

# Simulación de un sistema de ambulancias

Isaac Dyner R. (\*)  
Gloria E. Peña Z. (\*\*)  
Luz Marina Sánchez D. (\*\*)

## 1. INTRODUCCION

El presente estudio surge de la necesidad de diseñar un sistema de transporte de pacientes de urgencia para el Área Metropolitana de Medellín. Los trabajos de G. Gibson (1) y C. Swoveland et al (3) muestran diversos métodos para atacar problemas de ambulancias, sin embargo fue necesario construir un modelo especial por las particularidades del sistema del Área Metropolitana de Medellín. Ampliaciones de esta publicación se pueden encontrar en el trabajo de grado de G. E. Peña Z. y L. M. Sánchez D. (2).

## 2. EL SISTEMA

La situación actual de atención de urgencias en el Área Metropolitana, y en especial en el Municipio de Medellín, presenta problemas ocasionados por la falta de recursos físicos, como construcciones y equipos médicos y muchas de las veces, insuficiencia de recurso humano, debido a la alta demanda de urgencias y a su concentración en unos pocos centros de atención. Otro de los problemas que se presenta en el área de la salud, es el relacionado con el transporte de pacientes de urgencia, principalmente teniendo en cuenta que la mayoría de las veces las ambulancias no transportan pacientes en estado crítico, sino aquellos que están en recuperación.

En el estudio se tuvo en cuenta básicamente un censo de las ambulancias del Área Metropolitana, el cual incluía para cada una de ellas, información referente a la dotación tanto médica como mecánica, horarios de atención, sistemas de comunicación, recursos humanos y tipo de paciente transportado. Las conclusiones de este censo fueron:

- a. Un alto número de ambulancias, en su mayoría pertenecientes a entidades privadas y que por lo tanto limitan su servicio a grupos muy reducidos de la población.
- b. Porcentaje muy bajo de transporte de pacientes en estado crítico.
- c. Falta de sistemas de comunicación entre instituciones hospitalarias y ambulancias.

- d. El personal que viaja en las ambulancias posee poco y a veces ningún conocimiento sobre atención de pacientes urgentes.
- e. Equipo médico insuficiente para atender casos de urgencia.
- f. Muy poca disponibilidad de servicio de ambulancias en las horas de la noche.
- g. Las ambulancias están ubicadas en cada institución a la que pertenecen y en su mayoría cubren toda el Área Metropolitana lo cual aumenta el tiempo de movilización de pacientes.

Con el modelo de simulación que se describe más adelante se propone encontrar la ubicación y el número de ambulancias requeridas para satisfacer la demanda de urgencias del Área Metropolitana, de tal forma que se reduzca las distancias al lugar donde se presenta las urgencias.

Para la ubicación de Centros de Ambulancias se cuenta con algunas zonas ya establecidas dentro del Municipio de Medellín y con otras que fueron seleccionadas de acuerdo con la similitud en las características socioeconómicas de la población en el resto del Área Metropolitana, formando un total de 13 zonas. En este estudio se utilizaron las Unidades Intermedias para estos Centros. El sistema emplea una Central de llamadas.

Además de la atención de urgencias en las Unidades Intermedias, se cuenta actualmente con dos Hospitales Generales que ofrecen una atención más especializada. Estos últimos están ubicados en el Municipio de Medellín de tal forma que las urgencias ocurridas en el Sector Norte del Área Metropolitana y que requieran un nivel de atención especializada, sean trasladadas al Hospital Universitario San Vicente de Paúl y las del sector sur al Hospital General de Medellín.

## 3. EL MODELO DE SIMULACION

Las etapas en la atención de una solicitud de urgencia son:

- Recibo de la solicitud (llamada telefónica)
- Salida de la ambulancia para recoger el paciente
- Traslado del paciente a un Centro Asistencial y regreso de la ambulancia al Centro de pertenencia.

De acuerdo con lo anterior se obtuvo información referente a:

(\*) Profesor Asociado Depto. Sistemas, y Administración. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia.

(\*\*) Ingenieros Industriales, Tesis Meritoria (1983), Facultad Nacional de Minas, Universidad Nacional de Colombia.

