

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

David Fernández Álvarez y Sara Robisco Cavite

Diciembre 2022

Contents

1. Introducción y descripción del dataset	2
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
2. Integración y selección de los datos de interés a analizar	7
2.1. Limpieza de los datos	7
2.2. Identificación y gestión de los valores extremos	11
3. Análisis de los datos	13
3.1. Selección de los grupos de datos que se quieren analizar/comparar	13
3.2. Comprobación de la normalidad y homogeneidad de la varianza	13
3.3. Aplicación de pruebas estadísticas para comparar los grupos de datos	15
4. Resolución del problema	19
6. Vídeo	20

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_101133" ...
## $ 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" " 1.0e-05" " 1.0e-05" "1.3" ...
## $ p_astro             : chr  "0.62" " 0.99" " 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 **carácter**: 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:

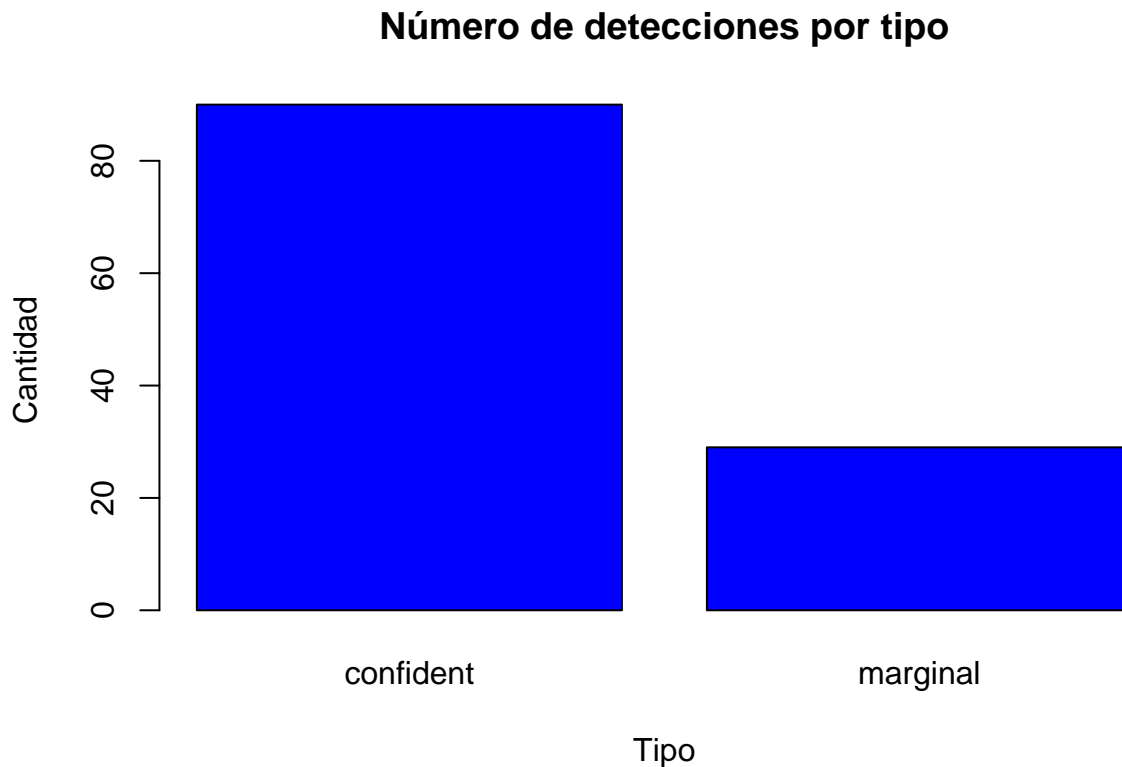
```
library(lubridate)
dataset$fecha <- as.POSIXct(dataset$gps, origin="1980-01-06", tz="UTC")
dataset$mes <- month(dataset$fecha)
```

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)
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 09:51:02.40
## 1st Qu.: 4.075  1st Qu.: -11.000  1st Qu.:2019-05-15 00:38:46.04
## Median : 8.550  Median : -6.500  Median :2019-08-28 06:44:55.75
## Mean   :12.296  Mean   : -7.706  Mean   :2019-05-31 22:21:51.91
## 3rd Qu.:16.000  3rd Qu.: -2.775  3rd Qu.:2019-12-21 12:49:50.92
## Max.   :100.000  Max.   : -0.660  Max.   :2020-03-22 09:11:51.29
## 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")

