







Modelo de dinámica de sistemas aplicado a variables administrativas en la estancia hospitalaria en UCIN

A system dynamics model applied to administrative variables influencing hospital length of stay in the neonatal intensive care unit (NICU)

Mariana Escamilla Rodríguez¹   Isabella Varon Velasco¹  Mauricio A. Gómez-Figueroa¹ 
Laura V. Bocanegra-Villegas¹  Sandra P. Usaquén-Perilla¹ 

¹ Programa de Ingeniería Biomédica, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia.

² Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Nacional de Mexico, TecNM, Orizaba, Mexico.

Resumen

Introducción: en Colombia, las altas tasas de ocupación de las Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN)—86,6% en instituciones públicas y 80,3% en privadas— han puesto de relieve la necesidad de mejorar los procesos de atención en estas unidades.

Objetivo: desarrollar una herramienta para representar y analizar los factores que afectan la duración de la estancia hospitalaria (DHL) en un hospital de tercer nivel de Bogotá.

Metodología: a partir de la caracterización del proceso de atención, realizada mediante entrevistas semiestructuradas y observación directa, se construyó un modelo de simulación que permite explorar diferentes escenarios mediante la variación de parámetros clave. Se definieron tres escenarios de simulación que incorporan indicadores de mortalidad neonatal y tasas brutas de natalidad, estratificados en tres escalas geográficas: estimaciones de población mundial, América Latina y el Caribe, y datos nacionales de Colombia.

Resultados: los resultados indican que los factores de gestión administrativa y tecnológica, en particular las derivaciones interinstitucionales, los procesos de autorización, los tiempos de respuesta para el mantenimiento correctivo y la disponibilidad de equipos biomédicos, ejercen una influencia sistémica en el rendimiento operativo de la UCIN y la DHL.

Conclusiones: los hallazgos resaltan la necesidad de estrategias de mejora integradas que alineen la atención clínica con la coordinación administrativa, la gestión tecnológica y la transferencia de conocimientos, lo que favorece un uso más eficiente de los recursos, la reducción de la estancia hospitalaria y la mejora de los resultados neonatales.

Palabras clave: Dinámica de sistemas, Estancia Hospitalaria, Gestión hospitalaria, mantenimiento, UCIN, Capacidad hospitalaria

Abstract

Introduction: in Colombia, the high occupancy rates of Neonatal Intensive Care Units (NICUs)—86.6% in public institutions and 80.3% in private ones—have highlighted the need to improve care processes in these units.

Objective: to develop a tool to represent and analyze the factors affecting hospital length of stay (LOS) in a third-level hospital in Bogotá.

Methodology: based on the characterization of the care process, carried out through semi-structured interviews and direct observation, a simulation model was developed to explore different scenarios by varying key parameters. Three simulation scenarios were defined, incorporating neonatal mortality indicators and crude birth rates, stratified across three geographical scales: global population estimates, Latin America and the Caribbean, and national data from Colombia.

Results: the results indicate that administrative and technological management factors, particularly interinstitutional referrals, authorization processes, response times for corrective maintenance, and the availability of biomedical equipment, exert a systemic influence on NICU operational performance and LOS.

Conclusions: the findings highlight the need for integrated improvement strategies that align clinical care with administrative coordination, technological management, and knowledge transfer, promoting more efficient use of resources, reducing hospital length of stay, and improving neonatal outcomes.

Keywords: Systems dynamics, Hospital stay, management, maintenance, NICU

¿Cómo citar?

Escamilla M, Varón I, Gómez MA, Bocanegra-Villegas LV, Usaquén-Perilla SP. Modelo de dinámica de sistemas aplicado a variables administrativas en la estancia hospitalaria en UCIN. Ingeniería y Competitividad, 2026, 28(1)e-21415274

<https://doi.org/10.25100/iyc.v28i1.15274>

Recibido: 06/10/25

Revisado: 12/11/25

Aceptado: 26/03/26

Online: 14/04/26

Correspondencia

mauricio.gomez@unimilitar.edu.co



Contribución a la literatura:

Este estudio ofrece un análisis sistémico de la duración de la estancia hospitalaria en las UCIN, destacando la influencia sistémica de los factores de gestión administrativa y tecnológica, más allá de la atención clínica.

