

Assignment of Patients to ICU Beds in Health Emergency Situations through Mathematical Programming

Betania Echagüe, Sannie Román

Estudiantes de Ingeniería en Sistemas de Producción
Facultad Politécnica – Universidad Nacional de Asunción
Asunción, Paraguay

betaniaechague@fpuna.edu.py, sannie_roman@fpuna.edu.py

María M. López, Jorge L. Recalde-Ramírez

Grupo de Investigación de Operaciones e Inteligencia Artificial (GIOIA)
Facultad Politécnica – Universidad Nacional de Asunción
Asunción, Paraguay

mlopez@pol.una.py, jrecalde@pol.una.py

Abstract

Interhospital transfers of patients arise when there is a large volume of patients, and the reference hospital does not have an available bed to care for them. The network of hospitals in the Metropolitan Area of Asunción (AMA) from Paraguay include 14 referral hospitals with intensive care services for adults, whose utilization rate is generally high. This research aims to program the efficient assignment of patients to ICU beds (Intensive Care Unit) in health centers according to their priority of care and the level of congestion in a network of hospitals and considering as a case study a period of time during the Covid-19 pandemic. We developed a research framework based on the transport model to reduce the therapy service's saturation. For the computational programming of the model, we will use the Gurobi 8.1.1 optimization software with the Python programming language. Through these resources, it is expected to have an analysis of the current situation and one or several optimal solutions to support decision-making for efficiently allocating patients to ICU beds in the AMA from Paraguay.

Keywords

Mathematical programming, ICU beds, Saturation, Network of hospitals.

1. Introducción

En los hospitales el conjunto de recursos materiales, tecnológicos, humanos y financieros asignados para la disponibilidad de un servicio de terapia intensiva suelen ser escasos y costosos.

En un centro asistencial los pacientes que van ingresando pueden requerir el uso de estos recursos debido a eventos epidémicos pronosticables, como por ejemplo en las temporadas de dengue, influenza, etc., o no pronosticables como la reciente pandemia del COVID-19 o los accidentes de tránsito.

Un problema que ha tomado mayor notoriedad a nivel mundial y nacional durante la pandemia de COVID-19 es la escasez de recursos en los hospitales para la atención a pacientes con este problema de salud, debido al aumento de la demanda en ciertos periodos como por ejemplo son las camas, medicamentos, enfermeros, médicos, etc.

Además, otro tema muy sensible es la congestión de los hospitales, y sobre todo el orden de prioridad que tendrán los pacientes que van quedando en lista de espera para acceder a una cama de internación, o bien, para ser derivados a otros hospitales con capacidad disponible.

En este sentido, se pueden utilizar herramientas cuantitativas que permitan apoyar la toma de decisiones para la programación de esta asignación de pacientes que quedan en lista de espera, para la utilización de camas UTI.

Dicha asignación podría ser a centros de atención a la salud con capacidad disponible, considerando la prioridad que tienen por el estado actual de salud del paciente, y también el nivel de congestión de los demás hospitales en su conjunto.

Se pretende de esta manera, abordar el problema de la congestión, planteando la descompresión de las líneas de espera mediante la asignación de pacientes entre hospitales, proponiendo una comunicación fluida y organizada, y sin intervenir con llegadas inesperadas de pacientes por asignaciones no colaborativas.

La programación matemática puede ser una herramienta útil para representar este problema en particular a través de un modelo lineal, considerando restricciones como el número de camas disponibles por hospital, la distancia entre hospitales, el nivel de prioridad de atención de los pacientes, y objetivos como el de minimizar la distancia recorrida, maximizar el uso de camas de un hospital, minimizar el tiempo de trabajo del personal de salud en los hospitales congestionados, minimizar el costo de tratamiento de pacientes en los hospitales, entre otros.

Se espera obtener una programación de la asignación efectiva de pacientes, en este caso con COVID-19, que se encuentran en lista de espera para ser atendidos en los hospitales de referencia del Área Metropolitana de Asunción, Paraguay, teniendo en cuenta los niveles de congestión de los demás hospitales, la prioridad de atención de los pacientes y otras restricciones relativas al problema.

