



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
CALIDAD ASISTENCIAL

Revista de Calidad Asistencial

www.elsevier.es/calasis



ORIGINAL

Análisis y modelado de la cultura de seguridad de un hospital mexicano mediante cadenas de Markov



CrossMark

J.D. Velázquez-Martínez^{a,b,c,*}, H. Cruz-Suárez^b y J. Santos-Reyes^c

^a Departamento de Confiabilidad, Instrumentación y Medición Multifásica, Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ AC), Querétaro, México

^b Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México

^c Grupo Seguridad, Análisis de Riesgos, Accidentes y Confiabilidad de Sistemas (SARACS), SEPI-ESIME-Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

Recibido el 23 de junio de 2015; aceptado el 3 de marzo de 2016

Disponible en Internet el 12 de abril de 2016

PALABRAS CLAVE

Cultura de seguridad;
Cadenas de Markov;
Cuestionario de
actitudes seguras;
Sector salud

Resumen

Introducción: El objetivo de este estudio fue analizar y modelar la cultura de seguridad con cadenas de Markov, así como predecir o priorizar respecto al tiempo el comportamiento evolutivo de la cultura de seguridad del personal de salud de un hospital mexicano.

Método: Se utilizó la teoría de cadenas de Markov. Los datos empleados para el análisis fueron obtenidos de un estudio previo basado en el Cuestionario de Actitudes Seguras (CAS-MX-II), considerando las siguientes 6 dimensiones: clima de seguridad, trabajo en equipo, satisfacción laboral, reconocimiento del nivel de estrés, percepción de la dirección y ambiente de trabajo.

Resultados: Entre los hallazgos destacan las predicciones o priorizaciones del tiempo aproximado de posibles arraigos en el comportamiento evolutivo de la cultura de seguridad respecto a clima de seguridad (12 años; 24,1%); trabajo en equipo (8 años; 34,61%); satisfacción laboral (11 años; 52,4%); reconocimiento del nivel de estrés (8 años; 19,35%) y percepción de la dirección (22 años; 27,87%). En la dimensión ambiente de trabajo no fue posible determinar información del comportamiento del personal, es decir, no se obtuvo información de arraigo cultural.

Conclusiones: En general, se detectan debilidades en la cultura de seguridad del hospital, lo que constituye una oportunidad para proponer cambios en las políticas mandatorias que permitan su fortalecimiento.

© 2016 SECA. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Safety culture;
Markov chain;
Safety attitude
questionnaire;
Health services

Analysis and modelling of safety culture in a Mexican hospital by Markov chains

Abstract

Introduction: The objective of this study was to analyse and model the safety culture with Markov chains, as well as predicting and/or prioritizing over time the evolutionary behaviour of the safety culture of the health's staff in one Mexican hospital.

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: danielonmx@yahoo.com.mx, DANIELMARTINEZ.CORP@HOTMAIL.COM (J.D. Velázquez-Martínez).

Method: The Markov chain theory has been employed in the analysis, and the input data has been obtained from a previous study based on the Safety Attitude Questionnaire (CAS-MX-II), by considering the following 6 dimensions: safety climate, teamwork, job satisfaction, recognition of stress, perception of management, and work environment.

Results: The results highlighted the predictions and/or prioritisation of the approximate time for the possible integration into the evolutionary behaviour of the safety culture as regards the "slightly agree" (Likert scale) for: safety climate (in 12 years; 24.13%); teamwork (8 years; 34.61%); job satisfaction (11 years; 52.41%); recognition of the level of stress (8 years; 19.35%); and perception of the direction (22 years; 27.87%). The work environment dimension was unable to determine the behaviour of staff information, i.e. no information cultural roots were obtained.

Conclusion: In general, it has been shown that there are weaknesses in the safety culture of the hospital, which is an opportunity to suggest changes to the mandatory policies in order to strengthen it.

