

# **TRABAJO FINAL: DISTRIBUCIÓN DE ESTUDIANTES EN BUSES INTERCAMPUS.**

**Realizado por:**

**Emmanuel Alberto Mejia Arango – 1002900638**

**Profesora:**

**Yris Olaya Morales**



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA**

---

**Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín**

**Simulación de Sistemas.**

**2024-1**

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. Resumen</b>	<b>3</b>
<b>2. Definición del problema</b>	<b>3</b>
<b>3. Formulación del Problema</b>	<b>3</b>
<b>4. Datos de entrada</b>	<b>4</b>
<b>5. Modelo de simulación</b>	<b>8</b>
<b>6. Análisis de resultados</b>	<b>10</b>
<b>7. Conclusiones</b>	<b>11</b>
<b>8. Bibliografía</b>	<b>12</b>
<b>9. Aportes y participaciones</b>	<b>12</b>

## **1. Resumen**

Este estudio se centra en la evaluación del sistema de transporte de estudiantes de la UNAL que salen del campus volador hacia minas. El objetivo es realizar una prueba piloto para determinar la configuración óptima de buses, enfocándonos en la jornada de 2:55 a las 4:00

## **2. Definición del problema.**

### **Objetivo**

El objetivo es optimizar la eficiencia del flujo de buses en la universidad. Se busca evaluar el uso de la capacidad de los vehículos y analizar la consistencia de los tiempos de viaje. Esto incluye reducir el tiempo de llegada de los buses al Volador mediante una simulación que considere factores como los tiempos de llegada y salida, así como la gestión de colas. Se pretende ajustar la frecuencia de los buses según la demanda en distintos horarios y minimizar las largas colas de espera.

### **Alternativas a considerar:**

- Evaluar y mejorar la experiencia del usuario.
- Identificación de ineficiencias y puntos críticos.
- Maximizar la capacidad utilizada de los buses.

## **3. Formulación del Problema**

### **Descripción del sistema de estudio**

### **Medidas de desempeño:**

- Promedio del tiempo que esperan los estudiantes para subirse a un bus.
- Porcentaje de estudiantes que esperan menos de 5 minutos.
- Capacidad promedio usada de los buses.
- Gráficos de desempeño del sistema.

### **Suposiciones:**

- El paradero funciona de manera regular.
- Para simplificar el modelo, se asumirá que todos los estudiantes en cola abordarán el bus hasta llenarlo. Esto significa que solo quedarán estudiantes en la cola si el bus ya está lleno (puesto que se ha observado que, en algunos casos, estudiantes se quedan esperando el siguiente bus, esta situación no se considerará en la simulación)

- Se asume que todos los estudiantes que llegan a la cola se van a subir al bus, puesto que en algunos casos solo están acompañando a sus compañeros para luego salirse (esta situación tampoco fue tomada en cuenta para simulación)

### **Limitaciones:**

1. Para el tiempo de recorrido desde el volador a las minas, el análisis de ajuste indica que la mejor distribución es una log-normal. Sin embargo, al implementarla en SIMUL8, se observó que los tiempos generados no eran coherentes con las expectativas. Por esta razón, se decidió utilizar una distribución Weibull, que ofrecía tiempos más acordes con los requerimientos del modelo. Se trato de identificado la causa de esta discrepancia en el comportamiento de la distribución log-normal, pero no logré hallar nada al respecto.
2. Se trato de simular los tiempos de recorrido hasta minas, pero lamentable no se logró, ya que la actividad de viaje se tiene que realizar en paralelo o dicho de otro modo puede haber varios buses en viaje en un mismo instante, pero lo que hace simul8 es esperar a que un bus termine el viaje para darle paso al siguiente bus. Se trató de implementar otras formas, como aumentar la cantidad de actividades de viaje, pero esto solo empeoraba las cosas haciendo que los estudiantes empezaran a pasar uno por uno, hacer un assemble para que se manejara como una sola entidad no era viable, ya que se perdía información de todas las entidades individuales, al final, lo mejor que se pudo hacer fue eliminar la simulación del viaje (se dejó pero con un tiempo fijo de 0, ya que igual se necesitaba para manejar otra lógica) lo cual terminó limitando el alcance de la simulación

### **Alcance:**

El modelo se limitará a una operación que se llevará a cabo en las horas de la tarde, específicamente entre las 2:55 y las 4:00.

### **4. Datos de entrada.**

- **Tiempos entre llegadas de los estudiantes:** Se registraron los intervalos de tiempo entre la llegada de cada estudiante al paradero. Utilizamos un cronómetro para marcar el momento de llegada de cada estudiante.
- **Tiempos entre llegadas de los buses:** Se midieron los intervalos de tiempo entre la llegada de cada bus al paradero. También se utilizó un cronómetro para marcar cada llegada de bus.

