Enfermería Investiga
Investigación, Vinculación, Docencia y Gestión
enfermeriainvestiga.uta.edu.ec

Artículo de revisión

Aplicación de modelos de teorías de colas a la gestión asistencial en los centros de salud.

Application of queue theories models to assistance management in health centers.

PhD. Borja Velázquez Martí, Lic. Mg. Viviana Vanessa Vinueza Villares.

Resumen

La aplicación de modelos de teoría de colas es una de las herramientas estadísticas para la optimización de los servicios hospitalarios. En este artículo se muestran los procedimientos de cálculo y las variables que deben registrarse. El análisis del sistema ha comenzado por la determinación de la distribución de los tiempos de llegadas de los pacientes, junto a la duración y los tiempos de la atención. Para el análisis se propuso realizar una segmentación del día que permitió considerar la hipótesis de que las distribuciones de los tiempos de llegada y tiempos de atención eran uniformes en cada segmento horario. El modelo propuesto ha pretendido analizar cada segmento para reducir tiempos de espera en centros de emergencia hospitalaria, mediante la abertura de servicios de emergencia, en centros de salud de atención primaria, orientados a enfermedades de menor gravedad que no precisan hospitalización. De esta manera los servicios de emergencia hospitalarios estarán menos saturados. El modelo ha permitido calcular el número óptimo de servicios de emergencias en centros de salud primaria para que no exista riesgo alguno de desestabilización del sistema de emergencia hospitalario.

Palabras Claves: Gestión hospitalaria, teoría de colas, emergencias.

Abstract

The application of models based on queuing theory is one of the statistical tools for the optimization of hospital services. This article shows calculation procedures and variables that need to be recorded. The analysis of the system began by determining the distribution of the arrival times of the patients, and the times of care. For the analysis it was proposed to perform a segmentation of the day that allows considering the hypothesis that the distributions of arrival times and attention times are uniform in each hour segment. The proposed model aimed to analyze each segment to reduce waiting times in hospital emergency centers, through the opening of emergency services, in primary health care centers, aimed at less serious pathologies that do not require hospitalization. In this way hospital emergency services will be less saturated. The model allowed to calculate the optimal number of emergency services in primary health centers so that there is no risk of destabilization of the hospital emergency system.

Keywords: Hospital management, queuing theory, emergencies.

Introducción

Los servicios de salud en el Ecuador se estructuran en centros de atención primaria (CAP) y servicios hospitalarios. Los centros de atención primaria tienen un horario de asistencia limitado de 7:00h hasta las 15:30h de lunes a viernes. Esto provoca que cuando no existe posibilidad de asistencia primaria, los pacientes acuden directamente a los servicios de emergencias hospitalarios (SEH). Por tanto, existe un conjunto de atenciones en el servicio de emergencias, que en principio podrían ser atendidos en los CAP, por no ser enfermedades extremadamente graves. Esta derivación de los CAP hacia los SEH, satura estos servicios aumentando los tiempos de espera, disminuyen los tiempos de atención disponibles y en consecuencia la calidad asistencial[1,2]. Por otra parte provoca un gasto hospitalario[3,4]. También, esta derivación de pacientes al SEH se produce cuando la cola existente en los CAP puede ser considerada excesiva.

Diversas investigaciones se han centrado en modelizar distintos aspectos de la gestión en salud. Destacados son los trabajos de Juusola y Brandeau[5], que establecen un sencillo modelo para optimizar la inversión hospitalaria y programa de prevención del VIH. También los publicados por Yilmaz, et al.[6] que trabajan en los flujos de pacientes que requieren telerradiología. (de Castro et al.)[8] aplicaron teoría de colas en la accesibilidad a los servicios especializados de salud oral en Brasil.

La teoría de colas es una de las herramientas estadísticas aplicadas para la optimización de los servicios hospitalarios[8,9]. El objetivo de este artículo ha sido desarrollar los procedimientos de cálculo y las variables que deben registrarse. El análisis del sistema comienza por la determinación de la distribución de los tiempos de llegadas de los pacientes, junto la duración de la atención.