1.1 Objetivos

Objetivo general

Programar la asignación eficiente de pacientes a camas UTI en centros de salud conforme a su prioridad de atención y el nivel de congestión de una red de hospitales.

Objetivos específicos

1. Describir la forma actual de asignación de pacientes a camas UTI en hospitales dentro del Área Metropolitana de Asunción.
2. Determinar los parámetros relevantes relacionados a la programación de la asignación de pacientes con COVID-19 como caso de estudio.
3. Diseñar un modelo matemático para programar la asignación de pacientes que represente el caso de estudio.
4. Programar el modelo matemático con un lenguaje de programación para su resolución computacional.

2. Revisión de la literatura

Numerosas investigaciones han indagado sobre cuál es la forma más eficiente de trasladar pacientes entre hospitales utilizando modelos matemáticos, con el objetivo de disminuir el nivel de congestión y considerando varios factores relevantes que intervienen en este proceso.

En dos trabajos utilizaron modelos de optimización matemática con el objetivo de reducir la saturación de los sistemas de salud, en Hill (2005), buscaron evaluar la viabilidad de los traslados interhospitalarios de pacientes y Nezamoddino & Khasawneh (2016) mediante el diseño de redes capacitadas buscaron modelos de traslado interhospitalario e investigaron los efectos en los pacientes durante el tiempo de espera y sus costes asociados. El país de estudio de ambos trabajos fue Estados Unidos.

Para Colombia, Roa Patiño (2016), plantea un modelo para la minimización del tiempo de traslado interhospitalario terrestre en una red hospitalaria pública por medio de la asignación de rutas a recorrer bajo el concepto de ruta más corta.

Cortés et al., (2018), buscó demostrar que la selección del hospital de destino afecta de manera significativa en el tiempo de atención pre-hospitalaria (que comprende desde el momento que ingresa la llamada hasta que la ambulancia queda nuevamente disponible).

Acerca de aplicaciones de modelos matemáticos para la gestión de la capacidad en hospitales, el trabajo de Martínez (2016), buscó conocer la capacidad óptima de camas instaladas analizando, empleando y realizando cálculos de teoría de colas, obteniendo resultados muy significativos. Albán et al. (2020), aplica un modelo de simulación de procesos

estocásticos para apoyar las decisiones de la expansión de la capacidad de la Unidad de Terapia Intensiva (UTI) para el número de pacientes con COVID-19 y sin COVID-19 que pueden ser atendidos en una capacidad dada. Los límites de capacidad, la permanencia y la variación de llegadas de pacientes determinaron quienes pueden ser admitidos y el grado de necesidad de realizar un traslado.

Otros trabajos, expresan las implicancias del traslado interhospitalario e intrahospitalario de pacientes. Kulshrestha & Sing (2016), mencionan que el objetivo principal del traslado es mantener la atención médica constante, y que realizar un traslado implica asumir algunos riesgos (que pueden provocar alteraciones en los pacientes) pero puede realizarse con éxito al tomar la decisión de transferir teniendo el método más eficiente y una comunicación correcta. También Sethi & Subramanian (2014), plantean que el traslado debe guiarse con la política de “Estabilizar y Cambiar”, de esta manera el traslado se puede realizar sin inconvenientes. Como se puede observar, existen diversas técnicas que se pueden emplear para la resolución de los planteamientos.

3. Métodos

El trabajo primeramente describe la situación actual del sistema de asignación de pacientes a camas UTI en hospitales dentro del Área Metropolitana de Asunción. Seguidamente se determinan los parámetros relevantes relacionados a la programación de la asignación de pacientes con COVID-19 a camas UTI de hospitales como caso de estudio. Considerando el problema planteado se definirán las variables de decisión para finalmente presentar una propuesta de asignación eficiente mediante un modelo matemático basado en programación lineal.

La metodología incluye la revisión bibliográfica para exponer el marco teórico, conceptual, legal y referencial del trabajo. Luego, se desarrollan las fases para llevar a cabo un estudio de Investigación de Operaciones (IO): la definición del problema de interés, la construcción de un modelo matemático que represente la esencia del problema y la programación computacional y la resolución del modelo.