© 2016 SECA. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Mejorar la seguridad del paciente es uno de los objetivos más importantes de los últimos años¹⁻⁶. La cultura de seguridad obtuvo importancia mundial en las organizaciones de salud después del informe *Error es humano* del Instituto de Medicina de Estados Unidos que constató errores evitables en la práctica médica que no se debían a gente «mala» sino a un sistema de salud enfermo promotor de la aparición de fallos y errores³. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud⁴, en todo el mundo, cada año, decenas de millones de pacientes sufrieron daños que les produjeron incapacidad o muerte debido a prácticas médicas inseguras⁴. Desde el punto de vista de los investigadores del área de la salud, la cultura de seguridad fue un factor fundamental que influyó en el sistema de seguridad de la organización^{2,5,6}, por lo que su grado de prioridad se vio reflejado en la unidad en la cual los eventos adversos ocurrieron^{1,2,5,6}. Por otro lado, también el National Quality Forum coincidió en recomendarla para minimizar errores, efectos adversos y realizar la medición necesaria para diseñar actividades que la mejoren⁷.

En consecuencia, fueron desarrollados cuestionarios para evaluarla en hospitales^{2,5,6,8,9}, cuestionarios que podrían ser analizados con modelos matemáticos probabilísticos como, por ejemplo, las cadenas de Markov que han probado ser muy útiles en diversas aplicaciones, dado que son procesos estocásticos (sucesiones de variables aleatorias que evolucionan en función de otras variables) con la característica de que su estado futuro solo depende del estado presente, pero no de su historia pasada^{10,11}.

En el área de la salud, las cadenas de Markov han sido utilizadas en investigaciones biomédicas tanto en experimentación animal como en humanos¹¹. Ejemplo de ello son las variables que cambian con el tiempo como: la presión arterial, el estado del paciente durante una enfermedad, pero también la cultura de seguridad de las organizaciones de salud; es decir, son variables asociadas con una evolución temporal. En el presente artículo se analizan los resultados asociados con las predicciones respecto al tiempo y el

comportamiento evolutivo de la cultura de seguridad mediante cadenas de Markov de una organización de servicios de salud mexicana.

Material y métodos

Cuestionario utilizado y población de estudio

Se llevó a cabo un estudio previo del tipo observacional, descriptivo, transversal, y se consideró una muestra por conglomerados mediante la aplicación del CAS-MX-II^{8,9}. Dicho cuestionario se tradujo por el método de retraducción, se adaptó y fiabilizó del Cuestionario de Actitudes Seguras americano (SAQ-Ambulatory)². El CAS-MX-II se aplicó a un total de 4 hospitales de «segundo nivel» de atención de una provincia de México y de la Ciudad de México, y se obtuvieron en total 255 cuestionarios aplicados para las áreas de urgencias, hospital y ambulatoria⁸. El periodo de observación comprendió del 2008 al 2011^{8,9}. Los resultados se resumen en la tabla 1.

Por otro lado, en el año 2014, se emplearon los resultados de uno de estos hospitales (de aproximadamente 25 camas y con un 95% de su personal de salud encuestado) para analizarlo con cadenas de Markov. El cuestionario constaba de 3 secciones, en el que la sección principal consistió en un total de 39 ítems en escala Likert (A: completamente en desacuerdo, B: ligeramente en desacuerdo, C: neutral, D: ligeramente de acuerdo, E: completamente de acuerdo). De las escalas Likert para cada dimensión se obtuvieron los conjuntos de todas las posibles respuestas: esto se conoce también como los espacios de estados «S», los cuales, a su vez, representan las percepciones de los encuestados y con los cuales fueron formadas sus respectivas cadenas de Markov, así como sus matrices de transición «P» y su grafos (conjunto de objetos llamados vértices o nodos unidos por enlaces llamados aristas o arcos, que permiten representar relaciones binarias entre elementos de un conjunto) de transición de estados en un paso (fig. 1 y Anexo-A). Los detalles de las consideraciones de los participantes,

Tabla 1 Coeficientes de consistencia interna de cada dimensión de la encuesta aplicada

| Dimensión | Ítems | Alfa de Cronbach | IC 95% | p |
|---------------------------------|-------|------------------|-------------|--------|
| Ambiente de trabajo (AT) | 7 | 0,793 | 0,748-0,833 | 0,0001 |
| Satisfacción laboral (SL) | 5 | 0,718 | 0,657-0,771 | 0,0001 |
| Trabajo en equipo (TE) | 13 | 0,873 | 0,845-0,898 | 0,0001 |
| Clima de seguridad (CdS) | 10 | 0,829 | 0,793-0,862 | 0,0001 |
| Percepción de la dirección (PD) | 2 | 0,817 | 0,765-0,858 | 0,0001 |
| Reconocimiento del estrés (RE) | 2 | 0,844 | 0,798-0,880 | 0,0001 |
| Total | 39 | 0,940 | 0,925-0,950 | 0,0001 |

criterios de inclusión, exclusión y limitaciones del estudio pueden consultarse en las referencias^{8,9}.

