

informe

**Integrantes**

Efrain Alberto Diaz Caro

Miguel Angel Ramirez Gaviria

Estefania Ruiz Cuartas

Alejandro Diaz Lopez

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y DECISIÓN  
Simulación de sistemas  
Yris Olaya Morales

Medellin

2025

<b>Resumen:</b> .....	<b>3</b>
Objetivos.....	3
Análisis realizado.....	4
Conclusiones.....	4
<b>Definición del problema</b> .....	<b>4</b>
Aspecto de la operación del sistema que se desea mejorar.....	4
Alternativas a evaluar.....	4
<b>Formulación del problema</b> .....	<b>5</b>
Descripción breve del sistema de estudio (puede ser gráfica).....	5
Definición del objetivo del estudio:.....	5
Delimitación del problema:.....	6
<b>Datos de entrada</b> .....	<b>7</b>
Identificación de los datos de entrada necesarios para el modelo y método de recolección.....	7
Cálculo del tamaño de muestra teórico para las muestras de datos recolectadas.....	8
Análisis estadístico descriptivo y ajuste de distribuciones a partir de datos recolectados.....	8
Análisis estadístico de tiempo_de_viaje:.....	8
Análisis estadístico de tiempo_de_llegada_entre_estudiante:.....	11
Análisis tiempo_entre_llegada_y_salida_de_bus_a_Volador:.....	14
Análisis cantidad_estudiantes_en_fila:.....	15
Análisis tiempo_de_llegada_entre_buses_Volador:.....	18
<b>Modelo de simulación</b> .....	<b>20</b>
Descripción del modelo, puede ser gráfica.....	20
Enumeración de los componentes del modelo y explicación de la relación entre estos.....	20
Identificación de las entradas y salidas del modelo y de las entradas aleatorias.....	20
Descripción de los objetivos del modelo.....	20
Resumen de la validación del modelo.....	20
<b>Análisis de resultados</b> .....	<b>20</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>20</b>

# Resumen:

## Objetivos

Objetivo general:

Optimizar la asignación de buses en base al nivel de demanda en las diferentes franjas horarias, garantizando una distribución eficiente de los recursos para cubrir las horas de mayor requerimiento del servicio, conociendo cómo se comporta la llegada los estudiantes al paradero de Volador a lo largo de la jornada de la tarde.

Objetivos específicos:

Estructurar una distribución de disponibilidad óptima de buses que vaya acorde al nivel de demanda en el sistema de transporte intersecciones de la universidad.

Reducir el número de estudiantes que no alcanzan a tomar el bus mientras hacen fila.

Logro: Mejorar la asignación de buses contratados a privados para satisfacer la demanda de transporte en horas pico

Desempeño:

El número total de estudiantes en espera en la parada no pase de cierta cantidad ( se decide esa cantidad en el grupo)

Tasa de Cobertura de la Demanda en Cada Franja Horaria (%)

Descripción:

Mide el porcentaje de la demanda de estudiantes que fue efectivamente cubierta por los buses en cada franja horaria.

Fórmula:

$$\text{Tasa de Cobertura} = \left( \frac{\text{Número de Estudiantes Transportados}}{\text{Número Total de Estudiantes en Fila}} \right) \times 100$$
$$\text{Tasa de Cobertura} = \left( \frac{\text{Número Total de Estudiantes en Fila}}{\text{Número de Estudiantes Transportados}} \right) \times 100$$

Interpretación:

- > 90%: Excelente cobertura.
- 70%-90%: Buena cobertura, pero con espacio para mejoras.
- < 70%: Baja cobertura, indicando problemas en la asignación.

Restricciones:

Se realizó el registro de datos a analizar a la largo de un día, en las siguientes franjas horarios

Análisis realizado

Conclusiones.

## Definición del problema

### Aspecto de la operación del sistema que se desea mejorar

Se desea mejorar la asignación de buses a lo largo de la jornada académica, con el fin de disponer los buses de la universidad y aquellos que son contratados a privados con el fin de satisfacer la demanda de transporte en la ruta Volador a Minas, considerando las fluctuaciones en la cantidad de estudiantes que requieran del servicio en las franjas horarias dispuestas para esta ruta intercampus.

### Alternativas a evaluar

Asignar los buses según su tamaño, considerando la demanda que se presentará en cada franja horaria.

Asignar una mayor cantidad de buses en las horas pico de demanda en la universidad.

Asignar una ruta entre ambos campus de menor frecuencia en los momentos de menor demanda, para así acortar la fila que se va acumulando hasta la llega de un momento de mayor demanda.

Disponer múltiples buses a la espera de una hora pico para disminuir el tiempo de llegada entre buses y atender rápidamente a la demanda en estos momentos del día.

# Formulación del problema

- Descripción breve del sistema de estudio (puede ser gráfica)

