Análisis markoviano de un proceso de estancia hospitalaria en un hospital de tercer nivel de complejidad

Doracelly Hincapié P.[1]
Juan F. Ospina G.[2]
Hugo Grisales R.[3]
Martha Lucía Arroyave[4]
Martha L.Valencia[3]
Germán González E.[3]

Resumen

Objetivo: estimar el número esperado de pacientes con trauma en los servicios de hospitalización, cirugía y unidad de cuidados intensivos y en la condición de egreso vivo y muerto, luego de ingresar por urgencias a un hospital de tercer nivel de complejidad. Materiales y métodos: con base en la información derivada de un estudio de seguimiento con 2.084 registros correspondientes a ingresos a urgencias por trauma en un hospital de tercer nivel de complejidad, se estimó la matriz de probabilidades de transición y el número esperado de pacientes en cada estado en una unidad de tiempo de 12 horas para todas las cohortes de pacientes, mediante el análisis de cadenas de Markov. Resultados: se obtuvo un análisis de sensibilidad para la probabilidad de permanecer en el servicio de cirugía y de ser trasladado de la unidad de cuidados intensivos a hospitalización. Conclusión: el modelo utilizado es adecuado para la reproducción de lo observado y puede utilizarse para predecir configuraciones observables si se conoce el ritmo de ingreso de las cohortes de pacientes o si se tiene un modelo teórico para ellas.

Palabras clave

Tiempo de internación, cadenas de Markov, trauma, barreras absortoras

1 Profesora de la Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. E-mail: doracely@guajiros.udea.edu.co

2 Grupo de Lógica y Computación. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

3 Profesor de la Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

4 Enfermera del Hospital Universitario San Vicente de Paúl, Medellín, Colombia.

Recibido:20 de noviembre de 2003. Aceptado:18 de marzo de 2004.

Markovian analysis of a stay process in a hospital of third level of complexity

Abstract

Objective: to estimate the expected number of trauma patients in hospitalization services, surgery, intensive care unit and alive and dead discharge conditions after admission in the emergency room in a hospital of third level of complexity. Materials and methods: the matrix of transition probabilities and the expected number of patients in every state during a period of 12 hours for all the patient cohorts was estimated by means of Markov chain analysis. The study was based upon the information derived from a follow-up study of 2.084 records of the patients who entered the emergency room due to a trauma condition. Results: an analysis of sensibility was obtained for the probability of remaining in the surgery area and of being transferred from the intensive care unit to the hospitalization area. Conclusion: the model presented here is appropriate for the reproduction of the phenomena observed. It can also be used to predict observable patterns if the admission rate of patient cohorts is know or if a theoretical model for them exists.

Key words

Length of stay, Markov chains, trauma, absorbing barriers

Introducción

En la década de los 70, V. Navarro y R. Parker[1] demostraron la utilidad de emplear los modelos de Markov como herramienta para predecir los requerimientos de recursos en salud, mediante la estimación del personal de salud necesario para la atención de pacientes con enfermedad cardiovascular en diferentes niveles del sistema de salud: atención primaria, consultorio médico, hospital comunitario y hospital universitario. Más recientemente, diversos autores han utilizado la técnica de cadenas de Markov en la proyección de la magnitud y en la descripción de la dinámica de los problemas de salud, con la perspectiva de apoyar la planeación en salud. Así, se han realizado diversos estudios en el análisis de la progresión de los estadios clínicos e inmunológicos de la infección por el virus de la inmunodeficiencia humana VIH y el sida,[2,3,4] diabetes,[5,6] enfermedad renal[7,8] y cáncer de seno[9,10] como también otros estudios que proyectan la población anciana e infantil que podría demandar servicios en un momento dado.[11,12] En Colombia se conoce un estudio que predice la longitud de estancia en pacientes admitidos en unidades de cuidado intensivo usando un modelo markoviano discreto.[13]

En el presente estudio se estima el número esperado de personas con trauma que requerirían la atención en los servicios de hospitalización, unidad de cuidados intensivos y cirugía y la probabilidad de que sean trasladadas entre los servicios, luego de ingresar al servicio de urgencias de un hospital universitario de tercer nivel de complejidad de Medellín, Colombia, donde el trauma es la principal causa de saturación de dicho servicio, lo cual refleja el comportamiento de la morbilidad y la mortalidad de la ciudad. Para esto, se realiza el análisis secundario de la base de datos de un estudio de seguimiento de los pacientes con trauma que ingresaron al hospital en el último trimestre de 1998.[14] En épocas recientes, el hospital ha invertido una suma considerable de dinero en la ampliación del servicio de urgencias para la atención del trauma, teniendo en cuenta esta problemática; sin embargo, poco se conoce acerca del incremento de la demanda de otros servicios que se derivan de la atención de dicha patología.

En este estudio se tiene especial consideración en el análisis de diferentes cohortes de pacientes que ingresaron al servicio de urgencias, en tanto que la mayoría de los estudios de este tipo consideran una sola cohorte de pacientes. De esta forma, la estimación de los recursos requeridos para la atención de los pacientes en cada servicio puede llegar a ser más realista, en la medida en que contempla la acumulación de los pacientes en los servicios provenientes de las diversas cohortes.