3.1 Metodología para el modelamiento matemático

La formulación del modelo matemático incluye el desarrollo de un modelo conceptual, un modelo exhaustivo y un modelo general que representen el problema, a través de la definición de variables de decisión, parámetros o datos conocidos, una o varias Funciones Objetivo, y restricciones.

Para la recolección de datos se recopila información de fuentes primarias vía solicitud al Servicio de Emergencia Médicas Extrahospitalaria (SEME) y a los encargados de la recolección de datos estadísticos de establecimientos o de dependencias, como la Dirección General de Vigilancia de la Salud (DGVVS), del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPyBS), así como también toda la información de la página web del mismo referente a los pacientes hospitalizados con Covid-19 en camas UTI. Además, se utilizan fuentes secundarias, como documentos referentes al proceso de ocupación de camas UTI y características de los pacientes.

Los datos recolectados se emplean para describir las operaciones de recepción y asignación de pacientes en los hospitales.

Algunos ejemplos de posibles parámetros para el modelo matemático son los niveles de congestión de los establecimientos, los criterios de prioridad de atención, la cantidad de camas UTI disponibles en los hospitales, las distancias entre hospitales, los recursos requeridos para atender a cada paciente (recursos materiales, humanos, tecnológicos), los recursos disponibles en cada hospital, entre otros.

Por otro lado, las variables de decisión deben ser definidas conforme al o los objetivos que se establezcan para la programación de la asignación, que podrían ser la reducción de los tiempos de traslado, la reducción del nivel de congestión de los hospitales, la reducción de los tiempos de espera de los pacientes, el aumento del nivel de servicio de los hospitales.

Para la programación computacional del modelo, se empleará el software de optimización Gurobi 8.1.1, el lenguaje de programación Python 3.8 y el entorno Spyder de Anaconda. A través de estos recursos se obtendrán una o varias soluciones óptimas para el problema. A continuación, se realizará la prueba del modelo y se planteará mejoras de acuerdo con las necesidades. Los dos últimos pasos de un estudio de IO, la preparación para la aplicación y la implementación, estarán fuera del alcance de este trabajo.

Los resultados obtenidos serán resumidos a través de tablas y gráficos que permitan apreciar mejor las soluciones del modelo matemático programado.

4. Recopilación de datos

Se recabaron estadísticas oficiales del gobierno, reportes y datos disponibles en la página web del MSPyBS referente a los pacientes con COVID-19 hospitalizados en camas UTI. Además, se obtuvieron datos acudiendo a los hospitales referenciales con entrevistas y videoconferencias a los médicos jefes de las unidades de terapia intensiva durante la pandemia del COVID-19.

Los datos recolectados se emplearon para describir las operaciones de recepción y asignación de pacientes en los hospitales, niveles de congestión por periodos, tipos de prioridad para la asignación, porcentaje de pacientes aceptados o asignados en los establecimientos, entre otros.

A la vez, los datos, permitieron definir los valores de los parámetros del modelo matemático para programar la asignación de pacientes a camas UTI, como los niveles de congestión de los establecimientos, los tipos de prioridades, la cantidad de lugares disponibles en los hospitales, las distancias entre hospitales, los recursos requeridos para atender a cada paciente (recursos materiales, humanos, tecnológicos), los recursos disponibles en cada hospital, entre otros.

5. Resultados y discusión

El resultado principal de esta investigación será un modelo matemático que permita programar la asignación de pacientes conforme al caso de estudio, considerando los criterios de prioridad del paciente y el nivel de congestión de la red de hospitales.

Posteriormente, se espera obtener las soluciones al modelo matemático utilizando un lenguaje de programación computacional y un software de optimización.

5.1 Resultados numéricos

A continuación, se describe la situación actual en cuanto a disponibilidad de recursos y la forma de asignación de pacientes a camas UTI en hospitales dentro del Área Metropolitana de Asunción, Paraguay.

Cantidad de hospitales de referencia

En la Tabla 1 se listan los hospitales de referencia para pacientes con COVID-19 en el Área Metropolitana de Asunción.

Tabla 1. Listado de Hospitales de referencia.