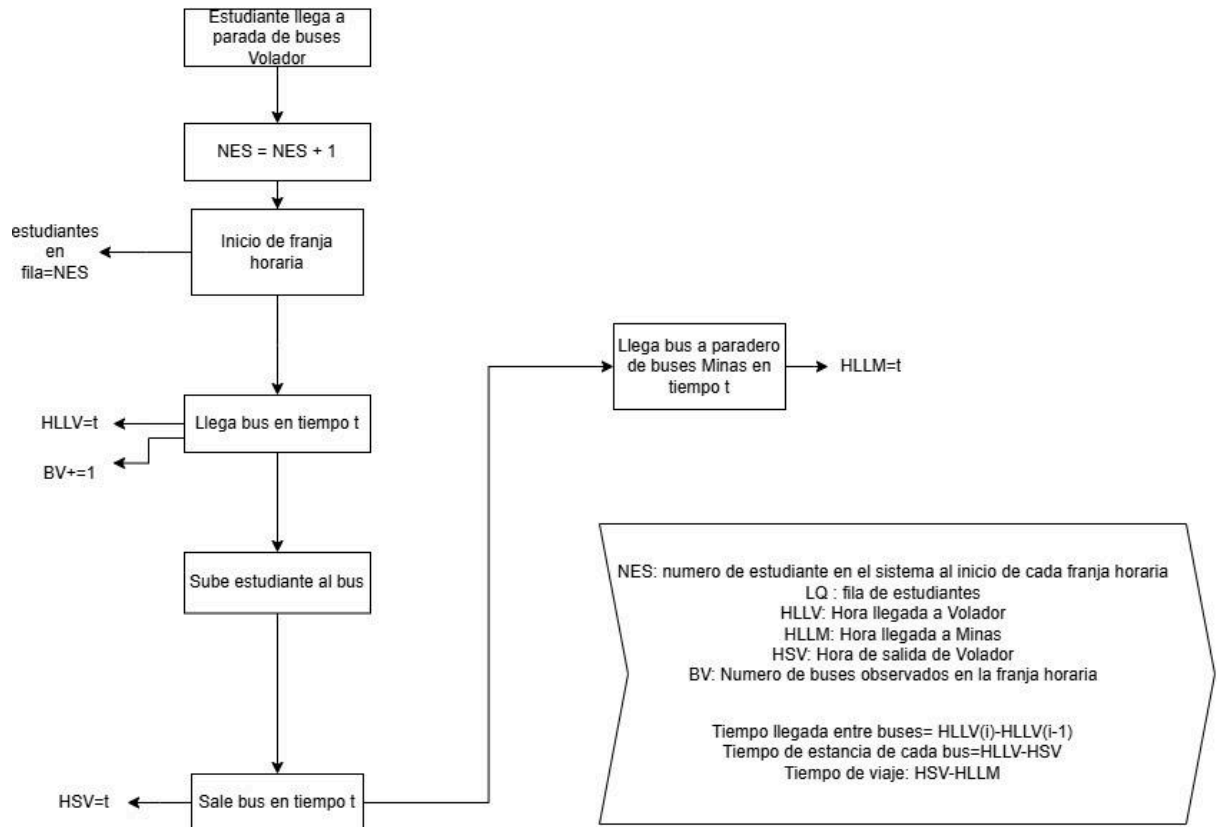


Diagrama de flujo

Se escogió estudiar los tiempos de llegada a salida de la ruta intercampus que va del núcleo Volador al núcleo de Robledo durante múltiples franjas horarias en las que esta ruta se realiza a lo largo de un solo día; para este estudio se consideraron la cantidad de estudiantes presentes en el paradero al inicio de cada franja, el tiempo entre llegadas de los buses en cada horario analizado, el tiempo que cada bus permanece en el parador y el tiempo que dura el viaje de cada bus desde el Volador hasta Minas.

- Definición del objetivo del estudio:

El objetivo de este estudio es evidenciar y dimensionar las diferentes falencias que presenta el sistema actual de transporte de intercampus de la universidad para así reestructurar la manera en cómo se habilita la disponibilidad del servicio conforme a las demandas, asegurando una distribución eficiente de los recursos para satisfacer la demanda de transporte estudiantil en distintas franjas horarias de una jornada.

Para ello, se analizarán variables como la cantidad de estudiantes en espera, los tiempos de llegada entre los buses, el tiempo de viaje, el tiempo entre llegadas de estudiantes al parador del campus Volador y el tiempo que permanece cada bus en este parador desde su llegada. Mediante la simulación, se evaluarán distintas estrategias de asignación de buses y su impacto en la eficiencia del servicio. Como indicador de desempeño, se calculará la tasa de cobertura de la demanda en cada franja horaria, que representa el porcentaje de estudiantes que lograron abordar un bus en relación con la demanda total registrada en cada periodo de tiempo.

## ☐ Delimitación del problema:

El estudio se limitará a la ruta intercampus Volador - Robledo, evaluando el servicio de transporte interno durante una jornada académica completa. Se consideran únicamente los buses asignados a esta ruta, tanto los vehículos propios de la universidad como los contratados a empresas privadas.

Límites espaciales:

- Se analizará exclusivamente el trayecto Volador - Robledo, sin incluir otras rutas de transporte dentro o fuera de los campus.
- El punto de origen del análisis es en la parada de bus del Volador.

Límites temporales:

- Se estudiará el comportamiento del sistema en diferentes franjas horarias a lo largo de un solo día, considerando las variaciones en la demanda en cada una de ellas.
- Franjas horarias: 11:00 – 11:50, 13:00 – 13:50, 15:00 – 15:50, 17:15 – 17:45
- No se incluirá la variabilidad a largo plazo (días o semanas).

Límites del sistema:

- Se considerarán las siguientes variables:
  - Número de estudiantes en cola.
  - Tiempo entre llegadas de los buses en Volador.
  - Tiempo de viaje entre los campus.
  - Tiempo entre llegadas de estudiantes en cola.
  - Tiempo entre la llegada y la partida del bus de Volador.
- No se evaluarán factores externos como clima, condiciones viales fuera del campus.

## Datos de entrada

### ☐ Identificación de los datos de entrada necesarios para el modelo y método de recolección

Identificación de datos de entrada y su metodo de recoleccion:

Dato	Descripción	Metodo de recoleccion
Número de buses que pasan por hora	Cantidad de buses que recogen estudiantes por hora	Observación directa: se cuenta manualmente el número de buses que recogen estudiantes durante una hora
Tiempo de viaje	Duración del trayecto de la sede el Volador hacia Minas	Observación directa: Se observa el tiempo que tarda un bus en su trayecto con un cronómetro; se toma el tiempo de salida de un bus , y se toma el tiempo de llegada en la sede de destino, luego se calcula
Número de estudiantes en espera del bus	Cantidad de estudiantes que se ubican en la zona de espera antes que llegue el bus	Observación directa: Se cuentan los estudiantes que se ubican en la zona de espera
Cantidad de estudiantes que no logran subirse al bus	Estudiantes que se ubican en la zona de espera pero que no lograron abordar por la capacidad del bus	Observación directa: Se cuentan el número de estudiantes que permanecen en la fila al no abordar el bus
Tiempo entre la salida de un bus y la llegada de el siguiente	Intervalo de tiempo que comienza cuando un bus se va y termina cuando se parquea el siguiente	Observación directa: se hace conteo desde un cronómetro dicho intervalo de tiempo

☐ Cálculo del tamaño de muestra teórico para las muestras de datos recolectadas

Con las muestras obtenidas durante el trabajo de recolección y usando las formulas empleadas en clase se determinó un tamaño de muestra teórica para cada una de las variables aleatorias.

tiempo\_de\_viaje: Se determinó el tamaño de muestra para calcular el promedio de tiempo de viaje con un error de 3 minutos (180 segundos).

cantidad\_estudiantes\_en\_fila: Se determinó el tamaño de muestra para calcular el promedio de estudiantes en la fila de Volador con un error de 2 estudiantes.

tiempo\_de\_llegada\_entre\_buses: Se determinó el tamaño de muestra para calcular el promedio de tiempo de llegada entre buses con un error de 3 minutos (180 segundos).

tiempo\_entre\_llegada\_y\_partida\_de\_buses\_Volador: Se determinó el tamaño de muestra para calcular el promedio de tiempo de estadía de los buses en el Volador con un error de 1 minutos (60 segundos).

tiempo\_entre\_llegadas\_de\_estudiante: Se determinó el tamaño de muestra para calcular el promedio de tiempo entre llegadas de estudiantes al parador del Volador con un error de 50 segundos.

