower   : num  -18 -2.9 -3.8 NA -9.6 -7.7 -8.5 -3 -4.5 -8.6 ...
## $ mass_2        : num  14 7.8 27.7 NA 13.8 14.8 20 14 32.5 27.9 ...
## $ mass_2_upper   : num  16.8 1.9 4.1 NA 7.2 6.5 8.1 2.8 5 9.2 ...
## $ mass_2_lower   : num  -8.7 -2.9 -5.9 NA -3.3 -6.4 -5.7 -3.5 -7.2 -9 ...
## $ network_snr    : num  6 10.3 17.8 9.2 7.1 7.8 10.8 12.5 20 8.5 ...
## $ network_snr_upper : num  1.7 0.4 0.2 NA 0.5 0.4 0.3 0.3 0.2 0.3 ...
## $ network_snr_lower : num  -1.2 -0.7 -0.2 NA -0.5 -0.6 -0.4 -0.4 -0.2 -0.5 ...
## $ distance       : int  3600 1120 1170 NA 5400 2100 1480 1150 1710 4000 ...
## $ distance_upper  : int  7000 470 280 NA 2700 1700 1020 510 490 2800 ...
## $ distance_lower  : int  -2000 -440 -400 NA -2600 -1100 -700 -530 -640 -2200 ...
## $ chi_eff        : num  0.24 0.13 -0.02 NA 0.65 0.32 0.01 -0.12 0.1 -0.07 ...
## $ chi_eff_upper   : num  0.45 0.27 0.16 NA 0.17 0.28 0.25 0.17 0.15 0.27 ...
## $ chi_eff_lower   : num  -0.51 -0.1 -0.2 NA -0.21 -0.46 -0.26 -0.28 -0.15 -0.33 ...
## $ total_mass      : num  55 21.2 61.9 NA 50.6 43.9 57.8 33.5 72.2 67 ...
```

```

## $ total_mass_upper      : num  37 7.2 5.3 NA 10.9 11.8 9.6 3.6 7.2 17 ...
## $ total_mass_lower      : num  -27 -2 -4.2 NA -8.5 -7.5 -6.9 -3 -5.1 -12 ...
## $ chirp_mass            : num  15.5 8.75 26.6 NA 19 17.5 23.4 14.2 31.1 28.2 ...
## $ chirp_mass_upper      : num  15.7 0.62 2.4 NA 4.8 3.5 4.7 1.5 3.2 7.3 ...
## $ chirp_mass_lower      : num  -3.7 -0.55 -2 NA -2.8 -3 -3 -1.4 -2.6 -5.1 ...
## $ detector_frame_chirp_mass : num  NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA ...
## $ detector_frame_chirp_mass_upper: num  NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA ...
## $ detector_frame_chirp_mass_lower: num  NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA ...
## $ redshift              : num  0.6 0.22 0.23 NA 0.83 0.38 0.28 0.22 0.32 0.66 ...
## $ redshift_upper        : num  0.84 0.08 0.05 NA 0.32 0.24 0.16 0.09 0.08 0.36 ...
## $ redshift_lower        : num  -0.3 -0.08 -0.07 NA -0.35 -0.18 -0.12 -0.1 -0.11 -0.31 ...
## $ false_alarm_rate      : chr   "140" "â%¤ 1.0e-05" "â%¤ 1.0e-05" "1.3" ...
## $ p_astro               : chr   "0.62" "â%¥ 0.99" "â%¥ 0.99" "0.19" ...
## $ final_mass            : chr   "53" "20.2" "59.0" "" ...
## $ final_mass_upper       : num  38 7.4 4.8 NA 11.1 12.3 8.9 3.5 6.6 16 ...
## $ final_mass_lower       : num  -26 -1.9 -3.9 NA -7.7 -6.9 -6.6 -2.8 -4.7 -11 ...

```

Observamos que tenemos **119 registros** correspondientes con datos de ondas gravitacionales y **36 variables** que los caracterizan. A continuación describimos las variables:

- **name:** cadena de caracteres con el identificador de la detección de la onda gravitacional.
- **version:** versión de la detección. Se revisan periódicamente.
- **release:** datos de la comunicación de la detección, si es confirmada, si es descartada...
- **gps:** fecha y hora de la detección en formato GPS.
- **mass\_1:** masa del primer objeto en masas solares.
- **mass\_1\_upper:** valor máximo del rango de error de la masa del primer objeto.
- **mass\_1\_lower:** valor mínimo del rango de error de la masa del primer objeto.
- **mass\_2:** masa del segundo objeto en masas solares.
- **mass\_2\_upper:** valor máximo del rango de error de la masa del segundo objeto.
- **mass\_2\_lower:** valor mínimo del rango de error de la masa del segundo objeto.
- **network\_snr:** ratio señal/ruido en la red.
- **network\_snr\_upper:** valor máximo del rango de error del ratio señal/ruido en la red.
- **network\_snr\_lower:** valor mínimo del rango de error del ratio señal/ruido en la red.
- **distance:** distancia a la que se ha producido la colisión, en Megapársecs.
- **distance\_upper:** valor máximo del rango de error de la distancia.
- **distance\_lower:** valor mínimo del rango de error de la distancia.
- **chi\_eff:** correlación de campo z de las fusiones de agujeros negros binarios.
- **chi\_eff\_upper:** valor máximo del rango de error de la correlación de campo.
- **chi\_eff\_lower:** valor mínimo del rango de error de la correlación de campo.
- **total\_mass:** masa total de ambos cuerpos. Medida en masas solares.
- **total\_mass\_upper:** valor máximo del rango de error de la masa total.
- **total\_mass\_lower:** valor mínimo del rango de error de la masa total.
- **chirp\_mass:** masa efectiva de un sistema binario. Medida en masas solares.

- **chirp\_mass\_upper**: valor máximo del rango de error de la masa efectiva.
- **chirp\_mass\_lower**: valor mínimo del rango de error de la masa efectiva.
- **detector\_Frame\_Chirp\_Mass**: marco del detector de la masa efectiva. Medida en masas solares.
- **detector\_Frame\_Chirp\_mass\_upper**: valor máximo del rango de error del marco del detector de la masa efectiva.
- **detector\_Frame\_Chirp\_mass\_lower**: valor mínimo del rango de error del marco del detector de la masa efectiva.
- **redshift**: corrimiento al rojo, marca la velocidad a la que se alejan de nosotros.
- **redshift\_upper**: valor máximo del rango de error del corrimiento al rojo.
- **redshift\_lower**: valor mínimo del rango de error del corrimiento al rojo.
- **false\_Alarm\_Rate**: tasa de falsa alarma. La medida es años elevado a -1.
- **p\_astro**: probabilidad de que el evento tenga un origen astrofísico.
- **final\_mass**: masa final del objeto resultante tras la colisión. Medida en masas solares.
- **final\_mass\_upper**: valor máximo del rango de error de la masa final.
- **final\_mass\_lower**: valor mínimo del rango de error de la masa final.

### 1.3. Transformación de variables

Observamos que tenemos **seis variables** de tipo **caracter**: tres tienen el tipo adecuado, pero hay otras tres que deberían ser de tipo **numérico**: **false\_alarm\_rate**, **p\_astro** y **final\_mass**. Esto debemos corregirlo, para ello los transformaremos en numéricos:

```
dataset$false_alarm_rate <- as.numeric(dataset$false_alarm_rate)
dataset$p_astro <- as.numeric(dataset$p_astro)
dataset$final_mass <- as.numeric(dataset$final_mass)
```

También convertimos las fechas de formato GPS a fecha y obtenemos el mes de la detección:

```
library(lubridate)
```

```
## Warning: package 'lubridate' was built under R version 4.2.2
## Loading required package: timechange
## Warning: package 'timechange' was built under R version 4.2.2
##
## Attaching package: 'lubridate'
## The following objects are masked from 'package:base':
##
##     date, intersect, setdiff, union
```

```
dataset$fecha <- as.POSIXct(dataset$gps, origin="1980-01-06", tz="UTC")
dataset$mes <- month(dataset$fecha)
```

También tenemos un campo en el que se indica si la detección es buena o no, ese es el campo **release**. Debemos transformarlo para poder clasificar las detecciones entre confirmadas o no y así poder sacar mejores conclusiones. Vamos a meter ese valor en una nueva variable:

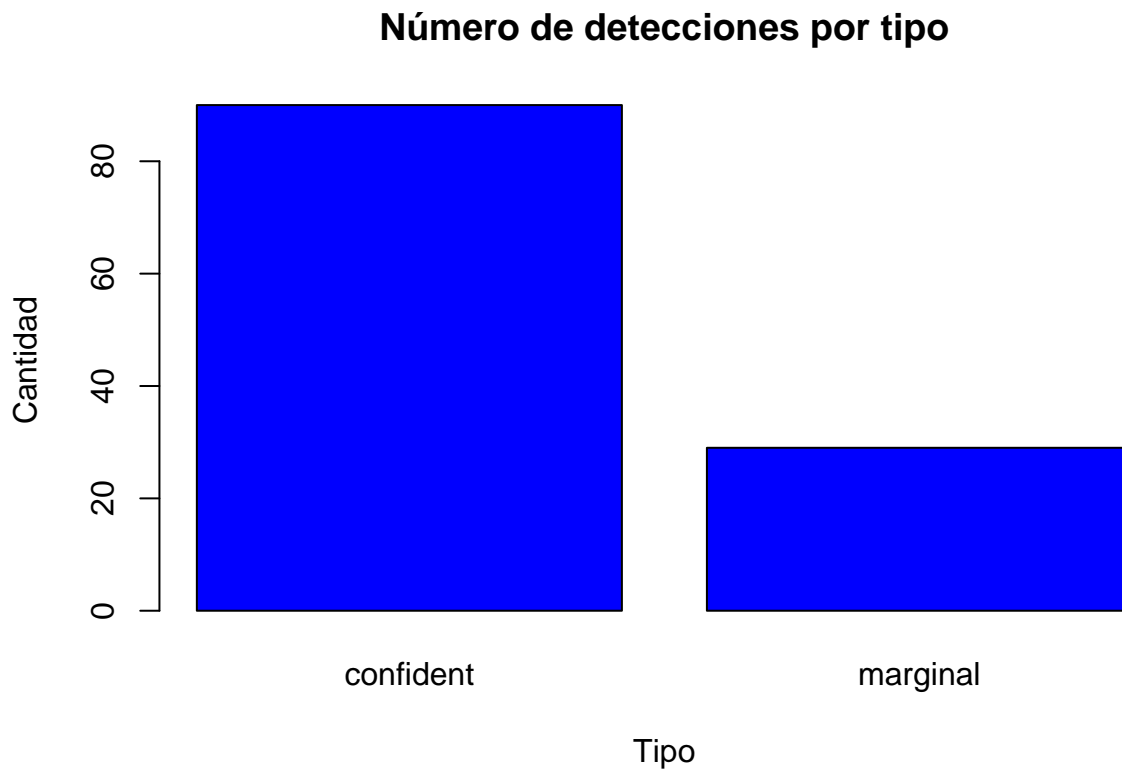
```
library(stringr)
```

```
## Warning: package 'stringr' was built under R version 4.2.2
```

```
dataset$tipo <- ifelse(str_detect(dataset$release, "confident"), "confident", "marginal")
```

Veamos ahora cuántas son detecciones de ondas gravitacionales **confirmadas** y cuántas no. Lo haremos mostrando un gráfico:

```
plot(factor(dataset$tipo),main="Número de detecciones por tipo",xlab="Tipo",
      , ylab="Cantidad",col = "blue")
```



Tenemos unas **29 detecciones de tipo marginal**, hemos tomado además como marginales aquellas que no estaban etiquetadas. Para hacer cálculos nos quedaremos como las etiquetadas como **buenas**:

```
# Eliminamos las filas de las ondas gravitacionales no confirmadas
dt_confident <- dataset[dataset$tipo!='marginal',]
```

Ahora mostramos cómo queda el análisis estadístico:

```
summary(dt_confident)
```

```
##      name          version      release          gps
## Length:90      Length:90      Length:90      Min.   :1.126e+09
## Class :character Class :character Class :character 1st Qu.:1.242e+09
## Mode  :character Mode  :character Mode  :character Median :1.251e+09
##                                     Mean  :1.243e+09
##                                     3rd Qu.:1.261e+09
##                                     Max.   :1.269e+09
##
##      mass_1      mass_1_upper      mass_1_lower      mass_2
## Min.   : 1.46      Min.   : 0.12      Min.   : -33.000      Min.   : 1.170
```