Desarrollo

De forma general los sistemas de colas hospitalarias quedan determinados cuando son conocidos los siguientes parámetros[10,12]:

- Distribución de la *Tasa de llegada de pacientes* (media, desviación típica etc.), definido como el número de pacientes que llegan por unidad de tiempo, λ
- Distribución de la *Tasa de atención*: definida como el número de pacientes atendidos por unidad de tiempo, µ
- Número de puestos de atención óptimo de acuerdo a los objetivos perseguidos S
- Distribución del tiempo de espera en la cola (Te)
- Distribución del tiempo total en el sistema (Ts)
- Número de pacientes en la cola (Nc)
- Número de elementos del sistema (Ns)

Se parte de la hipótesis de que los pacientes atendidos por un servicio de emergencias no llegan de forma uniforme sino la frecuencia de llegada sigue una distribución predeterminada. Una cuestión importante en un servicio de emergencias en un CAP sería determinar cuál es el número de pacientes que desisten de la atención primaria y prefieren ser atendidos en centros hospitalarios por existir cola excesiva o estar estos fuera del horario de servicio, así como determinar el número óptimo de puestos de atención para reducir al mínimo las desviaciones del CAP al SEH.

Otras cuestiones interesantes serían delimitar el espacio necesario para alojar una cola de pacientes adecuada a los objetivos[13].

De carácter general, determinadas *tasas de llegada de pacientes* λ y la Tasa de servicio µ, el tamaño de la cola crece indefinidamente si ocurre que $\lambda > \mu \cdot S$. Es decir, si el número de pacientes que llegan por unidad de tiempo es mayor que la tasa de atención, la cola crece indefinidamente; de otro modo, cuando $\lambda < \mu \cdot S$ la cola decrecerá[14,15].

Considerando cada segmento horario como una distribución uniforme, se cumple que el tiempo en el sistema es la suma del tiempo de espera de cada paciente más el tiempo del atención a ese paciente (1/µ) (Ec.1).

$$T_s = T_e + \frac{1}{\mu} \qquad (1)$$

Si la tasa de llegadas de pacientes es inferior a los tiempos de servicio ($\lambda < \mu \cdot S$), los tiempos de espera de los puestos de servicio serán constante, de acuerdo con la ecuación (2). Dado que λ es el número de pacientes que llegan por unidad de tiempo, λ/S es el conjunto de pacientes que llega a cada puesto de atención por unidad de tiempo. La inversa S/λ representa el tiempo que existe entre la llegada de dos pacientes consecutivos. Por tanto la diferencia de la ecuación (2) representa el tiempo de llegada entre dos pacientes consecutivos y el tiempo de atención a cada paciente. Es decir, T_{es} es el tiempo que se espera en el puesto de atención cuando la tasa de llegadas es demasiado pequeño.

$$T_{es} = \frac{S}{\lambda} - \frac{1}{\mu} \qquad (2)$$

Si $\lambda > \mu \cdot S$, los pacientes sufrirán un tiempo de espera creciente, tal que si existe un solo puesto de atención (S=1) el tiempo de espera del paciente se calcula por la ecuación (3), donde *n* es el número de pacientes.

$$T_e = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\lambda} \right) \qquad (3)$$

Si existen un número de puestos de atención igual a S = *a ≠ 1*, el tiempo de espera de un cliente que llega en la n posición se calcula con la ecuación (4).

$$T_e = (k-1) \cdot \left(\frac{1}{\mu} - \frac{S}{\lambda} \right) \qquad (4)$$

k es igual a 1 cuando n está entre 1 y *a; k* es igual a 2 cuando n está entre *a y 2a*; *k* es igual a 3 cuando *n* está entre *2a y 3a*; y así sucesivamente; *k* es igual a *i* cuando *n* está entre (i-1*) a y ia*.