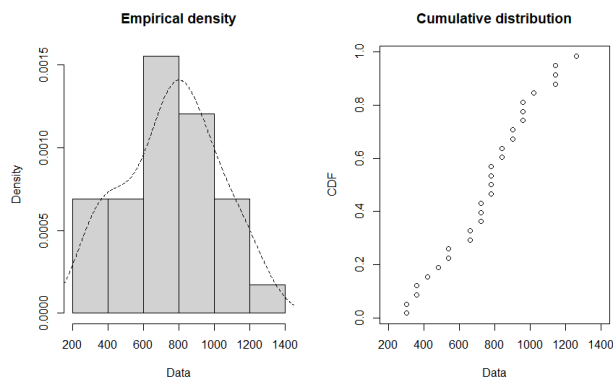
Errores				
tiempo_de_viaje	cantidad_estudiantes_en_fila	tiempo_de_llegada_entre_buses_Volador	tiempo_entre_llegada_y_partid	tiempo_entre_llegadas_de_estudiante
180	2	180	60	50
Tamanos de muestra teoricos				
594686	372579	38809393	152682	90

Los cálculos realizados pueden hallarse en [Registro\\_bd](#)

☐ Análisis estadístico descriptivo y ajuste de distribuciones a partir de datos recolectados




## Analisis estadístico de tiempo\_de\_viaje:



Histograma de distribución de los datos de tiempo\_de\_viaje

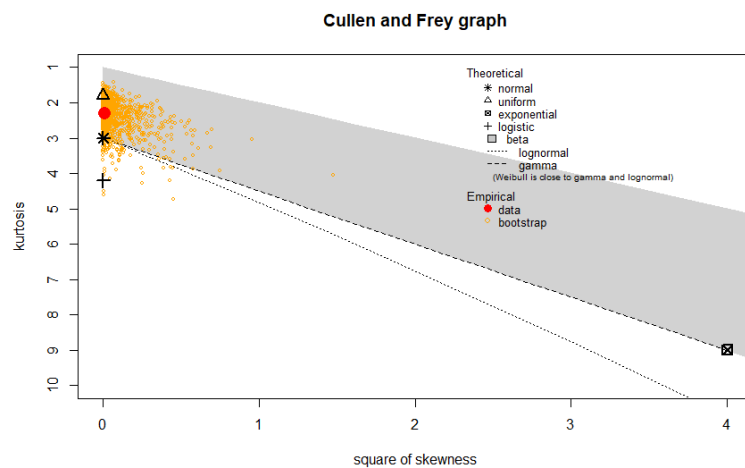


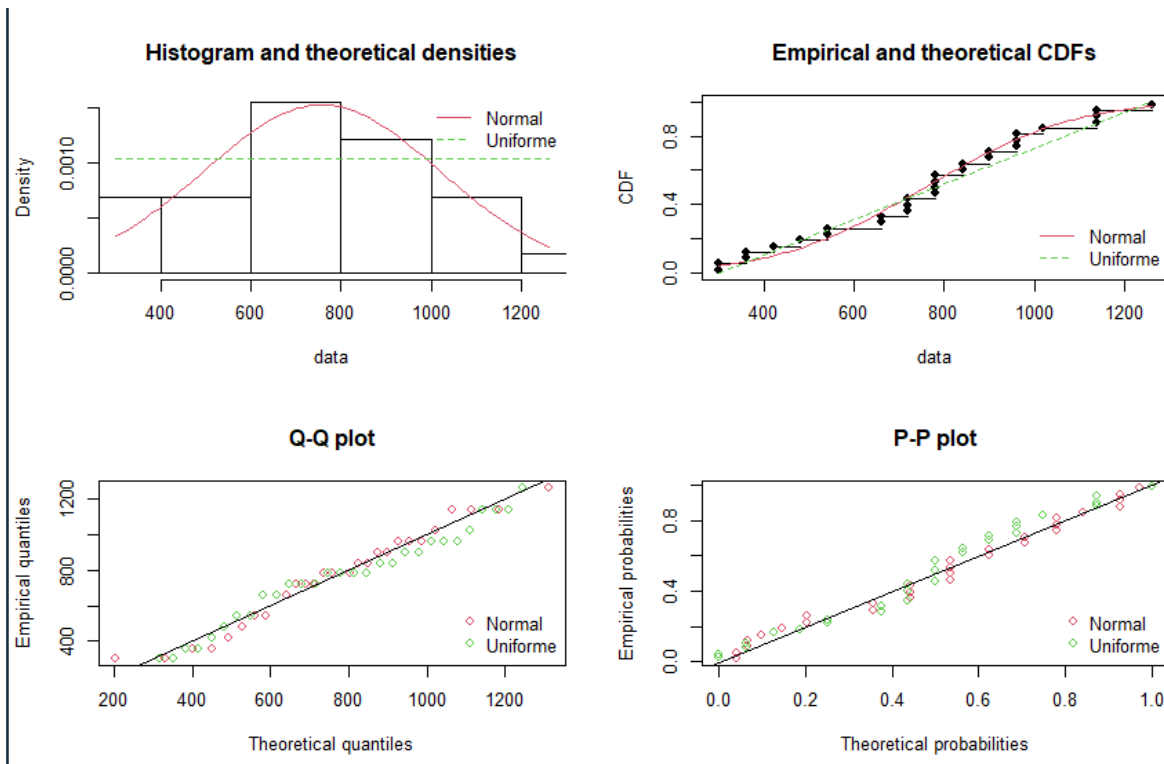
Grafico comparativo Cullen and Frey

Al hacer el análisis Cullen and Frey queda en duda cual es la mejor distribución para ajustar esta variable, se ajustarán como una weibull, gamma y lognormal para ver cuál se ajusta mejor.

```
> gofstat(list(fit_x_n,fit_x_u))
Goodness-of-fit statistics
               1-mle-norm 2-mle-unif
Kolmogorov-Smirnov statistic 0.09854724 0.14008621
Cramer-von Mises statistic  0.04407657 0.09325611
Anderson-Darling statistic  0.32294594      Inf

Goodness-of-fit criteria
               1-mle-norm 2-mle-unif
Akaike's Information Criterion  409.1501  402.2821
Bayesian Information Criterion  411.8847  405.0167
```

Pruebas de bondad y ajuste para la variable tiempo\_de\_viaje



### Comparación de ajustes para tiempo\_de\_viaje

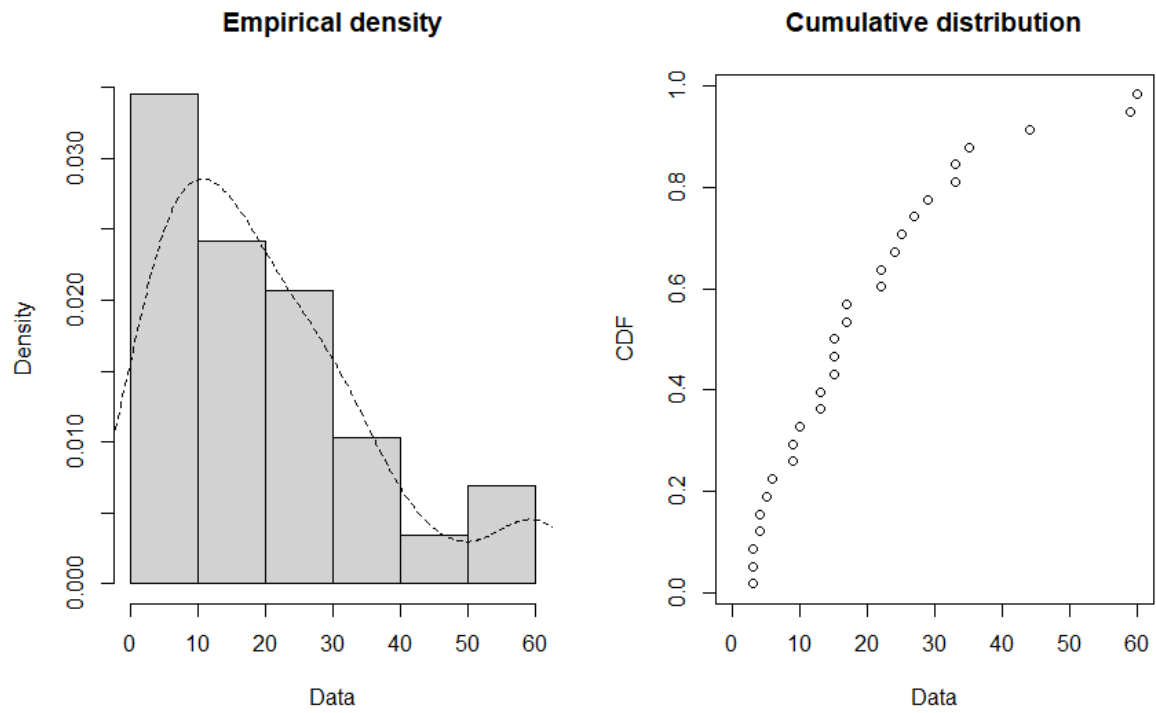
En vista que  $D_{(0.05,30)} = 0.159$  y que la distribución que minimiza los criterios de evaluación es la Uniforme, aunque se optaría por usar la distribución normal para simular el tiempo de viaje desde el volador hasta minas considerando el histograma de esta distribución.

