

# Aplicaciones de la simulación en la gestión de un servicio de urgencias hospitalario

S. Llorente Álvarez (\*), F. J. Puente García (\*\*), M. Alonso Fernández (\*\*\*), P. I. Arcos González (\*\*\*\*)

(\*) MÉDICO DE EMERGENCIAS S.A.M.U. 061 ASTURIAS. (\*\*) DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS Y CONTABILIDAD. UNIVERSIDAD DE OVIEDO. ASTURIAS. (\*\*\*) GERENCIA DEL ÁREA SANITARIA VIII DE ASTURIAS. (\*\*\*\*) DEPARTAMENTO DE MEDICINA. UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN EMERGENCIAS Y DESASTRE (UIED). UNIVERSIDAD DE OVIEDO. ASTURIAS.

## RESUMEN

**O** *bjetivos:* En nuestros hospitales nos encontramos con una oferta de instalaciones determinada, que frente a la creciente demanda de prestaciones de salud podría contribuir a perpetuar la saturación de los Servicios de Urgencias Hospitalarios. El objetivo del estudio es determinar si aumentando el número de camas de exploración en el Área de Urgencias Generales (A.U.G.) de nuestro hospital, disminuirían los tiempos de espera.

*Métodos:* Modelizamos el A.U.G. como un sistema de cola única con múltiples servidores en paralelo y población infinita, analizándolo mediante el programa de Simulación WITNESS.

*Resultados:* La Tasa de Llegadas de pacientes al servicio sigue una distribución de Poisson (nivel de confianza del 95%), con una media de 3,11 pacientes/hora. La Tasa de Servicio se ajusta a una distribución Erlang de parámetro de forma 4 ( $p < 0,005$ ), siendo de: 3,01 horas/paciente. Con la dotación actual (11 camas), los parámetros característicos del sistema son: L (nº esperado de pacientes en un instante dado) = 11,10. W (tiempo de espera por paciente) = 3,56 horas. Lq (longitud esperada de la cola) = 1,73 pacientes. Wq (tiempo de espera en la cola por paciente) = 0,56 horas. Ocupación del servicio = 85%. Simulando para un sucesivo y creciente número de camas, con disminuciones en la ocupación del 28% comprobamos que prácticamente desaparecería el tiempo de espera en la cola (0,01 h) y el número de personas en la misma (0,03 personas), pero sin conseguir disminuciones sustanciales en el número de personas en el sistema (9,43) y en el tiempo de espera en el mismo (3,02 h).

*Conclusiones:* El aumento de camas de exploración en nuestro SUH no haría posible una estructura funcional más eficiente.

**Palabras Clave:** Simulación. Gestión sanitaria. Teoría de Colas. Urgencias.

## ABSTRACT

Applications of simulation techniques within a hospital emergency department management

**O** *bjectives:* In our hospitals we can find a fixed facility offering to face the growing demand of health services. This unbalanced situation may contribute to maintain the shortages in the Hospital Emergency Departments. The objective is to determine if a growing number of exploring beds in our General Emergency Area (G.E.A.) will reduce waiting times.

*Methods:* We have modelled G.E.A. as a single queue system with multiple servers in parallel and infinite population. The system has been analysed using the WITNESS simulation program.

*Results:* patient arriving rate at service follow an Poisson distribution (certainty level at 95%) with an average of 3,11 patients / hour. Service ratio has been adjusted to a Erlanger distribution with a shape parameter of 4 ( $p < 0,005$ ), and with a value of 3,04 patients / hour. Current resources (11 beds) implies the following characteristic parameters for the system: L (expected number of patients in a time) = 11,10. W (waiting time by patient) = 3,56 hours. Lq (expected queue length) = 1,73 patients. Wq (waiting time at queue by patient) = 0,56 hours. Service use rate = 85%. A simulation for a growing number of beds, with use reductions of 28 %, implies that waiting time at queue almost fade (0,01 hours), as well as queue length (0,03 people). On the other hand, neither reductions on the number of patients in a time can be obtained (9,43) nor waiting time by patient (3,02 h).

*Conclusions:* A growing number of exploring beds at the Hospital Emergency Department will not be able a more efficient functional structure.

**Key Words:** Simulation. Health management. Queueing theory. Emergency.



## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, asistimos en nuestro país a una progresiva saturación de los servicios de urgencias hospitalarios (SUH) motivada, entre otras causas, por la atracción que ejerce sobre la población la tecnificación del medio hospitalario<sup>1</sup>, el aumento de la frecuentación<sup>2</sup> y el uso inadecuado de los servicios sanitarios<sup>3</sup>.