- **Capacidad de los buses:** Se determinó el número máximo de pasajeros que cada bus puede transportar. Para ello, uno de los miembros del equipo se subía al bus y contaba rápidamente la cantidad de asientos disponibles.
- **Asientos ocupados inicialmente de los buses:** Se registró la cantidad de asientos ocupados en cada bus al momento de su llegada. La misma persona que contaba los asientos también verificaba cuántos ya estaban ocupados.
- **Tiempos de espera en la parada de cada bus:** Se calculó la duración que los estudiantes esperaban en la parada antes de abordar el bus. Utilizando un cronómetro, se registró el momento en que cada bus salía del paradero.
- **Tiempo de viaje de cada bus:** Se midió la duración del trayecto desde el paradero hasta su destino. Una persona en Minas fue responsable de registrar el instante en que cada bus llegaba a su destino.

Para garantizar la consistencia en la recolección de datos, todos los cronómetros se iniciaron exactamente a las 2:55, minimizando así las diferencias en la toma de datos.

### Cálculo del tamaño de muestra para los datos recolectados

$$\text{Tamaño muestra teórico} \quad N = \left[ \frac{Z_{\alpha/2} * v}{E} \right]^2 \quad \text{Margen de error en unidades de la media} \quad v = \frac{s}{\bar{x}} \quad \text{Coeficiente de variación de la muestra}$$

El valor del Error que se tendrá en cuenta para la formula será del 10% de la media de los datos

El script de R utilizado para este cálculo se llama tamaño\_muestra.R.

### tiempos entre llegadas de los estudiantes:

$$\left( \frac{1.96 * 0.9335336}{0.08266917} \right)^2 = 489.8566 \approx 490$$

Se logró reunir 442 datos.

Para las demás variables lamentablemente no se tuvo en cuenta esta premuestra, por lo tanto, solo se cuenta con 19 datos para cada uno. Lo cual es una posible limitante para explicar de forma precisa la variabilidad de estas.

De igual forma se hace el análisis con los datos tomados para calcular cual era ese N deseado.

**Tiempos entre llegadas de los buses:**

$$\left(\frac{1.96 * 0.732222}{0.477539}\right)^2 = 9.031 \approx 10$$

En este caso se uso un error equivalente al 5% de la media.

Con la premuestra tenemos 19 datos.

**Capacidad de los buses:**

$$\left(\frac{1.96 * 0.1425073}{4.947368}\right)^2 = 0.003 \approx 1$$

Con la premuestra tenemos 19 datos.

**Asientos Ocupados inicialmente de los buses:**

$$\left(\frac{1.96 * 1.010546}{0.2736842}\right)^2 = 52.37 \approx 53$$

Lamentablemente de acuerdo con esto no se logra alcanzar un N adecuado para esta variable, lo que puede limitar la capacidad de explicar su variabilidad real.

Contamos con 19 datos.

**Tiempos de espera en la parada de cada bus:**

$$\left(\frac{1.96 * 0.6782309}{0.3499667}\right)^2 = 14.42773 \approx 15$$

Con la premuestra tenemos 19 datos.

**Tiempo de viaje de cada bus:**

$$\left(\frac{1.96 * 0.1433122}{1.292735}\right)^2 = 0.04721 \approx 1$$

Si bajamos el error a un 1% de la media tenemos

$$\left(\frac{1.96 * 0.1433122}{0.1292735}\right)^2 = 4.721 \approx 5$$

Con la premuestra tenemos 19 datos.

## **Análisis estadístico descriptivo y ajuste de distribuciones.**

<b>Variable</b>	<b>Distribución</b>	<b>Parametros</b>
Tiempos entre llegadas de los estudiantes	Weibull	Shape: 0.6310306 Scale: 0.2935322
Tiemps entre llegadas de los buses	Weibull	Shape: 1.363557 Scale: 10.40305
Tiempos de espera en la parada buses	Gamma	Shape: 2.147046 Rate: 0.6135244
Tiempo de viaje de los buses	Weibull	Shape: 7.815054 Scale: 13.72854
Capacidad de los buses	Poisson	Lambda: 49.47368
Asientos ocupados inicialmente	Geométrica	Prob: 0.2676056