N.º	Hospital de referencia	Cantidad de camas UTI
1	Hospital Nacional de Itauguá	106
2	Centro Cardiológico San Jorge	12
3	INERAM	43
4	Hospital del Trauma	24
5	Hospital General de Luque	21
6	Instituto de Medicina Tropical	8
7	Hospital General de San Lorenzo	10
8	Hospital de Clínicas	33
9	Hospital General de Lambaré	11
10	Hospital de Villa Elisa	8
11	Hospital San Pablo	12
12	Hospital IPS Ingavi	52
	Total	340

Nivel de Ocupación de Camas en UTI

En la Figura 1 se puede observar como en los meses de abril, mayo y junio del año 2021 la cantidad de camas ocupadas en UTI fue superior con respecto a los otros meses del año en las zonas seleccionadas. Es por esta demanda elevada que ocurre en el segundo trimestre del año 2021 que se toma como periodo de estudio los meses mencionados.

En la Tabla 2 se muestra la Aplicación de la escala SOFA* y otros criterios para asignar camas de UTI.

Criterios de prioridad de atención en UTI

*La Escala SOFA estima la probabilidad de sobrevida de una persona ante una condición grave que requiera de ingreso a UTI. Mientras menor es el puntaje, mayor es la probabilidad de sobrevida/egreso vivo de UTI (menor riesgo de mortalidad).

**La escala permite asignar puntaje de 1 a 4 a cada uno de los tres objetivos, con un máximo de 12 puntos. Se sugiere que las personas con el puntaje más bajo tengan la mayor prioridad de ingreso a UCI, pues tienen mayores probabilidades de sobrevivir.

***Se excluyen los menores de 18 años por ser una población que necesitaría otros criterios, personal con entrenamiento específico y equipamiento apropiado a UCI pediátrica.

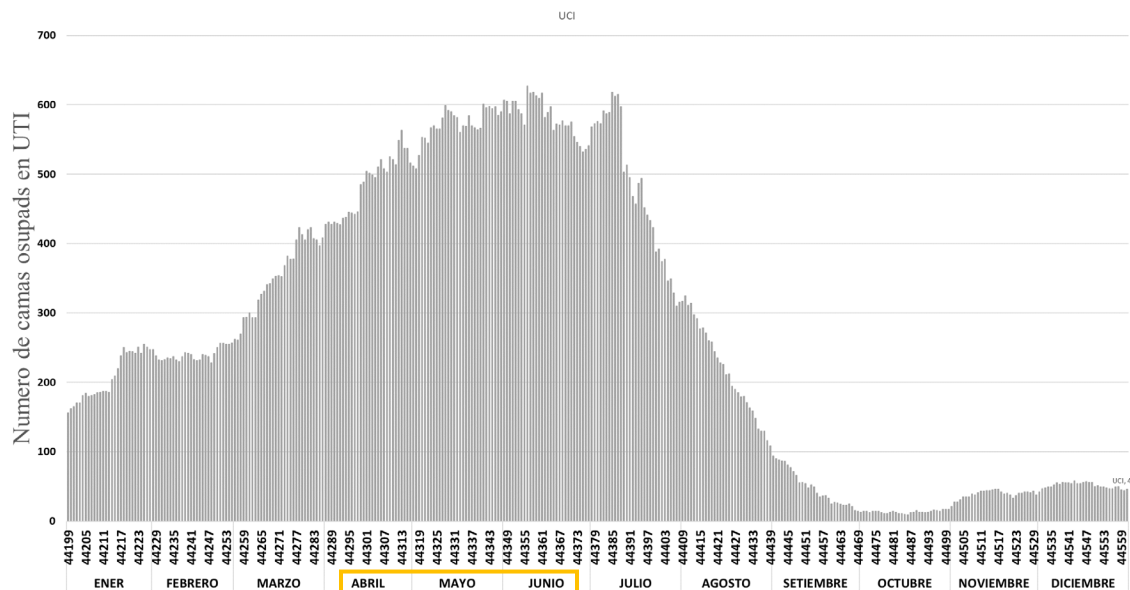


Figura 1. Camas ocupadas en UTI en el año 2021.