Formulación de las cadenas de Markov

Tal como se ha discutido recientemente, existen sistemas dinámicos no lineales o complejos en la sociedad, la naturaleza o el sistema de atención en salud que exhiben no solo cambios de posición en el espacio o movimientos mecánicos sino que tienen también cambios internos cualitativos que los llevan a evolucionar hacia niveles de mayor desarrollo.[15]

En el presente trabajo, un sistema dinámico indica el comportamiento variable en el tiempo de la cohorte de pacientes que ingresan por trauma a urgencias de un hospital universitario, cuyo traslado entre servicios según el estado de salud de los pacientes puede modificar su distribución en los diferentes servicios y, por supuesto, la demanda de recursos para la atención en salud. Dado que el ingreso de los pacientes cambia con el tiempo, podría ocurrir en un determinado momento que ciertos servicios con mayor demanda saturaran su capacidad instalada y que se presentaran limitaciones para brindar la atención requerida a los pacientes actuales y futuros. De esta forma, como el dinamismo del sistema no es lineal-determinista, sino que en general es no lineal, caótico, estocástico, no se podrá especificar con toda certidumbre el estado del sistema en un determinado instante del tiempo, sino que a lo sumo se podrá indicar la distribución de probabilidad para el espacio de estados del sistema que corresponden a cada instante del tiempo. Tal asignación de distribuciones de probabilidad para variables aleatorias a cada instante del tiempo es lo que se conoce como un proceso estocástico o caminata aleatoria.[16]

En el caso de la cohorte de pacientes con trauma que ingresan al servicio de urgencias, si se estudia la distribución de probabilidad de que los pacientes sean trasladados entre servicios así como el número esperado de pacientes en esos servicios por unidad de tiempo, se podrían prever los recursos requeridos para brindarles la atención.

Ahora bien, una clase general de procesos estocásticos con diversas aplicaciones científicas y tecnológicas la constituyen los procesos de Markov, entendidos como aquellos procesos estocásticos en los que la distribución condicional del estado futuro del sistema dado su estado presente y pasado es independiente de este último estado.[16] Una cadena de Markov —una clase particular de los procesos de Markov— es una serie de eventos en los cuales la probabilidad de que ocurra uno depende del evento inmediato anterior. Así, si se desea estimar el número esperado de pacientes en un determinado servicio por unidad de tiempo, bastaría con conocer el servicio en el que se encontraba el paciente en el período de tiempo anterior, sin requerir la información de las hospitalizaciones pasadas. Una vez se verifica el cumplimiento de esta propiedad markoviana de independencia del pasado del sistema dinámico, se deben identificar los siguientes aspectos: [17]

- El espacio de estados. Es el conjunto de estados que puede exhibir el sistema dinámico. En el presente estudio se analiza la transición de cohortes de pacientes con trauma que ingresaron al servicio de urgencias (U) y que posteriormente fueron trasladados a los servicios de cirugía (CR), hospitalización (H) y a la unidad de cuidados intensivos (UCI), para finalmente egresar del hospital, bien sea vivo (EV) o muerto (EM). El servicio en el que se encuentra el paciente en un determinado momento dado del tiempo y el egreso vivo o muerto, son los denominados estados del sistema dinámico. El estado de entrada al sistema es urgencias, sin posibilidad de retorno a él; los estados transitorios son cirugía, hospitalización y unidad de cuidados intensivos, entre los cuales hay un flujo bidireccional mientras que los estados irreversibles de la cohorte de pacientes en el momento del egreso sea vivo o muerto se consideran como estados o barreras absortoras, según se representa en la figura 1.
- La matriz de probabilidades de transición entre los estados, o arreglo numérico de las probabilidades de traslado entre los servicios, se obtiene a partir de la información disponible. En la matriz M (tabla 1) se indican los coeficientes del flujo entre los estados que se representan de a_1, a_2 hasta a_{17}, denotando las probabilidades de transición entre estados, así: a_1 representa la probabilidad de traslado desde U hasta CR, a_2 es

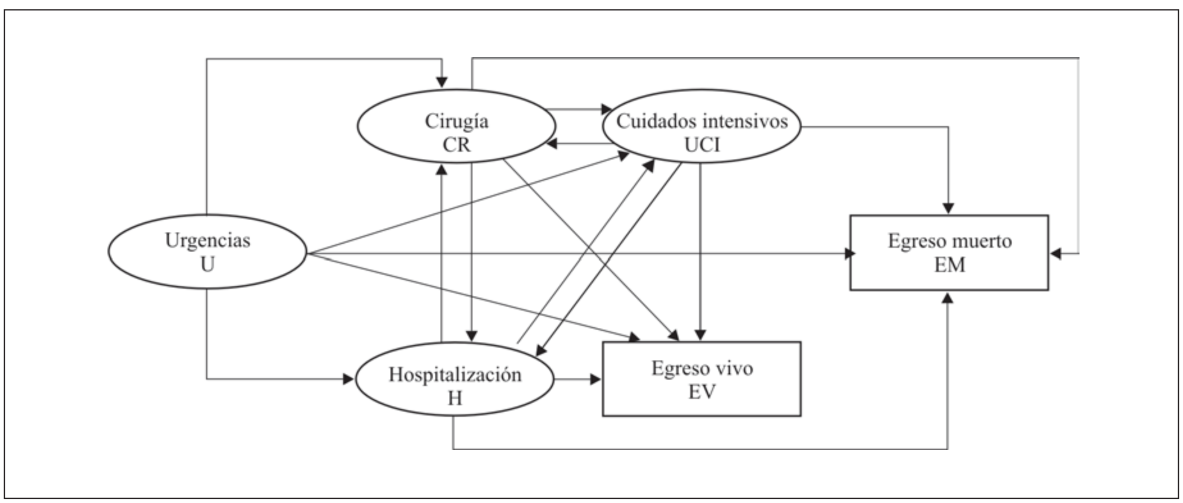

Figura 1. Transición entre estados del proceso de estancia hospitalaria de cohortes de pacientes con trauma