Por otra parte, si la longitud de la cola no está limitada, ésta viene dada por:

$$N_c(t) = (\lambda - \mu \cdot S) \cdot t$$

El número de elementos en el sistema en cualquier instante es la longitud de la cola más los elementos que hay en una estación de servicio.

$$N_S(t) = N_C(t) + S$$

Si la cola está limitada a *Q* elementos, o si los pacientes no pueden ser atendidos en Centros de Atención Primaria ¿Cuantos pacientes se derivan a los servicios de emergencia hospitalarios? La respuesta se puede definir a partir de la ecuación (5)

$$N_c < Q \;\rightarrow\; N_c(t) = \lambda \cdot t - \mu \cdot S \cdot t < Q \qquad (5)$$

Si la tasas λ y μ son constantes y $\lambda \cdot > \mu \cdot S$, después del tiempo $t < \dfrac{Q}{\lambda - S \cdot \mu}$ los clientes se pierden puesto que la cola crece uniformemente.

Si se define $t_a = \dfrac{Q}{\lambda - S \cdot \mu}$, el número de pacientes que no se pueden atender por los centros de atención primaria viene dado por la limitación de la cola en un tiempo t viene dado por:

$$Pérdida = \lambda \cdot (t - t_a) - \mu \cdot S \cdot (t - t_a)$$

Ejemplo de aplicación

Un ejemplo de una distribución tipo es la que se muestra en la figura 1, donde quedan representadas las atenciones en un servicio de emergencias hospitalarias que podrían ser atendidas en un Centro de Atención Primaria. Se puede observar que los pacientes atendidos posteriormente a las 17:00h aumentan considerablemente. Esta hora coincide con el cierre de los centros de atención primaria, y con la finalización de la jornada laboral.

En la tabla 1 se pueden observar que el número mínimo de puntos de atención de emergencias que en CAP que deberían instalarse en el área de influencia del hospital en cada segmento horario.

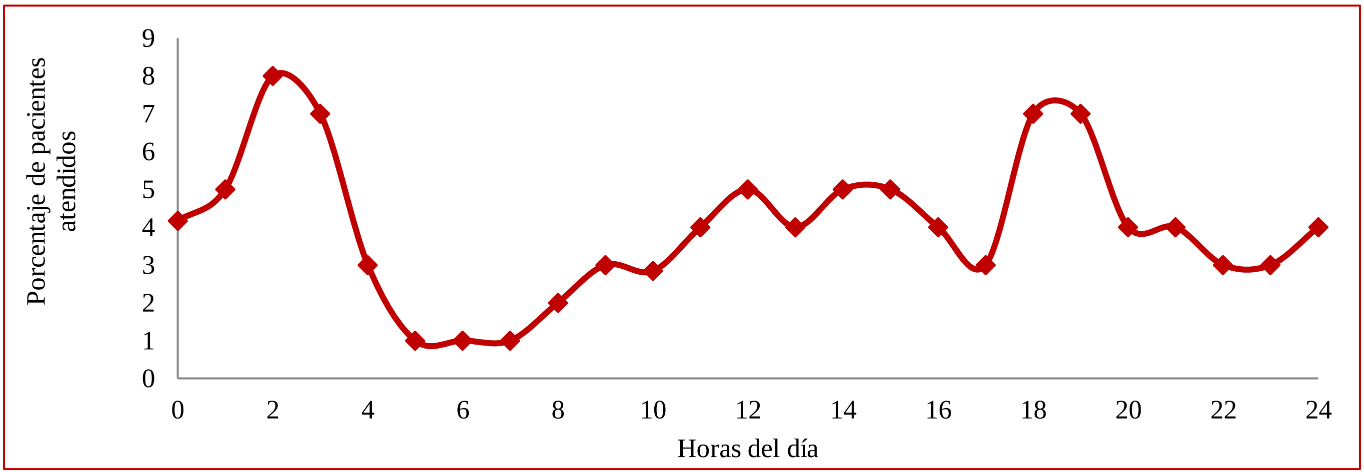
Si se analiza el segmento de 0:00-4:00h, hay dos posibilidades, ofrecer un solo puesto de atención u ofrecer dos puestos de atención. Si se pone un solo puesto de atención, los pacientes esperarán de acuerdo a su orden de llegada por la ecuación (3); si se ponen dos puesto de atención en un centro de atención primaria, dado que , los centros de atención tendrían tiempos de espera a pacientes constantes según:

$$T_{es} = \frac{S}{\lambda} - \frac{1}{\mu} = \frac{2}{12{,}36} - \frac{1}{9{,}78} = 0{,}0592 \text{ h} = 3{,}55 \text{ min}$$

Esto se puede comprobar en la tabla 2. Cada paciente llega cada $1/\lambda$ = 0,081 h = 4,85 min, y el tiempo de atención medio es de $1/\mu$ = 0,102 h = 6,14 min.

