MODELO DE OPTIMIZACION PARA UN SISTEMA DE AMBULANCIAS

Por: Francisco Henao M.
Isaac Dyner R.
Gloria E. Peña Z.
Luz M. Sánchez D.
Profesores Escuela Nacional de Salud Pública, Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín.
Ingenieras Universidad Nacional, Facultad de Minas, Medellín.

1. INTRODUCCION

En la administración de los escasos recursos en el área de la salud, es conveniente contar con criterios de optimilidad para una buena toma de decisiones. El modelo de optimización que aquí se propone para la configuración de un sistema de ambulancias, se ilustra utilizando los resultados presentados al final del Anexo de la publicación "Simulación de un Sistema de Ambulancias"(1), los cuales se reproducen en la Tabla 1. El sistema tiene las siguientes características básicas:

- El área cubierta por las ambulancias, está dividida en zonas excluyentes.
- En cada una de las zonas existe un centro de urgencias, al cual se le asigna, por lo menos, una ambulancia.
- Existe una central de llamadas que se puede comunicar con cada zona.
- Hay hospitales generales que ofrecen atención a las emergencias críticas.

Por medio del modelo de optimización, que se describe a continuación, se puede determinar el número de ambulancias requerido para lograr un cubrimiento deseado, y su distribución en las distintas zonas.

TABLA 1

NUMERO DE VIAJES REALIZADOS (SOLICITUDES ATENDIDAS) POR LAS AMBULANCIAS DURANTE LA SIMULACION

Ambulancias **Zonas**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Total solicitudes atendidas**
1	447	149	35	5	0	0	636
2	331	84	13	2	0	0	430
3	255	28	2	0	0	0	255
4	203	27	2	0	0	0	232
5	375	88	14	3	2	1	481
6	248	42	6	2	0	0	298
7	25	1	0	0	0	0	26
8	66	2	0	0	0	0	68
9	211	39	4	1	0	0	255
10	188	39	4	0	0	0	231
11	61	4	0	0	0	0	65
12	193	28	0	0	0	0	221
13	34	3	0	0	0	0	37
TOTAL							3.235

Las solicitudes son atendidas por las ambulancias de cada zona dependiendo de su disponibilidad en orden de numeración.

2. PROGRAMACION DINAMICA

Para una formulación matemática del problema propuesto en la introducción, se define a $R(x_1, x_2, ..., x_n)$ como el número total de solicitudes atendidas, al asignar $x_1, x_2, ..., x_n$ ambulancias en las zonas 1,2,..., n, respectivamente.

El problema se reduce a:

Maximizar $R(x_1, x_2, \ldots, x_n)$

Sujeto a: $\sum_{i=1}^{n} x_i = x$

con el mínimo $[\frac{Sx}{S_T}] \geq P$

$x_i \in [1,2,3, \ldots, x, \ldots] \quad i = 1,2, \ldots, n$

Donde:

Sx: número de solicitudes atendidas con x ambulancias cuando la repartición es óptima.

S_T: número total de solicitudes producidas por el modelo de simulación. (Equivalente a 3.235 en la Tabla 1).

P: porcentaje de solicitudes que se desea atender.

Lo anterior se puede reformular como un problema de Programación Dinámica:

$$f_n^* (x) = \underset{1 \leqslant x_i \leqslant x}{\text{máximo}} \quad [R_i(x_i) + f_{n-1}^* (x - x_i)]$$

con mín $[\frac{Sx}{S_T}] \leqslant P$

donde $f_n^*(x)$ es el número óptimo de solicitudes atendidas cuando hay x ambulancias para repartir entre n zonas, y $R_i(x_i)$ es el número de solicitudes atendidas en la zona i.

El algoritmo para encontrar la solución a este problema, es el siguiente:

a. Hacer $x = n$

b. Utilizar la programación dinámica para hacer la repartición óptima de las x ambulancias entre las n zonas.

c. Encontrar $P' = \frac{Sx}{S_T}$

d. Si $P' \geq P$, ir a f.

Si $P' < P$, ir a b.

e. Hacer $x = x + 1$ e ir a b.

f. Fin. Se obtiene la distribución óptima correspondiente al porcentaje P de cubrimiento.

El modelo es tratado como si la ocurrencia de urgencias fuera homogénea para cualquier período de tiempo, pero en la práctica puede observarse que ésta varía a través de las horas del día. Para tener en cuenta estos cambios, se hace referencia al estudio realizado en Wisconsin por C.B. Monroe(2), en el cual se consideran diferentes períodos homogéneos, con su correspondiente tasa de solicitudes, de la siguiente forma:

Período	Tasa de solicitudes (promedio urgencias por hora)
2 AM – 8 AM	0.200
8 AM – 1 PM	0.400
1 PM – 7 PM	0.525
7 PM – 2 AM	0.400

3. EJEMPLO

En el caso específico del Area Metropolitana de Medellín, en donde se desea poner en funcionamiento un modelo como el planteado en la introducción, no se tiene la tasa de solicitudes en diferentes períodos homogéneos durante el día, sino un pronóstico global de 0.0612 solicitudes por minuto para el año 1983. Se toman incrementos del 100o/o y del 250o/o para considerar posibles solicitudes máximas durante períodos del día.

Para un porcentaje P = 98o/o, se requieren 24 ambulancias, cuando la tasa de solicitudes es 0.0612 por minuto y su distribución óptima entre las 13 zonas consideradas para el Area Metropolitana(3), fue:

Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ambulancias	3	3	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1

Si en un período de día, ocurriese un incremento en las solicitudes del 100o/o, es decir, un promedio de 0.1224 solicitudes por minuto (8.16 minutos entre solicitudes), entonces las 24 ambulancias, con la repartición anterior, sólo cubrirían el 32.67o/o de las solicitudes. Ahora, si en un período del día se presentara un promedio de 0.2142 solicitudes por minuto (4.62 minutos entre solicitudes), entonces las 24 ambulancias apenas cubrirían el 22.84o/o de las solicitudes.

4. REGRESION

Para el problema del requerimiento de ambulancias, conocida la tasa de solicitudes, puede ser de utilidad encontrar la relación existente entre las solicitudes de urgencia y el número de ambulancias necesario, para satisfacerlas en un porcentaje dado. Con este fin, se ejecutó el programa de simulación y dio los resultados que a continuación aparecen:

Solicitudes por minuto	o/o de incremento sobre 0.0612	Número de ambulancias necesario para un cubrimiento del 100o/o de las solicitudes
0.0612	0	40
0.07344	20	39
0.0918	50	42
0.1224	100	46
0.2142	250	55
0.3060	400	60
0.3672	500	71
0.4284	600	73
0.4896	700	77
0.5508	800	78
0.6120	900	80
0.6732	1000	90

Estos datos pueden observarse en la Figura 1.

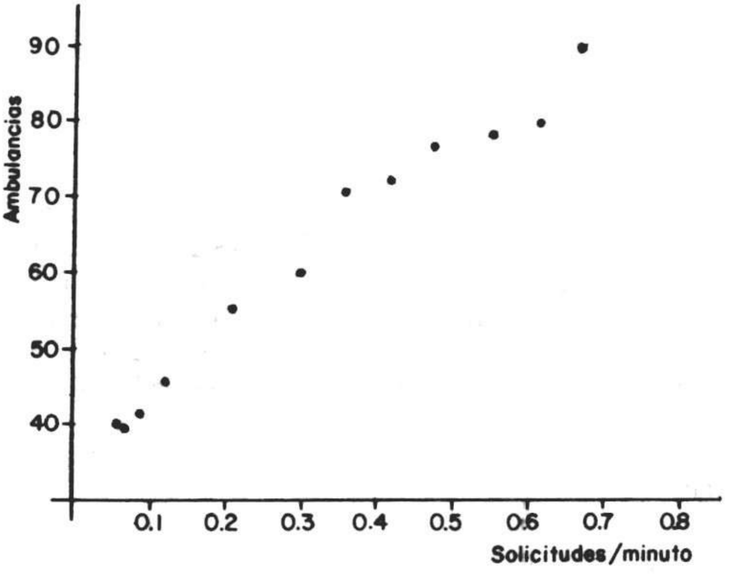

FIGURA 1. Diagrama de dispersión.

A pesar de tener tan pocos puntos, éstos muestran buen ajuste lineal y de potencia en el intervalo (0.0612, 0.8), como se aprecia a continuación:

	FUNCIONES	
	$Y = A + Bx$	$Y = A\, X^B$
Suma de errores al cuadrado	85.9295	76.3521
Coeficiente de correlación	0.98768	0.99039
Valor del parámetro A	35.9714	96.7567
Valor del parámetro B	80.0312	0.3427
Variable independiente	X	X
Valor T	19.9587	22.6430
Valor F	398.3480	512.7062

5. OBSERVACIONES

El modelo de optimización planteado en este artículo, puede ser de mucha utilidad cuando se usa teniendo en cuenta la homogeneidad en las solicitudes de urgencia, tal como fue señalado al final de la Sección 2.

BIBLIOGRAFIA

1. Dyner, I., Peña, G.E. y Sánchez, L.M. Simulación de un Sistema de Ambulancias. DYNA, 1983.

2. Monroe, C.B. A Simulation model for plannig emergency response systems. Soc. Scr. Med. Vol. 14D, pp. 71-77, 1980.

3. Peña, G.E. y Sánchez, L.M. Estudio de un Sistema de Ambulancias. Tesis Universidad Nacional, Facultad de Minas, 1983.