### **Notas:**

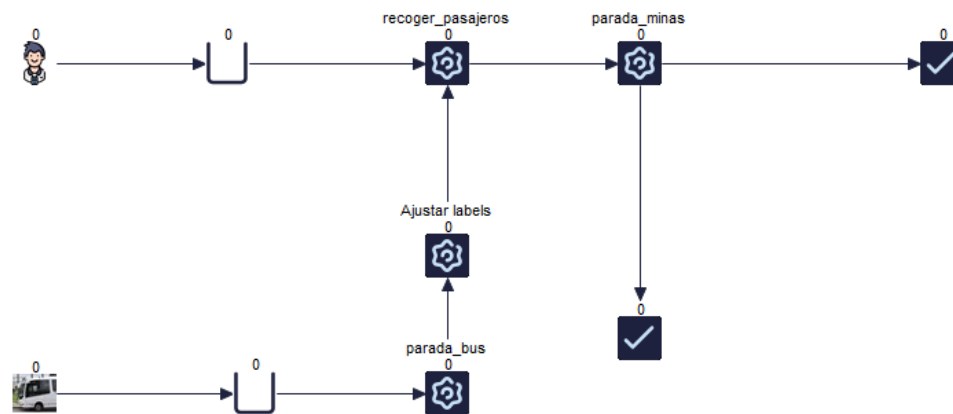
#### **Tiempos de espera en la parada de los buses:**

Los diferentes modelos se destacan en diferentes criterios, al final se opta por escoger el modelo Gamma basado en que tiene el mejor ajuste según AIC y BIC, aunque la diferencia no es mucha comparada a los otros modelos, por lo cual para esta variable podría ser interesante implementar otra distribución para ver cómo se comporta el modelo, en nuestro caso trabajaremos solo con la gamma.

#### **Tiempo de viaje de los buses:**

A pesar de que la log-norm muestra mejores resultados en el ajuste, por la limitante (ver limitante #1) de los tiempos generados por simul8 con esta distribución se opta finalmente por usar una Weibull.

## 5. Modelo de simulación



### Entidades:

- Estudiantes
- Buses

### 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 los estudiantes que van a llevar hasta minas.

### Colas:

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

Podemos observar inicialmente que tenemos una entrada de estudiantes a la cual le asignamos la distribución **llegada\_estudiante** también se le define un valor a su etiqueta **busld** (la cual ayuda a identificar a que bus se van a subir) luego pasan a una cola, en donde esperaran a que llegue el bus a recogerlos.

Contamos con otra entrada que representa la llegada de los buses, a la cual se le asigna la distribución **llegada\_bus**. Al llegar a los buses se les asigna los siguientes labels



- capacidad: con un valor de acuerdo con la distribución `capacidad_bus`.
- asientos ocupados: con un valor de acuerdo con la distribución `asientos_ocupados`.
- Asientos\_disponibles: con un valor de `capacidad – asientos ocupados`

Luego los buses se dirigen a una cola, lo que indica que pueden existir otros buses en la parada previamente. Tras la cola, se encuentra la actividad denominada **parada\_bus**, que, con el apoyo de la distribución **espera\_bus\_parada**, simula el tiempo que los buses permanecen en la parada desde su llegada hasta su salida.

Posteriormente, los buses pasan a otra actividad llamada **ajustar labels**, que tiene un carácter más ficticio y sirve como apoyo al modelo. Esta actividad se utiliza para establecer la cantidad de pasajeros a recoger y para definir el valor del **collect** en la siguiente actividad, utilizando Visual Logic, por lo cual se le asigna una distribución fija con el parámetro 0, posteriormente pasan a la actividad recoger pasajeros la cual con ayuda del collect simula los pasajeros que recoge el bus (esta actividad tiene una limitante la cual fue mencionada anteriormente. Ver la sección limitaciones #2).

Finalmente, está la actividad **parada\_minas**, que se encarga de gestionar la salida de los buses y los estudiantes. Los estudiantes se dirigirán a la salida situada en el lado derecho de la actividad, mientras que los buses se desplazarán hacia la salida ubicada en la parte inferior.

También se dispone de una hoja de cálculo para almacenar los datos de la capacidad del bus y el total de asientos ocupados luego de recoger los estudiantes. Esto permitirá, posteriormente, analizar el porcentaje de ocupación de los asientos del bus, este análisis se va a hacer con R, ya que no se encontró una forma de hacerlo directamente con simul8.

