



Modelo de simulación sistémica para el dimensionamiento de camas hospitalarias en una institución de salud de alta complejidad utilizando la metodología de dinámica de sistemas*

Systemic Simulation Model for Defining the Number of Hospital Beds in a High-Complexity Health Care Center using the System Dynamics Methodology

Modelo de simulação sistémica para o dimensionamento de leitos hospitalares em uma instituição de saúde de alta complexidade utilizando a metodologia de dinâmica de sistemas

Recepção: 02 de março de 2019. **Aprovação:** 20 de setembro de 2019.
Publicação: 30 de junho de 2020.

DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.rgps19.mssd>

Julian Alberto Uribe Gómez^a

Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8581-0376>

Juan Guillermo Barrientos Gómez

Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5135-5168>

Cómo citar este artículo Uribe-Gómez JA, Barrientos-Gómez JG. Modelo de simulación sistémica para el dimensionamiento de camas hospitalarias en una institución de salud de alta complejidad utilizando la metodología de dinámica de sistemas. Revista Gerencia y Políticas de Salud. 2020;19. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.rgps19.mssd>

^a Autor de correspondencia. Correo electrónico: julianuribe@itm.edu.co

Resumen

Las clínicas, hospitales y centros de salud se encuentran diariamente en la necesidad de optimizar sus recursos profesionales, farmacéuticos, hospitalarios o de infraestructura mobiliaria, sin embargo, debido a múltiples factores aleatorios y complejos, la labor se torna demandante, por la falta de metodologías que ayuden a los gestores de salud a controlar las necesidades del proceso. A partir de todo esto, el objetivo es desarrollar una metodología sistémica y un modelo de planificación para el dimensionamiento de la cama hospitalaria, con el fin de mejorar la planeación y administración en una institución de salud. Inicialmente, se realizó una búsqueda de factores claves que afectan la planeación, las relaciones y componentes en la medición de las camas. Con esto se planteó un modelo causal y uno de simulación mediante dinámica de sistemas, que integre dichos factores. Finalmente, los resultados de la simulación indican que la necesidad de camas adicionales para la institución es del 9% o 16 camas hospitalarias en promedio. Se espera que el concepto presentado brinde una idea clara, holística y consecuente en la planeación de recursos hospitalarios.

Palabras clave: hospital, administración, planeación, sistema, dinámica.

Abstract

The clinics, hospitals and health care centers are daily in need to optimize the professional, pharmaceutical, hospital or endowment-infrastructure resources. However, due to multiple random and complex factors, this is a demanding endeavor as they do not have the methodologies that may help the health manager in the process. Because of this, the aim is to develop a systemic methodology and a planning model to define the bed sizes. It is intended to improve the planning and administration of any health care center. To begin, this work studied the key factors affecting the planning, relationships and components in the bed size definition. These inputs were used to set out a causal model and a simulation model under a system dynamics approach integrating these factors. Finally, the simulation results indicate that the need of additional beds is about 9% or 16 beds on average. The results from this work should encourage the managers to develop a clear and holistic idea on this issue and, therefore, to better plan the health care resources.

Keywords: hospital, administration, planning, system, dynamics.

Resumo

Clínicas, hospitais e centros de saúde se acham diariamente na necessidade de otimizar recursos profissionais, farmacéuticos, hospitalares ou de infraestrutura de móveis, contudo, devido a múltiplos fatores aleatórios e complexos, a labor torna-se demandante, pela falta de metodologias que ajudem os gestores de saúde a controlar as necessidades do processo. A partir de tudo isso, o objetivo é desenvolver uma metodologia sistémica e um modelo de planejamento para o dimensionamento do leito hospitalar, a fim de melhorar o planejamento e administração em uma instituição de saúde. Inicialmente, foi realizada uma busca de fatores-chave que afetam o planejamento, as relações e componentes na medição dos leitos. Com isso foram propostos um modelo causal e um de simulação através da dinâmica de sistemas, que integre tais fatores. Finalmente, os resultados da simulação indicam que a necessidade de leitos adicionais para a instituição é de 9% ou 16 leitos hospitalares, em média. Espera-se que o conceito apresentado forneça uma ideia clara, holística e consequente no planejamento de recursos hospitalares.

Palavras-chave: hospital, administração, planejamento, sistema, dinâmica.



Introducción

La presión por controlar los costos de los sistemas y servicios de salud es más alta que nunca, así como la administración de algunos costosos y limitados, como quirófanos, personal asistencial y mobiliario hospitalario como camas, que cada vez es más retador (1), esto es debido a la incertidumbre de las llegadas y el tiempo de servicio de los diferentes tipos de pacientes. Así mismo, se encuentra un desbalance en la utilización de los recursos y el tiempo de espera de los pacientes (1), por lo tanto, hay una necesidad crítica en la utilización de herramientas informáticas, computacionales, sistémicas y sistemáticas, que ayuden a los administradores en salud a tener una noción perfecta sobre las reglas y rutinas del sistema. Ellos tienen que ser capaces de identificar las fortalezas y aspectos que requieren mejorar (2), con el fin de tomar buenas y mejores decisiones, reduciendo el costo mientras se mantiene una alta calidad (3). Sin embargo, muchas de las fallas encontradas en la administración de un hospital están usualmente relacionadas con la falta de información y la gestión pobre de los recursos (2).

Para entender el sistema, los servicios de salud y la optimización de sus recursos, se debe partir de una perspectiva general hacia una particular, comenzando con la definición de sistema de salud. De Souza et al. se refieren a que:

[...] abarca todas las actividades cuyo objetivo principal es promover, restaurar o mantener la salud [...] e incluye a los pacientes y sus familias, los trabajadores de la salud y los cuidadores dentro de las organizaciones y la comunidad, y la política de salud. Entorno en el que se desarrollan todas las actividades relacionadas con la salud (4).