Procesamiento de datos y obtención de la matriz de transición

Primeramente se gestionaron y procesaron los datos, mediante la elaboración de una base de datos en SPSS versión 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Posteriormente, se procedió a estimar la matriz de transición (fig. 1). Para ello se puede determinar cada una de las entradas usando un método de máxima verosimilitud (véase [appendix A](#)), con el fin de elegir el mejor y más probable de los datos observados. Una vez encontrada la matriz de transición para cada una de las dimensiones, se determinó la distribución de probabilidad con base en el teorema 1 ([appendix A](#)). Es importante señalar que se validaron cada una de las hipótesis que se suponen en dicho teorema. Después se encontró la distribución estacionaria, la cual es única, con base en la ecuación (2) del [appendix A](#). Finalmente, mediante el software Wolfram Mathematica 8.0 (Wolfram Research, Inc. Champaign, IL, EE. UU.) se estimó el número de años para el cual podemos considerar que las opiniones del personal en cada una de las dimensiones se encuentran arraigadas o, en otras palabras, cuándo se fijan de manera duradera, profunda y fuerte en el personal de salud las percepciones positivas o negativas. Teóricamente es posible garantizar la existencia del número buscado con base en la expresión (3) del [appendix A](#).

Resultados

Se obtuvo una encuesta con una longitud total de 39 ítems. Los resultados mostraron un elevado nivel de consistencia interna con un coeficiente de correlación intraclass alfa de Cronbach de 0,940 (IC 95%: 0,925-0,950) y con una probabilidad de error alfa: p = 0,0001 (véase [tabla 1](#)).

A continuación, se presenta el análisis de 2 dimensiones. En el primer caso, se cumplen todas las hipótesis del teorema 1 y, por lo tanto, es posible determinar el arraigo en las conductas del personal. De manera análoga se procede con las otras dimensiones, que no son incluidas en este artículo, a excepción de la dimensión referente al ambiente de trabajo. En este caso, se presenta el análisis detallado por observarse que no se cumplen en su totalidad las propiedades para caracterizar a una distribución límite, por lo que

no fue posible determinar un arraigo. El análisis de cada una de las dimensiones se resume en la [figura 1](#).

Análisis de la dimensión clima de seguridad con cadenas de Markov

El análisis del clima de seguridad del hospital obtuvo una cadena de Markov con el siguiente espacio de estados $S = \{A, B, C, D\}$ y su correspondiente matriz de transición del clima de seguridad « P_{CdS} » (ver [fig. 1-i](#)). Del análisis se derivó que si la cadena tiene una única distribución estacionaria π , se debe satisfacer la forma matricial de la ecuación (2) del [appendix A](#). Además, se observó que el espacio de estados fue conformado por estados recurrentes positivos. Entonces, la ecuación matricial $\pi P = \pi$ nos determinó la proporción de tiempo que la cadena se encontró en cada estado, obteniendo lo siguiente: $\pi_A = 0,0344$, $\pi_B = 0,2068$, $\pi_C = 0,5172$, $\pi_D = 0,2413$. Posteriormente, con la aplicación el software Wolfram Mathematica 8.0 en la expresión (3) del [appendix A](#) se determinó una predicción o nivel de prioridad a 12 años; lo que quiere decir que si no se aplican procedimientos o estrategias orientadas para mejorar y cambiar las políticas (institucionales o públicas) que influyen en la dimensión clima de seguridad del hospital, en 12 años podrían arraigarse las siguientes percepciones: 3,4% en A: completo desacuerdo; 20,6% en B: ligero desacuerdo; 51,7%; C: neutral y solo el 24,1% se inclinaría por un D: ligero acuerdo, lo que indica una debilidad en esta dimensión, por observarse mayor tendencia hacia el desacuerdo. Además, se infiere de la cadena de Markov que esta dimensión nunca corresponderá al «completo acuerdo», lo que podría afectar a la seguridad de los pacientes.