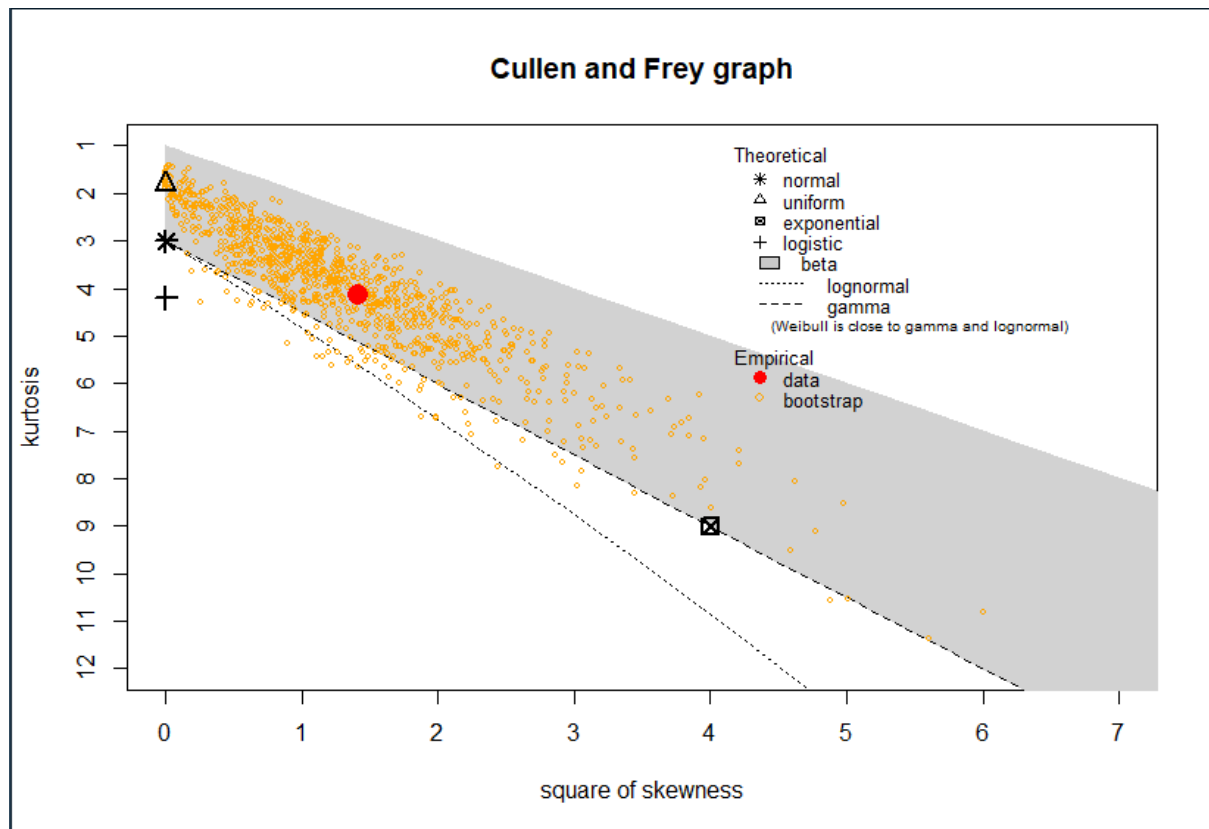
al revisar el ajuste de esta variable y la gráfica de densidad empírica podemos ver que se acerca a la forma de una distribución normal y a la uniforme, profundizaremos entonces en la lógica de esta variable dimensionando el tiempo y espacio que tomamos en cuenta para cuando debemos hacer uso de este sistema, o tenemos algún pendiente que nos relacione de con esta, y es que los tiempos tienden a concentrarse alrededor de los 15 minutos, con mayor probabilidad de que se alarguen debido a factores externos como el tráfico, pero es poco probable que el tiempo de viaje sea significativamente menor, a menos que el autobús viaje muy rápido. Esto refleja la forma característica de la distribución normal, en la que la mayoría de los valores se agrupan alrededor de la media, con colas que se extienden hacia tiempos más largos pero con una menor frecuencia y considerando la imposibilidad de que haya un tiempo excesivamente corto. **Usaremos la distribución normal**

```
> summary(fit_x_n)
Fitting of the distribution ' norm ' by maximum likelihood
Parameters :
      estimate Std. Error
mean 757.2414   48.55756
sd   261.4930   34.33538
Loglikelihood: -202.575   AIC:  409.1501   BIC:  411.8847
Correlation matrix:
      mean sd
mean   1  0
sd     0  1
```