Por consiguiente, el sistema de salud engloba todas las relaciones y actores presentes en el proceso de salud, parte de estos son las clínicas y los hospitales, los cuales son definidos por la Organización Mundial de la Salud en Oliveira et al. como

[...] parte de una organización médica y social cuya función es proporcionar un servicio de salud integral y atención a la población, tanto curativa como preventiva, y cuyos servicios ambulatorios deben llegar a las familias en el hogar. medio ambiente, el hospital es también un centro para la formación de trabajadores de la salud y la investigación biosocial (2).

Otra definición establece que los hospitales pueden ser caracterizados como empresas de salud con servicios diferenciados, que incluyen capacidad de internación, atención ambulatoria con consultas periódicas y servicios de emergencia, diagnóstico y terapéuticos, que tienen como objetivo brindar atención médica y rehabilitación a la población (4).

Ahora bien, se puede definir un hospital como un sistema complejo con un gran número de personal asistencial, talento humano y materiales para administrar. Este proceso de administración está sujeto a políticas presupuestales dentro de la organización, que llevan a la búsqueda de opciones y mecanismos para optimizar los recursos, mientras se reducen los costos, se es más competitivo, y se contribuye a dar la mejor atención de calidad a los pacientes (5).

Por esta razón, en una estructura organizativa el objetivo principal es optimizar la admisión de pacientes, minimizando la duración de la estancia y maximizando la calidad del tratamiento (2).

Bajo este contexto, los pacientes son los puntos principales y fijos de la atención de los servicios de salud, donde se admiten dos tipos de pacientes: el regular y el que consulta desde emergencias. Cada paciente ingresado consume recursos clínicos una vez solicita los servicios, uno de estos es la cama hospitalaria y su respectiva administración. Diversos estudios han indicado que lidiar con una variable impredecible como es la demanda utilizando un recurso fijo es una problemática común que requiere de metodologías holísticas y flexibles. De hecho, las camas, al ser un recurso limitado y uno de los más escasos en hospitales, y al no ser administrada correctamente, impactaría en la calidad de la atención, generando retrasos, cancelaciones e incluso mortalidad sobre la población (6), perjudicando los beneficios del hospital (5). Así pues, a nivel estratégico, administrativo y gerencial, los hospitales deben enfrentar la situación de dimensionar el número de camas necesarias, que cumpla los requisitos antes mencionados (5), donde su correcta gestión refleja no solo la eficiencia de los servicios, sino también la calidad de la gestión hospitalaria (2).

Finalmente, se puede concluir que el número requerido óptimo de camas en un hospital que se adapte a una demanda de tipo variable, es a la fecha un problema en la administración de salud. Esto, por lo tanto, les concierne a las áreas de planeación de la capacidad hospitalaria, la cual es un problema común en salud. (7).

El crecimiento poblacional y la continua demanda de servicios de salud incide sobre la capacidad hospitalaria, en número de profesionales, fármacos, mobiliario e infraestructura, y estos, al ser recursos condicionados, causan congestión en hospitales (8). Por esto es imperativo entregar estrategias holísticas y modelos de planeación de capacidad de recursos, que ayuden a la toma de decisiones (9). Así, algunos modelos han explorado tanto el impacto de la demanda en salud sobre la suficiencia de profesionales en este campo, como el dimensionamiento de instalaciones para la prestación de servicios como sillas o salas de espera.

De modo que, el objetivo principal es presentar una metodología sistémica de planificación del recurso hospitalario para estimar el número de camas hospitalarias, analizando las variables implicadas, a fin de mejorar el proceso de planeación y administración de un hospital.

Los hospitales, como empresas dedicadas a la prestación de servicios de salud, deben gestionar sus recursos y capacidades a través de indicadores, principalmente la capacidad del hospital, expresada en términos de número de camas (5), este tipo de indicador es útil para medir el nivel de salud entregado (10).

Básicamente, los indicadores de salud son características cuantificables de una población, que los investigadores utilizan como evidencia de apoyo para describir la salud de una población.



Los indicadores de salud, ya sean demográficos o económicos, cubren muchos de los puntos respecto al dominio de la salud en todos los niveles. También arrojan luz sobre las cifras exactas y los porcentajes de logros con respecto a los hospitales y establecimientos de salud (11).

La Tabla 1 presenta el indicador de número de camas, desde la perspectiva de diferentes fuentes para diversos países, especialmente Colombia y Antioquia. Como se puede observar, los resultados son variados. Se espera que este aspecto clave tenga consistencia técnica, ya que este es el valor estándar de comparación, por esta razón es pertinente evaluar políticas específicas para cada hospital, que indiquen el número óptimo de camas.

Tabla 1. Indicadores globales de cantidad de camas por habitante

Lugar	Indicador (camas/habitantes)	Referencia
General OMS	20 camas/10000 habitantes	(10)
General OMS	5 camas/1000 habitantes	(10)
Promedio mundial	2,9 camas/1000 habitantes	(10)
Países desarrollados	3 camas/1000 habitantes - 9 camas/1000 habitantes	(10)
India	0,9 camas/1000 habitantes	(10)
Colombia	1.5 camas/1000 habitantes	(12)
Antioquia, Colombia	1364 camas (2016)	(13)
Colombia	2,6 camas/1000 habitantes	(14)

Fuente: elaboración propia.

El recurso hospitalario, en especial las camas, es muy sensible ante diversas variables como cambios en la proyección demográfica según tipo de población y grupos de edades, estos tipos se subdividen en ingresos al hospital como admisiones, visitas y admisiones proyectadas (15).

Todo el componente anterior de la demanda es un factor altamente impredecible y aleatorio para el recurso cama, además, al combinar este factor con la variedad de condiciones de salud que padece el paciente y el tiempo indeterminado de estancia, se generan picos de servicio de comportamiento estocástico, lo que hace que sea necesario usar camas y camillas adicionales en los pasillos del departamento de emergencias, y que los pacientes permanezcan en cama por períodos más prolongados de lo que requiere su atención patológica (4).