Tabla 1. Matriz M de probabilidades de transición entre los estados

	U	CR	UCI	H	EV	EM
U= Urgencias	-	0	0	0	0	0
CR= Cirugía	a_1	-	a_{10}	a_{11}	0	0
UCI= Unidad de cuidados intensivos	a_2	a_6	-	a_{15}	0	0
H= Hospitalización	a_3	a_7	a_{12}	-	0	0
EV=Egreso vivo	a_4	a_8	a_{13}	a_{16}	-	0
EM= Egreso muerto	a_5	a_9	a_{14}	a_{17}	0	-

la probabilidad de traslado desde U hasta UCI, a_6 representa la probabilidad de transición desde CR hasta UCI y así sucesivamente. Obviamente, no se obtienen los valores de la diagonal de la matriz correspondientes a la probabilidad de transición dentro del mismo servicio y se considera nula la probabilidad de retornar al servicio de urgencias luego de salir de él.

- Finalmente se ejecuta un programa de evolución markoviana a partir de la matriz de probabilidades de transición previamente construida y los datos sobre el estado inicial del sistema. Esto es, se impulsa el avance de la cohorte de pacientes que se encuentran en un determinado estado en el tiempo inicial (t=0) hacia otro estado en un próximo tiempo t, donde t varía entre cero (0) y un tiempo "grande" o infinito (∞).

De esta forma, el problema de evolución que se plantea es encontrar el operador P que tiene en cuenta la matriz de probabilidades de transición M, expresado al lado derecho de la siguiente ecuación, que hace evolucionar el vector V(t) en una unidad de tiempo hacia adelante, denotado V(t+1).

$$V(t + 1) = P \bullet V(t)$$

La solución es $V(t) = P^t \bullet V(0)$ donde se denota $Q(t) = P^t$, como el semigrupo de operadores de evolución. Los resultados del programa se presentan gráficamente y pueden utilizarse para predecir el comportamiento del sistema dinámico investigado o para modificar apropiada y conscientemente su evolución.

Métodos

Se aplica la técnica de cadenas de Markov a la descripción del proceso de estancia hospitalaria, mediante el análisis secundario de una base de datos de un estudio de seguimiento de todos los pacientes mayores de 12 años con trauma que ingresaron al servicio de urgencias de adultos de un hospital de tercer nivel de complejidad de Medellín, entre el 21 de agosto y el 18 de diciembre de 1998. Los detalles metodológicos y los resultados del estudio pueden ser consultados en el texto en referencia.[14]

En este estudio se utilizó la información de la fecha y hora de ingreso y egreso al hospital y en cada uno de los servicios de urgencias (U), cirugía (CR), hospitalización (H) y unidad de cuidados intensivos (UCI), identificando cohortes de pacientes según la fecha de ingreso al hospital.

Para la modelación matemática, la unidad de tiempo tuvo una duración de 12 horas (tiempo 1 de 0 a 12 m y tiempo 2 de 12:01 a 24 p.m.), con un total de 217 unidades de tiempo, contando desde el período cero que es el tiempo 1 del 21 de septiembre de 1998 hasta el tiempo 216, que corresponde al tiempo 2 del 18 de diciembre del mismo año.

Se ha supuesto que el tiempo medio de estancia en el servicio de U es una unidad de tiempo. Por otro lado, en los servicios CR , UCI y H es finito el tiempo de estancia, por tratarse de estados transitorios, mientras que en los estados egreso vivo (EV) y egreso muerto (EM), el tiempo de estancia es infinito por tratarse de barreras absortoras, según se explicó antes. Asimismo, se ha considerado que la probabilidad de transición por unidad de tiempo desde el estado CR a EV es nula, dado que un paciente en general es trasladado del servicio de cirugía a salas de hospitalización antes de egresar del hospital. En la presente aplicación se considera que la matriz de probabilidades de transición es estacionaria o constante en cada momento del tiempo para las diferentes cohortes de pacientes.[16]

En el presente caso de análisis de cohortes de pacientes, se tiene un proceso de superposición de cadenas de Markov, una para cada cohorte, esto es, el número esperado de pacientes en cada servicio por unidad de tiempo deberá contemplar la dinámica de movilidad de estos según las diferentes cohortes.

Así, la estimación de la matriz de probabilidades de transición se realizó mediante un procedimiento estándar, obteniendo una matriz de probabilidades de transición "de cebo" para una cohorte de pacientes, con un algoritmo de atrapamiento con múltiples tanteos e inspecciones que permitiera seleccionar aquella matriz aplicable para todas las cohortes, de tal modo que se maximizara la correlación entre los egresos acumulados observados y esperados.

En el análisis de la cadena de Markov se obtiene el número esperado de pacientes que podrían estar en un determinado servicio en cierto momento del tiempo, de acuerdo con el servicio en el que se encontraba en la unidad de tiempo anterior. De esta forma, el número esperado de pacientes en cada uno de los servicios en el tiempo t, acumulados para todas las cohortes, también denominado vector del estado total VT(t), está dado por:

$$\vec{VT}(t) = \sum_{i=0}^{t} P^{t-1} \cdot \vec{V}_i$$

En esta ecuación P^{t-i} representa la matriz de probabilidades de transición para la i-ésima cohorte de pacientes que ingresó con trauma y el vector $\vec{V}_i$ es el vector del número de pacientes que se encuentran en cada servicio al ingreso a la i-ésima cohorte, partiendo del número de pacientes con trauma que ingresan a urgencias, considerado por definición el tamaño de la i-ésima cohorte.