Los resultados más relevantes incluyen:

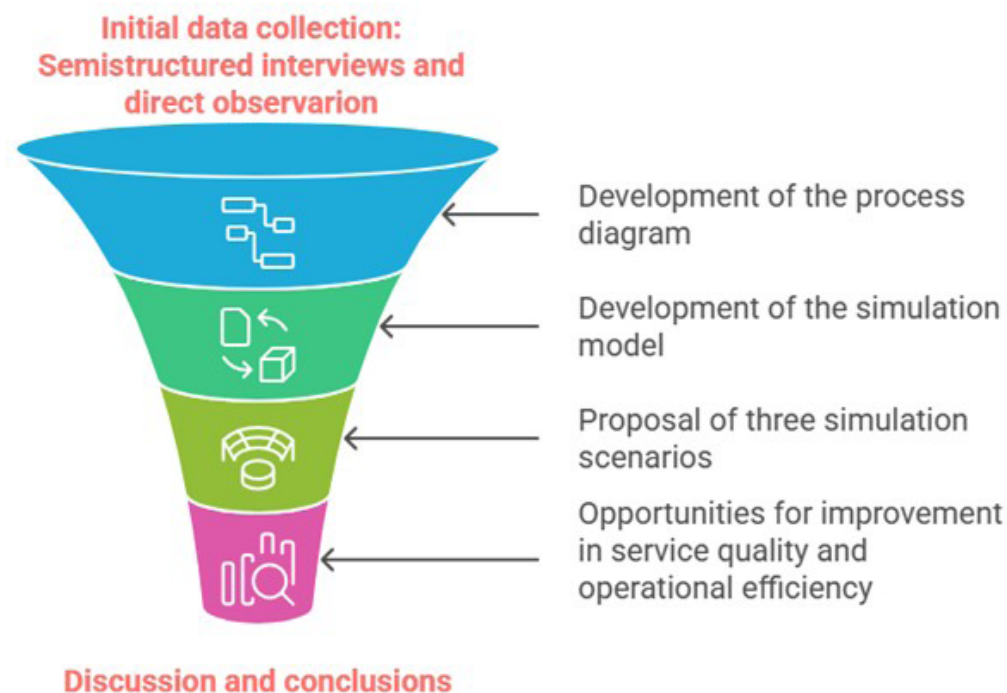
La identificación de las derivaciones interinstitucionales, los procesos de autorización y la gestión de equipos biomédicos como determinantes clave que afectan la eficiencia operativa de las UCIN y la duración de la estancia hospitalaria.

Estos resultados contribuyen a lo siguiente:

Evidencia que respalda estrategias de mejora integradas que alinean los procesos clínicos, administrativos y tecnológicos para optimizar el desempeño de las UCIN y los resultados neonatales.

Graphical Abstract

Graphical Abstract



Introducción

El neonato se refiere a un recién nacido durante los primeros 28 días de vida. Durante este periodo, se desarrollan procesos fisiológicos y biológicos vitales, lo que indica la adaptación del organismo del entorno intrauterino al mundo exterior. La inmadurez del sistema inmunitario del recién nacido y la limitada capacidad funcional de sus sistemas lo hacen especialmente vulnerable a infecciones, enfermedades y complicaciones clínicas (1). Pueden clasificarse en neonatos (nacidos entre las 37 y 42 semanas de gestación), prematuros (nacidos antes de las 37 semanas) y recién nacidos a termo (nacidos después de las 42 semanas).(1).

En zonas con superpoblación y niveles de ingresos bajos o medios, las limitaciones en infraestructuras, recursos humanos y tecnología afectan directamente a la calidad de la atención sanitaria y a los resultados neonatales, (2). Un informe reciente de la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que alrededor de 15 millones de nacimientos prematuros ocurren en todo el mundo cada año. Se estima que más de la mitad de las muertes relacionadas con esta condición podrían prevenirse con una atención oportuna y adecuada en las Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN). (1,3). Las tasas de mortalidad perinatal y neonatal en América Latina y el Caribe son más altas entre los niños nacidos de mujeres con niveles educativos e ingresos más bajos (4). Sin embargo, se han avanzado en la reducción de la mortalidad neonatal. Las altas tasas de ocupación y la escasez de recursos siguen siendo grandes desafíos en las UCIN, lo que pone de manifiesto la urgente necesidad de mejorar los procesos operativos y de gestión en estas unidades, (5).