Para tratar estadísticamente la tasa de llegadas se propone en el presente estudio una segmentación de los tiempos, tal como se muestra en la tabla 1. En cada segmento debe registrarse la tasa media y desviación típica de las llegadas de pacientes y de las tasas de atención.

Figura 1. Distribución de atenciones tipo en un servicio de emergencias hospitalario que podrían ser atendidos en un Centro de Atención Primaria.



Fuente: Propia.

Tabla 1. Segmentación de las horas del día de acuerdo a la uniformidad de las llegadas a los centros de emergencia hospitalarios.

Segmento (horas)	λ (pacientes llegan/h) (media±desviación típica)	μ (pacientes atendidos/h) (media±desviación típica)	S óptimo teórico
0:00 – 4:00	12,36±0,69	9,78±0,58	1,26
4:00 – 8:00	15,85±1,25	6,54±0,36	2,42
8:00 - 11:00	17,25±1,23	6,76±0,89	2,55
11:00 -17:00	16,80±1,36	6,85±1,21	2,45
17:00 – 20:00	18,23±2,25	4,25±2,25	4,29
20:00 – 24:00	17,56±1.58	6,65±1,53	2,64

Fuente: Propia.

Tabla 2. Tiempos de espera en puestos de atención de pacientes tal que S = 2, pacientes llegan/h y pacientes atendidos/h.

Tiempo (min)	Orden de llegada pacientes	Puesto de atención 1	Puesto de atención 2	Tiempo de espera en los tiempos de atención (min)
0	1	empieza 1		
4,85	2		empieza 2	
6,15		termina 1		
9,70	3	empieza 3		3,55
11,00			termina 2	
14,55	4		empieza 4	3,55
15,85		termina 3		
19,4	5	empieza 5		3,55
20,7			termina 4	

Fuente: Propia.

En la tabla 2 se muestran los tiempos de espera de los puestos de atención de los 5 primero pacientes. Se puede comprobar que son tiempos de espera constantes.

El caso de que se coloque un solo puesto de atención los tiempos de espera de los 5 primero pacientes se calcularía como sigue:

Paciente n=1 $\longrightarrow$ $T_{e1} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{\mu}-\frac{1}{\lambda}\right) \longrightarrow T_{e1} = 0$,

Paciente n=2 $\longrightarrow$ $T_{e2} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{\mu}-\frac{1}{\lambda}\right) = \frac{1}{9{,}78}-\frac{1}{12{,}36} =$ 0,0216h = 1,30 min

Paciente n=3 $\longrightarrow$,

$T_{e3} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{\mu}-\frac{1}{\lambda}\right) = 2\cdot\left(\frac{1}{9{,}78}-\frac{1}{12{,}36}\right) =$ 2,60 min

Paciente n=4 $\longrightarrow$

$T_{e4} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{\mu}-\frac{1}{\lambda}\right) = 3\cdot\left(\frac{1}{9{,}78}-\frac{1}{12{,}36}\right) =$ 3,90 min

Paciente n=5 $\rightarrow$

$T_{e5} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{\mu}-\frac{1}{\lambda}\right) = 4\cdot\left(\frac{1}{9{,}78}-\frac{1}{12{,}36}\right) = 5{,}20\,\text{min}$

Los valores obtenidos se demuestran en la tabla 3.

Considérese ahora el segmento horario de 4:00 a 8:00h. En este segmento cada paciente llega cada 1/ ʎ = 0,063 h = 3,79 min, y el tiempo de atención medio es de 1/ μ = 0,153 h = 9,17 min. El número óptimo de puestos de atención primeria serían 2,45. Por tanto existen dos posibilidades, establecer tres puestos de atención o poner 2. Si se ofrecen 2, los tiempos de espera de los pacientes es creciente de acuerdo a la ecuación (4).