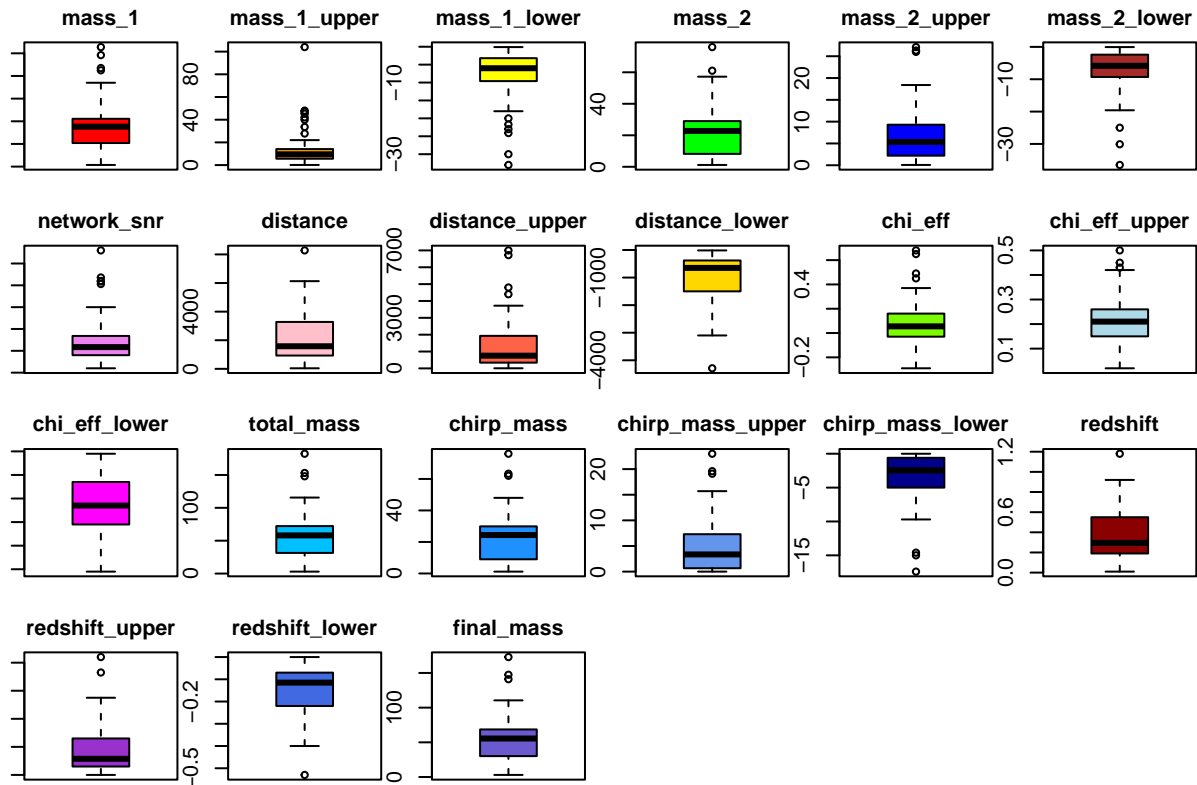
# Iteramos y creamos un boxplot por cada grupo de variables
valores <- list()
for (i in 1:21) {
  valores <- append(valores,
    boxplot(ondas_g_num[i], main = colnames(ondas_g_num[i]),
      xlab = "A", col = colors[i]))
}

# 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 a partir de la variable \$out de cada boxplot, 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 tanto, la masa del segundo objeto presenta **varianzas estadísticamente parecidas** a los diferentes valores de la masa final.

Finalmente comparamos 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.