tiempo de viaje se distribuye  $N(757.24, 68378.59)$

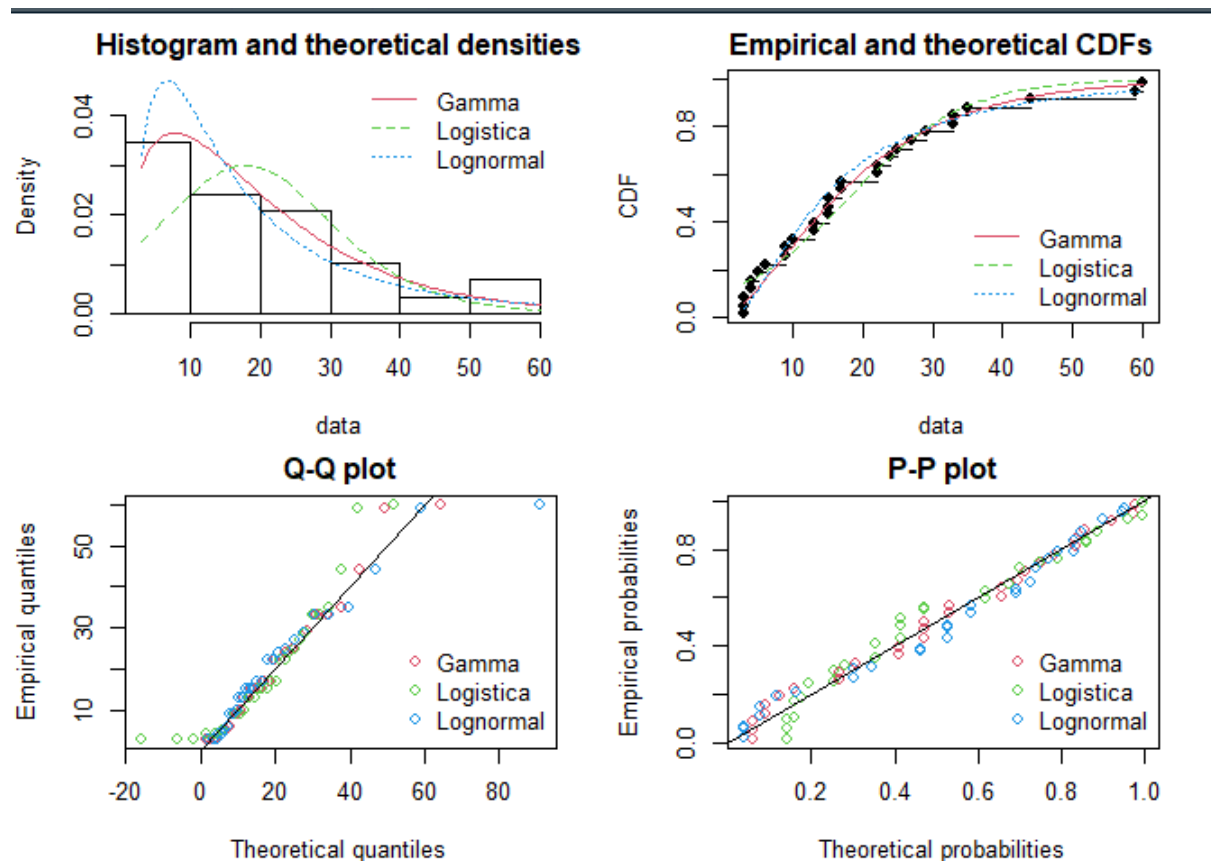
Analisis estadistico de tiempo\_de\_llegada\_entre estudiante:





Comparacion grafica Cullen and Frey

al realizar el analisis Cullen and Frey queda en duda cual es la mejor distribucion para ajustar esta variable, se ajustaran como una gamma, logistica y lognormal para ver cual esta mejor ajustada.



Comparacion de distribuciones y pruebas para ajustes

```
Goodness-of-fit statistics
1-mle-gamma 2-mle-logis 3-mle-lnorm
Kolmogorov-Smirnov statistic 0.08201807 0.14312456 0.11691566
Cramer-von Mises statistic 0.03194847 0.06978236 0.07419931
Anderson-Darling statistic 0.28309603 0.67796197 0.51223648

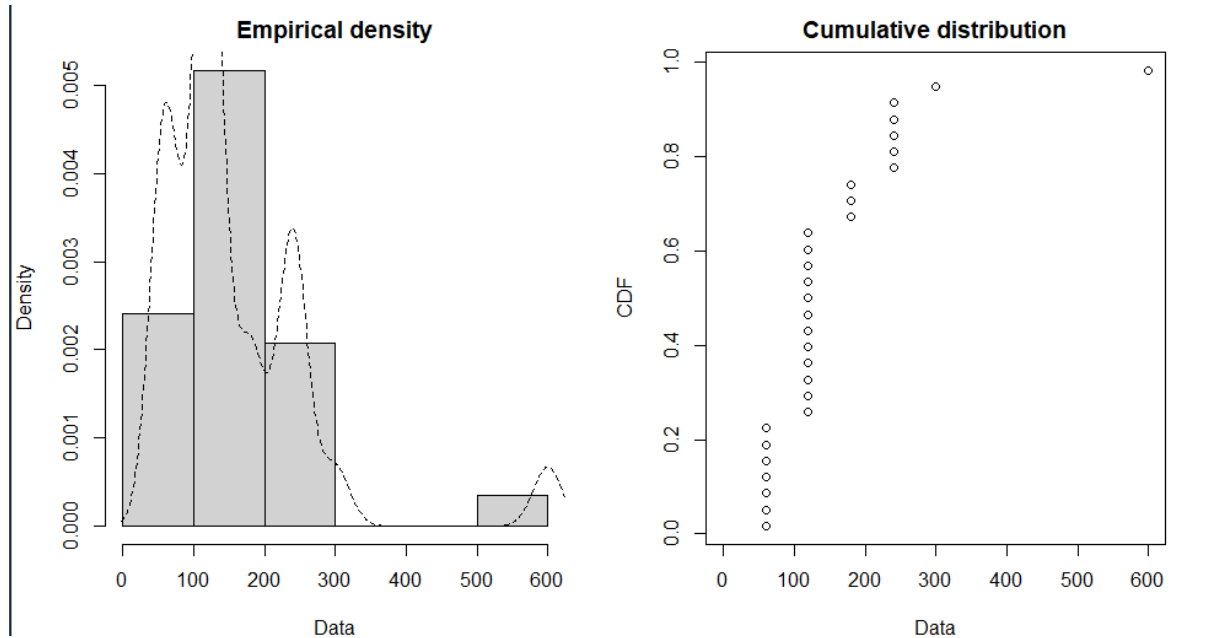
Goodness-of-fit criteria
1-mle-gamma 2-mle-logis 3-mle-lnorm
Akaike's Information Criterion 231.4836 243.3695 232.5319
Bayesian Information Criterion 234.2182 246.1040 235.2665
```

Al ver que la distribución que minimiza los criterios de aceptación es la gamma definimos que:

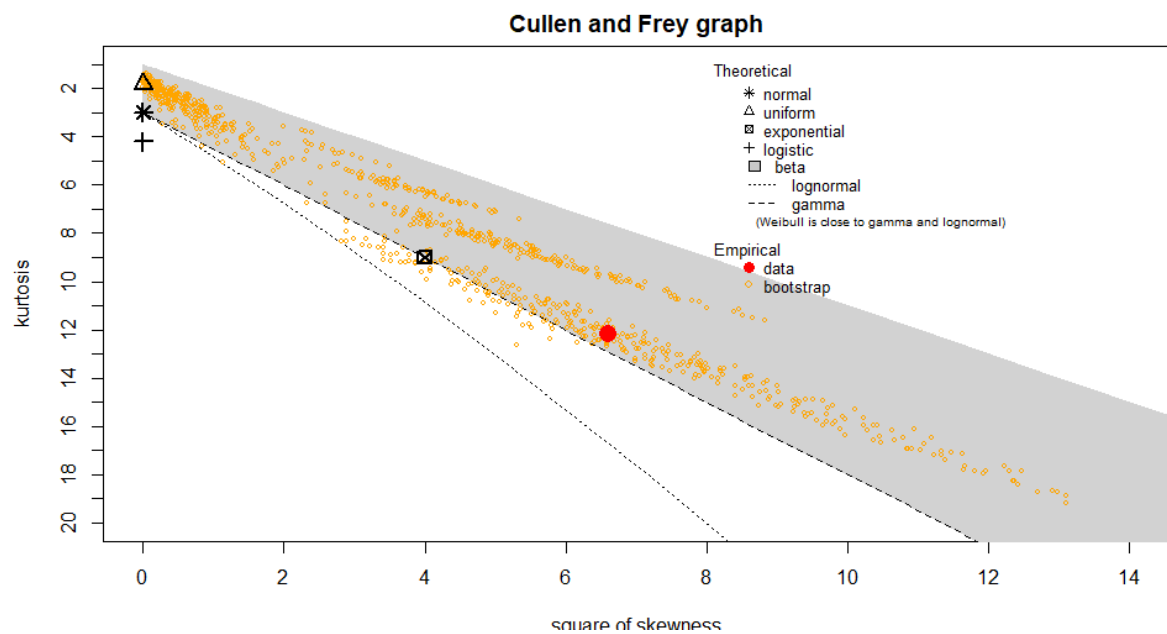
```
> summary(fit_y_gamma)
Fitting of the distribution ' gamma ' by maximum likelihood
Parameters :
      estimate Std. Error
shape 1.63523581 0.39332033
rate 0.08262858 0.02321065
Loglikelihood: -113.7418 AIC: 231.4836 BIC: 234.2182
Correlation matrix:
      shape      rate
shape 1.0000000 0.8560575
rate 0.8560575 1.0000000
```