Tabla 2. Criterios para la asignación de camas UTI.

Aplicación de la escala SOFA* y otros criterios para asignar camas de UTI

OBJETIVOS	DEFINICIÓN	ESCALA DE PUNTAJE **			
		1	2	3	4
SALVAR LA MAYOR	Pronóstico de sobrevida hospitalaria (Escala SOFA u otra) *	SOFA <6	SOFA 6-9	SOFA 10-12	SOFA >12

CANTIDAD DE VIDAS POSIBLE	Criterios de ingreso en UCI ATS/IDSA	Necesidad de ventilación mecánica	Criterios menores =3	Criterios menores >3	Criterios menores >4
		o Shock con necesidad de vasopresores que no revierte después de 12 horas de tratamiento.			
	Tiempo de espera para su ingreso a UTI	Mas de 3 guardias o embarazadas.	3 guardias.	2 guardias.	1 guardia.
MAXIMIZAR EXPECTATIVAS EN AÑOS Y CALIDAD DE VIDA	Pronóstico de sobrevida a largo plazo (opinión de Especialistas y Medicina Física y Rehabilitación) **	Sin Comorbilidades que limiten la sobrevida a largo plazo	Comorbilidades o secuelas menores con poco impacto en la sobrevida a largo plazo	Comorbilidades mayores con impacto sustancial en la sobrevida a largo plazo	Comorbilidades o secuelas muy graves. Expectativa vital <1 año.
	Nivel de Autonomía	Independiente	Dependencia Moderada	Dependencia Severa	Gran dependencia
MAXIMIZAR EXPECTATIVA DE CUMPLIR MÁS CICLOS VITALES	Priorizar a quienes han tenido las menores oportunidades de vivir a lo largo de todos los ciclos vitales (edad)	18 - 40 años***	41 - 60 años	61 - 75 años	> 75 años

5.2 Resultados gráficos

Protocolo para la derivación del paciente que requiere cama de UTI en el sistema de salud pública.

El protocolo descrito a continuación se representa en el flujograma de la Figura 2, de elaboración propia.

Primeramente, el médico a cargo del paciente (médico solicitante) se comunica con el Centro Regulador del SEME y solicita la transferencia llamando al 141. Los datos del paciente que deberán ser comunicados al Centro Regulador del SEME son: nombre y apellido, edad, sexo, nacionalidad, cédula de identidad, verificar si cuenta con seguro social, diagnóstico médico, datos de laboratorios, antecedentes y los criterios de necesidad de UTI.

El médico regulador del SEME, al recibir y completar el formulario con todos los datos del paciente, analiza el caso y según su experiencia realiza la búsqueda de camas UTI disponibles presentando el caso a los jefes de terapia de cada hospital de la Red Pública vía llamada telefónica.

El jefe de terapia de cada hospital es quien toma la decisión de admitir o no al paciente en cuestión teniendo en cuenta el estado de salud y si el paciente tendría algún beneficio al ingresar a una cama UTI. Si acepta, el SEME es responsable del traslado hasta el hospital de destino.

Si no hay disponibilidad en la red pública, el SEME coordina el traslado al Servicio Privado con la Dirección de Terapia y Urgencias Hospitalarias (TESUH) - Sistema Integrado de Urgencias y Emergencias (SINUE), y da aviso al médico regulador del SEME, en caso de ser admitido y se coordina el traslado.

En el caso de que no se encuentren camas disponibles en el sector privado, el centro regulador del SEME realiza un reporte de camas de terapias públicas y privadas a la autoridad judicial quedando a su disposición.

Una vez que el SEME comunica la disponibilidad y la autoridad judicial ordena la internación del paciente en una terapia privada, entonces se coordina el traslado del paciente y se notifica al TESUH para las auditorías médicas correspondientes.