Según el Department of Health and Children Government of Ireland (15) la ocupación óptima para una cama en un hospital dado está determinada por factores como:

Tipo de hospital (general, especializado, urgencias)

Tamaño del hospital

Población objetivo

Naturaleza de la admisión

Naturaleza de los servicios ofertados (secundario, terciario, ambos, etc.)

Tipos de pacientes admitidos

Niveles de atención del personal

Del mismo modo Kokangul (16) propone los siguientes parámetros de control para determinar el número óptimo de camas:

Número de admisiones por día

Nivel de servicio

Nivel de ocupación

Pereira y Matos (17) y Nguyen et al. (18) consideran que el número óptimo de camas para pacientes internos puede ser definido siguiendo tres criterios:

Número de camas desocupadas (productividad)

Número de pacientes transferidos (seguridad)

Número de camas disponibles para admisiones sin agenda (accesibilidad)

La Tabla 2 presenta los factores contemplados de acuerdo con la literatura consultada, que impactan en el dimensionamiento de la cama hospitalaria.

Tabla 2. Factores que afectan el dimensionamiento de la cama hospitalaria

Factor	Explicación	Tipo variable	de Referencia
Tiempo anual	Tasas de infección y demanda de servicios son impactados por las variaciones temporales.	Estratégica	(19)
Ocupación cama	Los hospitales generalmente operan en altos niveles de ocupación, esto impactará en la demanda y la necesidad de futuras camas.	Estratégica	(19)
Listas de espera	Fluctuaciones en la demanda externa para camas o servicios afectan la necesidad del recurso localmente.	Estratégica	(19)
Tiempo de estadia (duración promedio de estancia).	Impacta la capacidad de las camas.	Estratégica	(20)
Nacimientos	Afectan la demanda de camas en los hospitales.	Estratégica	(20)
Muertes	Afectan la demanda de camas en los hospitales.	Estratégica	(20)
Migración	Afectan la demanda de camas en los hospitales.	Estratégica	(20)
Inmigración	Afectan la demanda de camas en los hospitales.	Estratégica	(20)
Talento humano en salud.	Es una causa del incremento de camas y atención de usuarios en el hospital.	Estratégica	(20)
Demandas de hospitalización.	Número de llegadas al hospital.	Estratégica	(6)
Ingresos \$\$\$	El sobredimensionamiento o subdimensionamiento de la capacidad de las camas afecta los ingresos percibidos.	Estratégica	(6)
Tipo de cama	UCI, Urgencias, Observación tienen diferentes tipos de camas, demanda y valor. Ocupada: cama no vacía. Lista para aceptar paciente: cama vacía y disponible. Fuera de servicio: cama con problemas. Reservada: reservada para paciente. Paciente en transición: paciente será transferido sin anuncio de destino. Cama liberada pronto.	Táctica	(19) (6)

Tabla 2. Factores que afectan el dimensionamiento de la cama hospitalaria (Continúa)

Factor	Explicación	Tipo de variable	Referencia
	Paciente en proceso de salida: cama liberada pronto.		
Capacidad de operación	de Las camas pueden ser útiles para un hospital en un determinado punto de tiempo, este es limitado por la capacidad del hospital para hacer cirugías, y por lo tanto para utilizar camas.	Táctica	(19)
Tamaño del hospital	Grande < 500 camas Promedio 200 < camas ≤ 500 Pequeño ≥ 200 camas	Táctica	(19, 20)
Tipo de hospital	Multisitio. Monositio. General. Universitario. General con características de universitario. Centros hospitalarios. Hospitales regionales.	Táctica	(20)
Habitaciones compartidas o solas, definidas por tipo de sexo.		Táctica	(6)
Aislamientos		Táctica	(6)
Competencias del personal en salud.		Táctica	(6)
Tipo de paciente.		Táctica	(6)
Entradas Aleatorias de pacientes.	Número de llegadas a emergencias.	Táctica	(6)

Fuente: elaboración propia.

Materiales y métodos

Un sistema es una colección de partes que interactúan entre sí para lograr un objetivo común, y que funcionan como un todo, y poseen propiedades que no están contenidas en sus partes individuales, denominadas propiedades emergentes. Un sistema es representado a través de un modelo, el cual es un esquema parcial de una realidad, con la cual se puede experimentar. Los modelos sirven como instrumento de análisis de posibles cambios que puedan sufrir un conjunto de componentes que interactúan.

Tres paradigmas de modelado dinámico pueden interferir en el proceso de identificación de la complejidad de un sistema de atención de salud: Simulación de Eventos Discretos (SED), Dinámica de Sistemas (DS) y Modelo basado en agentes (ABM). La principal diferencia en el



comportamiento de estos paradigmas de modelado dinámico es que los dos primeros (SED y DS) dependen de las reglas definidas en el mundo físico, y las entidades se modelan según estas reglas. En cuanto al ABM, la interacción entre entidades basadas en estas reglas definidas es el factor clave en el desarrollo del comportamiento del sistema (21), así es como muchos métodos como los indicadores, simulación de eventos discretos, simulación estocástica y modelos de líneas de espera han sido sugeridos para resolver el problema de la planeación de camas en la literatura (16).