La estimación de los parámetros se realiza mediante una técnica de mínimos cuadrados, la cual minimiza la suma de los cuadrados de las diferencias entre el número esperado y el número observado de pacientes con trauma que ingresan a urgencias en todas las cohortes para todo t en determinado intervalo de tiempo.

Finalmente se realiza un análisis de sensibilidad para la matriz de probabilidades de transición esti-

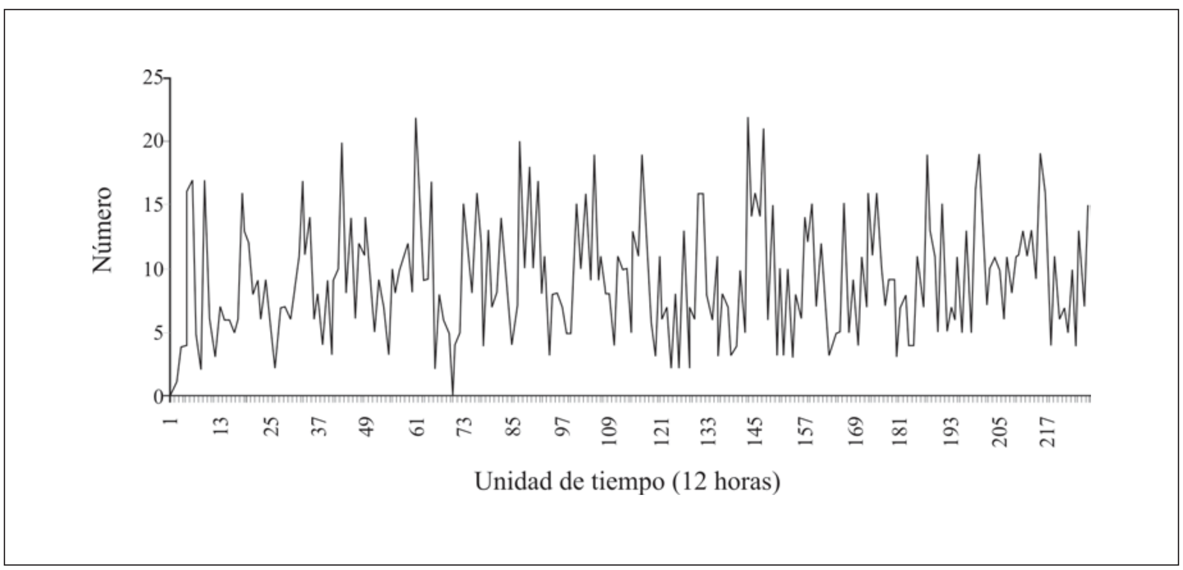

Figura 2. Número de pacientes con trauma que ingresan a urgencias cada doce horas. Hospital de tercer nivel de complejidad, agosto-diciembre de 1998

madas, procurando identificar el nivel de cambios que las componentes de la matriz inducen en el cálculo del tiempo de estancia intrahospitalaria esperado por paciente, como un indicativo de la incertidumbre en su estimación.[18] Los cálculos se realizaron en el programa Mathcad Premium 2001□ □

Resultados

En el período de estudio se obtuvo información de 2.084 pacientes, de los cuales se desconocía la hora de ingreso al servicio de urgencias en 114 pacientes (5,4%). Del total de pacientes que fueron trasladados a algún servicio del hospital, se registraron 815 ingresos al servicio de cirugía, en los que se desconocía la hora de egreso en 135 registros (16,5%). Se obtuvo información completa de la fecha de ingreso y egreso a los servicios de hospitalización (1.011 registros) y unidad de cuidados intensivos (48 registros).

En la figura 2 se observa que el número de pacientes que ingresaron con trauma por urgencias al hospital por unidad de tiempo presentó un comportamiento irregular que osciló entre 5 y 14 pacientes cada doce horas, una mediana de 8 pacientes y un máximo de 22. Dado que la probabilidad de permanencia en urgencia luego de una unidad de tiempo de doce horas se considera nula, el número esperado de pacientes en urgencias en cada instante del tiempo coincide con el ritmo de ingreso de pacientes a este servicio, tal como se ilustra en la figura 2.

En el servicio de cirugía, el número acumulado de pacientes esperados y observados por instante del tiempo presentó un comportamiento creciente aunque fue superior el número de pacientes esperados. Estos se estabilizan al mes de ingreso, lo que refleja una saturación del servicio con un número esperado de pacientes entre 99 y 109, mínimo 92 y máximo de 118 pacientes esperados (figura 3a).