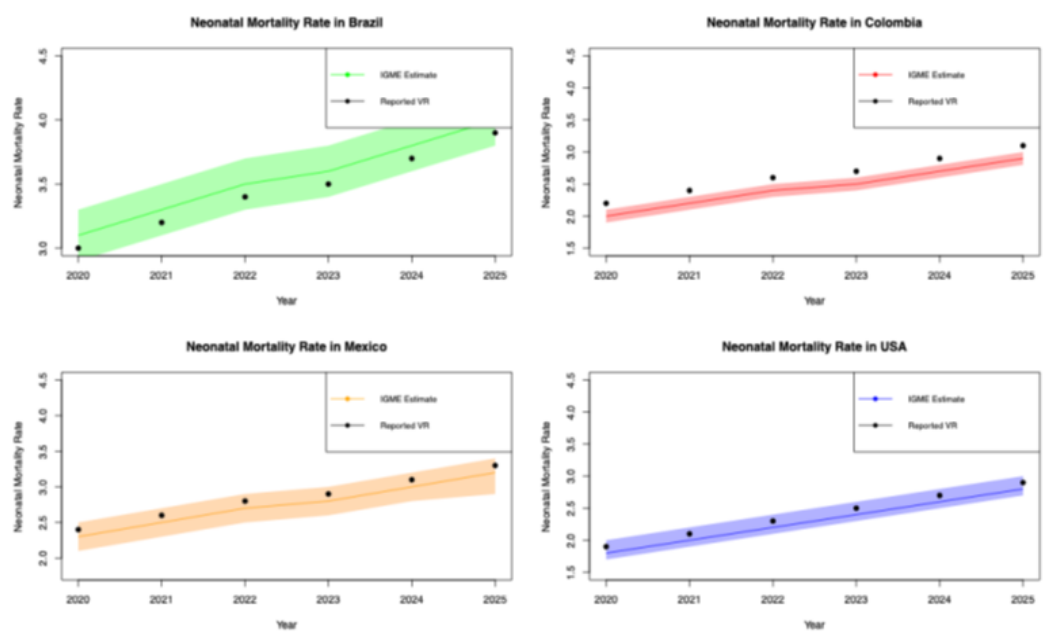


Figura 1 Estimación y valores reportados del IGME Brasil, Colombia, México y Estados Unidos (6).

La Figura 1 compara las tendencias de la Tasa de Mortalidad Neonatal (RMN) para Brasil (verde), Colombia (rojo), México (naranja) y Estados Unidos (azul) desde 2020 hasta 2025. Los datos

proviene de la investigación del Grupo Interinstitucional de las Naciones Unidas sobre la Estimación de la Mortalidad Infantil y del Proyecto de Estimación de Causas de Muerte Infantil y Adolescente, (6). La cuantificación precisa de la prevalencia de nacimientos prematuros sigue siendo difícil debido a la subnotificación en muchos países, especialmente en aquellos con ingresos más bajos, pero se ha observado una tendencia creciente en la tasa general de nacimientos prematuros.

Aunque los datos muestran una estabilización en las tasas comparativas, la OMS y UNICEF han destacado avances significativos, especialmente en la mejora de la atención neonatal y la implementación de políticas de salud pública. Sin embargo, aún existen brechas en el acceso equitativo a los servicios de salud (3). Contar con estudios que respalden la adaptación de las políticas sanitarias para satisfacer las necesidades específicas de cada país es esencial para seguir avanzando en la reducción de la mortalidad neonatal.