- Tiempo entre solicitudes. Esta distribución se obtuvo con base en muestras en instituciones que poseen ambulancias, y en estudios de urgencias en el Área Metropolitana.

Como consecuencia del análisis de la muestra se encontró que el tiempo entre solicitudes de carácter urgente se distribuye exponencialmente con parámetro  $\lambda_1$ .

- Tiempo entre solicitud y salida de la ambulancia. Igual que en el caso anterior se encontró que este tiempo tiene una distribución exponencial con parámetro  $\lambda_2$ .
- Tiempo entre salida y regreso de la ambulancia (tiempo de recorrido). La muestra señala una distribución Gamma con parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ .
- Demanda potencial de urgencias para cada zona del Área Metropolitana.
- Porcentaje de la demanda de urgencias del Área Metropolitana que requiere atención en Hospital General.

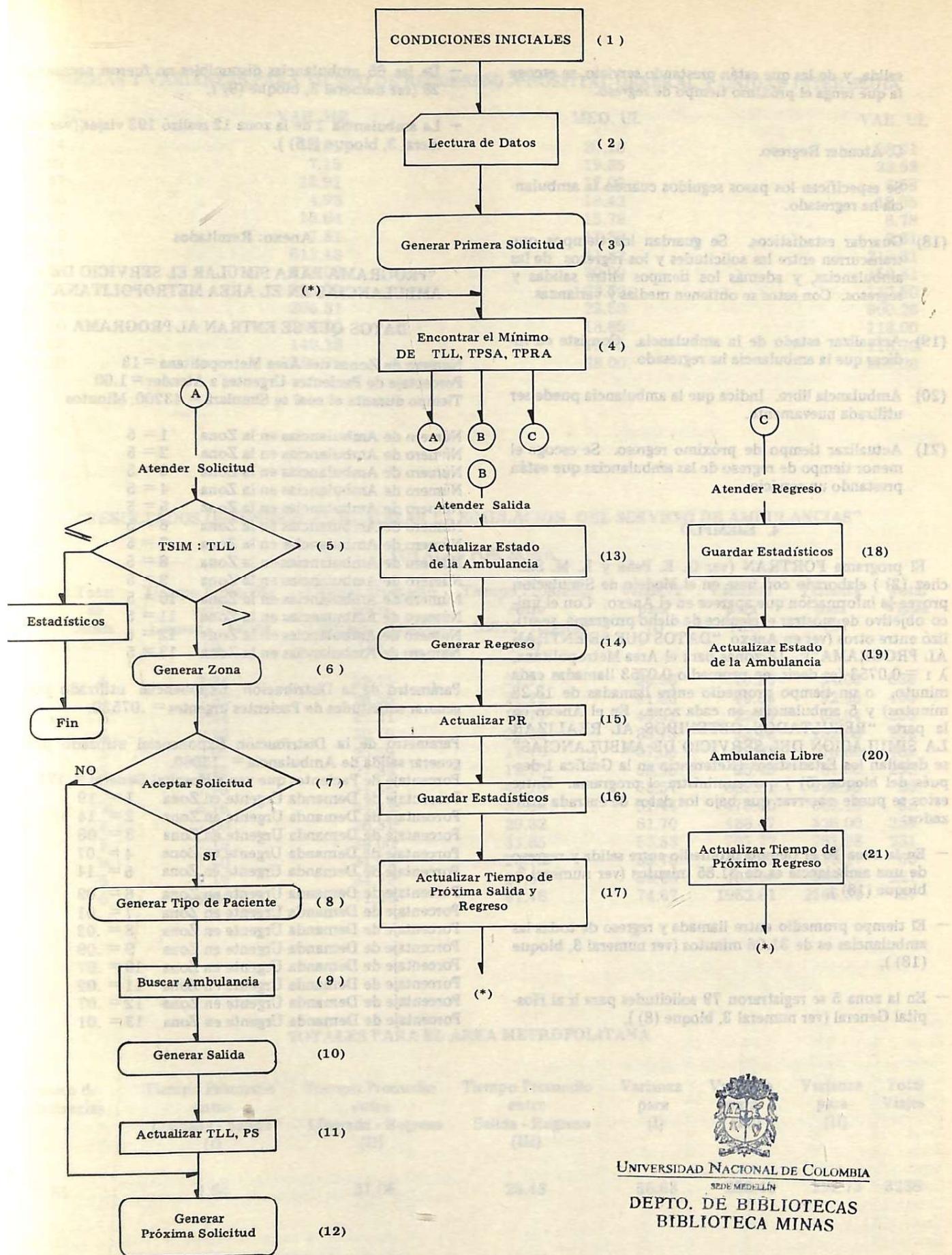
La Gráfica 1 muestra un diagrama de bloques del modelo de simulación. A continuación se dá una breve explicación de este:

- (1) **Condiciones iniciales.** Se asigna valores iniciales a algunas variables.
- (2) **Lectura de datos.** Los datos leídos son
  - Tiempo durante el cual se simulará el sistema
  - Número de zonas.
  - Porcentajes de atención de urgencias.
  - Tiempo promedio entre solicitudes.
  - Tiempo promedio entre la solicitud y la salida de la ambulancia.
  - Porcentaje de pacientes que deben ser atendidos en Hospital General.
  - Demanda de urgencias de cada zona.
  - Tiempo promedio de recorrido para cada zona, tanto para Unidad Intermedia como para Hospital General.
  - Número de ambulancias en cada zona.
- (3) **Generar primera solicitud.** Este es un valor que sigue una distribución exponencial con parámetro  $\lambda_1$ .
- (4) **Encontrar el mínimo entre los siguientes eventos:** TLL (hora de la próxima solicitud), TPSA (hora de la próxima salida) y TPRA (hora del próximo regreso). De acuerdo al próximo evento escogido se dan tres salidas: A, B, C.

#### A. Atender Solicitud.

Se analiza todo el proceso requerido para la aceptación o no de una solicitud.

- (5) **Control del tiempo de la simulación.** El control se hace a través del tiempo acumulado de solicitudes. De acuerdo a este control se obtienen dos posibles salidas: Terminación de la simulación, continuar la simulación.
  - (6) **Generar zona.** Consiste en dar a conocer la zona donde se genera la solicitud.
  - (7) **Aceptar solicitud.** Con base en el porcentaje de solicitudes que se desea atender, se decide si la solicitud es aceptada o rechazada.
  - (8) **Generar tipo de paciente.** Se decide si el paciente debe ser trasladado a Hospital General o a Unidad Intermedia.
  - (9) **Buscar ambulancia.** Se escoge una ambulancia de la zona que no esté ocupada, ni reservada para un uso próximo y se reserva para salir. En caso de no encontrar ambulancia disponible, se rechaza la solicitud.
  - (10) **Generar salida.** Esta se genera mediante la distribución exponencial con parámetro  $\lambda_2$ .
  - (11) **Actualizar TLL (hora de la solicitud) y PS (hora de próxima salida).** Es un control que se le sigue a cada ambulancia sobre la hora en la cual se produjo la solicitud que se está atendiendo y la hora en la cual debe salir a atenderla.
  - (12) **Generar próxima solicitud.** Despues de tener esta próxima solicitud, el proceso se devuelve al bloque (4).
- B. Atender Salida.**
- Se especifican todos los pasos seguidos en el despacho de una ambulancia.
- (13) **Actualizar estado de la ambulancia.** Indica que la ambulancia ya no está reservada, sino ocupada ya que ha salido a prestar el servicio solicitado.
  - (14) **Generar regreso.** Dependiendo de si el paciente debe ser trasladado a Hospital General o a Unidad Intermedia, se genera el tiempo de recorrido de la ambulancia, mediante una distribución Gamma con parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ .
  - (15) **Actualizar PR (tiempo de regreso).** Consiste en sumar el tiempo de recorrido a la hora en que salió la ambulancia.
  - (16) **Guardar estadísticos.** Se guarda el número de viajes de cada ambulancia, además los tiempos entre solicitudes, y entre solicitudes y salidas, con el fin de obtener posteriormente medias y varianzas de estos tiempos.
  - (17) **Actualizar tiempo de próxima salida y próximo regreso.** De las ambulancias que están reservadas para salir, se escoge la que tenga el próximo tiempo de



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
SEDE MEDELLÍN

**DEPTO. DE BIBLIOTECAS  
BIBLIOTECA MINAS**

salida, y de las que están prestando servicio, se escoge la que tenga el próximo tiempo de regreso.