Esta saturación de los SUH ocasiona unos tiempos de espera inaceptables desde el punto de vista de la calidad del servicio, siendo el retraso en la atención una causa frecuente de quejas y reclamaciones que deteriora la imagen del servicio, de sus profesionales y, en definitiva, del centro hospitalario<sup>4,6</sup>.

La problemática de la congestión de los servicios de urgencias de un hospital constituye un tema de interés tanto para el investigador como para el clínico o el gestor, si bien el modo de abordar estos temas difiere de unos a otros. Así, los clínicos suelen utilizar aproximaciones basadas en tiempos medios de espera, media diaria de pacientes atendidos, etc., lo cual facilita notablemente los cálculos, pero simplifica un fenómeno de naturaleza compleja<sup>1, 7-9</sup>.

De otra parte, la simulación por ordenador permite crear modelos con los diferentes factores que influyen en los requerimientos de camas, siendo una de sus principales ventajas la posibilidad de modificar las condiciones del sistema, planteando diferentes escenarios y observar el comportamiento del sistema en cada caso<sup>10, 11</sup>.

Como método de dificultad de aplicación intermedia entre los otros dos anteriormente descritos está la Teoría de Colas, que se utiliza en el ámbito hospitalario como herramienta para identificar problemas, planificar equipos, y realizar predicciones en cuanto a problemas de congestión hospitalaria en diferentes servicios médicos y quirúrgicos<sup>12-15</sup>. En el campo de la Medicina se utiliza en numerosas áreas de investigación<sup>16-18</sup> así como en la gestión hospitalaria<sup>19</sup>.

No obstante, la aplicación de ambas técnicas no es excluyente; así, puede utilizarse la Teoría de Colas como método de identificación de problemas y la Simulación para validar los resultados<sup>20</sup>. En otras ocasiones el sistema es tan complejo que precisa la Simulación por ordenador para reproducirlo, pues no existe modelo de colas descrito para el mismo.

En nuestro sistema hospitalario nos encontramos con una oferta de instalaciones determinada que no se va adaptando progresivamente –al menos a corto plazo– a la creciente demanda de prestaciones de salud por parte de la población<sup>1</sup>, y que por tanto podría contribuir a perpetuar la saturación que se produce en urgencias, especialmente en las horas punta.

Ante esto, nos planteamos el presente estudio a fin de de-

terminar si aumentando el número de camas disminuiría el tiempo de espera para ser atendidos, y el tiempo total de permanencia en nuestro Servicio de Urgencias, concretamente en el Área de Urgencias Generales (AUG), lugar donde son valorados aquellos pacientes que por su patología o por el estado físico que presentan han de ser explorados y atendidos en una cama (es decir, se excluye del estudio a los pacientes ambulatorios).

## MÉTODOS

Para abordar este tema se ha optado por utilizar dos de las herramientas descritas anteriormente: la Simulación y la Teoría de Colas, hasta ahora poco utilizadas en este tipo de estudios y que describiremos a continuación.

**Teoría de Colas**<sup>21-25</sup>: Una línea de espera (o cola) se formará siempre que exista más de un usuario de un recurso limitado, y se caracteriza básicamente mediante los siguientes elementos:

- Fuente de población (en este caso serían los pacientes susceptibles de utilizar el AUG): la consideraremos infinita pues tiene un gran tamaño en relación con la capacidad del sistema.

- Llegadas al sistema (pacientes/hora): habrá que considerar si éstas se producen de un modo controlable, o incontrolable (como en el caso de los SUH). Para aplicar las fórmulas de Teoría de Colas hemos de definir previamente una Tasa de Llegadas o número de pacientes que acuden por unidad de tiempo y ver si éstas se producen de un modo constante o variable, siguiendo algún patrón de distribución conocida como la Exponencial, de Poisson, de Erlang, etc. En el caso de los servicios hospitalarios, como en la mayoría de los procesos que nos rodean, las distribuciones más habituales son las variables<sup>26</sup>.

- La Tasa de Servicio (pacientes/hora): pacientes a los que se les completa la atención por unidad de tiempo, puede ser constante, o puede ser una variable aleatoria, dependiente o independiente, y cuya distribución de probabilidad puede conocerse o no.