Tiempo de llegada entre estudiantes se distribuye  $\Gamma(1.63523581, 0.08262858)$

## Analisis tiempo\_entre\_llegada\_y\_salida\_de\_bus\_a\_Volador:

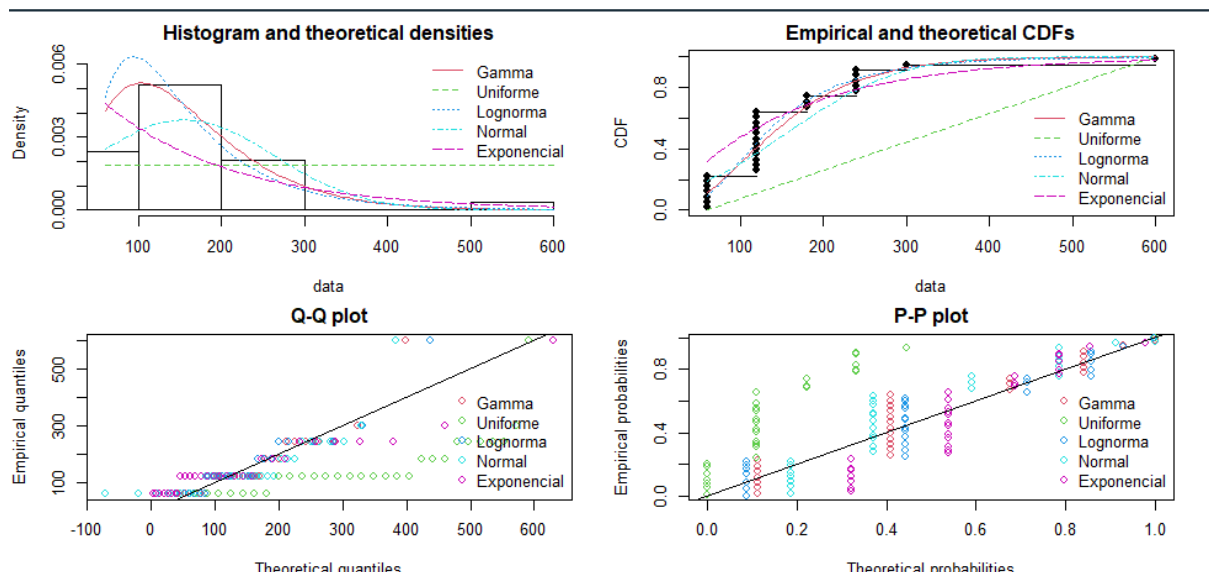


Histograma de la distribucion de datos de la variable tiempo\_entre\_llegada\_y\_salida\_de\_bus\_volador



Comparacion grafica Cullen and Frey

En esta ocasión la variable se disputará entre uniforme, exponencial, logistica y lognormal



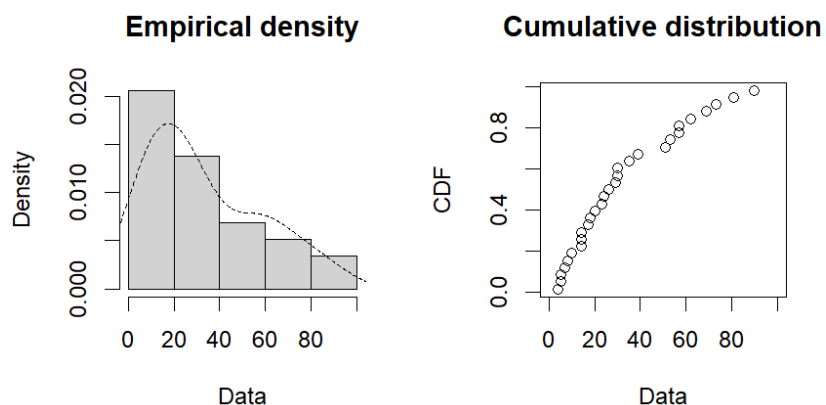
### Comparacion de histogramas y pruebas para ajuste

Comparación de ajustes de la variable tiempo\_entre\_llegada\_y\_salida\_de\_bus\_a\_Volador a través de gráficas.

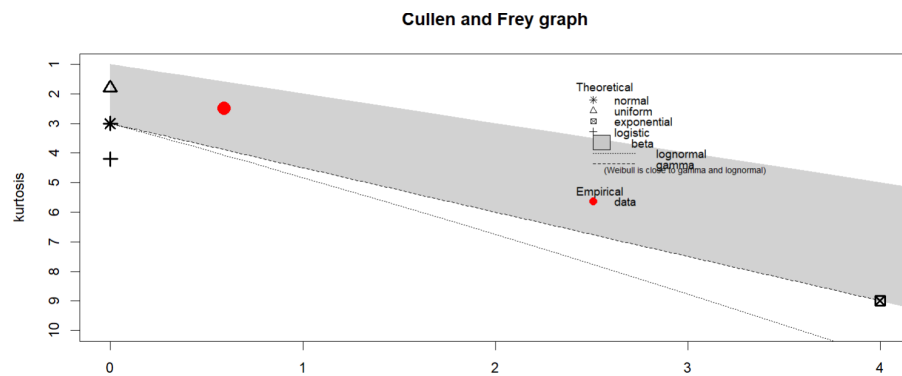
Debido a que el comportamiento de esta variable no muestra una relación cercana con ninguna de las distribuciones probadas, y que visualmente no es posible poder relacionarla con alguna, se decide conllevar esta variable con una distribución empírica.

### Analisis cantidad\_estudiantes\_en\_fila:

Gráfica distribución de los datos.



Análisis de distribuciones observadas.