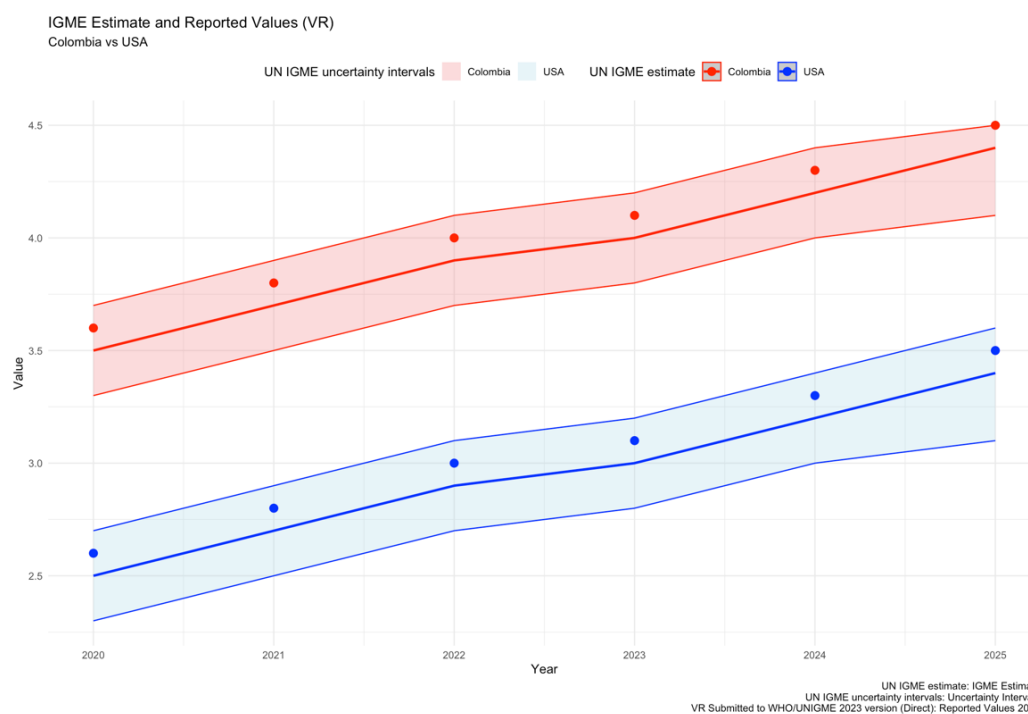


Figura 2 Estimación IGME y valores reportados Colombia vs EE. UU. (6)

La Figura 2 compara las tendencias de la tasa de mortalidad neonatal entre Estados Unidos y Colombia; las líneas azul y roja representan las estimaciones del Grupo Interinstitucional de las Naciones Unidas sobre Cambio de Población y Cambio de Población (IGME) para ambos países, respectivamente, mientras que las áreas sombreadas (azul claro para Colombia y rojo claro para EE. UU.) muestran los intervalos de incertidumbre vinculados a esas estimaciones, indicando el rango donde probablemente se situará el valor real. Los puntos negros muestran los valores reportados (RV) para cada país, reflejando los datos disponibles para ese periodo.

Las UCIN son esenciales para el cuidado de recién nacidos de alto riesgo, y su situación varía mucho en todo el mundo. En los países de altos ingresos, las UCIN establecen estándares para equipos biomédicos, formación del personal y protocolos que ayudan a reducir la mortalidad neonatal. Sin embargo, incluso en estos entornos, persisten desafíos laborales, afectando a la atención clínica, la educación en enfermería neonatal y la investigación, y creando obstáculos significativos, (7).

En Colombia, las UCIN están bajo una presión creciente debido a la alta tasa de ocupación (86,6% en instituciones públicas y 80,3% en el sector privado). (8). Esta sobrecarga, junto con la complejidad de los procesos de atención neonatal, ha puesto de relieve la necesidad de analizar las operaciones y mejorar la calidad de la atención proporcionada (9). En este contexto, la gestión eficiente de recursos, la reducción de tiempos de HS, la minimización de errores y la evitación del reprocesamiento se han convertido en prioridades en el sector sanitario.

Materiales y métodos

El estudio adoptó un diseño de métodos mixtos y se llevó a cabo en una institución pública sanitaria de alta complejidad en Bogotá, Colombia, entre junio y noviembre de 2023. El proceso de cuidados neonatales se caracterizó inicialmente mediante entrevistas semiestructuradas, observación directa y una revisión de los procedimientos realizados en la UCIN, cubriendo todo el continuo desde la preadmisión hasta el alta del paciente. A partir de esta información, se desarrolló un diagrama de flujo de proceso para representar la vía de atención.