- Servidor o canal que presta el servicio, se define como cada una de las camas de exploración que existen en el Área de Urgencias Generales del SU.

**Simulación**<sup>27-29</sup>: Se puede definir como la técnica que imita el funcionamiento de un sistema del mundo real cuando evoluciona en el tiempo. Consiste en diseñar un modelo matemático de un sistema real y experimentar diversas posibilidades con él para determinar el comportamiento de dicho sistema, así como evaluar estrategias diferentes para optimi-

zar el funcionamiento del mismo. Con la ayuda del ordenador se ejecuta el modelo a través del tiempo, a fin de generar muestras representativas de las mediciones de su funcionamiento.

El presente trabajo fue realizado en el Servicio de Urgencias del Hospital de Cabueñes de Gijón, de referencia del Área Sanitaria V de Asturias y dotado de 494 camas útiles<sup>30</sup>, cubre una población de 289.379 habitantes que es fundamentalmente urbana y muy concentrada en torno al espacio físico de influencia de la ciudad de Gijón<sup>31</sup>.

El proceso de atención del paciente en el Servicio de Urgencias del hospital ha sido modelizado como un sistema de colas, constituido por una cola única y múltiples servidores en paralelo. Como servidor se ha considerado cada una de las camas de exploración de que consta el Área de Urgencias Generales (AUG), y que en el momento actual es de 11. Los recursos humanos (por turno) son: tres médicos adjuntos y un residente de guardia, además de dos enfermeras, dos auxiliares y dos celadores.

Para estudiar los parámetros relativos a un determinado número de servidores es preciso determinar la estructura de la Tasa de Llegadas al sistema,  $\lambda$  (llegadas por unidad de tiempo), así como la Tasa de Servicio  $\mu$  (pacientes a quienes se completa el servicio por unidad de tiempo).

A partir del cálculo de ambas tasas determinaremos los parámetros fundamentales del sistema, esto es, los tiempos medios de espera en la cola, y en el sistema, para cada paciente, así como el tamaño de la cola (es decir, pacientes que estarán esperando para recibir servicio), y el número de pacientes que están en el sistema (tanto en cola como recibiendo atención). La estructura de las tasas de llegada y servicio no afectará al estudio de las colas que se generen para diferente número de servidores considerados, de ahí que una vez determinadas ambas tasas, podremos realizar el estudio de colas para un variable número de servidores hasta que se establezcan los parámetros claves del sistema, esto es, buscaremos los tiempos óptimos de estancia en la cola y en el servicio así como el número óptimo de pacientes en la cola y en el servicio.

Para determinar la Tasa de Llegadas al sistema de colas y la estructura o distribución de la misma, se recogieron datos de llegada de pacientes al sistema a lo largo de todas las horas del día durante siete días de cada mes del año de estudio, comprendido entre el 15 de marzo de 1998 y el 14 de marzo de 1999. La fuente de datos fue el listado diario de pacientes atendidos por horas del Servicio de Admisión, comprobando que dicha tasa sigue una distribución de Poisson ( $p < 0,005$ ). Una vez conseguidas las distribuciones del número de llegadas por hora para los datos de cada mes, se consideraron los

promedios de todos los meses para dicho número de llegadas por hora.

Para determinar la Tasa de Servicio y la estructura o distribución de la misma se recogieron datos de los tiempos de asistencia de 523 pacientes obtenidos mediante muestreo aleatorio sistemático, correspondiendo dicho tiempo a la diferencia entre el instante de ubicación del paciente en su cama exploratoria, y el abandono de la misma tras recibir el alta de urgencias, es decir, el tiempo que estuvo el servidor (cama) ocupado por cada paciente, resultando un buen ajuste para una distribución Erlang de parámetro de forma 4 ( $p < 0,005$ ).

El cálculo del tamaño muestral se realizó sobre un universo de 21.000 pacientes, que fueron los valorados en el AUG durante el año anterior al estudio; se utilizó una proporción característica del 50%, un nivel de confianza del 95%, y un error estándar del 4%.

El horario considerado para la realización de los cálculos fue de 8 a 22 horas, donde la afluencia de pacientes es mayor y que por tanto, nos permite obtener una Tasa de Llegadas más favorable por el lado de la seguridad, ya que el horario de noches nos haría disminuir dicha tasa y no estaríamos dimensionando correctamente el sistema, y también porque se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los tiempos asistenciales de los pacientes según la hora del día, siendo más alto el tiempo en los turnos de mañana y tarde, que en la noche ( $p < 0,001$  con corrección de Bonferroni). Es por tanto el periodo de 8 a 22 horas el que vamos a considerar para dimensionar el servicio.

Una vez modelizada el Área de Urgencias Generales como un sistema de colas, fue analizada mediante técnicas de Simulación, utilizando el programa Witness<sup>32</sup>.

## RESULTADOS

La Tasa de Llegadas sigue una distribución de Poisson (nivel de confianza del 95%), con una media de 3,11 pacientes/hora (tabla 1).

En cuanto a la Tasa de Servicio, ésta se ajusta a una distribución Erlang de parámetro de forma 4 ( $p < 0,005$ ), siendo de 3,01 horas/ paciente, o 0,33 pacientes atendidos por hora (tabla 2).

Tras aplicar el programa de simulación Witness, los resultados obtenidos para diferente número de servidores se muestran en la tabla 3, siendo para la situación actual, es decir, con 11 camas, los siguientes:

L: número esperado de pacientes en el sistema en un instante dado, es decir, esperando y siendo atendidos (10,11 pacientes).

W: tiempo de espera en el sistema para cada paciente (3,56 horas).



TABLA 1. Distribución de frecuencias de llegadas al sistema

Paciente por hora	FO N	Producto	Prob. real	Prob. teórica	FT	Qo
0	7	0	0,07	0,04	4	1,59680937
1	14	14	0,14	0,14	14	0,01344679
2	19	38	0,19	0,22	21	0,2129784
3	19	57	0,19	0,22	22	0,38678197
4	16	64	0,16	0,17	17	0,06445072
5	12	60	0,12	0,11	11	0,18164185
6	6	36	0,06	0,06	6	0,04463336
7	4	28	0,04	0,02	2	0,98517474
8	1	8	0,01	0,01	1	0,00241384
	98	305	1	1	98	3,49

$\lambda$  (Tasa de Llegadas) = 3,1122449. FO: Frecuencias observadas. Producto: Llegadas /hora \*F.O. Probabilidad real: F.O./ $\Sigma$  F.O. Probabilidad teórica: Según ley de probabilidad de Poisson con  $\alpha=0,05$ . F.T. (Frecuencia teórica): N \* Prob. teórica.

$$Q_o = \sum \frac{(F.O.-F.T.)^2}{F.T.}$$

TABLA 2. Distribución de frecuencias de tasa de servicio

Pacientes por hora	FO N	Producto	Prob. real	Prob. teórica	FT	Qo
1	10	5	0,02	0,05	24	8,14
2	132	198	0,25	0,23	120	1,14
3	165	412,5	0,32	0,29	150	1,148
4	100	350	0,19	0,21	111	1,14
5	62	279	0,12	0,12	64	0,04
6	31	170,5	0,06	0,06	31	0,00
7	13	84,5	0,02	0,03	14	0,04
8	8	60	0,00	0,01	6	1,02
9	2	17	1,00	0,00	2	0,01
	523	1576,5	1	1	522	13,01

$\lambda$  (Tasa de servicio) = 0,33174754. FO: Frecuencias observadas. Producto: Llegadas -hora/2 \*F.O. Probabilidad real: F.O./ $\Sigma$  F.O. Probabilidad teórica: Según ley de probabilidad de Erlang con  $\alpha=4$  y  $\beta=0,75358509$ . F.T. (Frecuencia teórica): N \* Prob. teórica.

$$Q_o = \sum \frac{(F.O.-F.T.)^2}{F.T.}$$

TABLA 3. Parámetros del sistema y de la cola en función del número de servidores

nº servidores	9	10	11	12	13	14	15	16
L	∞	16,12	11,10	10,10	9,7	9,54	9,44	9,43
W (h)	∞	5,17	3,56	3,24	3,11	3,06	3,03	3,02
Lq	∞	6,76	1,73	0,72	0,34	0,16	0,07	0,03
Wq (h)	∞	2,17	0,56	0,23	0,11	0,05	0,02	0,01
Max		51	27	20	17	12	10	9
Ocupación	100%	94 %	85 %	78 %	72 %	67 %	63 %	57 %

L: número esperado de pacientes en el sistema en un instante dado (esperando y siendo atendidos).  
 W: tiempo de espera en el sistema para cada paciente.  
 Lq: longitud esperada de la cola, esto es, número de pacientes esperando para ser atendidos.  
 Wq : tiempo de espera en la cola para cada paciente.  
 Max: número máximo de pacientes en el sistema.

Lq: longitud esperada de la cola, esto es, número de pacientes esperando para ser atendidos (1,73 pacientes).

Wq : tiempo de espera en la cola para cada paciente (0,56 horas).

Max: número máximo de pacientes en el sistema (27).

Ocupación del servicio = 85%.

Todos estos tiempos quedan representados en las figuras 1 y 2 para la situación real de 11 servidores, y las hipotéticas de mayor o menor número de ellos.

Simulando para un sucesivo y creciente número de camas, comprobamos que con disminuciones en la ocupación del 28%, es decir, ante la hipotética situación de que el servicio se ampliase hasta 16 camas, no conseguimos disminuciones sustanciales en el número de personas en el sistema (9,43 personas) y en el tiempo de espera en el mismo (3,02 horas), si bien prácticamente desaparecería el tiempo de espera en la cola que pasaría a ser de 0,01 horas, y el número de personas en la cola, que pasaría a ser de 0,03 en el mismo caso.

## DISCUSIÓN

La aportación principal de este trabajo se encuentra en la aplicación de la Teoría de Colas y del uso de la Simulación como herramientas para reproducir el comportamiento del sistema que constituye la atención urgente hospitalaria. La mayoría de los autores consultados, al abordar el estudio de las demoras en los SUH, se limitan a describir los tiempos empleados en cada

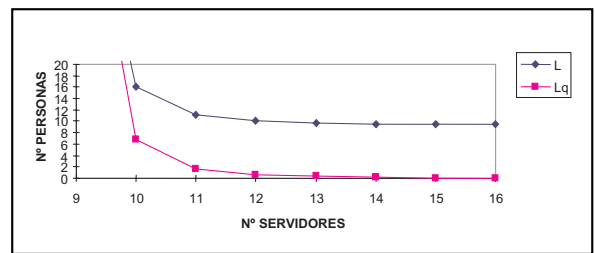


Figura 1. Número de personas en el sistema y en la cola.

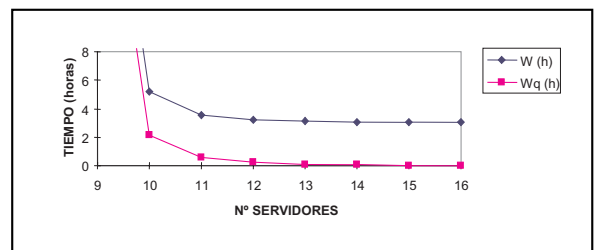


Figura 2. Tiempo medio de espera en el sistema y en la cola.

paso del proceso asistencial y compararlos con estudios previos<sup>1,33-35</sup>. La aplicación de Teoría de Colas y de Simulación, si bien no es nueva en el campo de la gestión de servicios médicos<sup>10,11,19,36,37</sup>, ha sido poco utilizada hasta el momento en trabajos realizados desde el mundo sanitario. Por el contrario, investigadores de otras ciencias como matemáticos y economistas han encontrado en el campo de la gestión de servicios de salud



y en la Medicina en general una fuente inagotable para realizar estudios en los que emplear dichas herramientas<sup>12,14,16,20</sup>.

Por la complejidad que presenta la asistencia urgente hospitalaria se han elegido estas herramientas para su estudio, frente a los métodos tradicionales descriptivos, mucho más simplificados. Si bien la resolución de un sistema de modo analítico nos lleva a soluciones óptimas, en el caso de sistemas complejos (tan habituales en el mundo real) es preferible recurrir a la Simulación, pues para resolverlos aplicando un modelo analítico habría que formular tantas hipótesis, que las soluciones a que se llegaría no serían aceptables o serían poco adecuadas para su realización.

Entre las ventajas con que cuenta la Simulación se encuentra la posibilidad de estudiar el comportamiento del sistema en el caso de que se produjesen cambios internos y/o externos en el mismo. Además, permite conocer las relaciones entre las variables más importantes que interactúan en el sistema, con lo que se podrán encontrar estrategias que mejoren el funcionamiento y eficiencia de éste, sin necesidad de actuar directamente sobre él, esto es, experimentando sobre el modelo sin recurrir a cambios en el sistema real.