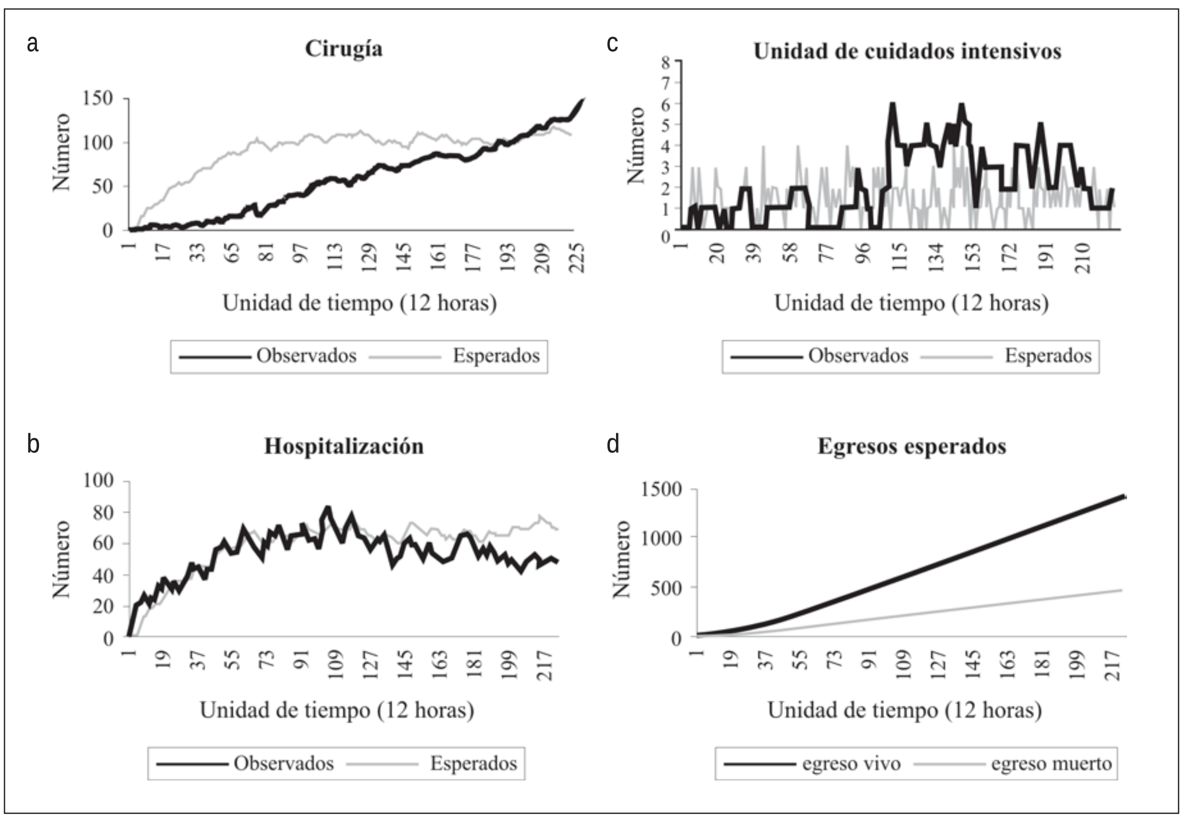

Figura 3. Comparación del número de pacientes observados y esperados por unidad de tiempo de 12 horas. Hospital de tercer nivel de complejidad, agosto-diciembre de 1998

Tabla 2. Matriz estimada de probabilidades de transición entre estados

	U	CR	UCI	H	EV	EM
U= Urgencias	0	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1
CR= Cirugía	0	0,9	0	0,1	0	0
UCI= U. cuidados intensivos	0	0	0	0,7	0,3	0
H= Hospitalización	0	0,1	0	0,8	0,08	0,02
EV=Egreso vivo	0	0	0	0	1	0
EM= Egreso muerto	0	0	0	0	0	1

En hospitalización se observa un adecuado ajuste entre lo observado y lo esperado como también la saturación del servicio en el mismo período de tiempo, con un número esperado de pacientes entre 64 y 71, mínimo 41 y máximo 84 pacientes (figura 3b).

En la unidad de cuidados intensivos el comportamiento es irregular, con un máximo de cuatro pacientes esperados (promedio: 1.4, D.S.: 1, mediana:1, moda: 1) y un número de pacientes observados ligeramente superior al esperado (promedio: 2.1, D.S.:1.6, mediana: 2, moda:1) (figura 3c).

En los egresos se observa un comportamiento creciente del número acumulado de pacientes observados y esperados por unidad de tiempo, con predominio de los pacientes que egresan vivos: por cada 100 pacientes que se espera que egresen vivos, 35 pacientes egresarían muertos en cada instante del tiempo (figura 3d).

Matriz de probabilidades de transición

La matriz de probabilidades de transición entre los diferentes estados se presenta en la tabla 2. Así, al estar en el servicio de urgencias por trauma, se tiene una probabilidad mayor de pasar al servicio de cirugía en las próximas doce horas. Al comparar con los otros estados, se tiene además en urgencias la mayor probabilidad de ir a la unidad de cuidados intensivos y egresar muerto.

Una vez el paciente se encuentra en el servicio de cirugía, lo más probable es que este permanezca