Para modelar y analizar el sistema de salud, se utilizará una aproximación sistémica mediante el paradigma de simulación de DS, ya que tal y como explican los autores Borshchev y Filippov (22), la economía de la salud pertenece a un nivel alto de abstracción, es decir al nivel estratégico, es allí donde también se ubican la planeación de los recursos. Por otro lado, la metodología de dinámica de sistemas ofrece una perspectiva más amplia que la simulación de eventos discretos, y es más útil si se va a modelar sistemas complejos desde un punto de vista holístico, así como también modelar dinámicas cambiantes en el tiempo (9). Así mismo, el pensamiento sistémico considera las relaciones causa y efecto de las decisiones que afectan a un sistema, la no linealidad utilizando bucles de retroalimentación (o causales) y stocks y flujos (21), dicho de otra manera, se enfoca principalmente en las interacciones dinámicas y cambios en el tiempo, más que un simple estudio de la estructura estática. La naturaleza estocástica de los procesos, así como la complejidad en la interacción de los subsistemas hace que la simulación sea la herramienta idónea para analizar la organización (3).

De acuerdo con esto, la perspectiva sistémica, y más exactamente la simulación, es una técnica que permite crear modelos, apoyándose en programas informáticos, que posteriormente servirán para analizar el comportamiento de un sistema en diferentes circunstancias, y generar destrezas en un ambiente controlado, analizando los posibles cambios, consecuencias y políticas.

Desafortunadamente, aún son muchos los sectores productivos que no aprovechan las ventajas que esta herramienta metodológica ofrece para la toma de decisiones, como el ahorro de costes o la optimización de procesos (23, 24), por lo que se evidencian algunas barreras para evitar el uso de la simulación (3):

Consideran la simulación como un factor deshumanizante

La naturaleza de la simulación es altamente técnica

Los administradores en salud prefieren técnicas de toma de decisiones más simples y de alcance determinístico

A pesar de lo anterior, los acercamientos determinísticos pueden ser inadecuados porque no capturan la complejidad que caracteriza el sistema de salud y la dinámica del paciente. Típicamente, esta complejidad es capturada mediante modelos de simulación (25). No obstante,

se encuentran mayor cantidad de ventajas que desventajas, que favorecen la toma de decisiones desde todos los niveles de la organización.

La perspectiva sistémica para la construcción del modelo de comportamiento se puede establecer mediante los siguientes pasos del proceso de modelación (26), y tal como se observa en mayor detalle, en el Figura 1:

1. Preguntar ¿cuál es el problema? y conocer la historia de las variables clave involucradas en el proceso
2. Formular la hipótesis dinámica y graficar las variables en el tiempo para conocer su comportamiento
3. Formular el modelo de simulación
4. Probar y simular el modelo para compararlo con los referentes teóricos
5. Validar el modelo de simulación a través de herramientas de diseño experimental
6. Planear intervenciones al sistema, para generar políticas y evaluaciones.

Es importante recordar que el proceso de modelación es iterativo, y la metodología está enmarcada como un ciclo PHVA (planear, hacer, verificar, aplicar) (27), por esta razón el modelo continuamente debe ser evaluado con el fin de hallar su uso óptimo.

Entendiendo esto, la dinámica de sistemas es definida por Sterman (26) como: “[...] un método para mejorar el aprendizaje de los sistemas complejos”. El sistema de salud y la planeación de sus recursos clínicos son considerados sistemas complejos debido principalmente a sus procesos, dimensiones y a su dinámica (28). La metodología implica el desarrollo de diagramas causales y modelos de simulación orientados a evaluar la estrategia y las políticas de las instituciones, a través de escenarios sistemáticos respondiendo a preguntas de la forma “por qué” y “qué pasaría si”.

De acuerdo a todo lo anterior, se justifica la visión sistémica y holística desde el contexto de la investigación y la propuesta, debido a que la modelación en dinámica de sistemas ha sido aplicada en temas de salud poblacional desde 1970, por ejemplo, para el análisis de capacidad de los sistemas de salud basados en el crecimiento poblacional, también en planeación, cuidado dental o salud mental (29). El pensamiento sistémico busca entender la estructura de los eventos y sus causas, en vez de considerar cada uno de ellos de forma aislada, por lo tanto, al ser la oferta de camas hospitalarias y la demanda de los servicios de salud un sistema formado de partes interactuantes, el abordaje desde la perspectiva compleja es relevante. El crecimiento poblacional tiene cambios comportamentales en el tiempo, lo que afecta la cantidad y la demanda de camas hospitalarias. Estos cambios implican que el sistema es complejo y debe estudiarse con herramientas idóneas, por lo que una aproximación válida se puede realizar a través de la dinámica de sistemas (8).



La disponibilidad de camas es el factor clave que afecta al sistema de atención médica, ya que siempre debe estar disponible para atender las necesidades de los pacientes, especialmente en unidades de atención primaria como la UCI. Por otro lado, el exceso de capacidad significará una infrautilización de los recursos y costos adicionales de mantenimiento que no son una solución adecuada. Por lo tanto, los modelos de simulación deben desarrollarse y optimizarse para resolver estos problemas (21).