Hemos obtenido 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 filtrar:

```
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:

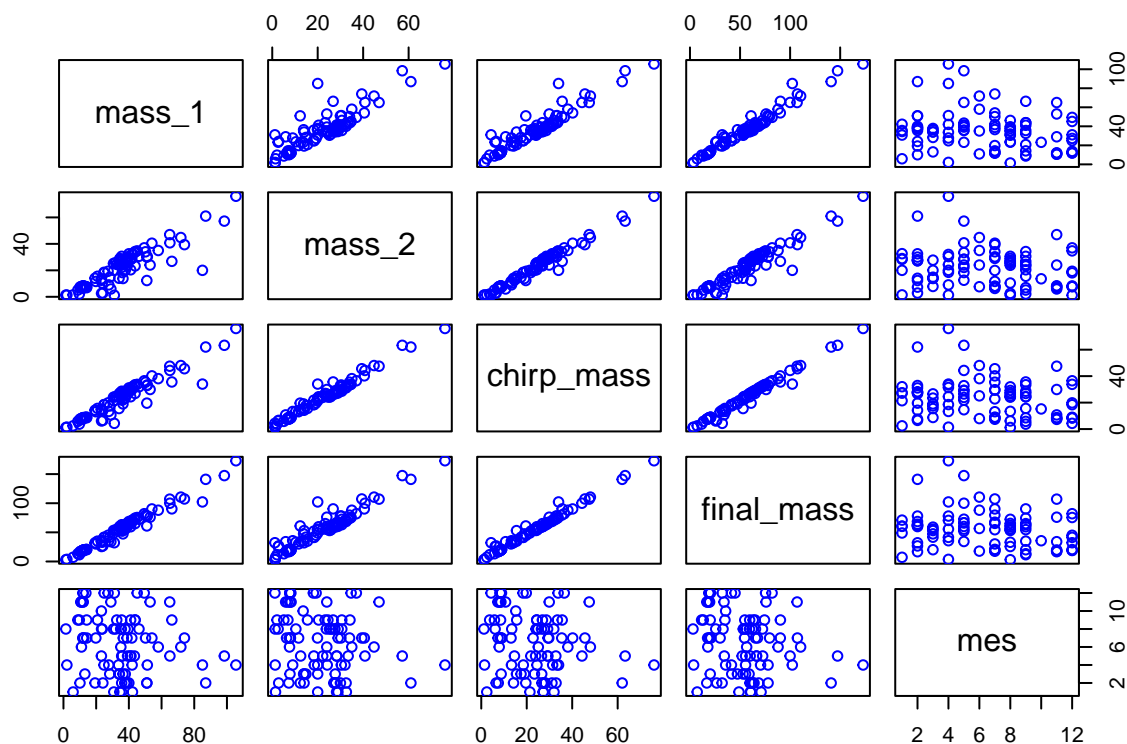
```
fligner.test(final_mass ~ chirp_mass, data = ondas_g)
```

```
##
## 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.

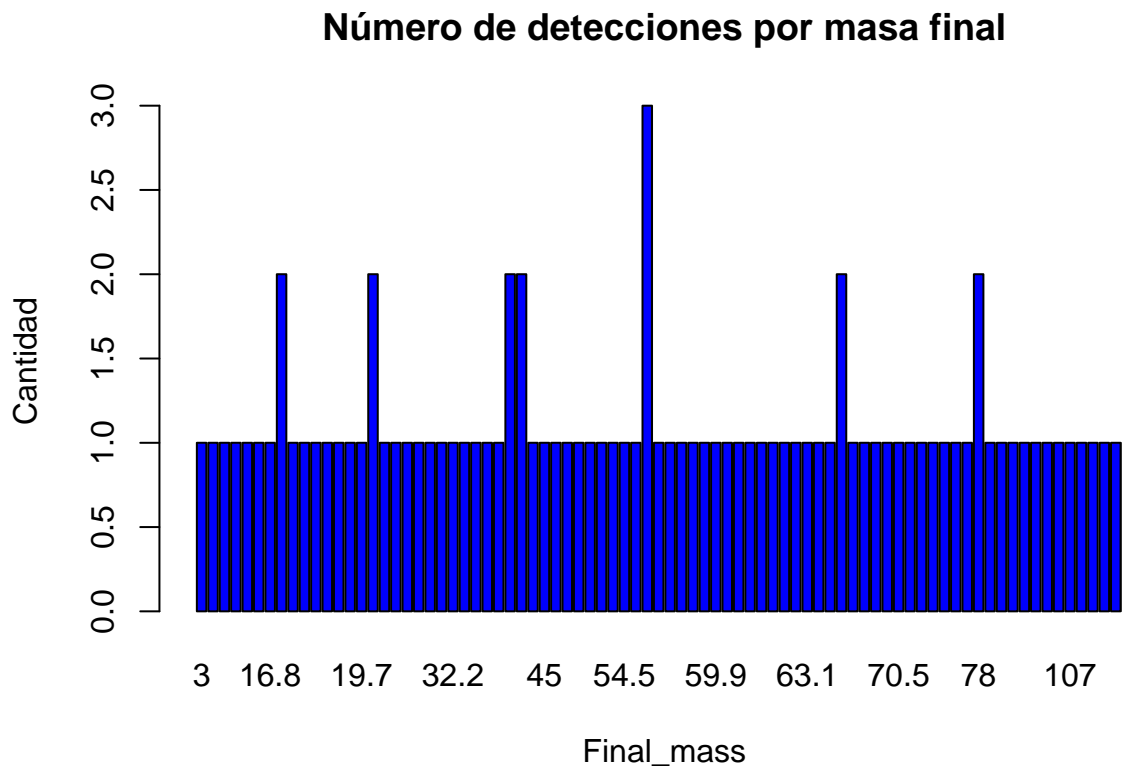
4. Resolución del problema

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