Análisis de la dimensión ambiente de trabajo con cadenas de Markov

Se consideró una cadena de Markov con espacio de estados $S = \{A, B, C, D\}$ y matriz de transición del ambiente de trabajo « P_{AT} » (ver [fig. 1-ii](#)). El objetivo fue determinar un posible arraigo en las percepciones del personal del hospital en estudio. Para ello se hizo necesario verificar si la cadena de Markov obtenida cumplía las hipótesis del teorema 1 del [appendix A](#). Se pudo observar que los estados de la cadena se encuentran comunicados entre ellos mismos, es decir, de cualquier estado podemos acceder a otro; para observar este hecho, considere la [figura 1-ii](#). De acuerdo con lo anterior y a partir del hecho de que la cadena sea finita,

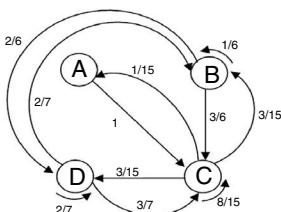
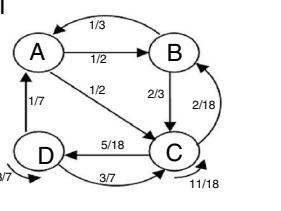
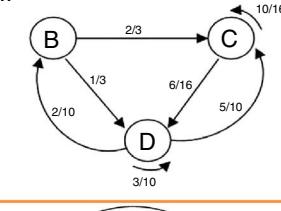
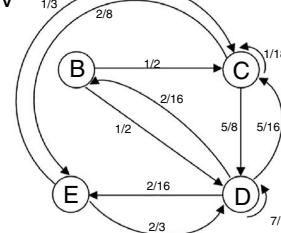
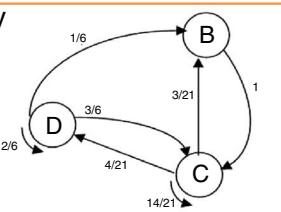
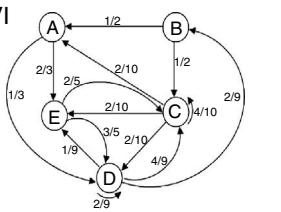
| I. Clima de seguridad (CdS), II. ambiente de trabajo (AT), III. trabajo en equipo (TE), IV. satisfacción laboral (SL), V. reconocimiento del estrés (RE), VI. percepción de la dirección (PD). | | | |
|--|--|--|--|
| Grafo de transición de estados (en un paso) | Matriz de transición | Resultados | |
| I  | $P_{CdS} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1/6 & 3/6 & 2/6 \\ 1/15 & 3/15 & 8/15 & 3/15 \\ 0 & 2/7 & 3/7 & 2/7 \end{bmatrix}$ | <u>Clima de seguridad:</u> $\pi_A = 0,0344, \pi_B = 0,2068, \pi_C = 0,5172$ y $\pi_D = 0,2413$ | |
| II  | $P_{AT} = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 & 0 \\ 1/3 & 0 & 2/3 & 0 \\ 0 & 2/18 & 11/18 & 5/18 \\ 1/7 & 0 & 5/7 & 3/7 \end{bmatrix}$ | <u>Ambiente de trabajo:</u> No hay una distribución límite | |
| III  | $P_{TE} = \begin{bmatrix} 0 & 2/3 & 1/3 \\ 0 & 10/16 & 6/16 \\ 2/10 & 5/10 & 3/10 \end{bmatrix}$ | <u>Trabajo en equipo:</u> $\pi_B = 0,0692, \pi_C = 0,5846, \pi_D = 0,3461$ | |
| IV  | $P_{SL} = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 & 0 \\ 0 & 1/8 & 5/8 & 2/8 \\ 2/16 & 5/16 & 7/16 & 6/16 \\ 0 & 1/3 & 2/3 & 0 \end{bmatrix}$ | <u>Satisfacción laboral:</u> $\pi_B = 0,0651, \pi_C = 0,2758, \pi_D = 0,5241, \pi_E = 0,1344$ | |
| V  | $P_{RE} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 3/21 & 14/21 & 4/21 \\ 1/6 & 3/6 & 2/6 \end{bmatrix}$ | <u>Reconocimiento del estrés:</u> $\pi_B = 0,129, \pi_C = 0,6774, \pi_D = 0,1935$ | |
| VI  | $P_{PD} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1/3 & 2/3 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 2/10 & 0 & 4/10 & 2/10 & 2/10 \\ 0 & 2/9 & 4/9 & 2/9 & 1/9 \\ 0 & 0 & 2/5 & 3/5 & 0 \end{bmatrix}$ | <u>Percepción de la dirección:</u> $\pi_A = 0,1061, \pi_B = 0,0619, \pi_C = 0,3761, \pi_D = 0,2787, \pi_E = 0,1769$ | |