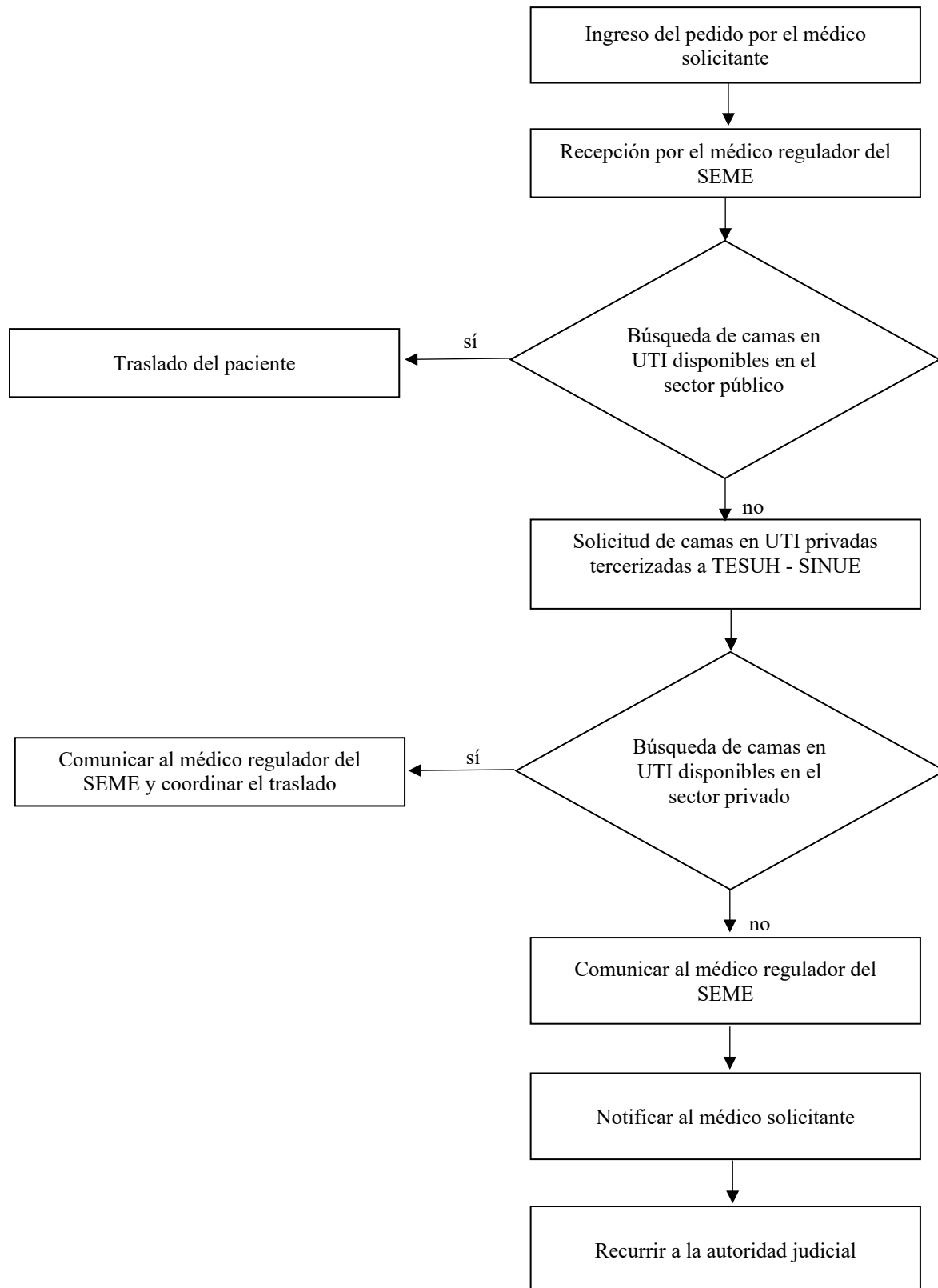


Figura 2. Flujograma del protocolo de derivación del paciente a una cama UTI disponible.

6. Conclusión y trabajos en proceso

Actualmente, el proceso de asignación de camas UTI en hospitales dentro del Área Metropolitana de Asunción se realiza de acuerdo con el Protocolo para la derivación del paciente que requiere cama de UTI en el sistema de salud pública que se logró describir y graficar en este trabajo.