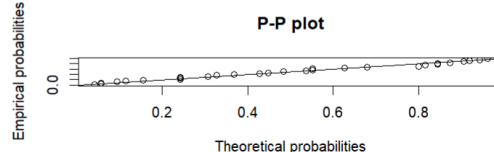
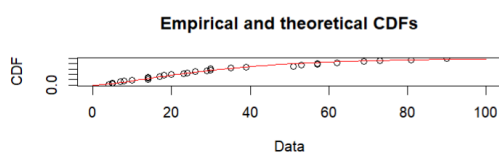
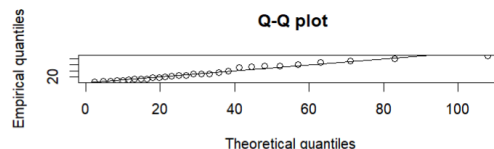
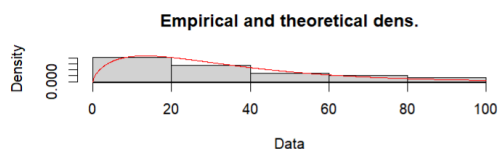
Comparacion grafica Cullen and Frey

Al hacer el análisis Cullen and Frey queda en duda cual es la mejor distribución para ajustar esta variable, se ajustarán como una weibull, gamma y lognormal para ver cuál se ajusta mejor.

Análisis de las distribuciones observadas:

Parámetro Gamma:

```
> summary(fit_g)
Fitting of the distribution ' gamma ' by maximum likelihood
Parameters :
      estimate Std. Error
shape 1.6618459 0.39998951
rate 0.0499499 0.01400267
Loglikelihood: -128.7004   AIC: 261.4008   BIC: 264.1354
Correlation matrix:
      shape      rate
shape 1.0000000 0.8580082
rate 0.8580082 1.0000000
```



Comparación gráfica de modelos:

```
> gofstat(list(fit_w, fit_g, fit_ln))
Goodness-of-fit statistics
      1-mle-weibull 2-mle-gamma 3-mle-lnorm
Kolmogorov-Smirnov statistic 0.10484420 0.11122149 0.11575831
Cramer-von Mises statistic 0.04438204 0.03941805 0.04971816
Anderson-Darling statistic 0.30499310 0.29362221 0.39691060

Goodness-of-fit criteria
      1-mle-weibull 2-mle-gamma 3-mle-lnorm
Akaike's Information Criterion 261.4038 261.4008 262.9678
Bayesian Information Criterion 264.1384 264.1354 265.7023
```

Comparación de estadísticos de bondad de ajuste:



Los tres modelos evaluados (Weibull, Gamma y Lognormal) presentan los siguientes valores en las pruebas:

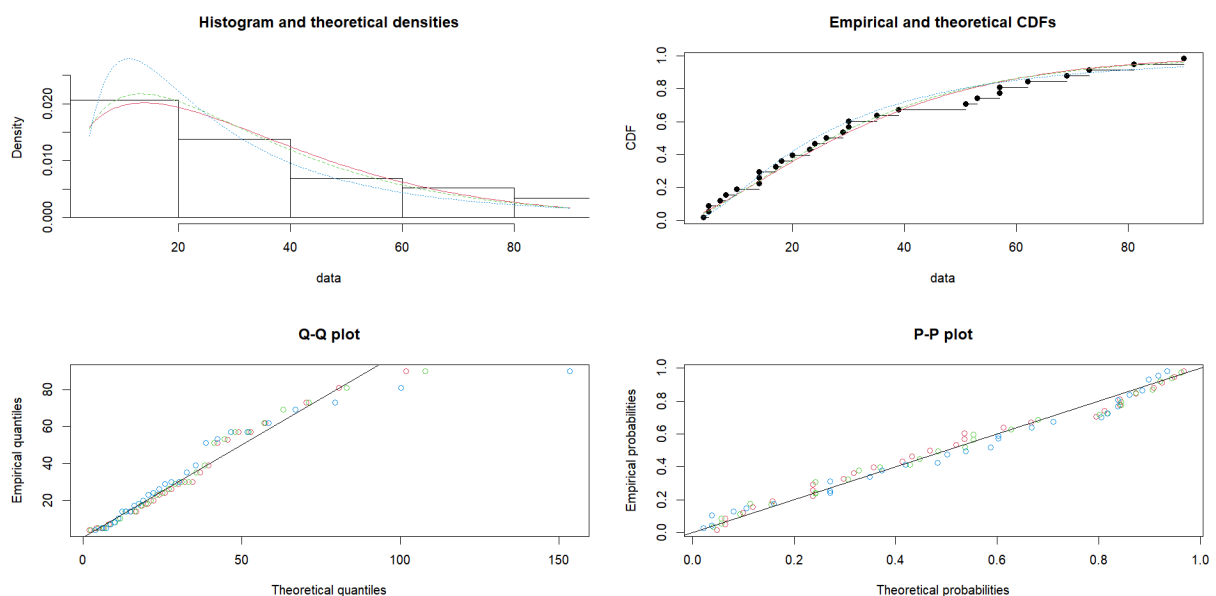
Kolmogorov-Smirnov: Valores más bajos indican mejor ajuste. Weibull tiene el menor valor 0.1048, seguido de Gamma 0.1112 y Lognormal 0.1158.

Cramer-von Mises: Gamma tiene el menor valor 0.0394, seguido de Weibull 0.0443 y Lognormal 0.0497.

Anderson-Darling: Gamma tiene el menor valor (0.2936), luego Weibull 0.3049 y Lognormal 0.3969

(ya que la tabla no muestra la distribución correspondiente)

```
> plot.legend <- c("Weibull", "Gamma", "Lognormal")
> denscomp(list(fit_w, fit_g, fit_ln), legendtext = plot.legend)
> cdfcomp(list(fit_w, fit_g, fit_ln), legendtext = plot.legend)
> qqcomp(list(fit_w, fit_g, fit_ln), legendtext = plot.legend)
> ppcomp(list(fit_w, fit_g, fit_ln), legendtext = plot.legend)
```



## Comparacion de histogramas y pruebas de ajuste

Histograma y densidades: Weibull y Gamma se ajustan mejor a la distribución empírica, mientras que Lognormal muestra mayor desviación.

CDF: Weibull y Gamma siguen mejor la distribución empírica en comparación con Lognormal.

Q-Q Plot: Gamma y Weibull presentan menor dispersión, indicando un mejor ajuste.

P-P Plot: Los tres modelos se alinean bien, pero Weibull y Gamma tienen menos desviación.

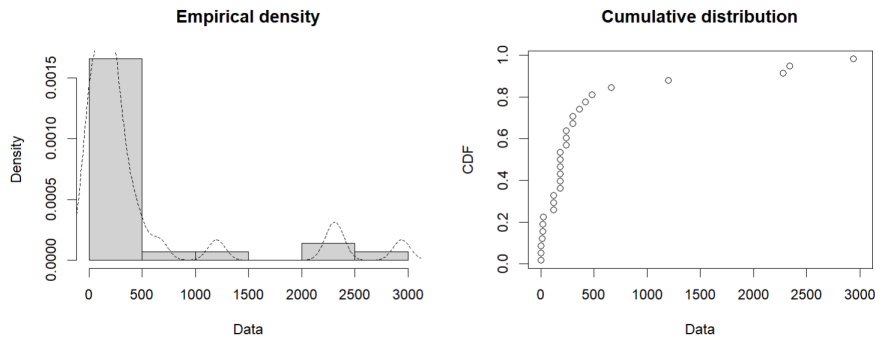
Conclusión: Gamma es la mejor opción, seguida de Weibull. Lognormal es menos recomendable debido a su mayor desviación.

con parámetros:

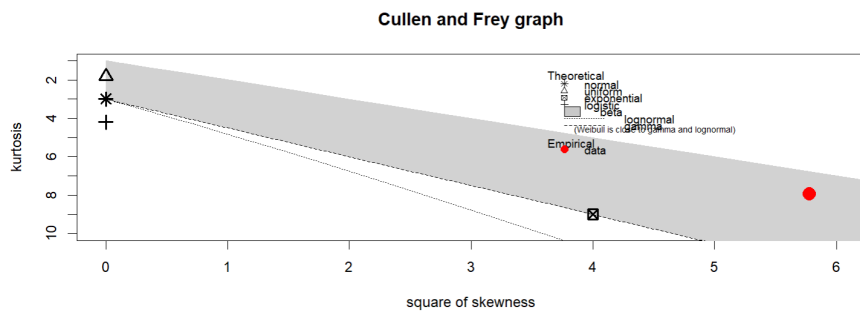
```
> coef(fit_g)
      shape      rate
1.6618459 0.0499499
```

## Analisis tiempo\_de\_llegada\_entre\_buses\_Volador:

Gráfica distribución de los datos.



Análisis distribuciones observadas:



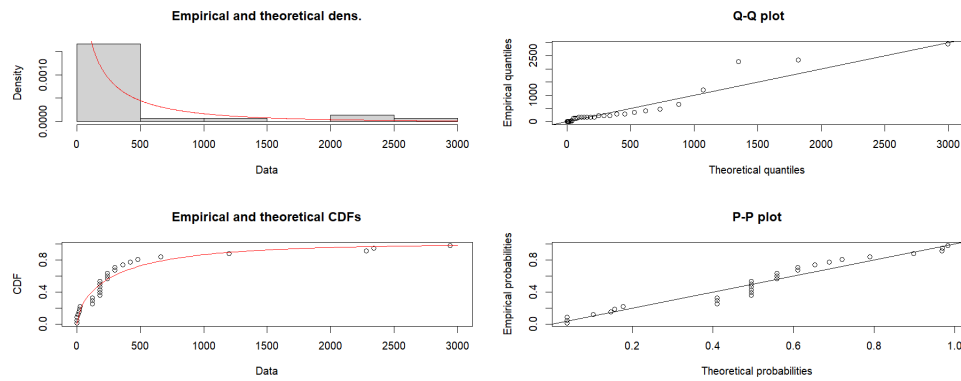
Comparacion grafica Cullen and Frey

Al hacer el análisis Cullen and Frey queda en duda cual es la mejor distribución para ajustar esta variable, se ajustarán como una weibull, gamma y lognormal para ver cuál se ajusta mejor.

Análisis de las distribuciones observadas:

Parametro Weibull:

```
> summary(fit_w) # Parámetros Weibull
Fitting of the distribution 'weibull' by maximum likelihood
Parameters:
      estimate   Std. Error
shape  0.634103   0.09100071
scale 328.808859 101.48588528
Loglikelihood: -200.7414   AIC:  405.4829   BIC:  408.2175
Correlation matrix:
      shape    scale
shape 1.0000000 0.3153261
scale 0.3153261 1.0000000
```



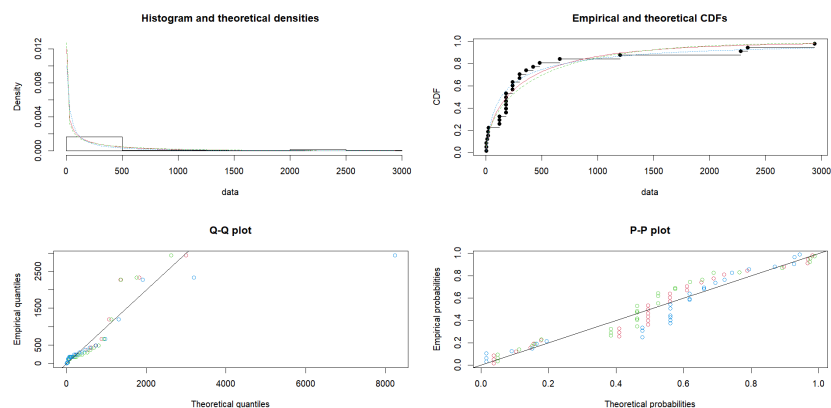
Comparación de estadísticos de bondad de ajuste:

```
> gofstat(list(fit_w, fit_g, fit_ln))
Goodness-of-fit statistics
      1-mle-weibull 2-mle-gamma 3-mle-lnorm
Kolmogorov-Smirnov statistic 0.1686794 0.1489488 0.2361984
Cramer-von Mises statistic 0.1381813 0.1607259 0.2319190
Anderson-Darling statistic 0.7543409 0.8810828 1.2282558

Goodness-of-fit criteria
      1-mle-weibull 2-mle-gamma 3-mle-lnorm
Akaike's Information Criterion 405.4829 406.5005 409.0241
Bayesian Information Criterion 408.2175 409.2351 411.7587
```

(ya que la tabla no muestra la distribución correspondiente)

```
> plot.legend <- c("Weibull", "Gamma", "Lognormal")
> denscomp(list(fit_w, fit_g, fit_ln), legendtext = plot.legend)
> cdfcomp(list(fit_w, fit_g, fit_ln), legendtext = plot.legend)
> qqcomp(list(fit_w, fit_g, fit_ln), legendtext = plot.legend)
> ppcomp(list(fit_w, fit_g, fit_ln), legendtext = plot.legend)
```



Los tres modelos evaluados (Weibull, Gamma y Lognormal) presentan los siguientes valores en las pruebas para la variable "tiempo\_entre\_llegadas\_buses\_volador":

Kolmogorov-Smirnov: Gamma tiene el menor valor 0.1489, seguido de Weibull 0.1687 y Lognormal 0.2362.

Cramer-von Mises: Weibull tiene el menor valor 0.1382, seguido de Gamma 0.1607 y Lognormal 0.2319.

Anderson-Darling: Weibull tiene el menor valor 0.7543, seguido de Gamma 0.8810 y Lognormal 1.2286.

Akaike y Bayesian: Weibull tiene los menores valores (405.48 y 408.22), seguido de Gamma (406.50 y 409.23) y Lognormal (409.02 y 411.76).

Basándonos en todos los criterios, la distribución Weibull parece ser la mejor opción para modelar la variable "tiempo\_entre\_llegadas\_buses\_volador".

con parámetros:

```
> coef(fit_w)
      shape      scale
0.634103 328.808859
```

## Modelo de simulación

- ☐ Descripción del modelo, puede ser gráfica.
- ☐ Enumeración de los componentes del modelo y explicación de la relación entre estos.
- ☐ Identificación de las entradas y salidas del modelo y de las entradas aleatorias.
- ☐ Descripción de los objetivos del modelo
- ☐ (qué calcula) y de su alcance (qué incluye, que no incluye) y de las suposiciones .
- ☐
- ☐ Resumen de la validación del modelo.
- ☐ Incluye: resultados de corrida inicial, análisis de sensibilidad y pruebas de validación

## Análisis de resultados

Contiene una comparación del comportamiento del sistema sin hacer cambios con el comportamiento del sistema tras implementar alternativas de mejora.

Contiene análisis gráfico, cálculo del número de corridas a realizar y de intervalos de confianza para las medidas de desempeño

## Conclusiones