La muestra de entrevistas fue estratificada, incluyendo profesionales sanitarios de la UCIN neonatal, personal administrativo de los departamentos de facturación y derivación/contrarreferencia, y personal del departamento de ingeniería biomédica de la institución. Todos los participantes proporcionaron su consentimiento informado por escrito antes de participar. El protocolo del estudio fue revisado y aprobado por el Comité de Ética de la institución (Archivo de Aprobación nº 05-2023).

Las entrevistas se guiaron por una lista predefinida de factores, que se pidió a los participantes que clasificaran según la frecuencia con la que percibían que ocurrían en la UCIN, según su experiencia profesional. Estos factores incluían: régimen de afiliación dentro del Sistema de Salud Colombiano, procesos de liquidación al momento de la alta, procedimientos de autorización por parte de aseguradoras, derivaciones a otras instituciones o servicios, autorizaciones para la entrega domiciliar de suministros médicos, recepción y entrega de resultados de pruebas paraclínicas, traslados intrahospitalarios de pacientes, actividades de mantenimiento correctivo y preventivo, formación en el uso de dispositivos médicos domiciliarios, ausencia de equipos biomédicos de respaldo, y provisión de tecnología interservicios. Los participantes podían excluir factores que consideraran no aplicables y sugerir factores adicionales que no estaban incluidos en la lista original.

A partir del diagrama de flujo del proceso de cuidado, se desarrolló un diagrama causal, seguido de una simulación de dinámica del sistema para evaluar los efectos de parámetros clave como la reducción en el mantenimiento correctivo y el aumento de la capacidad instalada. Específicamente, se utilizó el software Stella Architect (www.iseesystems.com).

Se recopilieron datos cuantitativos retrospectivos a partir de los historiales médicos del paciente. Las variables del estudio incluyeron demanda, capacidad instalada, disponibilidad de equipos biomédicos, imagen clínica de laboratorio y diagnóstico, y utilización sanitaria durante la estancia hospitalaria.

Se recopilaron datos cuantitativos retrospectivos de 2022 a partir de los historiales médicos de los pacientes y de las bases de datos de los departamentos de ingeniería biomédica. Las variables del estudio incluyeron la demanda del paciente, la capacidad tecnológica instalada, la disponibilidad de equipos biomédicos, el acceso a servicios de laboratorio clínico y de imagen diagnóstica, y el uso de servicios sanitarios durante la hospitalización.

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de la capacidad instalada, la tasa de mortalidad, la tasa de derivación y el número de operaciones de mantenimiento correctivo.

Resultados

Análisis de entrevistas y observaciones directas

Para caracterizar el proceso de atención, se realizaron 26 entrevistas estratificadas, con una población total de 48 personas (N), (10). De ellos, 22 eran personal clínico, compuesto por tres pediatras, un responsable del programa de cuidado de canguros y dos fisioterapeutas. Los 16 restantes eran personal de enfermería, compuesto por 12 jefes de enfermería y cuatro auxiliares de enfermería. Además, se incluyeron tres miembros del personal administrativo, así como un miembro del departamento de ingeniería biomédica.

La Tabla 1 presenta el análisis de las respuestas obtenidas del personal clínico, destacando variables clave como la derivación a otras instituciones, las autorizaciones para la entrega a domicilio de materiales y las autorizaciones para procedimientos por parte de las aseguradoras, que se identificaron como determinantes de la HS prolongada. El análisis consistió en contar las variables relevantes para cada individuo y asignar una puntuación a cada respuesta. Las respuestas se multiplicaron por el índice asignado para medir la relevancia de cada variable, y los resultados se promediaron para identificar las variables más significativas.

Tabla 1. Análisis de las respuestas a las entrevistas proporcionadas por el personal clínico de la UCIN. Fuente: Los autores.