Analizando los datos proveídos por las diferentes instituciones se determinaron los parámetros relevantes en la programación de la asignación de pacientes con Covid-19 como son la capacidad o cantidad de camas UTI disponibles en los hospitales de referencia, el nivel de ocupación de las camas, los criterios de prioridad de atención, el tiempo de estabilización y traslado del paciente, y la cantidad de solicitudes camas UTI.

Por lo tanto, se encuentra en proceso alcanzar el tercer y cuarto objetivo del trabajo de investigación, que consisten en diseñar un modelo matemático para programar la asignación de pacientes que represente el caso de estudio, y luego programarlo con un lenguaje de programación para su resolución computacional.

Se espera obtener una programación de la asignación efectiva de pacientes, en este caso con COVID-19, que se encuentran en lista de espera para ser atendidos en los hospitales de referencia del Área Metropolitana de Asunción, Paraguay, teniendo en cuenta los niveles de congestión de los demás hospitales, la prioridad de atención de los pacientes y otras restricciones relativas al problema. Para la programación computacional del modelo, se empleará el software de optimización Gurobi 8.1.1 con el lenguaje de programación Python.

Referencias

- Acero, R., Reducción de la congestión en la sala de urgencias de un hospital en la ciudad de Bogotá, *Proyecto de grado*, Bogotá, Colombia, junio, 2012.
- Aguilar, C. R., & Martínez, C., La realidad de la Unidad de Cuidados Intensivos, *Scielo Analytics*, Med Crit, 31(3), 171–173, 2017.
- Alban, A., Chick, S. E., Dongelmans, D. A., van der Sluijs, A. F., Wiersinga, W. J., Vlaar, A. P. J., & Sent, D. (2020). *ICU Capacity Management During the COVID-19 Pandemic Using a Stochastic Process Simulation*. <https://ssrn.com/abstract=3570406>
- Aurenque, D., Espinosa, M., Lecaros, J. A., Loewe, D., & Villarroel, R., Orientaciones ético-médicas para la atención de pacientes críticos en contexto de pandemia por COVID-19, *Bioética Complutense*, 39, 132–138, 2020.
- Budnick, F. S., *Matemáticas aplicadas para administración, economía y ciencias sociales*, 4th ed., 2006.
- Cortés, V. R., Romero, L., Barrera, D., & Suárez, D. R. (2018). Selecting the destination hospital to carry emergency patients. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 17(35). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.rgps17-35.shdt>
- Eppen, G. D., Gould, F. J., Schmidt, C. P., Moore, J. H., & Weatherford, L. R., *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa*, 5th ed., 2000.
- González, E., Gutiérrez, C., & Gretchen, S., Definición de prioridades para las intervenciones de salud en el Sistema de Protección Social en Salud de México, *Scielo Analytics*, vol.49, supl.1, 2007.
- Hailemariam, D. A., Modeling of admission control and patient transfer decisions in multi-hospital systems, 2016.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P., *Metodología de la Investigación*, 6th ed., 2014.
- Hill, B. M., Optimization of interhospital transfer of patients to reduce emergency department Overcrowding, 2005.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J., Introducción a la Investigación de Operaciones, 9th ed., 2010.
- Kulshrestha, A., & Singh, J., Inter-hospital and intra-hospital patient transfer: Recent concepts. *Indian Journal of Anaesthesia*, 60(7), 451–457, 2016.
- Martínez, F., Galo, A. A., Brinkmann, M., Cortés, C., & Carrillo, I., Traslado de pacientes críticos. *Rev Hosp Clín Univ Chile*, 25, 246–252, 2013.
- Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, Plan de respuesta nacional al eventual ingreso del coronavirus Covid-19. Disponible: <https://www.mspbs.gov.py/dependencias/porta/adjunto/78806d-PlandeRespuestaNacionalaleventualingresodelCoronavirusV1.0.pdf>, Consultado el 18 de enero de 2022.
- Nezamoddini, N., & Khasawneh, M. T., Modeling and optimization of resources in multi-emergency department settings with patient transfer. *Operations Research for Health Care*, 10, 23–34, 2016.
- Organización Mundial de la Salud, Información básica sobre la COVID-19, Disponible: <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19>, Consultado el 4 de setiembre de 2020.

- Organización Panamericana de Salud [OPS]. (2020). Servicio de Emergencias Médicas Prehospitalarias (SEM) Covid-19. Recomendaciones. 4.4., 2020. Disponible: www.paho.org , Consultado el 4 de setiembre de 2020.
- Prawda W. J, Métodos y modelos de Investigación de Operaciones, Vol. 1., 2004.
- Prensa del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, Situación de hospitalizados con COVID-19: ¿Cuál fue el pico histórico?, 26 de junio de 2021. <https://www.mspbs.gov.py/> . Consultado el 18 de enero de 2022.
- Roa Patiño, E. S. (2016). *Propuesta de mejoramiento para la minimización del tiempo de traslado interhospitalario terrestre en la red hospitalaria pública de Bogotá por medio de un modelo matemático*.
- Rueda Barrera, E. A., Caballero Duque, A., Bernal Camargo, D. R., Torregrosa Almonacid, L., Suárez Castro, E. M., Gempeler Rueda, F. E., & Badoui Rodríguez, N., Pautas éticas para la asignación de recursos sanitarios escasos en el marco de la pandemia por COVID-19 en Colombia. *Revista Colombiana de Cirugía*, 35(2), 281–289, 2020.
- Salway, R., Valenzuela, R., Shoenberger, J., Mallon, W., & Viccellio, A., Congestión en el servicio de urgencia: Respuestas basadas en evidencias a preguntas frecuentes. *Revista Médica Clínica las Condes*, 28(2), 220–227, 2017.
- Sethi, D., & Subramanian, S., When place and time matter: How to conduct safe inter-hospital transfer of patients. *Saudi Journal of Anaesthesia*, 8(1), 104–113, 2014.
- Soler, W., Gómez Muñoz, M., Bragulat, E., & Álvarez, A., El triage: herramienta fundamental en urgencias y emergencias. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 33, 55–68, 2010.
- Taha, H. A., Investigación de operaciones (9th ed.). Pearson Educación, 9th ed., 2012.
- Winston, W. L., Investigación de Operaciones. Aplicaciones y Algoritmos, 4th ed., 2005.

Biografía

Sannie Román es estudiante de la carrera Ingeniería en Sistemas de Producción de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción. Actualmente se encuentra trabajando en el desarrollo de su trabajo final de grado para obtener el título de ingeniera. El trabajo de investigación se lleva a cabo con el Grupo de Investigación de Operaciones e Inteligencia Artificial (GIOIA) de la misma facultad. Sus intereses de investigación incluyen; Matemática Aplicada, Investigación de Operaciones, Modelos Matemáticos, Optimización.

Betania Echagüe comenzó la carrera académica de Ingeniería en Sistemas de Producción en la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción en Paraguay, en el año 2016. En 2021, comenzó su trabajo final de grado con el Grupo de Investigación de Operaciones e Inteligencia Artificial, que busca, desarrollar actividades que favorezcan la formación integral y asociadas a la divulgación de los resultados de las investigaciones, actualmente junto con una compañera se encuentran en proceso de culminación del trabajo, en esta área de investigación, con el objetivo de obtener el título de ingeniera.

Sus intereses de investigación son planificación y control de la producción, investigación de operaciones y control de calidad.

Jorge Recalde es Magíster en Ingeniería Industrial y Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Experiencia docente: Profesor Ayudante de Investigación Operativa, Profesor de Logística, Tutor de trabajos de fin de grado. Experiencia profesional: Planificador en la industria farmacéutica, Coordinador Logístico en la industria alimentaria. Sus líneas de investigación e interés son la Investigación Operativa, particularmente la Optimización y la Gestión de Operaciones

Margarita López tiene una maestría en Ingeniería Industrial y es Candidata a Doctorado en Ciencias de la Ingeniería. Experiencia docente: Profesor Ayudante de Investigación Operativa, Profesor de Planificación y Control de la Producción, Organización de la Producción, Tutor de proyectos de fin de grado. Experiencia profesional: Supervisor de producción en la industria alimentaria. Líneas de Investigación: Investigación Operativa, Optimización y Gestión de Operaciones Productivas y Logísticas.