Figura 1 Resultados de las dimensiones consideradas en el estudio.

podemos concluir que se trata de una cadena irreducible con estados recurrentes positivos. Sin embargo, el periodo de la cadena fue 2: una forma simple de observar este hecho fue considerando el grafo de transiciones ([fig. 1-II](#)). Por ejemplo, considere cualquier estado en el grafo (A, B, C y D) y ubique los posibles caminos para regresar a dicho estado (dirección de las «flechas»). Después de haber hecho esta tarea podrá observar que solo es posible retornar en múltiplos de 2, por lo tanto, el periodo de la cadena es 2. De este modo no se cumple la propiedad de aperiocidad de la cadena y, de acuerdo con el teorema 1 del [appendix A](#), podemos concluir que no hay un comportamiento estable de la distribución de la cadena de Markov. En términos del problema en estudio podemos concluir que no fue posible determinar un arraigo en las preferencias del personal del hospital en esta dimensión, lo que constituye una oportunidad para influir positivamente en el ambiente de trabajo.

De manera similar, se analizaron las restantes 4 dimensiones cuyos resultados se muestran en la [figura 1](#). Se hace notar que el número de años es aproximado de acuerdo con la estabilización de la matriz potencia respecto a la distribución estacionaria (ecuación [3] del [appendix A](#)), y se consideró un error general del 0,000001.

Discusión

En general, los resultados son poco alentadores por las debilidades observadas. Sin embargo, representan una gran oportunidad para mejorar la cultura de seguridad y calidad de servicio en este hospital mediante la identificación, análisis, aprendizaje y combate de las fallas, así como por la generación de datos históricos que servirán para análisis comparativos dentro y fuera de ellos. Del análisis de algunas dimensiones se destaca que el primer compromiso de la alta dirección podría ser asociada con el fortalecimiento del ambiente de trabajo por no encontrarse arraigos culturales; además de que estudios similares muestran que «hospitales pequeños tienen un mejor ambiente de trabajo»⁶. Por otro lado, en la dimensión satisfacción laboral ([fig. 1-IV](#)) se detectaron más fortalezas, lo que se asocia a un buen estado de ánimo y actitudes positivas en la vida laboral y privada, que podrían reflejarse en el trato al paciente a pesar de la intensa carga de trabajo². Además, es importante señalar que la predicción de los tiempos aproximados en que se podrían arraigar debilidades en la cultura de seguridad pueden verse como prioridades para la mejora de la cultura de seguridad (véase [fig. 1](#)), por ejemplo en trabajo en equipo, satisfacción laboral, reconocimiento del nivel de estrés, clima de seguridad y percepción de la dirección. De acuerdo con los resultados, se deberían combatir las deficiencias antes de aproximadamente: 8, 11, 8, 12 y 22 años, respectivamente. Lo anterior, con el fin de prevenir el arraigo de una cultura negativa. También se resalta que, de no cambiar las políticas del hospital respecto al trabajo en equipo, se corre el riesgo de que se arraigue una mayor apatía o desinterés o miedo a posibles represalias por hablar en parte del personal, con 58, 46%, que coincide con una posición neutral (C); además de que la máxima valoración positiva a la que se podría aspirar en dicho hospital corresponde a 34, 61% en «ligero acuerdo» y sin la esperanza de poder llegar a valorar «completamente de acuerdo» el trabajo en equipo (ver [fig. 1-III](#)). En consecuencia, analizar la cultura de seguridad

con cadenas de Markov tiene la ventaja de que se puede observar la transición de estados en el tiempo. Es decir, no se buscan las relaciones entre variables sino la transición entre los diferentes estados, lo que nos permite estudiar el comportamiento estacionario, para encontrar, por ejemplo, el tiempo aproximado en que la cadena se estabiliza o, en otras palabras, la predicción o priorización de las valoraciones de arraigo de la cultura de seguridad respecto al tiempo. Lo cual hace que sea un estudio de naturaleza diferente a los informes estadísticos reportados^{2,5,6,8}.

Finalmente, este estudio puede ser considerado el paso inicial para establecer y relacionar los análisis con cadenas de Markov con las propiedades psicométricas del SAQ versión mexicana u otros. Adicionalmente, los resultados podrían ser incorporados dentro de un sistema de gestión integral de seguridad y confiabilidad para el paciente en hospitales en pro de la mejora del servicio al paciente.