Determinante de la estancia hospitalaria	1	2	3	4	5	6	7	8	Media ponderada	Promedio
Régimen de afiliación al Sistema de Salud Colombiano	15	1	1	1	3	0	1	0	46	5.75
Asentamiento en el momento de la liberación	8	1	2	4	3	2	1	1	74	9.25
Autorizaciones de tramitación por parte de la aseguradora	5	2	3	2	2	2	2	4	94	11.75
Derivaciones a otras instituciones o servicios	1	0	0	1	4	4	1	11	144	18.00
Autorizaciones para la entrega a domicilio de materiales	1	1	4	1	3	9	3	0	109	13.63
Recepción y entrega de resultados paraclínicos	16	3	1	0	1	1	0	0	36	4.50
Traslados intrahospitalarios	18	0	0	0	2	0	2	0	42	5.25
Mantenimiento correctivo o preventivo	15	4	1	0	0	0	1	1	41	5.13
Formación en el uso de dispositivos domésticos	15	1	4	0	1	1	0	0	40	5.00
Falta de equipos biomédicos de respaldo	14	4	1	0	0	3	0	0	43	5.38
Provisión de tecnología entre servicios	15	3	2	0	1	0	1	0	39	4.88

Analizando los valores medios de las respuestas del personal en la Tabla 1, podemos establecer que la mayor influencia de la institución en los determinantes de la EH son las derivaciones a otras instituciones o servicios (18,00), las autorizaciones para la entrega domiciliar de materiales (13,63), las autorizaciones para procesos por parte de la aseguradora (11,75) y la liquidación en el momento de la baja (9,25). Podemos establecer que los procesos en las áreas administrativas deben revisarse, ya que están causando retrasos en EH. Esto es una alarma para verificar el cumplimiento de las políticas y misión de la institución, ya que los indicadores se ven afectados por cuestiones fuera del CORE de la institución en la prestación de servicios de salud.

Mediante la observación directa de los procesos de la UCIN, se identificaron los subprocesos con mayor impacto en la duración de la estancia hospitalaria como derivaciones de pacientes a otras instalaciones para traslados o procedimientos adicionales, solicitudes de mantenimiento correctivo externalizado y autorización de servicios por parte de la compañía de seguros. La Tabla 2 ofrece un análisis detallado de los tiempos asociados a cada uno de estos subprocesos.

Tabla 2. Duraciones de los subprocesos basadas en la observación directa. Fuente: Los autores.

Subprocesos	Duración total	Aspecto clínico (minutos)	Aspecto administrativo (actas)
Admisión de pacientes	50 minutos	30	20
Evolución diaria	6 – 7 minutos	6 - 7	-
Proceso de cuidado de auxiliares de enfermería	1 - 7 minutos	1 - 7	-
Derivación de paciente a otra institución debido a traslado	1 semana - varios meses	-	-
Derivación de un paciente a otra institución para examen o procedimiento clínico.	1 semana - varios meses	-	-
Realización de pruebas de laboratorio clínico	5 - 8 minutos	5 - 8	-
Realización de pruebas de imagen diagnóstica	6 – 11 minutos	6 - 11	-
Solicitud de suministros, equipos biomédicos y medicamentos desde la UCIN	10 – 15 minutos	11	4
Solicitud de mantenimiento correctivo de equipos biomédicos	1 hora – 1 día (respuesta)	6 – 7 (petición)	-
Solicita autorización o derivación al seguro del paciente.	1 día - varias semanas (dependiendo de la aseguradora)	-	-
Alta del paciente y autorización clínica y administrativa	60 minutos	30	30
Programa Canguro	20 – 45 minutos	20 - 45	-

En cuanto al equipo biomédico, aunque la mayoría de los dispositivos estaban operativos, el 29% había superado su vida útil esperada y requería mantenimiento correctivo frecuente, lo que resultaba en costes desproporcionados en relación con su valor actual de mercado. Además, el análisis identificó oportunidades para optimizar la gestión del mantenimiento mediante la externalización, lo que podría reducir el tiempo de inactividad del equipo y lograr un tiempo medio de respuesta de aproximadamente 1 día.

Sin embargo, priorizar la gestión interna de la tecnología biomédica permitiría un mayor control sobre los tiempos de reparación, la disponibilidad de repuestos y la organización y utilización del espacio físico dentro de la UCIN.