```

## 1st Qu.: 21.40    1st Qu.: 5.65    1st Qu.: -9.600    1st Qu.: 8.225
## Median : 35.25    Median : 9.50    Median : -6.000    Median :22.750
## Mean   : 35.05    Mean   : 12.84    Mean   : -7.676    Mean   :21.657
## 3rd Qu.: 42.15    3rd Qu.: 14.07    3rd Qu.: -3.200    3rd Qu.:29.000
## Max.   :105.50    Max.   :104.00    Max.   : -0.100    Max.   :76.000
##
## mass_2_upper      mass_2_lower      network_snr      network_snr_upper
## Min.   : 0.070    Min.   : -36.500    Min.   : 6.000    Min.   :0.1000
## 1st Qu.: 2.250    1st Qu.: -9.275    1st Qu.: 9.025    1st Qu.:0.2000
## Median : 5.350    Median : -5.850    Median :10.850    Median :0.3000
## Mean   : 6.981    Mean   : -6.974    Mean   :12.358    Mean   :0.3365
## 3rd Qu.: 9.275    3rd Qu.: -2.425    3rd Qu.:13.350    3rd Qu.:0.4000
## Max.   :27.100    Max.   : -0.060    Max.   :33.000    Max.   :1.7000
##
##                                     NA's :5
## network_snr_lower      distance      distance_upper distance_lower
## Min.   : -1.2000    Min.   : 40    Min.   : 7    Min.   : -4290.0
## 1st Qu.: -0.6000    1st Qu.: 930    1st Qu.: 360    1st Qu.: -1492.5
## Median : -0.4000    Median :1580    Median : 755    Median : -650.0
## Mean   : -0.4847    Mean   :2098    Mean   :1362    Mean   : -990.2
## 3rd Qu.: -0.3000    3rd Qu.:3258    3rd Qu.:1925    3rd Qu.: -380.0
## Max.   : -0.2000    Max.   :8280    Max.   :7000    Max.   : -15.0
## NA's :5
## chi_eff      chi_eff_upper      chi_eff_lower      total_mass
## Min.   : -0.29000    Min.   :0.0200    Min.   : -0.5100    Min.   : 3.40
## 1st Qu.: -0.03000    1st Qu.:0.1525    1st Qu.: -0.3075    1st Qu.: 31.85
## Median : 0.05500    Median :0.2100    Median : -0.2300    Median : 58.10
## Mean   : 0.08178    Mean   :0.2166    Mean   : -0.2282    Mean   : 58.10
## 3rd Qu.: 0.15750    3rd Qu.:0.2600    3rd Qu.: -0.1300    3rd Qu.: 74.30
## Max.   : 0.68000    Max.   :0.5000    Max.   : -0.0100    Max.   :182.30
##
##                                     NA's :11
## total_mass_upper total_mass_lower      chirp_mass      chirp_mass_upper
## Min.   : 0.30    Min.   : -35.700    Min.   : 1.186    Min.   : 0.001
## 1st Qu.: 4.20    1st Qu.: -12.000    1st Qu.: 9.425    1st Qu.: 0.720
## Median : 9.30    Median : -7.500    Median :24.400    Median : 3.350
## Mean   : 13.34    Mean   : -8.459    Mean   :23.139    Mean   : 4.620
## 3rd Qu.: 17.55    3rd Qu.: -2.800    3rd Qu.:29.850    3rd Qu.: 7.250
## Max.   :100.00    Max.   : -0.100    Max.   :76.000    Max.   :23.000
## NA's :11    NA's :11
## chirp_mass_lower      detector_frame_chirp_mass detector_frame_chirp_mass_upper
## Min.   : -17.4000    Min.   : NA    Min.   : NA
## 1st Qu.: -4.9750    1st Qu.: NA    1st Qu.: NA
## Median : -2.4500    Median : NA    Median : NA
## Mean   : -3.3781    Mean :NaN    Mean :NaN
## 3rd Qu.: -0.6275    3rd Qu.: NA    3rd Qu.: NA
## Max.   : -0.0010    Max.   : NA    Max.   : NA
##
##                                     NA's :90    NA's :90
## detector_frame_chirp_mass_lower      redshift      redshift_upper
## Min.   : NA    Min.   :0.0100    Min.   :0.0000
## 1st Qu.: NA    1st Qu.:0.1900    1st Qu.:0.0625
## Median : NA    Median :0.2950    Median :0.1150
## Mean   :NaN    Mean   :0.3622    Mean   :0.1831
## 3rd Qu.: NA    3rd Qu.:0.5475    3rd Qu.:0.2600
## Max.   : NA    Max.   :1.1800    Max.   :0.8400
## NA's :90

```

```
## redshift_lower false_alarm_rate p_astro final_mass
## Min. : -0.5300 Min. : 0.00001 Min. : 0.5400 Min. : 7.20
## 1st Qu.: -0.2200 1st Qu.: 0.00570 1st Qu.: 0.8275 1st Qu.: 32.17
## Median : -0.1150 Median : 0.18000 Median : 0.9950 Median : 55.90
## Mean : -0.1517 Mean : 5.12571 Mean : 0.9071 Mean : 55.48
## 3rd Qu.: -0.0700 3rd Qu.: 2.40000 3rd Qu.: 1.0000 3rd Qu.: 69.08
## Max. : 0.0000 Max. : 140.00000 Max. : 1.0000 Max. : 172.90
## NA's : 37 NA's : 18 NA's : 2
## final_mass_upper final_mass_lower fecha
## Min. : 1.300 Min. : -33.600 Min. : 2015-09-14 09:51:02
## 1st Qu.: 4.075 1st Qu.: -11.000 1st Qu.: 2019-05-15 00:38:46
## Median : 8.550 Median : -6.500 Median : 2019-08-28 06:44:55
## Mean : 12.296 Mean : -7.706 Mean : 2019-05-31 22:21:51
## 3rd Qu.: 16.000 3rd Qu.: -2.775 3rd Qu.: 2019-12-21 12:49:50
## Max. : 100.000 Max. : -0.660 Max. : 2020-03-22 09:11:51
## NA's : 2 NA's : 2
## mes tipo
## Min. : 1.0 Length:90
## 1st Qu.: 4.0 Class :character
## Median : 7.0 Mode :character
## Mean : 6.4
## 3rd Qu.: 9.0
## Max. : 12.0
##
```

## 2. Integración y selección de los datos de interés a analizar

Puede ser el resultado de adicionar diferentes datasets o una subselección útil de los datos originales, en base al objetivo que se quiera conseguir.

Esta parte la obtendremos a partir de la **limpieza de los datos**, dejando como producto final un dataset con los datos relevantes.

### 2.1. Limpieza de los datos

¿Los datos contienen ceros o elementos vacíos? Gestiona cada uno de estos casos.

Veamos las estadísticas de **valores nulos**:

```
# Lo hacemos así porque hemos tenido problemas con la librería missForest
colSums(is.na(dt_confident))
```

```
## name version
## 0 0
## release gps
## 0 0
## mass_1 mass_1_upper
## 0 0
## mass_1_lower mass_2
## 0 0
## mass_2_upper mass_2_lower
## 0 0
## network_snr network_snr_upper
## 0 5
## network_snr_lower distance
```

```
##          5          0
##          distance_upper          distance_lower
##          0          0
##          chi_eff          chi_eff_upper
##          0          0
##          chi_eff_lower          total_mass
##          0          11
##          total_mass_upper          total_mass_lower
##          11          11
##          chirp_mass          chirp_mass_upper
##          0          0
##          chirp_mass_lower          detector_frame_chirp_mass
##          0          90
## detector_frame_chirp_mass_upper detector_frame_chirp_mass_lower
##          90          90
##          redshift          redshift_upper
##          0          0
##          redshift_lower          false_alarm_rate
##          0          37
##          p_astro          final_mass
##          18          2
##          final_mass_upper          final_mass_lower
##          2          2
##          fecha          mes
##          0          0
##          tipo
##          0
```

En función a las dos tablas obtenidas vamos viendo qué valores no podemos usar debido a su enorme cantidad de valores vacíos.

Por ejemplo: `detector_frame_chirp_mass`, `detector_frame_chirp_mass_upper` y `detector_frame_chirp_mass_lower` tienen casi todos sus valores **nulos**. Por este motivo **descartaremos estas columnas**. Al ser datos del propio detector no son críticos y no afectarán a nuestro resultado final.

También tenemos **valores vacíos** en los campos `total_mass` y `final_mass`. Son poquitos valores por lo que los imputaremos mediante **regresión lineal**. Comenzamos por `final_mass`:

```
# Tomamos los registros con valores NA
vacios <- which(is.na(dt_confident$final_mass))

# Generamos nuestro modelo de regresión lineal
modelo_fm <- lm(final_mass ~ mass_1+mass_2+chirp_mass, data=dt_confident)

# Evaluamos el modelo
summary(modelo_fm)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = final_mass ~ mass_1 + mass_2 + chirp_mass, data = dt_confident)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.6133 -0.2711 -0.0426  0.2254  5.6391
##
## Coefficients:
```



```
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.42137    0.17599   2.394  0.01888 *
## mass_1       1.08545    0.03102  34.994 < 2e-16 ***
## mass_2       1.15748    0.08524  13.579 < 2e-16 ***
## chirp_mass   -0.39810    0.12384  -3.215  0.00185 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.8019 on 84 degrees of freedom
## (2 observations deleted due to missingness)
## Multiple R-squared:  0.9994, Adjusted R-squared:  0.9993
## F-statistic: 4.371e+04 on 3 and 84 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Vemos que el **coeficiente de determinación** ajustado es **0.9993** por lo que el ajuste es muy bueno. Lo aplicamos:

```
# Rellenamos los datos
dt_confident$final_mass[vacios] <- predict(modelo_fm,
                                           newdata=dt_confident[vacios,c(34,5,8,23)] )

# Redondeamos a dos decimales
dt_confident$final_mass[vacios] <- round(dt_confident$final_mass[vacios],2)
```

Hacemos lo mismo con total\_mass:

```
# Tomamos los registros con valores NA
vacios <- which(is.na(dt_confident$total_mass))

# Generamos nuestro modelo de regresión lineal
modelo_tm <- lm(total_mass ~ chirp_mass+chi_eff+final_mass, data=dt_confident)

# Evaluamos el modelo
summary(modelo_tm)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = total_mass ~ chirp_mass + chi_eff + final_mass,
##     data = dt_confident)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.84368 -0.10366 -0.01427  0.11641  0.69333
##
## Coefficients:
##           Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) -0.16432    0.05554  -2.958  0.00413 **
## chirp_mass   0.17225    0.01281  13.452 < 2e-16 ***
## chi_eff      1.91878    0.17372  11.045 < 2e-16 ***
## final_mass   0.97336    0.00571 170.461 < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.2433 on 75 degrees of freedom
## (11 observations deleted due to missingness)
## Multiple R-squared:  1, Adjusted R-squared:  0.9999
## F-statistic: 5.166e+05 on 3 and 75 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Vemos que el **coeficiente de determinación** ajustado es **0.9999** por lo que el ajuste es muy bueno. Lo aplicamos:

```
# Rellenamos los datos
dt_confident$total_mass[vacios] <- predict(modelo_tm,
                                           newdata=dt_confident[vacios,c(20,23,17,34)] )

# Redondeamos a dos decimales
dt_confident$total_mass[vacios] <- round(dt_confident$total_mass[vacios],2)
```

Procederemos a **eliminar las columnas con valores vacíos**, así como variables que no aportan nada, dejando nuestro conjunto de datos listo para trabajar con él:

```
# Eliminar columnas del dataframe
columnas_borrar <- c("version","release","gps","detector_frame_chirp_mass",
                    "detector_frame_chirp_mass_upper",
                    "detector_frame_chirp_mass_lower", "tipo",
                    "network_snr_upper","network_snr_lower",
                    "final_mass_upper","final_mass_lower","total_mass_upper",
                    "total_mass_lower","false_alarm_rate","p_astro")

ondas_g <- dt_confident[ , !(names(dt_confident) %in% columnas_borrar)]

head(ondas_g,5)
```

```
##           name mass_1 mass_1_upper mass_1_lower mass_2 mass_2_upper
## 1 GW200322_091133   34.0       48.0       -18.0   14.0       16.8
## 2 GW200316_215756   13.1       10.2        -2.9    7.8        1.9
## 3 GW200311_115853   34.2        6.4        -3.8   27.7        4.1
## 5 GW200308_173609   36.4       11.2        -9.6   13.8        7.2
## 6 GW200306_093714   28.3       17.1        -7.7   14.8        6.5
##  mass_2_lower network_snr distance distance_upper distance_lower chi_eff
## 1          -8.7         6.0      3600          7000         -2000    0.24
## 2          -2.9        10.3      1120           470         -440    0.13
## 3          -5.9        17.8      1170           280         -400   -0.02
## 5          -3.3         7.1      5400          2700         -2600    0.65
## 6          -6.4         7.8      2100          1700         -1100    0.32
##  chi_eff_upper chi_eff_lower total_mass chirp_mass chirp_mass_upper
## 1          0.45       -0.51       55.0      15.50       15.70
## 2          0.27       -0.10       21.2       8.75        0.62
## 3          0.16       -0.20       61.9      26.60        2.40
## 5          0.17       -0.21       50.6      19.00        4.80
## 6          0.28       -0.46       43.9      17.50        3.50
##  chirp_mass_lower redshift redshift_upper redshift_lower final_mass
## 1          -3.70      0.60           0.84         -0.30       53.0
## 2          -0.55      0.22           0.08         -0.08       20.2
## 3          -2.00      0.23           0.05         -0.07       59.0
## 5          -2.80      0.83           0.32         -0.35       47.4
## 6          -3.00      0.38           0.24         -0.18       41.7
##           fecha mes
## 1 2020-03-22 09:11:51  3
## 2 2020-03-16 21:58:14  3
## 3 2020-03-11 11:59:11  3
## 5 2020-03-08 17:36:27  3
## 6 2020-03-06 09:37:32  3
```

## 2.2. Identificación y gestión de los valores extremos

Creamos un subset “ondas\_g\_num” que contenga solamente las columnas **numéricas** de nuestro dataset para analizar sus valores extremos o *outliers*.

Tras esto, utilizamos la función `boxplot` para realizar un diagrama de caja por cada variable numérica, y obtenemos los valores *outliers* de aquellas que los tengan:

```
ondas_g_num <- ondas_g %>% select(-name, -fecha)

# Creamos un panel de 4x6 (para tener suficiente espacio)
par(mfrow = c(4,6), mar = c(1,1,2,1), oma = c(1,0,1,1), cex.main=0.95)

# Creamos una lista de colores para cada boxplot
colors <- c("red", "orange", "yellow", "green", "blue", "brown",
            "violet", "pink", "tomato", "gold", "lawngreen", "lightblue",
            "magenta", "deepskyblue", "dodgerblue", "cornflowerblue",
            "darkblue", "darkred", "darkorchid", "royalblue", "slateblue")

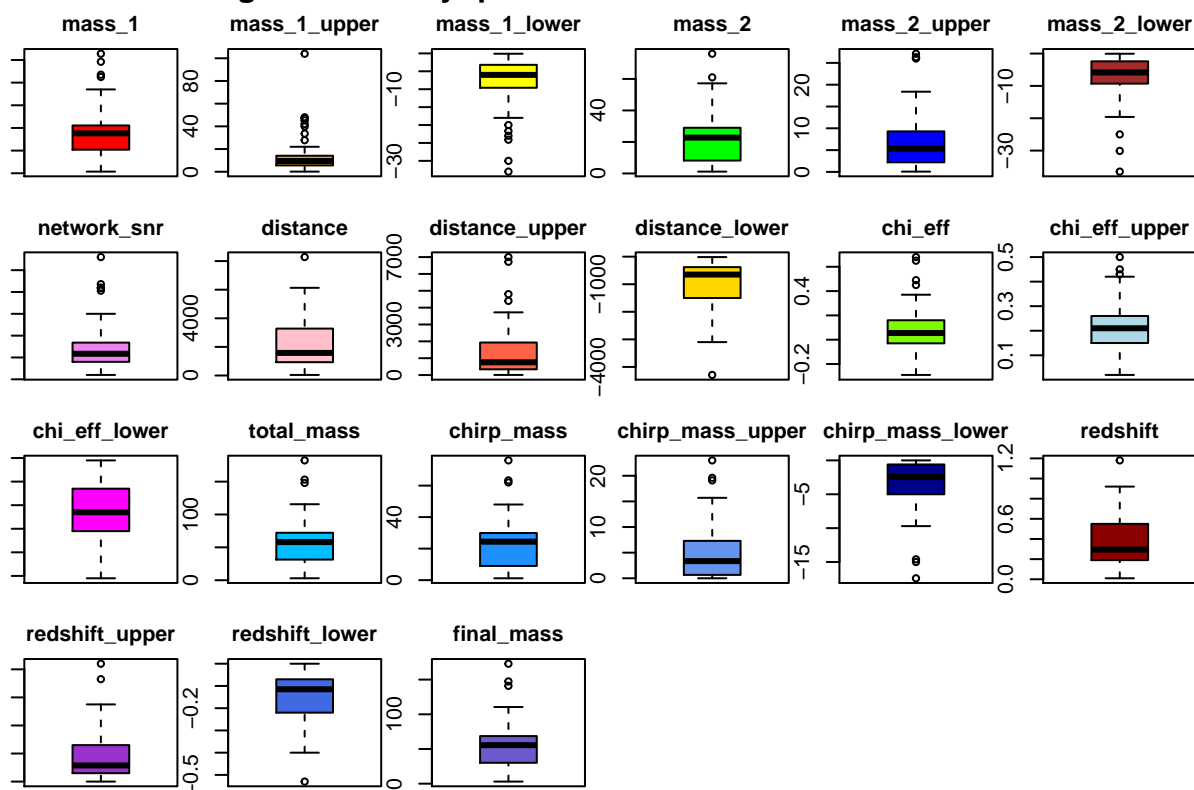
# Iteramos y creamos un boxplot por cada grupo de variables
valores <- list()
for (i in 1:21) {
  valores <- append(valores,
    boxplot(ondas_g_num[i], main = colnames(ondas_g_num[i]),
      xlab = "A", col = colors[i])
  )
}

# Ponemos un título a la figura entera
mtext("Diagramas de caja para identificar los valores extremos",
  side = 3, line = -0.1, outer = TRUE, font = 2)

# Obtenemos los valores "outliers" para cada variable, las que tengan
for (i in 1:21) {
  if (!is.null(valores[i]$out)) {
    print(sprintf("Valores extremos para '%s':", colnames(ondas_g_num[i])))
    print(valores[i]$out)
  }
}

## [1] "Valores extremos para 'mass_2':"
## [1] 87.0 98.4 105.5 85.0
## [1] "Valores extremos para 'distance_lower':"
## [1] 48.0 40.0 104.0 47.0 42.1 33.6 45.3 27.8
## [1] "Valores extremos para 'chirp_mass_upper':"
## [1] -23.0 -30.0 -20.0 -21.7 -24.1 -33.0
```

## Diagramas de caja para identificar los valores extremos



Como podemos observar, hay **3 variables** con valores *outliers*, las cuales son:

- **mass\_2**: Los valores outliers son [87, 98.4, 105.5, 85]
- **distance\_lower**: Los valores outliers son [48, 40, 104, 47, 42.1, 33.6, 45.3, 27.8]
- **chirp\_mass\_upper**: Los valores outliers son [-23, -30, -20, -21.7, -24.1, -33]

Dado que no tenemos dudas ni pruebas para asegurar que la técnica de obtención de los datos ha sido incorrecta, ni consideramos que el uso de éstos afecte negativamente a nuestro análisis, tomaremos estos valores extremos como **datos válidos** y los seguiremos incluyendo en nuestro dataset.

## 3. Análisis de los datos

### 3.1. Selección de los grupos de datos que se quieren analizar/comparar

Por ejemplo, si se van a comparar grupos de datos, ¿cuáles son estos grupos y qué tipo de análisis se van a aplicar?

Hemos decidido comparar los valores: mass\_1, mass\_2, chirp\_mass y final\_mass. La finalidad es conocer si hay correlación entre la masa final tras la colisión con la masa de cada cuerpo y la masa del sistema binario.

### 3.2. Comprobación de la normalidad y homogeneidad de la varianza

Comenzaremos comprobando la normalidad, para ello emplearemos el test de Shapiro-Wilk. Comenzaremos por Mass\_1:

```
shapiro.test(ondas_g$mass_1)
```

```
##
```

```
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: ondas_g$mass_1
## W = 0.92527, p-value = 6.667e-05
```

Observamos que el p-valor es menor que 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que los datos no siguen una distribución normal. Veamos qué ocurre con Mass\_2:

```
shapiro.test(ondas_g$mass_2)
```

```
##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: ondas_g$mass_2
## W = 0.93085, p-value = 0.0001316
```

De nuevo el p-valor es menor que 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que los datos no siguen una distribución normal. Veamos qué ocurre con chirp\_mass:

```
shapiro.test(ondas_g$chirp_mass)
```

```
##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: ondas_g$chirp_mass
## W = 0.92964, p-value = 0.0001134
```

Otra vez el p-valor es menor que 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula. Por tanto, los datos no siguen una distribución normal. Veamos qué ocurre con final\_mass:

```
shapiro.test(ondas_g$final_mass)
```

```
##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: ondas_g$final_mass
## W = 0.93133, p-value = 0.0001398
```

Aquí también el p-valor es menor que 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula. Por este motivo, los datos no siguen una distribución normal. Como también nos interesa conocer si hay una época del año con más detecciones, ejecutaremos el test con el mes:

```
shapiro.test(ondas_g$mes)
```

```
##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: ondas_g$mes
## W = 0.94373, p-value = 0.0007009
```

Vemos que en el mes tampoco se sigue una distribución normal. Procedemos ahora a calcular la Homocedasticidad. Al tener datos que no cumplen con la normalidad, debemos aplicar el test de Fligner-Killeen. Lo haremos por parejas con respecto al resultado, la masa final.

```
fligner.test(mass_1 ~ final_mass, data = ondas_g)
```

```
##
## Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
##
## data: mass_1 by final_mass
```

```
## Fligner-Killeen:med chi-squared = 82.082, df = 81, p-value = 0.4455
```

Observamos que el p-valor devuelto es muy superior a 0.05, por lo que podemos concluir que la variable `mass_1` presenta varianzas estadísticamente similares para los diferentes valores de `final_mass`. Veamos si ocurre lo mismo con la masa del segundo objeto:

```
fligner.test(mass_2 ~ final_mass, data = ondas_g)
```

```
##
## Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
##
## data: mass_2 by final_mass
## Fligner-Killeen:med chi-squared = 82.031, df = 81, p-value = 0.4471
```

De manera similar, el p-valor es superior a 0.05. Por lo que la masa del segundo objeto presenta varianzas estadísticamente parecidas a los diferentes valores de la masa final. Finalmente comparemos con la masa del sistema binario:

```
fligner.test(chirp_mass ~ final_mass, data = ondas_g)
```

```
##
## Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
##
## data: chirp_mass by final_mass
## Fligner-Killeen:med chi-squared = 82.125, df = 81, p-value = 0.4442
```

Como era de esperar, el p-valor es mayor a 0.05. Esto indica que la varianza de la masa del sistema binario antes de la colisión es muy similar a la varianza de la masa final tras la colisión. Probemos si se corresponden las masas con la época del año, por si pasamos por alguna región en la que haya cuerpos más grandes:

```
fligner.test(mes ~ final_mass, data = ondas_g)
```

```
##
## Fligner-Killeen test of homogeneity of variances
##
## data: mes by final_mass
## Fligner-Killeen:med chi-squared = 85.899, df = 81, p-value = 0.3338
```

Si bien, no lo esperábamos, existe homocedasticidad en el caso de la masa final y el mes de detección.

Obtenemos homocedasticidad en los cuatro casos.

### 3.3. Aplicación de pruebas estadísticas para comparar los grupos de datos

**En función de los datos y el objetivo del estudio, aplicar pruebas de contraste de hipótesis, correlaciones, regresiones, etc. Aplicar al menos tres métodos de análisis diferentes**

Como no se cumple la normalidad y los datos son claramente dependientes, para comparar datos aplicaremos pruebas no paramétricas como Wilcoxon y Fligner-Killeen. Los aplicaremos para responder a las preguntas de si influye la masa de los objetos antes de la colisión en la masa final y si hay alguna fecha en la que haya probabilidad de detección de determinadas masas.

```
wilcox.test(final_mass ~ mes, data = ondas_g, subset = mes %in% c(1, 12))
```

```
##
## Wilcoxon rank sum exact test
##
## data: final_mass by mes
## W = 24, p-value = 0.6216
## alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

No se observan diferencias significativas en la masa final con respecto a los meses del año. Esto indica que no hay una época del año con una mayor probabilidad de encontrar elementos más o menos masivos. Pasemos a comparar la masa del primer cuerpo con la masa final. Usaremos Fligner-Killeen porque no podemos fitrar:

```
fligner.test(final_mass ~ mass_1, data = ondas_g)
```

```
##  
## Fligner-Killeen test of homogeneity of variances  
##  
## data: final_mass by mass_1  
## Fligner-Killeen:med chi-squared = 86.034, df = 76, p-value = 0.2021
```

No se observan diferencias estadísticamente significativas entre la masa del primer objeto frente a la masa final. Veamos si ocurre lo mismo con el segundo objeto:

```
fligner.test(final_mass ~ mass_2, data = ondas_g)
```

```
##  
## Fligner-Killeen test of homogeneity of variances  
##  
## data: final_mass by mass_2  
## Fligner-Killeen:med chi-squared = 71.315, df = 77, p-value = 0.6612
```

Tampoco se observan diferencias estadísticamente significativas entre la masa del primer objeto frente a la masa final. Veamos si ocurre lo mismo con la masa del sistema binario:

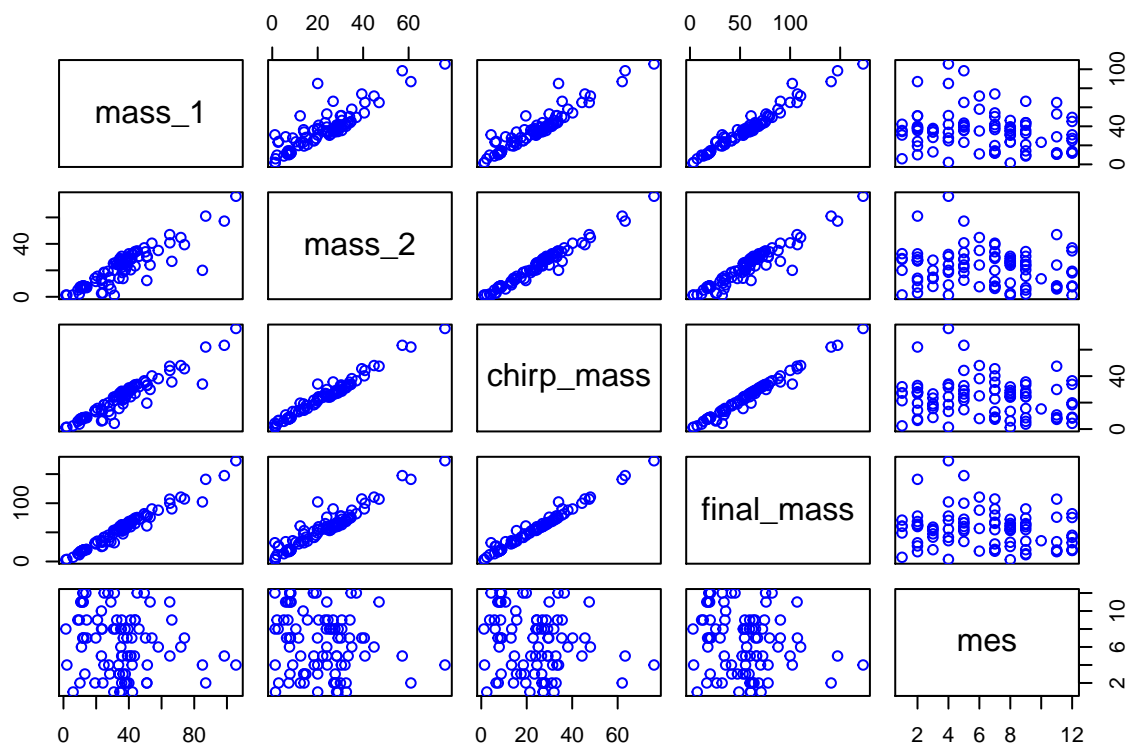
```
fligner.test(final_mass ~ chirp_mass, data = ondas_g)
```

```
##  
## Fligner-Killeen test of homogeneity of variances  
##  
## data: final_mass by chirp_mass  
## Fligner-Killeen:med chi-squared = 88.758, df = 86, p-value = 0.3979
```

Tampoco existen diferencias significativas.

Ahora aplicaremos regresión lineal para aproximar la relación de dependencia lineal entre la masa final y las masas individuales de cada cuerpo, así como la masa del sistema binario. Primero hagamos un análisis visual de las variables a comparar:

```
ondas_g_reducido <- ondas_g %>% select(mass_1, mass_2, chirp_mass, final_mass, mes)  
plot(ondas_g_reducido, col = "blue")
```



A simple vista observamos que hay correlación entre mass\_1, mass\_2, chirp\_mass y final\_mass. No existe correlación con el mes de detección, por lo que lo descartaremos. Veamos qué dice la regresión lineal de la correlación entre mass\_1, mass\_2, chirp\_mass y final\_mass:

```
modelo_lm = lm(final_mass~mass_1+mass_2+chirp_mass,data=ondas_g)
summary(modelo_lm)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = final_mass ~ mass_1 + mass_2 + chirp_mass, data = ondas_g)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.6132 -0.2598 -0.0303  0.2185  5.6392
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  0.42110    0.16667   2.527  0.01335 *
## mass_1       1.08545    0.03063  35.437 < 2e-16 ***
## mass_2       1.15749    0.08424  13.741 < 2e-16 ***
## chirp_mass   -0.39810    0.12238  -3.253  0.00163 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.7925 on 86 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.9994, Adjusted R-squared:  0.9994
## F-statistic: 4.757e+04 on 3 and 86 DF, p-value: < 2.2e-16
```



La regresión nos indica que hay una fuerte correlación entre `mass_1`, `mass_2`, `chirp_mass` y `final_mass`, dando lugar a un R-squared de 0.9994. De hecho en los primeros apartados hemos imputado valores a `final_mass` aplicando un modelo similar.

Finalmente vamos a estudiar la correlación de las variables aplicando el método de correlación de Spearman.

```
cor.test(ondas_g$final_mass, ondas_g$mass_1, method="spearman")
```

```
## Warning in cor.test.default(ondas_g$final_mass, ondas_g$mass_1, method =
## "spearman"): Cannot compute exact p-value with ties
##
## Spearman's rank correlation rho
##
## data: ondas_g$final_mass and ondas_g$mass_1
## S = 2507.3, p-value < 2.2e-16
## alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
## sample estimates:
## rho
## 0.979361
```

El p-valor es significativo y el coeficiente de correlación es mayor a 0,97. Veamos si se cumple con la masa del segundo objeto:

```
cor.test(ondas_g$final_mass, ondas_g$mass_2, method="spearman")
```

```
## Warning in cor.test.default(ondas_g$final_mass, ondas_g$mass_2, method =
## "spearman"): Cannot compute exact p-value with ties
##
## Spearman's rank correlation rho
##
## data: ondas_g$final_mass and ondas_g$mass_2
## S = 7921.4, p-value < 2.2e-16
## alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
## sample estimates:
## rho
## 0.9347951
```

El p-valor es significativo y el coeficiente de correlación es mayor a 0,93. Veamos si se cumple con la masa del sistema binario antes de la colisión:

```
cor.test(ondas_g$final_mass, ondas_g$chirp_mass, method="spearman")
```

```
## Warning in cor.test.default(ondas_g$final_mass, ondas_g$chirp_mass, method =
## "spearman"): Cannot compute exact p-value with ties
##
## Spearman's rank correlation rho
##
## data: ondas_g$final_mass and ondas_g$chirp_mass
## S = 1831.6, p-value < 2.2e-16
## alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
## sample estimates:
## rho
## 0.9849233
```

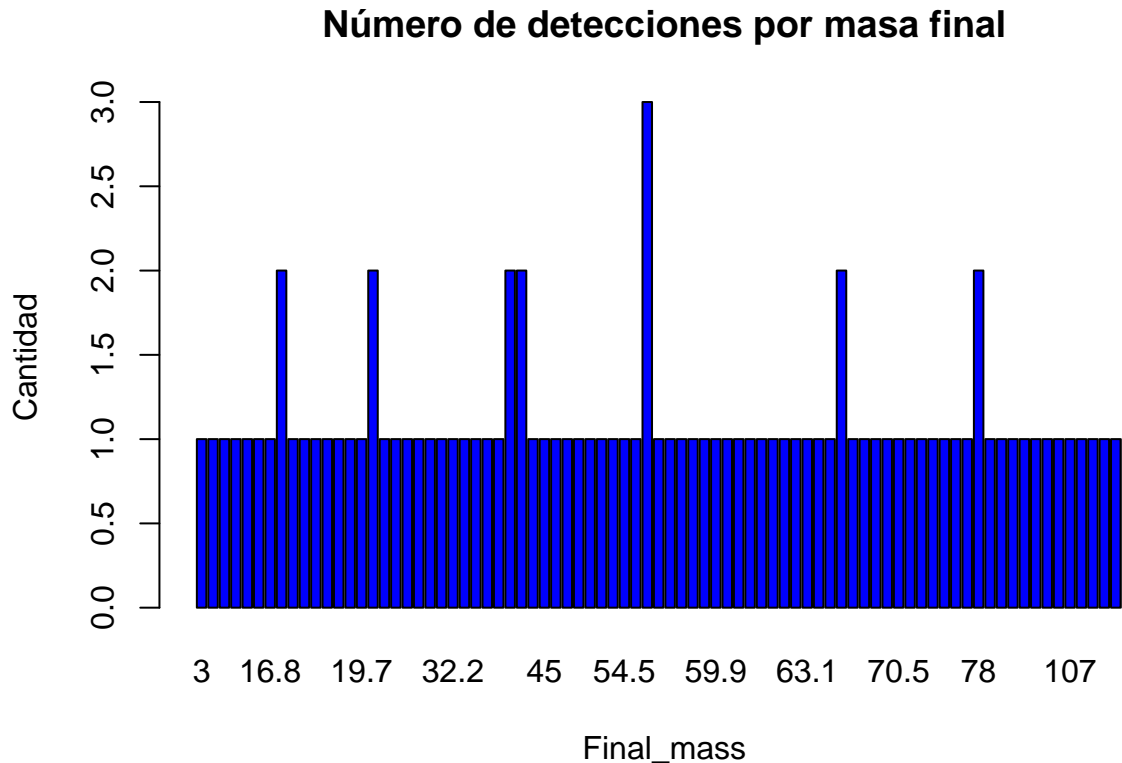
El p-valor es significativo y el coeficiente de correlación es mayor a 0,98.

## 4. Resolución del problema

A partir de los resultados obtenidos vamos a dar respuestas a las preguntas que nos hicimos al inicio:

- ¿Qué intervalos de masas de objetos son los más detectados? Esto lo vemos con la siguiente gráfica:

```
plot(factor(ondas_g$final_mass),main="Número de detecciones por masa final",
      ,xlab="Final_mass"
      , ylab="Cantidad",col = "blue")
```



Observamos que las mayores detecciones rondan las 56,4 masas solares.

- **¿Influyen las masas de los objetos antes de la colisión en la masa del objeto resultante?** Tras aplicar el test de correlación y la regresión hemos observado que sí influyen las masas de ambos objetos, así como la masa total del sistema binario que forman.
- **¿Hay periodos del año donde haya más probabilidad de detecciones de cierta masa?** Si es así ¿De qué región del espacio provienen? Tras aplicar el análisis visual y la comparación de grupos hemos visto que la respuesta es negativa.
- **¿Cuáles son las detecciones más cercanas? ¿Y las más lejanas?** En el análisis descriptivo que realizamos al inicio vimos que la detección más cercana se encontraba a 40 Megapársecs y la más lejana a 8280 Megapársecs.

## 6. Vídeo