Financiación

Los autores reconocen y agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para este estudio, así como por su alto compromiso con la ciencia y la tecnología.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Al personal de las instituciones de salud por las facilidades otorgadas y a los doctores Leticia Téllez González y Saúl Renán León Hernández por su valiosa ayuda.

Apéndice-A. Fundamentos básicos de las cadenas de Markov

Las cadenas de Markov (CM) son procesos estocásticos a tiempo discreto, es decir, una sucesión de variables aleatorias (v.a.), las cuales son observadas por el investigador en el tiempo, $t = 0, 1, \dots$. Denotamos a la CM por $\{X_t\}$ y se considera definida en un espacio de probabilidad común, cuya medida de probabilidad la denotamos por Q . Una referencia básica para los conceptos y resultados que a continuación se resumen en la referencia¹⁰.

Al conjunto donde toman valores las v.a. del proceso $\{X_t\}$ se lo denomina espacio de estados, el cual denotamos por S y suponemos que es un espacio finito o numerable. Una de las características que definen a una CM es la propiedad de que su estado futuro es determinado por su valor presente y no depende de la historia pasada del proceso; simbólicamente se representa del siguiente modo:

$$Q(X_{n+1} = j | X_0 = i_0, \dots, X_{n-1} = i_{n-1}, X_n = i) = Q(X_{n+1} = j | X_n = i) \quad (1)$$

para todo n y cualesquier estados i_0, i_1, \dots, i, j en S . (1) es conocida como la *propiedad de Markov* y las expresiones que aparecen del lado derecho de (1) se denominan *probabilidades de transición* y las denotaremos por n_{ij} . En particular, en el caso finito es posible representar a las

probabilidades de transición en una matriz cuadrada P , denominada matriz de transición (o estocástica). En este caso, la entrada (i, j) de la matriz Q es representada por la probabilidad de transición n_{ij} . Debido a que las probabilidades de transición forman una distribución de probabilidades sobre el espacio de estados, se tiene que, al sumar las entradas de cada fila de la matriz de transición, dicha suma debe dar uno. Una forma más de representar una CM es a través de un *grafo de transiciones* en el cual aparecen todos los estados de la cadena y, en caso de que la matriz de transición presente una entrada positiva en (i,j) , entonces debe aparecer una línea en el grafo que comunique al estado i con el estado j . En la práctica, la matriz de transición P puede ser estimada usando el siguiente procedimiento paramétrico: sea $Y = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ una realización de una cadena de Markov de tamaño $n \geq 1$. De esta manera la *función de verosimilitud* asociada está dada por: $L(p_{ij}, Y) = \pi_0 \prod_{i,j=1}^m p_{ij}^{n_{ij}}$, donde n_{ij} son las frecuencias de las transiciones de ir del estado i al j en un paso, en la muestra, Y con $\sum_{i,j=1}^m n_{ij} = n$. En este caso el *estimador de máxima verosimilitud*, es decir, el valor del parámetro que maximiza la función de verosimilitud, se encuentra conformado por $\hat{p}_{ij} = n_{ij}/n_i$, donde $n_i = \sum_{j=1}^m n_{ij}$.

Uno de los problemas fundamentales en las CM es analizar el comportamiento a largo plazo de las distribuciones de probabilidad del proceso: $p_n(x) = Q(X_n = x)$, x en el espacio de estados y $n \geq 1$. En específico, el interés es calcular para cada estado x el límite de p_n cuando n tiende a infinito y que dicho límite corresponda a una distribución de probabilidad en el espacio de estados. Si el límite existe, debe ser único y se puede demostrar que si π denota la distribución límite debe satisfacer las siguientes propiedades: $\pi(i) \geq 0$, para todo $i \in S$, $\sum_{i \in S} \pi(i) = 1$, y, y

$$\sum_i \pi(i)P(i, j) = \pi(j), \quad j \in S. \quad (2)$$

En forma matricial (2) puede ser escrito como: $\pi P = \pi$, donde π es un vector fila. A una distribución que satisface (2) se la denomina *distribución estacionaria*. Es importante notar que, aunque se tenga una solución de la ecuación (2), no podemos concluir que dicha distribución corresponda a la distribución límite del proceso. Para ello es necesario verificar ciertas propiedades en la CM que se comentan a continuación.