Modelo en dinámica de sistemas

Basándose en la caracterización del proceso de atención neonatal, se desarrolló el diagrama causal (Figura 3) para mostrar la interacción dinámica entre los recursos disponibles, la atención clínica y el estado del paciente, ilustrando cómo las intervenciones sistémicas pueden producir

efectos reforzadores (positivos) o equilibradores (negativos). (11). El diagrama se lee siguiendo las conexiones entre variables a lo largo de la dirección de las flechas; Cuando una flecha tiene un signo +, indica que las dos variables están directamente relacionadas, (12–14). El proceso de atención neonatal se describe mediante relaciones variables: un signo positivo (+) indica una relación directa, mientras que un signo negativo (□) indica una inversa (15–18).

El flujo de admisión de pacientes está limitado por la interacción entre la demanda estocástica de llegada y la capacidad de infraestructura determinista. La capacidad instalada representa el número máximo de incubadoras disponibles simultáneamente, limitadas por regímenes de mantenimiento preventivo y correctivo. Cuando la demanda supera la capacidad disponible, el exceso de demanda se acumula en una cola de admisión (los pacientes no admitidos tienen stock). La población de pacientes hospitalizados impulsa la implementación del Programa de Cuidado de la Madre Canguro (un protocolo clínico centrado en la interacción diádica padre-bebé y el contacto continuo) que operacionaliza tres vías de alta estratificadas por complejidad clínica: (1) alta para pacientes recuperados que alcanzan estabilidad clínica, (2) derivación a servicios de menor complejidad para pacientes que requieren cuidados continuos pero no intensivos, y (3) derivación a instituciones de mayor complejidad para pacientes que requieren Intervenciones terciarias. Estas dinámicas están gobernadas por dos bucles de retroalimentación:

Bucle B1: Bucle B1 (Restricción de capacidad): La hospitalización de pacientes ocupa incubadoras, reduciendo la capacidad disponible. El aumento de la población hospitalizada limita directamente la capacidad de ingreso de nuevos pacientes mediante el agotamiento automático de capacidad.

Bucle B2: La implementación del Programa Canguro permite una alta acelerada mediante categorización clínica y enrutamiento diferenciado. Aumento de los censos de hospitalizados para autorizar la evaluación de elegibilidad de alta; la superación exitosa de los criterios Kangaroo permite el avance a través de vías de alta, liberando así la capacidad de la incubadora para admisiones posteriores. Este mecanismo constituye un bucle de equilibrio en el que un alto número de pacientes reduce indirectamente los censos futuros mediante un procesamiento acelerado de altas. La Tabla 3 presenta la descripción de las principales variables del diagrama causal.

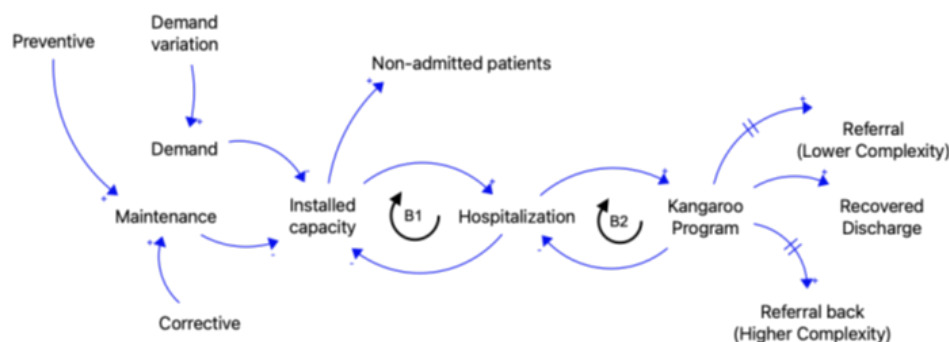


Figura 3. Diagrama causal del sistema de cuidados de la UCIN. Fuente: Los autores.



Tabla 3. Variables principales del diagrama causal. Fuente: Los autores.

Variable	Descripción	Representación en el modelo o valor inicial
Demanda	Pacientes ingresados en la UCI neonatal	Distribución de Poisson de los datos de la UCIN, en unidades de tiempo de simulación de días. La función utilizada en STELLA® genera una serie de números aleatorios que encajan en una distribución de Poisson.
Capacidad instalada	Se tuvo en cuenta el número de equipos biomédicos, específicamente las incubadoras de la UCIN.	32
Admisión	Número total de neonatos ingresados en la UCI neonatal al mes, operacionalizado como proceso de Poisson por hora. