

## **Informe trabajo final**

### **Sistema Intercampus - Trayecto Volador-Robledo**



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

#### **Integrantes**

Efrain Alberto Diaz Caro

Miguel Angel Ramirez Gaviria

Estefanía Ruiz Cuartas

Alejandro Diaz Lopez

**Departamento de Ciencias de la Computación y Decisión  
Simulación de Sistemas**

Yris Olaya Morales

**Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín -Facultad de Minas**

2024-2

<b>Resumen:</b> .....	<b>3</b>
Objetivos.....	3
<b>Definición del problema</b> .....	<b>4</b>
Alternativas a evaluar:.....	4
Definición del objetivo del estudio:.....	4
Delimitación del problema:.....	5
<b>Datos de entrada</b> .....	<b>5</b>
Identificación de los datos de entrada necesarios para el modelo y método de recolección.....	5
Cálculo del tamaño de muestra teórico para las muestras de datos recolectadas	6
Análisis estadístico descriptivo y ajuste de distribuciones a partir de datos recolectados.....	7
<b>Modelo de simulación</b> .....	<b>8</b>
Descripción del modelo, puede ser gráfica.....	8
Enumeración de los componentes del modelo y explicación de la relación entre estos.....	8
Identificación de las entradas y salidas del modelo y de las entradas aleatorias..	9
Descripción de los objetivos del modelo.....	9
Resumen de la validación del modelo.....	9
<b>Validación del modelo:</b> .....	<b>10</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>11</b>
<b>Contribuciones</b> .....	<b>11</b>

## Resumen

### 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:

- Longitud de la fila en el paradero del campus Volador.
- Tiempo que permanece un estudiante en el sistema.

### Descripción:

1. Mide el porcentaje de la demanda de estudiantes que fue efectivamente cubierta por los buses en cada franja horaria.
2. Mide el tamaño de la fila de espera de manera periódica.

### Fórmula:

- Tiempo que pasa un estudiante en el sistema
- Promedio del tamaño de la fila =  $\frac{\text{Suma del número Total de estudiantes en fila}}{\text{Cantidad de estudiantes que pasaron por el sistema}}$

### Interpretación:

- A mayor o menor tiempo que pase el estudiante en el sistema se puede analizar que tan eficiente es la asignación de buses propuesta sin considerar los factores externos que afecten la movilidad del bus fuera de los campus.
- A mayor o menor cantidad de estudiantes en fila durante cada franja horaria se puede analizar la facilidad con la que se para tomar transporte intercampus con la asignación de buses propuesta.

### Restricciones:

- En las horas pares no se tiene en cuenta el número de estudiantes en fila puesto que en esos momentos el servicio no se encuentra disponible.
- Se realizó el registro de datos a analizar a lo largo de un día.

## Definición del problema

La asignación de buses a lo largo de la jornada académica presenta problemas de ineficiencia con respecto a la demanda, y los tiempos de espera a ciertas horas son demasiado extensos, estos son los aspectos que se desean mejorar mediante una reestructuración.

### 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 así mismo como disponer de múltiples buses a la espera en esos tiempos, para disminuir el tiempo de llegada entre buses y atender rápidamente a la demanda en estos momentos del día.

## Formulación del problema

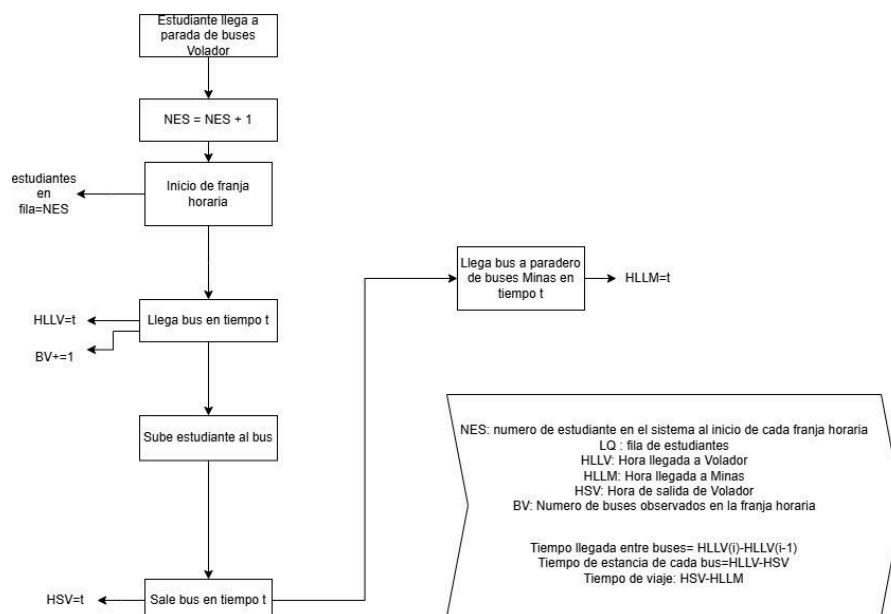


Diagrama de flujo

Se escogió estudiar los tiempos de llegada y salida en la ruta intercampus que va del núcleo Volador al núcleo de Robledo, esto durante múltiples franjas horarias en las que esta ruta se realiza durante un 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 Robledo.

### 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 las variables anteriormente mencionadas. Mediante la simulación, se evaluarán distintas estrategias de asignación de buses y su impacto en la eficiencia del servicio, para luego analizar los resultados con respecto a las medidas de desempeño.

#### **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.
- No se evalúa el tiempo que le toma a un bus volver de Minas a Volador.

#### **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:**

<b>Dato</b>	<b>Descripción</b>	<b>Método de recolección</b>
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 fórmulas 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.

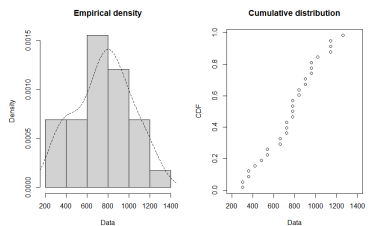
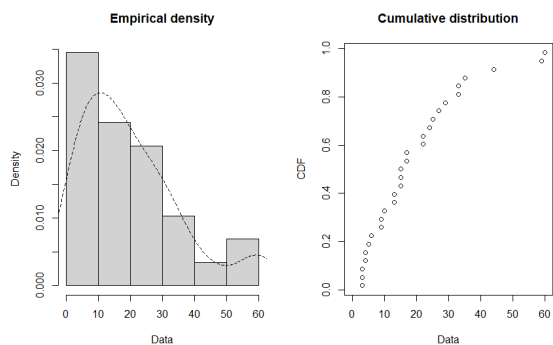
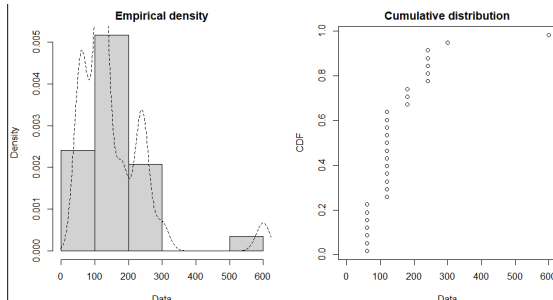
**tiempo\_de\_llegada\_entre\_buses:** Se determinó el tamaño de muestra para calcular el promedio de tiempo de llegada entre buses con un error de 3 minutos (180 segundos).

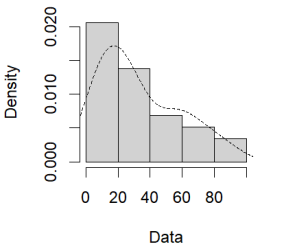
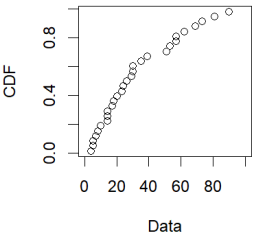
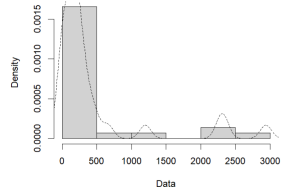
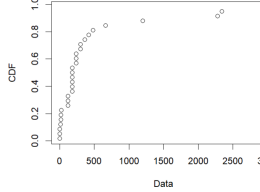
**tiempo\_entre\_llegada\_y\_partida\_de\_buses\_Volador:** Se determinó el tamaño de muestra para calcular el promedio de tiempo de estadía de los buses en el Volador con un error de 1 minutos (60 segundos).

**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.

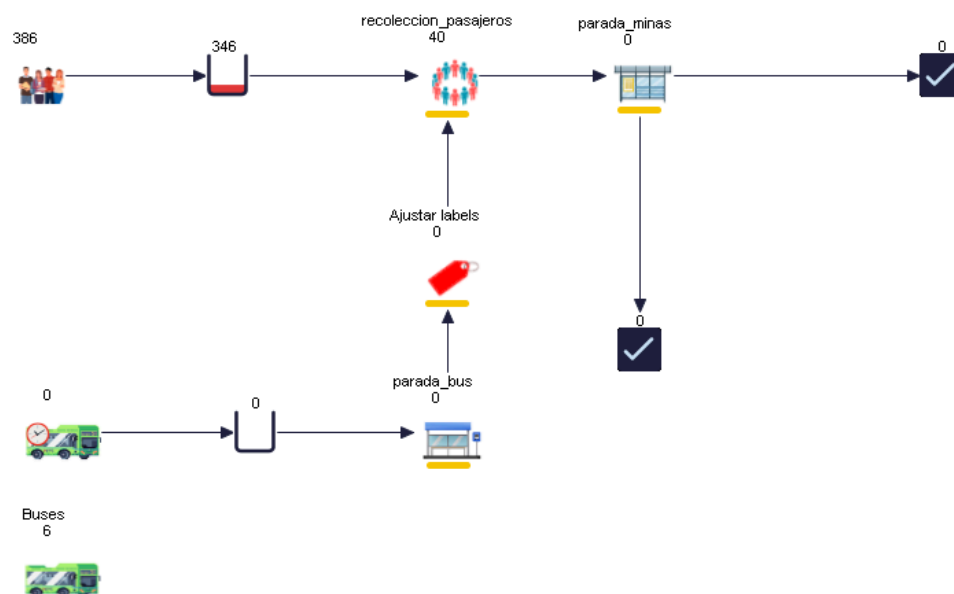
Errores				
tiempo_de_viaje	cantidad_estudiantes_en_fila	tiempo_de_llegada_entre_buses_Volador	tiempo_entre_llegada_y_partid	tiempo_entre_llegadas_de_estudiante
180	2	180	60	50
Tamanos de muestra teoricos				
594686	372579	38809393	152682	90

## Análisis estadístico descriptivo y ajuste de distribuciones a partir de datos recolectados:

Variable	
<b>tiempo_de_viaje</b> 	N(757.24, 68378.59)
<b>tiempo_de_llegada_entre_estudiante</b> 	$\Gamma(1.63523581, 0.08262858)$
<b>tiempo_entre_llegada_y_salida_de_bus_volador</b> 	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 conlleva esta variable con una distribución empírica.

<p>cantidad_estudiantes_en_fila</p> <div> <div> <p>Empirical density</p>  </div> <div> <p>Cumulative distribution</p>  </div> </div>	<p><math>\Gamma(1.661, 328.808)</math></p>
<p>tiempo_llegada_entre_buses_Volador</p> <div> <div> <p>Empirical density</p>  </div> <div> <p>Cumulative distribution</p>  </div> </div>	<p>Weibull(0.634,328.808)</p>

## Modelo de simulación



## Componentes del modelo:

### Entidades:

- Estudiantes.
- Buses (se toman como recursos).

### Actividades:

- **Llegada de estudiantes:** Evento que marca la entrada de estudiantes al sistema
- **Llegada de buses:** Evento que marca la entrada de buses al sistema.



- **Recoger pasajeros:** Actividad en la que los buses recogen a los estudiantes que van a llevar hasta minas.

#### Colas:

- **Cola de estudiantes:** Formada por los estudiantes que esperan para subirse a un bus.
- **Cola de buses:** formada por los buses que esperan para recoger estudiantes.

#### Entradas y salidas del modelo:

- **Entre las entradas del sistema se encuentran:**
  - Estudiantes que entran al paradero de Volador (aleatoria).
  - Buses entrantes al paradero de Volador (aleatoria).
- **Entre las salida del sistema hallamos:**
  - Cantidad de estudiantes que se quedaron en la fila del parador de Volador.
  - Cantidad de estudiantes que llegaron al paradero de Minas.
  - Tiempo promedio de los viajes en cada corrida.
  - Tiempo promedio que pasa cada estudiante en el sistema.

#### Descripción de los objetivos del modelo

El modelo simula el sistema de transporte intercampus en la ruta VOLADOR- MINAS para optimizar la asignación de buses según la demanda en distintas franjas horarias, con el objetivo de reducir los tiempos de espera y aumentar la cobertura del servicio, especialmente en horas pico. Considera variables como el tiempo de viaje, cantidad de estudiantes en fila, y tiempos entre llegadas de buses y estudiantes. Se evaluarán estrategias de asignación y el uso de buses adicionales en horas pico, sin considerar factores como el tráfico o cambios en la demanda. Los resultados ayudarán a mejorar la cobertura, tiempos de espera y eficiencia en la asignación de buses.

#### Resumen de la validación del modelo:

	Base Run	
	Trial Average	Trial Average
Final estudiantes.Average Time in System	4.42392	4.42392
recoleccion_pasajeros.Average Use	32.96585	32.96585
parada_bus.Waiting %	99.59717	99.59717
cola_paradero.Average Queue Size	127.43847	127.43847
entrada_estudiantes.Number Entered	367.3	367.3
cola_paradero.Average Queuing Time	1.76275	1.76275
cola_paradero.% Queued Less Than Time Limit	91.11474	91.11474
Entrada buses.Number Entered	0.3	0.3
Queue for parada_bus.Average Queue Size	0	0
Queue for parada_bus.Average Queuing Time	0	0
parada_bus.Average Use	0.00404	0.00404
Ajustar_labels.Number Completed Jobs	0.28	0.28
parada_minas.Number Completed Jobs	416.8	416.8
Final estudiantes.Number Completed	405.6	405.6
Final buses.Average Time in System	0.64255	0.64255
Final buses.Number Completed	11.2	11.2
Final estudiantes.St Dev of	0.63558	0.63558
cola_paradero.St Dev of Queuing Time	1.52249	1.52249

Al realizar múltiples intentos para recolectar datos de 50 corridas, se evidencia que no hay cambios en los promedios y desviaciones estándar de nuestras variables de desempeño de interés, por lo tanto solamente se harán predicciones de forma general.

## Análisis de resultados

### Corridas modelo inicial:

Corrida #	Promedios de tiempo de pasajeros en el sistema (en segundos)	Desviación estándar para los promedios de tiempo de pasajeros en el sistema	Intervalo al 95% para el tiempo de pasajeros en el sistema	Promedio del tamaño de la cola de espera en volador	Desviación estándar para el promedio del tamaño de la cola de espera en volador	Intervalo al 95% para el promedio del tamaño de la cola de espera en volador
1	405	0.355	(404.901, 405.098)	127	1.52	(126.578, 127.421)

### Validación del modelo:

**Validación aparente:** Para esta validación analizamos los resultados plasmados en las tablas anteriores y bajo el criterio de los mismos integrantes que ejecutaron el estudio los cuales son conocedores de la manera como funciona el sistema, se dictamina si el modelo parece una representación razonable del sistema o no.

Para las siguientes variables se evidencia la falta de relación con el sistema real en cuanto a su comportamiento: promedio de tamaño de cola, tiempo promedio de estudiantes en el sistema, porcentajes de tiempo en el que parada de bus está en espera y operando, número turno de buses que operaron.

En Simul8 pudimos notar que nuestro sistema no considera el tiempo que le toma a un bus volver a estar disponible desde el momento que baja de Minas a Volador, aun así es posible emplearlo para revisar que tanto tiempo debe ocupar un estudiante para poder llegar a Minas desde el momento que se une a la cola del paradero; También se observa que el modelo propuesto no alcanza a reflejar con exactitud la cantidad de personas que llegan a la cola en el Volador en franjas de 50 minutos, lo cual indica que la variabilidad de esta medida es grande según la franja horaria.

Para mejorar este modelo en futuras ocasiones, se plantea el uso de algunas variables útiles como lo son:

- Tiempo que le toma a los buses bajar de Robledo a Volador.
- Tiempo que pasa un estudiante en la cola.

### Alternativas a implementar:

Empíricamente se propone disponer de 3-4 buses en el paradero del intercampus al inicio de las franjas horarias de mayor demanda registradas ( los turnos de 11 am, 1pm y 3pm) con el fin de satisfacer las demanda de forma inmediata, para así evitar que se forman largas filas y disminuir el tiempo que pasen los estudiantes en las rutas hacia el campus destino. Así también el disminuir el número de buses disponibles que están

programados en la mañana, con el fin de enfocar un mayor uso de recursos disponibles , únicamente en los momentos de fuerte demanda.

## Conclusiones

A través de la simulación realizado se pudo constatar el tiempo que a un estudiante le toma atravesar todo el sistema de buses intercampus y la cantidad de estudiantes que se pueden llegar a formar teóricamente, sin embargo no se alcanza a representar la demanda total del servicio considerando las fluctuaciones en cada franja horaria y variables que resultaban ser importantes e influyentes conforme se avanzaba en el estudio.

Se pudieron evidenciar nuevas variables con las cuales analizar el desempeño de este sistema.

Fue posible plantear alternativas para mejorar el servicio intercampus desde la asignación de los recursos.

Se evidencia en el estudio que el documento oficial en el que aparece la programación, estructuración y distribución de los tiempos de servicio y disponibilidad de buses no se cumple en su totalidad, y que durante el transcurso de la jornada es demasiado susceptible a experimentar cambios.

## Contribuciones

**Autor 1 (Efraín Alberto Díaz Caro):** Toma de datos, formulación del problema, propuestas alternativas de solución, diagrama de flujo del modelo, análisis estadístico en R, ajuste de modelos probabilísticos, escritura de resultados.

**Autor 2 (Miguel Angel Ramírez Gaviria):** Toma de datos, formulación del problema, propuestas alternativas de solución, realización pruebas de validación, interpretación de resultados, análisis de sensibilidad, conclusiones, escritura de resultados.

**Autor 3 (Estefanía Ruiz Cuartas):** Toma de datos, formulación del problema, propuestas alternativas de solución, construcción modelo Simul8, realización de ensayos, análisis de resultados, revisión y edición de los textos.

**Autor 4 (Alejandro Díaz Lopez):** Toma de datos, formulación del problema, propuestas alternativas de solución, diagrama de flujo del modelo, análisis estadístico en R, ajuste de modelos probabilísticos, construcción modelo Simul8, análisis de resultados, escritura de resultados.