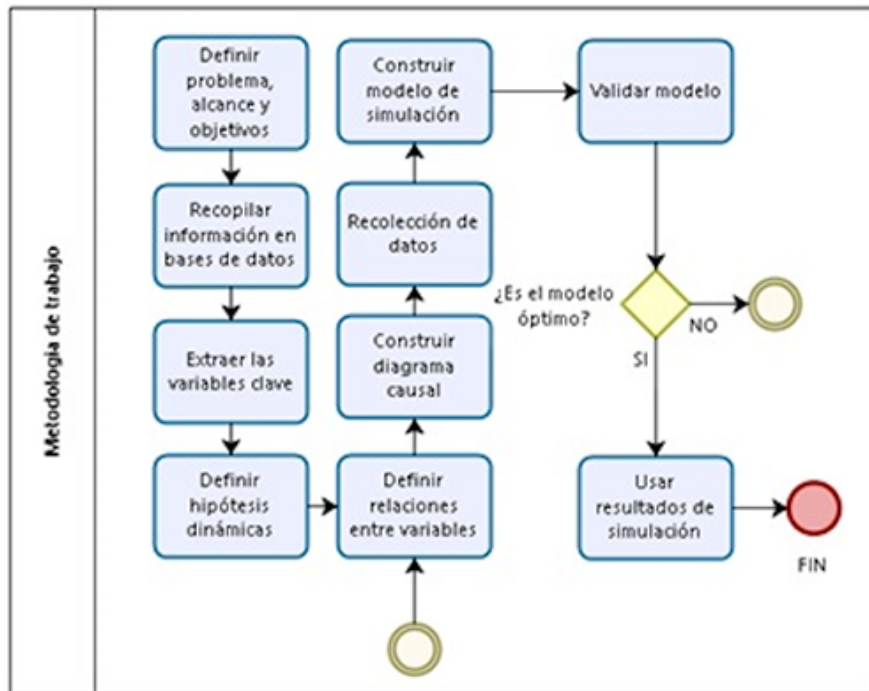


Figura 1. Metodología de trabajo

Fuente: elaboración propia.

Para definir los documentos de apoyo a las hipótesis de trabajo sobre el modelo de dimensionamiento de las camas hospitalarias, se realizó una búsqueda en bases de datos indexadas, tales como Scopus, Science Direct, Google Académico y ResearchGate, donde se obtuvo un aproximado de 32 documentos en idioma inglés.

Dichos documentos han sido verificados siguiendo la estructura de las palabras claves de cada documento, y agrupándolas, generando así el mapa de calor presentado en la Figura 2, donde se muestra que las palabras clave más recurrentes en los textos citados hacen referencia a: *bed* (cama), *dynamics* (dinámica), *management* (administración), *planning* (planeación), *optimization* (optimización), *capacity* (capacidad), *hospital* (hospital), *system* (sistema), etc.

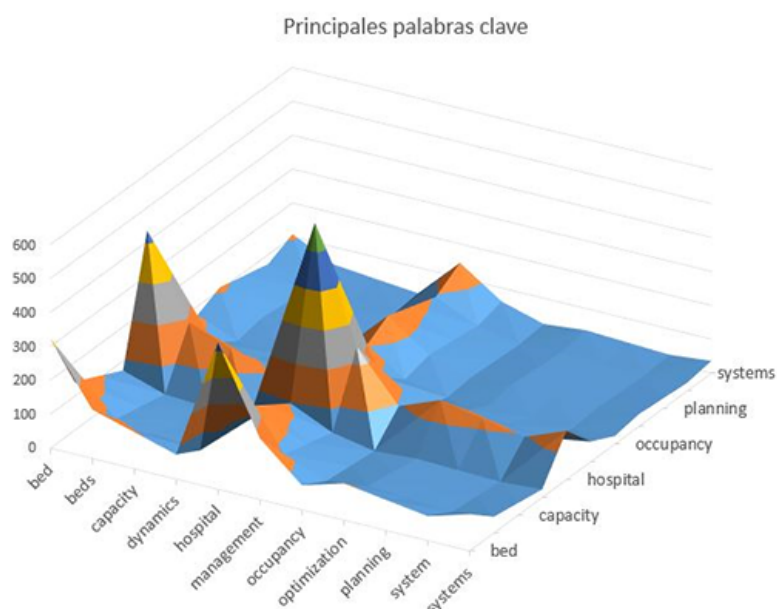


Figura 2. Mapa de calor de las palabras clave de la vigilancia tecnológica

Fuente: elaboración propia.

Se analizaron 5 indicadores hospitalarios recopilados a través de bases de datos en Microsoft Excel 2013, desde enero del 2004 hasta diciembre del 2018. La población analizada fue de 895 datos. El análisis estadístico descriptivo se realizó mediante la plataforma Statgraphics Centurion, finalmente, el estudio de la relación entre las variables halladas se determinó mediante la metodología de dinámica de sistemas, utilizando la plataforma Vensim PLE académico 6.4, logrando así plantear un modelo causal y de simulación.

Resultados

Con base en los textos consultados como referencia, se citan las relaciones encontradas para el modelamiento del sistema, principalmente diversos autores como Pandey et al. (31) consideran que si el componente poblacional de pacientes incrementa, las camas hospitalarias también incrementan para suplir la demanda, esta relación directamente proporcional se cumple para supuestos en economía de salud, ya que es necesario equilibrar la demanda con la oferta. Ahora, para incrementar las camas, se deben explorar variables como presupuesto, mano de obra, espacio e infraestructura hospitalaria.

Otra relación desde la causalidad del sistema está relacionada con la criticidad y la edad del paciente, que si está en edad avanzada y con un estado de salud más crítico, tendrá un tiempo de estancia más prolongado, impactando en los requerimientos de camas y en la inflación del costo en el hospital (30), y generando un aumento en el número de camas hospitalarias por persona, lo que incrementa las tasas de utilización (31).

Una vez la situación problema ha sido identificada, definida y caracterizada, así como también se han extraído de las distintas fuentes, las variables que afectan el sistema y se han definido algunas hipótesis importantes para tener en cuenta, se procede a clasificar dichos hallazgos para hacer uso en el modelo de simulación. En la Tabla 3 se clasifican las variables entre exógenas y endógenas, con el fin de estructurar el modelo y comprender sus límites. Así, el límite fundamental tiene que ver con evitar modelos globales de salud pública donde habrá variables de orden nacional a evitar. El modelo es para instituciones de salud vistas desde la singularidad.

Tabla 3. Límites del modelo para el estudio de las camas hospitalarias

Variables exógenas	Variables endógenas	Subsistemas excluidos
Tasa de ingreso pacientes	Población pacientes	Profesionales asistenciales
Número de días paciente	Demanda pacientes	Presupuesto
Número total de pacientes	Camas hospitalarias por persona	Infraestructura hospitalaria
Camas ocupadas	Camas hospitalarias requeridas	Criticidad paciente
Camas totales	Tasas de ocupación	Variables poblacionales

Fuente: elaboración propia.