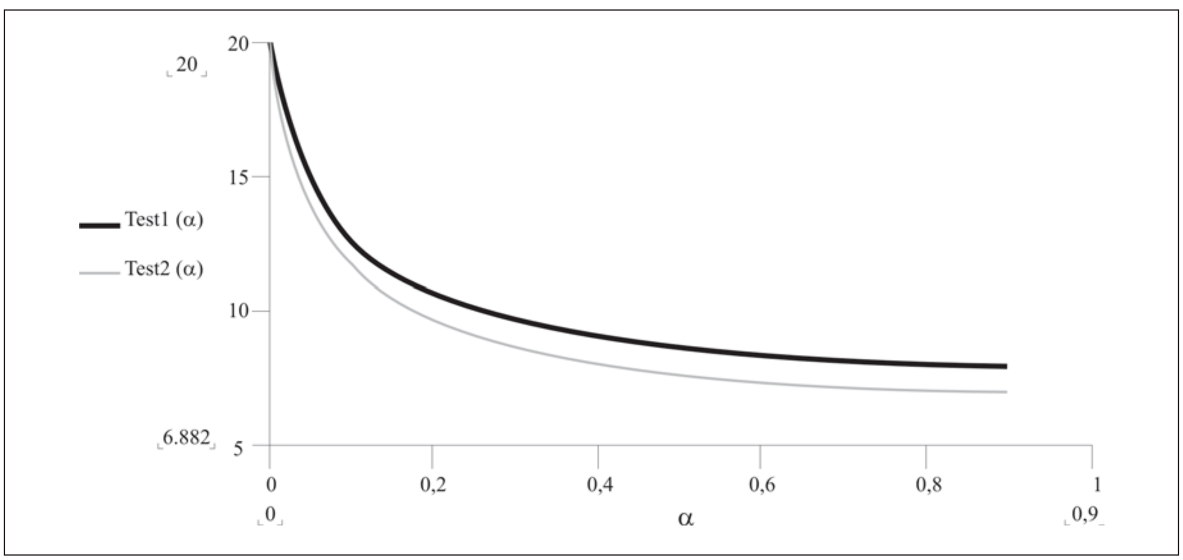

Figura 4. Análisis de sensibilidad: tiempo de estancia hospitalaria, según los test1 y test2 como funciones de alfa

en este servicio en las siguientes doce horas, mientras que 10% de los pacientes irían a algún servicio de hospitalización. Cuando el paciente ha ingresado a la unidad de cuidados intensivos, tiene una probabilidad de 0,7 de ir a hospitalización y de 0,3 de egresar vivo del hospital en la próxima unidad de tiempo. Si el paciente ingresa a hospitalización, lo más probable es que permanezca en este servicio las próximas doce horas o que se efectúe traslado a cirugía en 1 de cada 100 pacientes. En este servicio es mas probable que los pacientes egresen vivos que muertos.

Análisis de sensibilidad

Se realiza un análisis de sensibilidad, ya que se considera que es relativamente alto el valor estimado de la probabilidad de permanecer en el servicio de cirugía (0,9) y de ser trasladado de la unidad de cuidados intensivos a hospitalización (0,7). Se parte de la misma matriz de probabilidad, salvo que la probabilidad de permanencia en CR se disminuya en un mínimo valor a (0,9–□) y el resultado se convierta en probabilidad de transición desde CR a UCI. Ahora bien, el tiempo de estancia esperado para cada cohorte puede obtenerse a partir de dos formulas distintas. El test 1 estima el tiempo de estancia con la suma de los tiempos de permanencia en los estado transitorios y el test 2 es el tiempo esperado para que el egreso sea vivo o muerto desde el estado inicial de urgencias.

$$\text{test1}(\square):=\frac{(20.+89.\cdot\square)}{(1.+13.\cdot\square)}$$

$$\text{test2}(\square):=19.\cdot\frac{(1.+4.\cdot\square)}{(1.+13.\cdot\square)}$$

La representación gráfica del test 1 y el test 2 para diversos valores de □, de 0 hasta 0,9, se muestran en la figura 4.

Para la matriz estimada, alfa vale cero y se tiene: test 1(0) = 20 y test 2(0)= 19 unidades de tiempo, que en este caso es de 12 horas, entonces el tiempo esperado de estancia para todas las cohortes es aproximadamente de 10 días. La figura 4 muestra cómo varia el tiempo esperado de estancia respecto del valor de alfa. Se observa que ambas curvas decrecen hasta un nivel mínimo no nulo, es decir, que para valores altos de alfa, el tiempo esperado de estancia tiende a ser aproximadamente de 4 días, lo cual no concuerda con lo observado en todas las cohortes y así se requiere que alfa tome valores pequeños entre 0 y 0,03, es decir, la matriz adecuada es precisamente la estimada con alfa igual a cero.

Un procedimiento similar se realiza para la matriz de probabilidad de permanencia en cirugía, con (0,9–□) y para la probabilidad de transición desde UCI a H, cuyo valor se reduce en un valor mínimo de beta (0,7-□) y el resultado se convierte en probabilidad de permanencia en UCI. Para esta matriz, el tiempo de estancia esperado para cada cohorte puede obtenerse a partir de dos formulas distintas dadas por:

$$\text{test1}(\square,\square):=\frac{(-19+20\cdot\square\square-76\cdot\square\square+80\cdot\square\cdot\square)}{(-1+\square\square-13\cdot\square+10\cdot\square\cdot\square)}$$

$$\text{test2}(\square,\square):=\frac{(-20+21\cdot\square\square-89\cdot\square\square+90\cdot\square\cdot\square)}{(-1+\square\square-13\cdot\square+10\cdot\square\cdot\square)}$$

Para el caso particular con alfa igual a cero, se tiene:

$$\text{test1}(\square):=\frac{(-19+20\cdot\square)}{(-1+\square)}$$

$$\text{test2}(\square):=\frac{(-20+21\cdot\square)}{(-1+\square)}$$

En la figura 5 se muestra la comparación de los resultados de ambos tests, con beta variando desde 0 hasta 0,7. Se observa que el tiempo esperado de estancia varía relativamente poco con los cambios en beta, incluso para valores altos de este parámetro; en otras palabras, el tiempo esperado de estancia es menos sensible a los cambios en beta que a los cambios en alfa. Esto quiere decir que el tiempo de estancia hospitalaria es más sensible a las variaciones incluso pequeñas del valor de 0,9 para la probabilidad de permanencia en CR y menos sensible a las pequeñas variaciones del valor de 0,7 para la probabilidad de transición desde UCI a H; incluso esta ultima probabilidad de transición puede hacerse nula sin variar apreciablemente el tiempo esperado de estancia hospitalaria por paciente para todas las cohortes de afectados.