S=2 Paciente 1: $n = 1 \leq 2 \rightarrow k = 1$

$T_{e1} = (k-1)\cdot\left(\frac{1}{\mu}-\frac{S}{\lambda}\right) = (1-1)\cdot\left(\frac{1}{6{,}54}-\frac{2}{15{,}85}\right) = 0$

Paciente 2: $n = 2 \leq 2 \rightarrow k = 1$ $T_{e2} = (k-1)\cdot\left(\frac{1}{\mu}-\frac{S}{\lambda}\right) =$

$(1-1)\cdot\left(\frac{1}{6{,}54}-\frac{2}{15{,}85}\right) = 0$

Paciente 3: $n = 3 \leq 2+2 \rightarrow k = 2$

$T_{e3} = (k-1)\cdot\left(\frac{1}{\mu}-\frac{S}{\lambda}\right) = (2-1)\cdot\left(\frac{1}{6{,}54}-\frac{2}{15{,}85}\right)$

=0,09 h = 5,39 min

Paciente 4: $n = 4 \leq 2+2 \rightarrow k = 2$

$T_{e4} = (k-1)\cdot\left(\frac{1}{\mu}-\frac{S}{\lambda}\right) = (2-1)\cdot\left(\frac{1}{6{,}54}-\frac{2}{15{,}85}\right)$

=0,09 h = 5,39 min

Paciente 5: $n = 5 \leq 2+2+2 \rightarrow k = 3$

$T_{e5} = (k-1)\cdot\left(\frac{1}{\mu}-\frac{S}{\lambda}\right) = (3-1)\cdot\left(\frac{1}{6{,}54}-\frac{2}{15{,}85}\right) =$

0,18 h =10,78 min

Los valores obtenidos se demuestran en la tabla 4.

En la mayoría de los sistemas de colas las tasa de llegada y la tasa de atención sufren variaciones con el tiempo, lo que les convierte en variables aleatorias. Por tanto los sistemas logísticos para ser optimizados deben adaptarse a estas variaciones. No obstante, pueden aproximarse a una distribución uniforme calculando la media y desviación típica.

Considérese una tasa de llegadas y de servicio variables, realizándose el experimento de la tabla 5, donde se han registrado los tiempos entre llegadas, los tiempos de atención y el tiempo en la cola de 10 pacientes consecutivos en una franja horaria considerada uniforme. Determínense los parámetros característicos del sistema de cola.

Tabla 3. Tiempos de espera en puestos de atención de pacientes tal que S = 1, pacientes llegan/h y pacientes atendidos/h.

Tiempo (min)	Orden de llegada pacientes	Puesto de atención 1	Tiempo de espera en los tiempos de atención (min)
0,00	1	empieza 1	
4,85	2		
6,15		termina 1- empieza 2	1,30 (espera 2)
9,70	3		
12,30		termina 2-empieza 3	2,60 (espera 3)
14,55	4		
18,45		termina 3-empieza 4	3,90 (espera 4)
19,40	5		
24,60		termina 4- empieza 5	5,20 (espera 5)
24,25	6		
30,75		termina 5-empieza 6	6,50 (espera 6)

Fuente: Propia.

Tabla 4. Tiempos de espera en puestos de atención de pacientes tal que S = 2, pacientes llegan/h y pacientes atendidos/h.

Tiempo (min)	Orden de llegada pacientes	Puesto de atención 1	Puesto de atención 2	Tiempo de espera en los tiempos de atención (min)
0	1	empieza 1		0 (espera 1)
3,79	2		empieza 2	0 (espera 2)
7,58	3			
9,17		termina 1-empieza 3		1,59 (espera 3)
11,37	4			
12,96			termina 2-empieza 4	1,59 (espera 4)
15,16	5			
18,34		termina 3-empieza 5		3,18 (espera 5)
18,95	6			
22,13			termina 4-empieza 6	3,18 (espera 6)
22,74	7			
27,51		termina 5-empieza 7		8,56 (espera 7)

Fuente: Propia.