También mediante la Simulación podemos introducir nuevos elementos en el sistema, con lo que podemos anticiparnos a los problemas o situaciones nuevas que surgirían en el caso de que esos elementos apareciesen, es decir, predecir el comportamiento del sistema ante cambios alternativos<sup>28,29</sup>.

Puesto que mediante la Simulación podemos conocer qué ocurriría en el sistema ante posibles cambios, en este caso en el número de recursos exploratorios (camas), hemos planteado 8 diferentes situaciones posibles que se darían en caso de dotar al servicio de menor o mayor número de camas de las que actualmente existen. A la vista de los resultados resulta evidente que

cualquier disminución del número de camas acarrearía una saturación continua de la sala de Urgencias Generales, creándose colas teóricamente infinitas en el caso de que descendiese su número por debajo de 10.

Sin embargo, la dotación de nuevas camas no reduciría los parámetros críticos de las colas como queda demostrado mediante los cálculos efectuados para 12 o más servidores. Así, un aumento del número de camas no se traduce en una mayor fluidez en el drenaje de pacientes, puesto que se alcanza una meseta en el número de personas y en el tiempo de espera en el sistema como queda reflejado en las figuras 1 y 2. Los únicos parámetros que se modificarían son: el tiempo de espera en la cola y el número de personas en la misma, que prácticamente desaparecería; es decir, aumentando el número de camas, ubicaríamos a todos los enfermos a su llegada al servicio en una cama, pero el tiempo total de permanencia en el servicio no sufriría modificaciones sustanciales.

Por tanto, y dado que la Tasa de Llegadas al Servicio de Urgencias es incontrolable, y el aumento del número de servidores no modifica de un modo importante el valor de los parámetros clave del sistema, creemos que en tanto no disminuya la Tasa de Servicio, no podremos solventar la saturación que se produce en urgencias en las horas punta.

Así, el Área de Urgencias Generales de nuestro hospital está dotada de las suficientes camas de exploración como para hacer viable la asistencia y no padecer una saturación continua del servicio, no obstante, la ampliación de la misma por sí sola no mejorará la asistencia en las horas punta, en tanto no vaya acompañada de una disminución de los tiempos de atención.

En resumen, podemos afirmar que, bajo las condiciones actuales, el aumento de camas en nuestro servicio de urgencias no haría posible una estructura funcional más eficiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1- Rodríguez Gutiérrez C, Romera García MT, Menéndez Rivera JJ, Losa Campillo J, Mendieta Lázaro JM, Motábes Montábes E, et al. Estudio de tiempos en el área de urgencia hospitalaria. *Gaceta Sanitaria* 1992;6:113-6.
- 2- Benayas Pagán M, Ayerra Poyal I, Montoya Vergel J, Beranguel Álvarez A, Cervantes Zamora R, Martínez Martínez JM. Urgencias hospitalarias: las cifras del abuso. *Emergencias* 1995;7:133-7.
- 3- Ureña V. Claves para garantizar la calidad de la atención urgente. *Rev Calidad Asistencial* 1997; 12:240-58. Ponencia del XV Congreso de la Sociedad Española de Calidad Asistencial.
- 4- Fernández de Simón Almela A, Montilla Sanz MA, Garrido Cruz I, Montero Romero E, Navarro Rodríguez A, Caballero Oliver A. Control de calidad en un servicio de urgencias: aproximación mediante el análisis de las reclamaciones presentadas. *Emergencias* 1997;9:244-5.
- 5- Serrano Martínez JA, Tornero Ramos C, Legaz Hernández MA, Blanco Linares ML, Martínez Espín C, Mayoral Sánchez MT. Análisis de las reclamaciones de los usuarios del servicio de urgencias del Hospital Universitario J. M. Morales Meseguer. *Emergencias* 1997;9:92.
- 6- La desesperante espera en urgencias de los hospitales públicos [editorial]. *Todo Hospital* 1994;106:1-2.
- 7- Lloret J, Colominas i Grau M, Puig i Pujol X, Pujol i Casadevall J. Temps D'estada dels malats mèdics al servei d'urgències d'un hospital general: evolució durant els darrers dos anys. *Gaceta Sanitaria* 1984;16:155-9.
- 8- Graff LG, Wolf S., Dinwoodie R, Buono D, Mucci D. Emergency physician workload: a time study. *Ann Emerg Med* 1993;22:1156-63.
- 9- Etxebarria MJ, Silvestre C, Moros MA, Aréjola JM, Agorreta J, Oliván A. Estudio de los tiempos de permanencia en urgen-