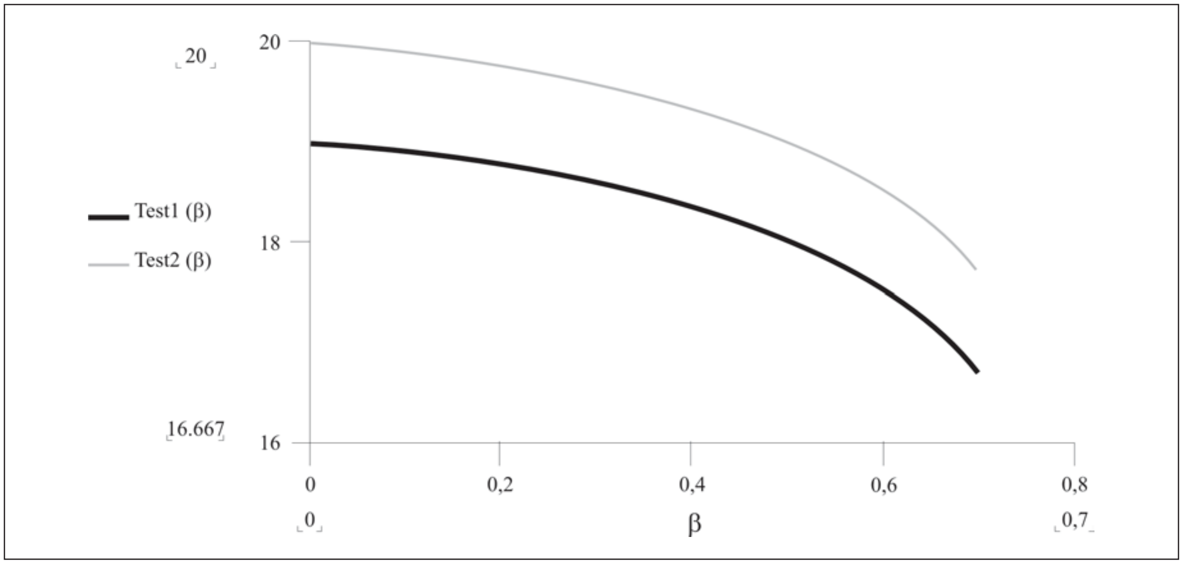

Figura 5. Análisis de sensibilidad: tiempo de estancia hospitalaria según los test1 y test2 como funciones de beta

Discusión

Este artículo muestra la aplicación del análisis de cadenas de Markov para varias cohortes de pacientes, estimando el número de pacientes esperados en diferentes servicios y estados al egreso, luego de ingresar por trauma al servicio de urgencias de un hospital de tercer nivel de complejidad. En dicha aplicación, son tres los elementos básicos que deben resaltarse: el primero es el patrón de ingreso de las cohortes de pacientes con trauma al servicio de urgencias; el segundo es la estructura de la matriz de probabilidades de transición entre los seis estados estudiados; y el tercero es el perfil de acumulación de cohortes de pacientes en cada uno de los servicios.

En este estudio se ha considerado un ritmo dado de ingreso de las cohortes de pacientes con trauma al servicio de urgencias, sin que se defina un modelo teórico al respecto. Para ello, podrían utilizarse modelos dinámicos o análisis de series de tiempo apropiados, que reflejen el perfil de utilización de los servicios de salud, la organización del sistema de salud, las condiciones de vida y la incidencia del trauma en la población, resultando de esta manera, un modelo dinámico global que incluye el ritmo de ingreso de las cohortes de pacientes al hospital y el proceso de estancia hospitalaria.

Con respecto a la matriz de probabilidades de transición estimada a partir de la información recopilada, no se cuenta con estudios similares para establecer comparaciones con los resultados obtenidos. A. Pérez, W. Chan y R Dennis predicen la longitud de estancia en pacientes admitidos a unidades de cuidados intensivos de Colombia usando un modelo markoviano discreto.[13] En el estudio, obtienen una matriz de probabilidades de transición de pacientes con trauma, considerando como estados: ingreso al hospital, unidad de cuidado intensivo, unidad de cuidado intermedio, pabellón de otro hospital, otra unidad de cuidado intensivo de otro hospital, casa u hospicio y muerte. Si bien obtienen unas probabilidades similares de permanecer hospitalizado y egresar muerto, la comparación de estos estudios debe hacerse con precaución, por las diferencias en la unidad de tiempo considerado, el tipo de instituciones estudiadas, la estructura de los estados y el análisis markoviano por cohortes de pacientes.

Con respecto al número de pacientes esperados en cada servicio y que egresan vivos o muertos, en el presente estudio se obtiene una sumatoria de las probabilidades de transición para todas las cohortes en una unidad de tiempo de 12 horas diarias, pudiendo estimar los recursos requeridos para la atención de los pacientes en cada unidad de tiempo y servicio, lo que le da mayor realismo al modelo utilizado, puesto que lo usual es aplicar el análisis de cadenas de Markov para una sola cohorte de pacientes. Un trabajo similar fue realizado en Canadá, para la estimación de la prevalencia de pacientes que requerirían terapia de reemplazo renal, luego de una enfermedad renal en etapa terminal y la proyección de dicha prevalencia en un lapso de diez años, para cohortes anuales.[7]

La aplicación aquí expuesta ilustra la información que se debería recopilar en el sistema de información de un hospital para determinar empíricamente la probabilidad de traslado entre los diferentes servicios, una vez han ingresado cohortes de pacientes con diferentes diagnósticos, que permitiera verificar la validez externa de la matriz de probabilidades de transición estimadas. También esto permitiría establecer predicciones del número esperado de recursos requeridos, quizás partiendo de la formulación de matrices de probabilidad de transición según cierto nivel de severidad de los pacientes, grupo de edad, diagnóstico, servicio de ingreso y nivel de complejidad del hospital.