#### C. Atender Regreso.

Se especifican los pasos seguidos cuando la ambulancia ha regresado.

- (18) Guardar estadísticos. Se guardan los tiempos que transcurren entre las solicitudes y los regresos de las ambulancias, y además los tiempos entre salidas y regresos. Con estos se obtienen medias y varianzas.
- (19) Actualizar estado de la ambulancia. Consiste en indicar que la ambulancia ha regresado.
- (20) Ambulancia libre. Indica que la ambulancia puede ser utilizada nuevamente.
- (21) Actualizar tiempo de próximo regreso. Se escoge el menor tiempo de regreso de las ambulancias que están prestando un servicio.

#### 4. EJEMPLO

El programa FORTRAN (ver G. E. Peña y L. M. Sánchez (2) ) elaborado con base en el Modelo de Simulación provee la información que aparece en el Anexo. Con el único objetivo de mostrar el alcance de dicho programa, se utilizó entre otros (ver en Anexo "DATOS QUE SE ENTRAN AL PROGRAMA"): 13 zonas para el Área Metropolitana,  $\lambda_1 = 0,0753$  (es decir, en promedio 0.0753 llamadas cada minuto, o un tiempo promedio entre llamadas de 13.28 minutos) y 5 ambulancias en cada zona. En el Anexo en la parte "RESULTADOS OBTENIDOS AL REALIZAR LA SIMULACION DEL SERVICIO DE AMBULANCIAS" se detallan los Estadísticos (Referencia en la Gráfica 1 después del bloque (5) ) que suministra el programa. Entre estos se puede observar que bajo los datos de entrada utilizados:

- En la zona 10 el tiempo promedio entre salida y regreso de una ambulancia es de 31.85 minutos (ver numeral 3, bloque (18) ),
- El tiempo promedio entre llamada y regreso de todas las ambulancias es de 31.06 minutos (ver numeral 3, bloque (18) ),
- En la zona 5 se registraron 79 solicitudes para ir al Hospital General (ver numeral 3, bloque (8) ),

- De las 65 ambulancias disponibles no fueron necesarias 25 (ver numeral 3, bloque (9) ),
- La ambulancia 1 de la zona 12 realizó 193 viajes (ver numeral 3, bloque (16) ).

#### Anexo: Resultados

#### "PROGRAMA PARA SIMULAR EL SERVICIO DE AMBULANCIAS EN EL AREA METROPOLITANA"

#### DATOS QUE SE ENTRAN AL PROGRAMA

Número de Zonas del Área Metropolitana = 13  
Porcentaje de Pacientes Urgentes a Atender = 1.00  
Tiempo durante el cual se Simulará = 43200. Minutos

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| Número de Ambulancias en la Zona | 1 = 5  |
| Número de Ambulancias en la Zona | 2 = 5  |
| Número de Ambulancias en la Zona | 3 = 5  |
| Número de Ambulancias en la Zona | 4 = 5  |
| Número de Ambulancias en la Zona | 5 = 5  |
| Número de Ambulancias en la Zona | 6 = 5  |
| Número de Ambulancias en la Zona | 7 = 5  |
| Número de Ambulancias en la Zona | 8 = 5  |
| Número de Ambulancias en la Zona | 9 = 5  |
| Número de Ambulancias en la Zona | 10 = 5 |
| Número de Ambulancias en la Zona | 11 = 5 |
| Número de Ambulancias en la Zona | 12 = 5 |
| Número de Ambulancias en la Zona | 13 = 5 |

Parámetro de la Distribución Exponencial utilizado para generar solicitudes de Pacientes urgentes = .07530.