Según Banu et al. (10), el administrador en salud y el sistema en general hacen uso de indicadores de utilización hospitalarios, con el fin de medir la gestión del mobiliario clínico y hospitalario, principalmente se citan 4 fundamentales:

Promedio de estancia

Tasa de rotación de camas

Intervalo de rotación de camas

Tasa de ocupación de camas

Este último indicador muestra la utilización actual de la cama en una unidad de salud en un periodo de tiempo definido, siendo entonces, la medida más usada para medir la capacidad hospitalaria y es entendida como “uso de camas-día” como una función de las camas disponibles,

esta medida se estima entre en el rango de 75% y 85% (15). En muchos aspectos es un indicador base para la formulación del modelo dinámico, al igual que el tiempo promedio de estancia.

La tasa de ocupación de camas estará entonces como la relación entre el número de camas ocupadas y el número total de camas, así mismo puede ser definida también como la relación de camas-días usadas y las camas-días disponibles (16, 10, 15).

Los autores Farmer y Emami (32) expresan el promedio de estancia como la relación entre el número total de días gastados en el hospital por cada paciente y el número total de pacientes, siendo su valor una medida dimensional igual a días.

El número de camas requeridas es, entonces, una función de los indicadores antes mencionados, añadiendo el efecto de la demanda de los pacientes que requieren el servicio, tal como se observa en la Ecuación 1:

$$\text{Camas hospitalarias requeridas} = f(\text{demanda}, \text{promedio tiempo estancia}, \text{tasa de ocupación})$$

Por lo tanto, Pinto et al. (7) consideran que una relación estimada para la planeación anual del número de camas es definida como la demanda al año de pacientes, multiplicada por el promedio de días de estancia entre 365 días al año, por la tasa de ocupación requerida, pero Kokangul (16) y Nguyen et al. (18) consideran enfoques diarios y mensuales, esto se expresa a través de la Ecuación 2:

$$\text{Número de camas requeridas} = \frac{\text{tiempo de estancia} * \text{número de pacientes}}{\text{número de días}}$$

Finalmente, el concepto integrador planteado como diagrama causa-efecto para la planeación y dimensionamiento de las camas hospitalarias puede verse en la figura 3. Allí se encuentran representadas las hipótesis y variables más importantes tenidas en cuenta en el desarrollo del modelo, que integra la función de las camas hospitalarias requeridas y los indicadores hospitalarios más relevantes en la literatura.

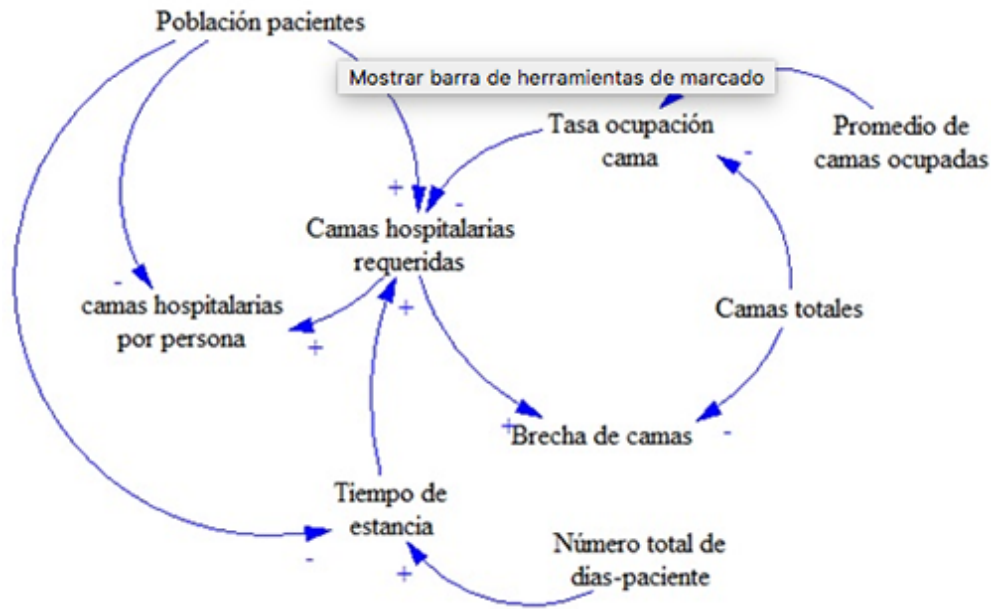


Figura 3. Diagrama causal de la planeación de camas hospitalarias

Fuente: elaboración propia.

A partir del modelo sistémico propuesto en la Figura 3, se realiza la simulación para estimar la demanda potencial mensual de camas hospitalarias, esto se logra para dos propósitos fundamentales: conocer las variaciones en el número de camas, ya que este componente guarda relación con la capacidad de los servicios de salud del hospital, y el desarrollo y elaboración del presupuesto.

La Tabla 4 presenta las variaciones mensuales del número de camas requeridas y el cálculo de la brecha de las mismas para suplir la demanda de pacientes que ingresan al servicio.

Tabla 4. Resultados de la simulación del número de camas requeridas

Tiempo (meses)	Camas hospitalarias requeridas	Brecha de camas
0	197,34	15,57
1	198,94	15,7
2	200,54	15,83
3	202,16	15,95
4	203,8	16,08
5	205,45	16,21
6	207,11	16,34
7	208,78	16,48
8	210,47	16,61
9	212,17	16,74
10	213,88	16,88
11	215,61	17,02
12	217,35	17,15

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la simulación indican que, para un horizonte temporal de 12 meses, se debe proyectar el recurso hospitalario en un 8,5% y 9,4%, lo que significa entre 15 a 17 camas adicionales, para igualar la oferta de camas hospitalarias con la demanda de la institución.

A través de la Figura 4 se pueden ver los comportamientos crecientes y tendenciales respecto a el número de camas hospitalarias. El lado derecho presenta la serie temporal y cuál ha sido la evolución real desde el año 2004 hasta el año 2018 del número de camas, la tendencia lineal creciente presenta un coeficiente de determinación de 83,01% de ajuste con los datos reales del sistema. El lado izquierdo representa, del mismo modo, una tendencia lineal creciente del número de camas requeridas, obtenido mediante la simulación. Esto es indicativo de que los datos estudiados y los datos simulados muestran una relación válida dentro del análisis.



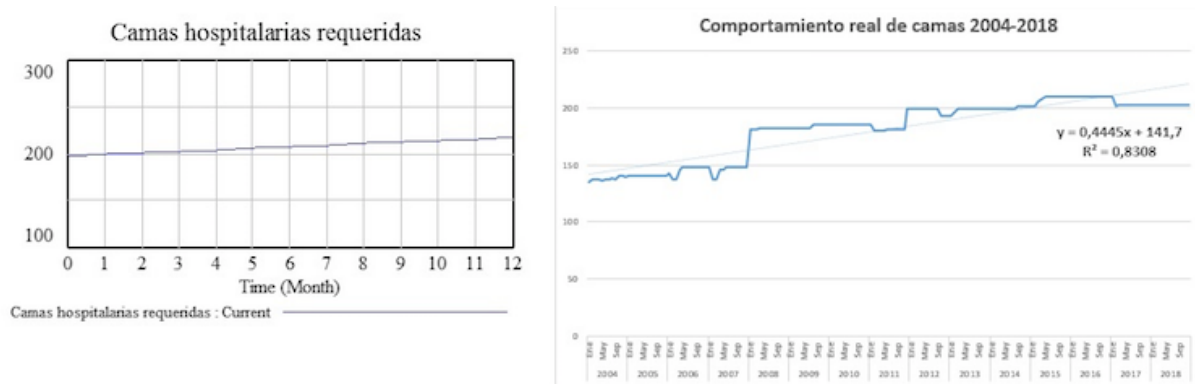


Figura 4. Comportamiento del número de camas real 2004-2018 vs. comportamiento simulado del número de camas requeridas

Fuente: elaboración propia.

Discusiones y conclusiones

El modelo de simulación presentado considera las variables promedio de camas ocupadas y número total de días-pacientes como aquellas que inician el proceso de simulación. Estas variables, de gran importancia en el sistema construido, explican el incremento de camas. Eso significa que sobre este par de variables se debe realizar una gestión rigurosa. Un ejemplo sobre esta gestión indica que existen soluciones alternas cuando se considera el dimensionamiento de la cama hospitalaria, y eso quiere decir que si el número total de días-pacientes se disminuye, el número de camas requeridas tiende a disminuir, o si existe un mayor giro cama, el número de camas hospitalarias requeridas igualmente disminuirá.

El sector salud, como cualquier otro de tipo productivo, está en constante cambio y evolución, y resulta ser una de las áreas con menor intervención en métodos de trabajo productivo, administrativo e ingenieril. Sin embargo, en los últimos años ha habido un mayor auge y apertura a metodologías de mejoramiento continuo en salud.

La simulación de sistemas y la modelación ha permitido mejorar significativamente el campo de la administración en salud, al ayudar a los encargados, gerentes y tomadores de decisiones a encontrar soluciones óptimas, que consideran la incertidumbre y las relaciones sistémicas de las estructuras a las que se enfrentan diariamente.

Si bien la dinámica de sistemas y la simulación no solucionarán los problemas que enfrenta diariamente una institución de salud de alta complejidad, estas herramientas serán de gran ayuda si se aplican de manera correcta, porque permitirán a la organización pasar del pensamiento a la acción, buscando ser más proactiva, menos reactiva y difundir el cambio de estrategia rápidamente de ser necesario, por lo que se constituyen en un importante método de gestión administrativa y organizacional.

Debido a todo lo antes mencionado, el principal y más significativo aporte entregado a las áreas de salud ha sido generar una estrategia metodológica para mejorar y optimizar sus procesos de planeación en salud.

Referencias

1. Grida M, Zeid M. A system dynamics-based model to implement the Theory of Constraints in a healthcare system. *Simulation* [Internet]. 2019;95(7):1-13. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0037549718788953>
2. Oliveira S, Portela F, Santos M, Machado J, Abelha A. Predictive models for hospital bed management using data mining techniques [Internet]. En: Rocha Á, Correia A, Tan F, Stroetmann K, editores. *New Perspectives in Information Systems and Technologies, Volumen 2. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Berlín: Springer; 2014. p. 407-416.
3. Lowery J. Introduction to simulation in health care. En: Charnes J, editor. *Actas de la Winter Simulation Conference*; 1996 dic. 8-11; Coronado (California). Nueva York: Association for Computing Machinery; 1996. p. 78-84.
4. de Souza MC, Souza TA, Vaccaro GLR. Hospital bed management: An analysis from the perspective of the theory of constraints. *Espacios* [Internet]. 2016;37(30):3. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n30/16373003.html>
5. Ben-Bachouch R, Guinet A, Hajri-Gabouj S. An integer linear model for hospital bed planning. *Int J Prod Econ*. 2012;140(2):833-843. Disponible en: <http://www.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.07.023>
6. Abedian S, Kazemi H, Riazi H, Bitaraf E. Cross Hospital Bed Management System. *Stud Health Technol Inform*. 2014;205(agosto):126-130.
7. Pinto L, Cardoso F, Oliva I, Neves Y. Analysis of hospital bed capacity via queuing theory and simulation. En: Tolk A, Diallo SY, Ryzhov IO, Yilmaz L, Buckley S, Miller JA, editores. *Actas de la Winter Simulation Conference*; 2014 dic. 7-10; Savannah (Georgia). Piscataway (Nueva Jersey): IEEE Press. p. 2919-2930.
8. German JD, Mina JKP, Alfonso CMN, Yang K-H. A Study on Shortage of Hospital Beds in the Philippines Using System Dynamics. En: Chan F, editor. *Actas de la International Conference on Industrial Engineering and Applications (Icica)*; 2018 abr. 26-28; Singapur (Singapur). Piscataway (Nueva Jersey): IEEE Press. p. 72-78.
9. Rashwan W, Abo-Hamad W, Arisha A. A system dynamics view of the acute bed blockage problem in the Irish healthcare system. *Eur J Oper Res*. 2015;247(1):276-293. <http://www.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.043>
10. Banu N, Ashok L, Malarout N, Chouhan Z. Study of Bed Allocation and Utilisation in a Tertiary Care Teaching Hospital in South India. *Indian J public Heal Res Dev*. 2018;9(agosto):143-148.



11. Shaikh ZM. A comparative study on the number of Hospitals and Hospital Beds in the Kingdom of Saudi Arabia A comparative study on the number of Hospitals and Hospital Beds in the Kingdom of Saudi Arabia. *Res Rev Journals*. 2018;3(7):29-32.
12. Indexmundi. Colombia: Camas de hospital por habitante [Internet]. 2017 [revisión 2018 oct. 16]. Disponible en: https://www.indexmundi.com/es/colombia/camas_de_hospital_por_habitante.html
13. Gobierno de Colombia. Camas Hospitalarias en Colombia [Internet]. 2017 [revisión 2018 oct. 16]. Disponible en: <https://www.datos.gov.co/Salud-y-Proteccion-Social/Camas-Hospitalarias-en-Colombia-2017/a5mf-3v9a>
14. Banco Mundial. Camas hospitalarias (por cada 1000 personas) [Internet]. 2018 [revisión 2018 oct. 16]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SH.MED.BEDS.ZS?view=chart>
15. Department of Health and Children Government of Ireland. Acute Hospital Bed Capacity: A National Review [Internet]. 2002. Disponible en: http://www.dohc.ie/publications/acute_hospital_bed_capacity.html
16. Kokangul A. A combination of deterministic and stochastic approaches to optimize bed capacity in a hospital unit. *Comput Methods Programs Biomed*. 2008;90(1):56-65.
17. Pereira P, Matos J. Modeling decisions for hospital bed management, A Review. *Proc Int Conf Heal Informatics* [Internet]. 2011;1:504-507. Disponible en: <http://www.scitepress.org/DigitalLibrary/Link.aspx?doi=10.5220/0003135005040507>
18. Nguyen JM, Six P, Antonioli D, Glemain P, Potel G, Lombrail P, et al. A simple method to optimize hospital beds capacity. *Int J Med Inform*. 2005;74(1):39-49.
19. Page K, Barnett AG, Graves N. What is a hospital bed day worth? A contingent valuation study of hospital Chief Executive Officers. *BMC Health Serv Res*. 2017;17(1):1-8.
20. Gossart D, Meskens N, Guinet A. Strategic and tactical hospital bed management in Belgium and in France. *Adv Inf Commun Technol* [Internet]. 2010;336(octubre):243-250. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-15961-9>
21. Oueida S, Char PA, Kadry S, Ionescu S. Simulation Models for Enhancing the Health Care Systems. *Faima Bus Manag J*. 2016;4(4):5-20. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=121321531&site=ehost-live>
22. Borshchev A, Filippov A. From System Dynamics and discrete event to practical Agent Based Modelling: reasons, techniques, tools. En: *Actas de La 22nd International Conference of the System Dynamics Society*; 2004 jul. 25-29; Oxford (Inglaterra). Oxford (Inglaterra): System Dynamics Society; 2004. p. 23.
23. Viveros L, Chew M. Entrenamiento para toma de decisiones por medio de simulación y casos de estudio. *Rev Int la Educ en Ing*. 2013;6(1):1-7.
24. Uribe JA, Quintero S. Aplicación de los modelos de simulación en entornos productivos bajo la metodología de teoría de las restricciones. *Rev CEA*. 2017;3(6):22.
25. Holm LB, Lurås H, Dahl FA. Improving hospital bed utilisation through simulation and optimisation. With application to a 40% increase in patient volume in a Norwegian general hospital. *Int J Med Inform* [Internet]. 2013;82(2):80-89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2012.05.006>

26. Sterman JD. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Nueva York: McGraw-Hill; 2000. 1008 p.
27. Fernández J. Fundamentos básicos de simulación industrial. Medellín: UPB; 2012. 172 p.
28. Trellevik LK. Planning for an elderly boom; A System Dynamics Approach to strategic healthcare planning in Bergen, Norway. Bergen: Universidad de Bergen; 2008.
29. Homer JB, Hirsch GB. System dynamics modeling for public health: Background and opportunities. *Am J Public Health*. 2006;96(3):452-458.
30. Pendergast JF, Vogel WB. A multistage model of hospital bed requirements. *Health Serv Res* [Internet]. 1988;23(3):381-399. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1065511&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
31. Pandey AN, Singh BR, Talwar CY, Srinivasan DK. Figuring And Forecasting Of Hospital Beds For Patient Population Arriving At Health Care Institute : Illustrating Roemer's Law. En: 19th International Conference on Health Informatics and Health Information Management; 2017 sept. 7-8; Tokio (Japón). Tokio: Ifhima; 2017. p. 5.
32. Farmer RDT, Emami J. Models for forecasting hospital bed requirements in the acute sector. *J Epidemiol Community Health*. 1990;44(4):307-312.

Notas

- * Artículo de investigación