Tabla 5. Registro de los tiempos entre llegadas, tiempos de atención y tiempo en la cola de 10 pacientes consecutivos.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo entre llegadas (min)		2	1	3	1	1	4	2	5	1
Tiempo de servicio (min)	1	3	6	2	1	1	4	2	5	1
Tiempo en la cola (min)	0	0	2	5	6	6	3	5	2	6

Fuente: Propia.

Para resolver el problema se tienen que conocer las siguientes relaciones (resultados en la tabla 6):

$$T_{entrada\_sist\,(n)} = T_{entrada(n-1)} + T_{entre\_llegadas(n)}$$

$$T_{salida\_sist\,(n)} = T_{entrada\_sist(n)} + T_{cola(n)} + T_{servicio(n)}$$

$$T_{sist\,(n)} = T_{salida\_sist(n)} - T_{entrada\_sist\,(n)} = T_{cola(n)} + T_{servicio(n)}$$

$$T_{cola(n)} = T_{sist(n)} - T_{servicio(n)} = T_{salida\_sist(n-1)} - T_{entrada(n)}$$

$$< 0 \rightarrow T_{cola} = 0$$
$$> 0 \rightarrow T_{cola}$$

$$T_{entrada\_servicio\,(n)} = T_{salida\_sist(n)} - T_{cola(n)}$$

- Tasa de llegada: Número de elementos que llegan por unidad de tiempo (λ)

$$\lambda = \frac{1}{E(T_{llegadas})} = \frac{1}{2,22} = 0,45$$

- Tasa de servicio: Número de elementos atendidos por unidad de tiempo (μ)

$$\mu = \frac{1}{E(T_{sevicio})} = \frac{1}{2,60} = 0,38$$

Dado que $\lambda > \mu \cdot S$, el número de elementos de la cola y el tiempo que se permanece en ella tiende a crecer indefinidamente, lo mismo que el tiempo en el sistema. Sin embargo, en la tabla parece que el tiempo del sistema sea constante, pero no lo es solo que crece lentamente y no es apreciable en los 10 primeros elementos (λ y μ están muy próximos).

$$E(T_e) = \frac{\sum T_{e(n)}}{n} = \frac{35}{10} = 3,5 \text{ min}$$

$$E(T_s) = \frac{\sum T_{s(n)}}{n} = \frac{61}{10} = 6,10 \text{ min}$$

- Número de elementos de la cola cuando llega el elemento n ($Nc_{(n)}$) se calcula contabilizando el número de elementos anteriores cuyo tiempo de entrada en el servicio sea mayor al tiempo de llegada de *n* al sistema

$$Nc_{(n)} = N(T_{entrada\_servicio(i)} > T_{Llegada\ al\ sistema\ (n-1)} / \ n > i)$$

- Número de elementos del sistema (Ns), se calcula como la suma de los elementos que están en la cola más el número de estaciones donde encada una hay un elemento

$$Ns = Nc + S$$

Tabla 6. Cálculo de los parámetros del sistema.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Tiempo entre llegadas (min)		2	1	3	1	1	4	2	5	1	2,22
Tiempo de servicio (min)	1	3	6	2	1	1	4	2	5	1	2,60
Tiempo en la cola (min)	0	0	2	5	6	6	3	5	2	6	3,50
Tiempo de entrada en el sistema (min)	0	2	3	6	7	8	12	14	19	20	9,10
Tiempo de salida en el sistema (min)	1	5	11	13	14	15	19	21	26	27	15,20
Tiempo en el sistema (min)	1	3	8	7	7	7	7	7	7	7	6,10
Tiempo de entrada en el servicio (min)	0	2	5	11	13	14	15	19	21	26	12,60
Tiempo de salida en el servicio (min)	1	5	11	13	14	15	19	21	26	27	15,20
Número de elementos en cola (min)	0	0	1	1	1	2	2	1	0	1	0,90
Número de elementos en el sistema	1	1	2	2	2	3	3	2	1	2	1,90

Fuente: Propia.

Conclusiones

El modelo descrito permite determinar el número óptimo de puestos de atención para que no existan esperas de pacientes. En el caso de obtener un número decimal, existen dos opciones: redondear hacia el primer número natural superior, o hacia el primer número natural inferior. Por otro lado permite calcular los tiempos de espera de cada uno de los elementos del sistema, lo que permitirá evaluar si estos tiempos pueden considerarse aceptables o no.