Una CM se denomina *irreducible* si, para cualquier pareja de estados (i,j) , existe un camino en el grafo de transiciones que los comunica, es decir, podemos acceder de i a j (y viceversa) a través de un número finito de pasos. Una cadena irreducible es aperiódica si cada estado x del espacio de estados tiene periodo uno, es decir, $d = 1$, donde $d := mcd \{n \geq 1 : P(X_n = x | X_0 = x) > 0\}$ es denominado periodo (mcd denota al máximo común divisor). El espacio de estados de una CM se clasifica en estados transitorios y recurrentes. A su vez, los estados recurrentes son clasificados en positivos y nulos. Un estado es llamado recurrente positivo si la esperanza de retorno a dicho estado es finita y es recurrente nulo cuando dicha esperanza es infinito. En particular, cuando el espacio de estados es finito e irreducible,

la cadena se encuentra conformada por estados recurrentes positivos. Dichos estados son muy importantes en el análisis estacionario de una CM, como a continuación se muestra en el resultado principal de aplicación del artículo.

Teorema 1 (teorema ergódico). Sea $\{X_n, n \geq 0\}$, una CM irreducible, recurrente positiva, que tiene una distribución estacionaria π . Si la cadena es aperiódica, entonces

$$\lim_{n \rightarrow \infty} Q(X_n = y | X_0 = x) = \pi(y), \quad x, y \in S. \quad (3)$$

El teorema anterior nos permite observar cuándo las transiciones de una CM se vuelven estables a través del tiempo. En el contexto del problema de estudio, nos permitió estimar arraigos en la cultura de seguridad. Para fines prácticos, con el software Mathematica 8 se calcularon las potencias de las matrices de transición hasta obtener una matriz de entradas invariantes o estables de acuerdo con el error establecido por el usuario: de lo anterior, fue posible obtener el número de años aproximado para un posible arraigo cultural.

Bibliografía

1. Farup PG. Are measurements of patient safety culture and adverse events valid and reliable? Results from a cross sectional study. *BMC Health Serv Res*. 2015;15:1-7.
2. Sexton JB, Helmreich RL, Neilands TB, Rowan K, Vella K, Boyden J, et al. The Safety Attitudes Questionnaire: Psychometric properties, benchmarking, data, and emerging research. *BMC Health Serv Res*. 2006;6:1-10.
3. Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, editores. *To err is human: Building a safer health system*. Washington DC: National Academy Press; 1999.
4. World Health Organization. Summary of the evidence on patient safety: Implications for research. 2008. [consultado 7 Abr 2014]. Disponible en: http://whqlibdocwho.int/publications/2008/9789241596541_eng.pdf
5. Pozo MF, Padilla MV. Evaluación de la cultura de seguridad del paciente en el ámbito de un área sanitaria. *Rev Calid Asist*. 2013;28:329-36.
6. Gutiérrez-Cía I, Merino-de-Cos P, Yáñez-Juan A, Obón-Azuara B, Alonso-Ovies A, Martín-Delgado MC, et al. Percepción de la cultura de seguridad en los servicios de medicina intensiva españoles. *Med Clin (Barc)*. 2010;135 Supl 1:37-44.
7. National Quality Forum. Safe practices for better healthcare-2010 Update: A consensus report. 2010. [consultado 7 Abr 2014]. Disponible en: https://www.qualityforum.org/News_and_Resources/Press_Kits/Safe_Practices_for_Better_Healthcare.aspx
8. Velázquez-Martínez D, Santos-Reyes J. Assessing the safety climate in operating rooms: The case of healthcare organizations in Mexico. En: Giacomo-Prato C, editor. *Accidents: Risk factors, health outcomes and safety measures*. Series. New York, EE. UU: Nova Science Publishers, Inc; 2012. p. 61-77.
9. Velázquez-Martínez JD. Diagnóstico de la cultura de seguridad en hospitales. [Tesis doctoral en Tecnología Avanzada]. México DF, México: CICATA-Legaria, IPN; 2012.
10. Hoel PG, Port SC, Stone CJ. *Introduction to stochastic processes*. Boston: Houghton Mifflin Company; 1972.
11. Ocaña-Riola R. Modelos de Markov aplicados a la investigación en ciencias de la salud. *Interciencia*. 2009;34:157-62.