Por otro lado, desde el punto de vista de la validez interna, el análisis de sensibilidad realizado muestra que las probabilidades de transición estimadas —de permanecer en el servicio de cirugía (0,9) y de ser trasladado de la unidad de cuidados intensivos al servicio de hospitalización (0,7)— tienen grados de incertidumbre limitados y por tanto son adecuadas para realizar proyecciones acerca de la evolución intrahospitalaria de futuras o hipotéticas cohortes de pacientes con trauma en dicho hospital.

Este trabajo ilustra la aplicación de una técnica que señala la posibilidad de pensar la movilidad de los pacientes dentro de un hospital de tercer nivel de atención como un sistema cuya dinámica es factible de describir, simular, predecir y utilizar, a partir de la comprensión del contexto particular del hospital y de las diversas fuerzas que influyen en este, por encontrarse inmerso en un sistema de salud bajo un cierto modelo de desarrollo de la sociedad. También esto demuestra la imperiosa necesidad de organizar la atención en salud bajo la perspectiva de la planeación con base en un criterio lógico y racional que procure el bienestar del individuo que requiere atención, pero también del colectivo del cual este hace parte.

Reconocimientos

Este trabajo fue financiado en parte por el Fondo de Apoyo a la Investigación, de la Facultad Nacional de Salud Pública. Los autores agradecen el apoyo de Viviana A. Castro Montoya, estudiante de gerencia en sistemas de información en salud, quien contribuyó con la depuración y análisis de la información de la base de datos para el presente estudio.

Referencias

1. Navarro V, Parker R. Models in health services planning. Data handling in epidemiology London: Oxford University Press, 1970.
2. Hendriks JC, Satten GA, Longini IM, van Druten HA, Schellekens PT, Coutinho RA, van Griensven GJ. Use of immunological markers and continuous-time Markov models to estimate progression of HIV infection in homosexual men. AIDS 1996;10(6):649-656.
3. Schechter MT, Le N, Craib KJ, Le TN, O'Shaughnessy MV, Montaner JS. Use of the Markov model to estimate the waiting times in a modified WHO staging system for HIV infection. J Acquir Immune Defic Syndr Hum Retrovirol 1995 15;8(5):474.
4. Lu Y, Stitt FW. Using Markov processes to describe the prognosis of HIV-1 infection. Med Decis Making 1994 ;14(3):266-272.
5. Kuo HS, Chang HJ, Chou P, Teng L, Chen TH. A Markov chain model to assess the efficacy of screening for non-insulin dependent diabetes mellitus (NIDDM). Int J Epidemiol 1999;28 (2):233-240.
6. Garg SK, Marshall G, Chase HP, Jackson WE, Archer P, Crews MJ. The use of the Markov process in describing the natural course of diabetic retinopathy. Arch Ophthalmol 1990;108 (9): 1245-1247.
7. Schaubel DE, Morrison HI, Desmeules M, Parsons D, Fenton SS. End-stage renal disease pro-

jections for Canada to 2005 using Poisson and Markov models. Int J Epidemiol 1998; 27: 274-281.
8. Desmeules M, Schaubel D, Fenton SS, Mao Y. New and prevalent patients with end-stage renal disease in Canada. A portrait of the year 2000. ASAIO J 1995;41(2):230-233.
9. Duffy SW, Chen HH, Tabar L, Day NE. Estimation of mean sojourn time in breast cancer screening using a Markov chain model of both entry to and exit from the preclinical detectable phase. Stat Med 1995 30;14(14):1531-1543.
10. Duffy SW, Day NE, Tabar L, Chen HH, Smith TC. Markov models of breast tumor progression: some age-specific results. J Natl Cancer Inst Monogr 1997; 22:93-97.
11. Boult C, Kane RL, Louis TA, Ibrahim JG. Forecasting the number of future disabled elderly using Markovian and mathematical models. J Clin Epidemiol 1991;44(9):973-980.
12. Biritwum RB, Odoom SI. Application of Markov process modelling to helth status switching behaviour of infants. Int J Epidemiol 1995; 24: 177-182.
13. Pérez A, Chan W, Dennis R. Predicción de la longitud de estancia en pacientes admitidos a unidades de cuidado intensivo en Colombia, usando un modelo Markoviano discreto. En: XIII Simposio de Estadística. Universidad Nacional de Colombia, Armenia, agosto de 2003.
14. Valencia M, Morales M, Arroyave ML, Montoya WD, Colorado SM, González G. Factores de riesgo de infección intrahospitalaria en pacientes mayores de 12 años hospitalizados por causa traumática en el Hospital Universitario San Vicente de Paúl, 1999. Trabajo de grado (maestría en epidemiología). Universidad de Antioquia. Facultad Nacional de Salud Pública. Medellín, 1999.
15. Ibáñez J. (Ed). Nuevos avances en la investigación social: la investigación social de segundo orden. Suplementos Anthropos 1990; 22: 130-180.
16. Ross D, McKeown P. Modelos cuantitativos para administración, México: Iberoamericana, 1986.
17. Prawda J. Métodos y modelos de investigación de operaciones. Vol 2. Modelos estocásticos. México, DF: Limusa; 1993.
18. Caswell Hal. Matrix population models: construction, analysis and interpretation. 2nd ed. Sunderland, Mass: Sinauer Assoc; 2001.