En un modelo donde las distribuciones de las tasa de llegada y atención son consideradas uniformes, si la tasa de llegada de pacientes es muy grande respecto a los tiempos de atención, la cola crece indefinidamente, siendo los tiempos de espera de los pacientes también crecientes. Si la tasa de atención es menor a la tasa de llegada de pacientes, los puestos de atención sufrirán tiempos de espera constantes.

Un sistema donde la tasa de llegadas es muy superior a la de atención se considera ineficiente.

Por último, en un sistema de salud donde las emergencias en Centros de Atención Primaria están limitadas por un horario, el modelo permite calcular cuántos pacientes deben ser atendidos en centros hospitalarios, planificando los servicios de atención. Con el sistema de ecuaciones planteado es posible evaluar el coste que supondría abrir puestos de atención a emergencias en Centros de Atención Primaria.

Referencias

1. Ureña V. Claves para garantizar la calidad de la atención urgente. Calidad Asistencial. 1997; 12: 240-58.
2. Azcarate C, Barado J, Mallor F, Azcárate C. Control problems and management policies in health systems: application to intensive care units. Flexible Services and Manufacturing Journal; 2016; 28(Supl): 62-89.
3. Benayas M, Ayerra I, Montoya J, Beranguel A, Cervantes, R, Martínez, JM. Urgencias hospitalarias: las cifras del abuso. Emergencias. 1995; 7: 133-37.
4. Widstrom E, Komu M, Mikkola H, Widström E. Longitudinal register study of attendance frequencies in public and private dental services in Finland. Community dental health. 2013; 30: 143-48.
5. Juusola JL, Brandeau M. HIV Treatment and Prevention: A Simple Model to Determine Optimal Investment. Medical decision making. 2016; 36: 391-409.
6. Yilmaz AO, Baykal N. A novel approach to optimize workflow in grid-based teleradiology applications. Computer methods and programs in biomedicine. 2016; 123: 159-69.
7. de Castro RD, Rangel MD, da Silva MAA, de Lucena B, Cavalcanti AL, Oliveira JD. Accessibility to Specialized Public Oral Health Services from the Perspective of Brazilian Users. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2016; 13: 1026.
8. Calderón R. Mercado sanitario de urgencias: costes económicos y sociales. El caso del hospital Pío del Río Hortega de Valladolid. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Navarra. 1991.
9. Rodríguez GC, Romera García MT, Menéndez Rivera JJ, Losa Campillo J, Mendieta-Lázaro JM, Montabes ME, et al. Estudio de tiempos en el área de urgencia hospitalaria. Gaceta Sanitaria. 1992; 6: 113-16.
10. Cooper RB. Introduction to Queueing Theory2. 2nd ed. New York: McMillan. 1981.
11. Gross D, Harris CM. Fundamentals of queueing theory. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons. 1985.
12. Lüthi J, Haring G. Fuzzy Queueing Network Models of Computing Systems. Proceedings of the 13th United Kingdom Workshop on Performance Engineering of Computer and Telecommunication Systems (July 24, 1997, Ilkley, UK), Edinburgh University Press. 1997.
13. Karsu O, Morton A. Inequity averse optimization in operational research. European journal of operational research. 2015; 245: 343-59.
14. Hillier FS, Lieberman GJ. Introduction to Operations Investigation. México D.F. MacGraw-Hill Interamericana. 1991.
15. Earnshaw SR, Hicks K, Richter A, Honeycutt A. A linear programming model for allocating HIV prevention funds with state agencies: a pilot study. Health Care Management Science. 2007; 10: 239-52.

Los autores

Borja Velázquez Martí, Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Email: borvemar@dmta.upv.es. Universitat Politècnica de Valencia, España.

Viviana Vanessa Vinueza Villares, licenciada en promoción y cuidados de la salud, magister en gerencia de instituciones de salud. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Recibido: Enero 26, 2017

Aprobado para publicación: Febrero 06, 2017