### Cálculo de las medidas de desempeño

	Medida de desempeño	Intervalos al 95%
Tiempo promedio de espera de los estudiantes para subirse al bus	6.98 minutos	(6.70127, 7.21873)
Promedio del porcentaje de asientos ocupados de los buses	42.11562 %	(35.51254, 48.7187) %
Porcentaje de estudiantes que esperan menos de 5 minutos	32%	

## Validación del modelo

Inicialmente, se realizó una validación del modelo, lo que nos llevó a identificar la limitante #2. Después de aplicar la simplificación del modelo detallada en dicha limitante, se realizó nuevamente la validación del modelo mediante un seguimiento exhaustivo de las entidades y el análisis del comportamiento del sistema con el diagrama de simulación. A través de la herramienta de monitoreo de Simul8, se evaluaron los tiempos de permanencia, espera en colas, verificando que se alinean con las expectativas del sistema real. También se validaron las llegadas de los pasajeros y los tiempos de las actividades, confirmando que están dentro de los rangos aceptables según las distribuciones asignadas.

## 6. Análisis de resultados

### Corridas modelo inicial

# DE CORRIDA	Tiempos promedios de espera de los estudiantes para subirse al bus	Intervalo al 95% para el promedio de espera de los estudiantes	Promedio del porcentaje de asientos ocupados de los buses	Intervalo al 95% para el promedio del porcentaje de asientos ocupados	Porcentaje de estudiantes que esperan menos de 5 minutos
1	9.78 minutos	(9.304363, 10.25564)	51.71959%	(41.62719, 61.81199) %	27%
2	12.05 minutos	(11.49976, 12.60024)	51.71959%	(41.6272, 61.8120) %	20%
3	9.93 minutos	(9.527743, 10.33226)	55.2419%	(45.2730, 65.2108) %	25%
4	13.21 minutos	(12.51193, 13.90807)	51.51739%	(42.0435, 60.9913) %	23%
5	9.57 minutos	(9.163528, 9.976472)	51.75831%	(42.2982, 61.2184) %	25%
Promedios	10.908 minutos	(10.40146, 11.41454)	52.39136%	(42.57382, 62.2089) %	24%

Como alternativa de mejora se propone aumentar la frecuencia con la que llegan los buses jugando un poco con los parámetros de la distribución llegada\_bus para hacer que lleguen más buses.

Se propone modificar los parámetros de este modo:  
 shape: 1.363557 -> se mantiene

scale: 10.40305 -> 6.40305

con este cambio procedemos hacer nuevamente las corridas y analizar que tanto mejora el sistema.

# DE CORRIDA	Tiempos promedios de espera de los estudiantes para subirse al bus	Intervalo al 95% para el promedio de espera de los estudiantes	Promedio del porcentaje de asientos ocupados de los buses	Intervalo al 95% para el promedio del porcentaje de asientos ocupados	Porcentaje de estudiantes que esperan menos de 5 minutos
1	6.47 minutos	(6.220665, 6.719335)	34.70334%	(29.3300, 40.0767) %	44%
2	6.13 minutos	(5.919326, 6.340674)	32.22634%	(26.906396, 37.546285) %	42%
3	7.54 minutos	(7.234901, 7.845099)	36.7729%	(30.356209, 43.189588) %	39%
4	7.78 minutos	(7.419302, 8.140698)	33.17766	(27.430253, 38.925066) %	39%
5	6.48 minutos	(6.238066, 6.721934)	32.5863%	(26.824787, 38.347805) %	42%
<b>Promedios</b>	6.88	(6.606452, 7.153548)	33.89331%	(28.169529, 39.617089) %	41.2%

## 7. Conclusiones

Se logra observar una fuerte mejoría en cuenta a los tiempos que demoran los estudiantes esperando un bus, pero los porcentajes de asientos ocupados en los buses disminuye también considerablemente.

En cuanto a las limitaciones, realmente trabajar con simul8 a veces puede ser muy tedioso, se puede complicar bastante el tratar de simular alguna actividad (como la limitación #2 antes mencionadas) por lo tanto como trabajo futuro es buscar implementar la funcionalidad del tiempo de recorrido de forma correcta, para hacerle su respectivo análisis al sistema completo.

Como recomendación puede ser muy interesante obtener de forma detallada los costos operativos de los buses, para ver que tanto afectaría económicamente a la universidad aplicar la mejora propuesta.

## 8. Bibliografía

1. Olaya, Y. (2024). [Notas de Clase: Simulación de Sistemas](#)
2. Simul8 Corporation. (2024). *Simul8 support*. <https://www.simul8.com/support/>

## 9. Aportes y participaciones

Emmanuel Alberto Mejia Arango:

- Tabla de Contenido
- Resumen
- Definición del problema
- Formulación del problema.
- Datos de entrada
- Modelo de simulación.
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Bibliografía

Se recibió ayuda de compañeros externos a la materia para la toma de datos.