- cias de los pacientes de medicina interna como instrumento de mejora de calidad. *Rev Calidad Asistencial* 1997;12:372.
- 10-** Mc Guire F. Using simulation to reduce length of stay in emergency departments. *J Soc Health Syst* 1997;5:81-90.
- 11-** Saunders ChE, Makens PK, Leblank LJ. Modeling emergency department operations using advanced computer simulation systems. *Ann Emerg Med* 1989;18:134-40.
- 12-** Calderón Cuadrado 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.
- 13-** Tejero Matía S. Políticas de asignación óptima en sistemas de colas. Su aplicación al departamento de radiodiagnóstico de un centro hospitalario. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Navarra. 1990.
- 14-** López de Vicuña Arcauz F. El enfoque analítico de las listas de espera hospitalarias. El caso del Hospital Aránzazu de San Sebastián. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Deusto. 1995.
- 15-** Huang X M. A planning model for requirement of emergency beds. *IMA J Math Appl Med Biol* 1995;12:345-53.
- 16-** Myasnikova EM, Rachev ST, Yakovlev AY. Queueing Models of potentially lethal damage repair irradiated cells. *Math Biosci* 1996;135:85-109.
- 17-** Wu G. Application of the queueing theory with Monte Carlo simulation to inhalation toxicology. *Arch Toxicol* 1998;72:330-5.
- 18-** Cormack DV, Fisher PM, Till JE. A study of waiting times and waiting lists for radiation therapy patients. *Can J Oncol* 1996;6:427-34.
- 19-** Barber Pérez P, González López-Varcárcel B. Simulación de una unidad de hospitalaria de Urgencias y su uso potencial para la gestión. *Gaceta Sanitaria* 1994;8:239-47.
- 20-** Llano Monelos PE. Aplicabilidad de la Teoría de Colas al fenómeno hospitalario. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de La Coruña. 1998.
- 21-** Cooper RB. Introduction to Queueing Theory. 2nd ed. New York: McMillan; 1981.
- 22-** Gross D, Harris CM. Fundamentals of queueing theory. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 1985.
- 23-** Hillier FS., Lieberman GJ. Introduction to Operations Investigation. México D.F.: MacGraw-Hill Interamericana; 1991.
- 24-** Kalashnikov VV. Mathematical Methods in Queueing Theory. Kluwer (The Netherlands): Dordrecht; 1994.
- 25-** Saaty T. Elements of Queueing Theory with Applications. Dover, New York: McGraw Hill; 1961.
- 26-** Massey W, Whitt W. Peak congestion in multi-server service systems with slowly varying arrival rates. *Queueing Systems* 1997;25:157-72.
- 27-** Prawda, J. Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones. México D.F.: Limusa; 1981.
- 28-** Naylor TH, Balintfy JL, Burdyck DS, Chu K. Técnicas de Simulación en computadoras. México D.F.: Limusa; 1980.
- 29-** Coss, R. Simulación. Un enfoque práctico. México D.F.: Limusa; 1982.
- 30-** Instituto Nacional de la Salud. Memoria del Área V del Principado de Asturias 1997.
- 31-** Servicio de Salud del Principado de Asturias (S.E.S.P.A), Memoria 1998.
- 32-** Witness. User Manual. Release 6.0. Redditch (U.K.) AT&T ISTEEL Limited; 1994.
- 33-** Jarrod i Pàmias M, Ruiz Gamietea M<sup>a</sup> A. Número total de urgencias: ¿Es un indicador suficiente para evaluar la actividad de un servicio de urgencias? *Emergencias* 1997;9:169-72.
- 34-** Álvarez Álvarez B, Gorostidi Pérez J, Rodríguez Maroto O, Antuña Egocheaga A, Alonso Alonso P. Estudio del Triage y tiempos de espera en un servicio de urgencias hospitalario. *Emergencias* 1998; 10:100-4.
- 35-** Sauras Herranz MA, Ruiz Laiglesia F, Fanlo Meroño C, Torrubia Pérez C, Casañal Quintana G, Broto Civera M, et al. Tiempo de estancia asistencial en la atención médica urgente hospitalaria. *An Med Intern* 1994;2:431-4.
- 36-** Sheng Chuan Hu. Computerized monitoring of emergency department patient flow. *Am J Emerg Med* 1993;11:8-11.
- 37-** Anderson JG. Simulation in Health Care. San Diego: The Society for Computer Simulation; 1991.