Parámetro de la Distribución Exponencial utilizado para generar salida de Ambulancia = .13060.

|  |        |
|--|--------|
| Porcentaje de Pacientes que van a Hospital General | = .171 |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 1            | = .19  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 2            | = .14  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 3            | = .08  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 4            | = .07  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 5            | = .14  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 6            | = .09  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 7            | = .01  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 8            | = .02  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 9            | = .09  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 10           | = .07  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 11           | = .02  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 12           | = .07  |
| Porcentaje de Demanda Urgente en Zona 13           | = .01  |

MEDIAS Y VARIANZAS PARA TIEMPO DE RECORRIDO A HOSPITAL GENERAL Y UNIDAD INTERMEDIA

| MED. HR. | VAR. HR. | MED. UI. | VAR. UI. |
|----------|----------|----------|----------|
| 27.14    | 73.81    | 20.28    | 28.01    |
| 35.07    | 7.19     | 19.35    | 23.53    |
| 28.47    | 13.91    | 17.03    | 6.58     |
| 40.35    | 4.93     | 18.42    | 18.85    |
| 26.84    | 15.64    | 15.79    | 6.78     |
| 28.10    | 7.81     | 17.89    | 9.31     |
| 114.61   | 611.48   | 41.82    | 219.31   |
| 78.55    | 419.09   | 30.00    | 150.31   |
| 61.67    | 328.79   | 22.50    | 117.50   |
| 56.80    | 206.51   | 23.50    | 600.26   |
| 66.00    | 144.00   | 18.85    | 118.00   |
| 65.22    | 140.18   | 19.05    | 118.70   |
| 144.20   | 1584.75  | 38.00    | 900.00   |

"RESULTADOS OBTENIDOS AL REALIZAR LA SIMULACION DEL SERVICIO DE AMBULANCIAS"

TOTALES POR ZONA

| Zona | Total de Amb. | Tiempo Promedio entre Llamada - Salida (I) | Tiempo Promedio entre Llamada - Regreso (II) | Tiempo Promedio entre Salida - Regreso (III) | Varianza para (I) | Varianza para (III) | Varianza para (II) | Total Viajes |
|------|---------------|--|--|--|-------------------|---------------------|--------------------|--------------|
| 1    | 5             | 7.84                                       | 29.75  | 21.91  | 55.90             | 40.93               | 94.06              | 636          |
| 2    | 5             | 7.32                                       | 28.55  | 21.22  | 41.63             | 49.06               | 92.36              | 430          |
| 3    | 5             | 7.44                                       | 26.21  | 18.77  | 45.31             | 23.60               | 68.54              | 255          |
| 4    | 5             | 8.16                                       | 30.19  | 22.03  | 88.75             | 93.46               | 182.80             | 232          |
| 5    | 5             | 7.95                                       | 25.59  | 17.70  | 57.06             | 22.92               | 78.86              | 482          |
| 6    | 5             | 8.16                                       | 27.86  | 19.70  | 58.95             | 25.45               | 81.66              | 298          |
| 7    | 5             | 7.75                                       | 51.46  | 43.70  | 68.57             | 389.81              | 388.90             | 26           |
| 8    | 5             | 6.76                                       | 44.43  | 37.66  | 51.44             | 470.80              | 602.18             | 68           |
| 9    | 5             | 7.00                                       | 36.31  | 29.32  | 61.70             | 488.47              | 526.00             | 255          |
| 10   | 5             | 7.15                                       | 39.00  | 31.85  | 53.53             | 707.72              | 781.98             | 231          |
| 11   | 5             | 7.40                                       | 31.09  | 23.70  | 55.70             | 446.01              | 473.27             | 65           |
| 12   | 5             | 7.19                                       | 34.79  | 27.60  | 58.06             | 489.96              | 550.74             | 221          |
| 13   | 5             | 9.84                                       | 71.30  | 61.46  | 74.67             | 1962.61             | 2106.33            | 37           |

TOTALES PARA EL AREA METROPOLITANA

| Número de Ambulancias | Tiempo Promedio entre Llamada - Salida (I) | Tiempo Promedio entre Llamada - Regreso (II) | Tiempo Promedio entre Salida - Regreso (III) | Varianza para (I) | Varianza para (III) | Varianza para (II) | Total Viajes |
|-----------------------|--|--|--|-------------------|---------------------|--------------------|--------------|
| 65                    | 7.64                                       | 31.06  | 23.43  | 56.63             | 236.43              | 292.73             | 3236         |

TIEMPO PROMEDIO ENTRE SOLICITUDES = 13.34

| Zona    | Número de Solicitudes para ir a Hospital General | Número de Solicitudes para ir a Unidad Intermedia | Total de Solicitudes por Zona | Servicios no Prestados para Hospital General | Servicios no Prestados para Unidad Intermedia | Total de Solicitudes no servidas |
|---------|--|---|-------------------------------|--|---|----------------------------------|
| 1       | 109  | 527   | 636                           | 0  | 0   | 0                                |
| 2       | 57   | 373   | 430                           | 0  | 0   | 0                                |
| 3       | 40   | 215   | 255                           | 0  | 0   | 0                                |
| 4       | 42   | 190   | 232                           | 0  | 0   | 0                                |
| 5       | 79   | 404   | 483                           | 0  | 1   | 1                                |
| 6       | 52   | 246   | 298                           | 0  | 0   | 0                                |
| 7       | 1  | 25  | 26                            | 0  | 0   | 0                                |
| 8       | 13   | 55  | 68                            | 0  | 0   | 0                                |
| 9       | 51   | 204   | 255                           | 0  | 0   | 0                                |
| 10      | 46   | 185   | 231                           | 0  | 0   | 0                                |
| 11      | 10   | 55  | 65                            | 0  | 0   | 0                                |
| 12      | 46   | 175   | 221                           | 0  | 0   | 0                                |
| 13      | 7  | 31  | 38                            | 0  | 0   | 0                                |
| Totales | 553  | 2685  | 3238                          | 0  | 1   | 1                                |

Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 1 = 1  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 2 = 1  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 3 = 2  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 4 = 2  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 5 = 0  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 6 = 1  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 7 = 3  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 8 = 3  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 9 = 1  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 10 = 2  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 11 = 3  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 12 = 3  
 Cantidad de Ambulancias que no fueron utilizadas durante la Simulación en la Zona 13 = 3

TOTAL DE AMBULANCIAS QUE NO FUERON UTILIZADAS: 25

Servicios rechazados por restricciones del Sistema para Unidad Intermedia: 0

Servicios rechazados por restricciones del Sistema para Hospital General: 0

Total de servicios rechazados por restricciones del Sistema: 0

#### NUMERO DE VIAJES REALIZADOS POR CADA AMBULANCIA DURANTE LA SIMULACION

|      |    |     |     |    |   |   |
|------|----|-----|-----|----|---|---|
| Zona | 1  | 447 | 149 | 35 | 5 | 0 |
| Zona | 2  | 331 | 84  | 13 | 2 | 0 |
| Zona | 3  | 225 | 28  | 2  | 0 | 0 |
| Zona | 4  | 203 | 27  | 2  | 0 | 0 |
| Zona | 5  | 375 | 88  | 14 | 3 | 2 |
| Zona | 6  | 248 | 42  | 6  | 2 | 0 |
| Zona | 7  | 25  | 1   | 0  | 0 | 0 |
| Zona | 8  | 66  | 2   | 0  | 0 | 0 |
| Zona | 9  | 211 | 39  | 4  | 1 | 0 |
| Zona | 10 | 188 | 39  | 4  | 0 | 0 |
| Zona | 11 | 61  | 4   | 0  | 0 | 0 |
| Zona | 12 | 193 | 28  | 0  | 0 | 0 |
| Zona | 13 | 34  | 3   | 0  | 0 | 0 |

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) G. Gibson, Evaluative Criteria for Emergency Ambulance Systems. Social Science & Medicine, 7 No. 6, June 1973, pp. 425 - 454.
- (2) G. E. Peña Z. y L. M. Sánchez D. Estudio de un Sistema de Ambulancias. Trabajo de grado. Biblioteca Facultad de Minas. 1983.
- (3) C. Swoveland, D. Uyeno, I. Vertinsk, R. Vickson. Ambulance Location: A probabilistic enumeration approach. Management Science 20 No. 4, Dec. 1973, pp. 686 - 698.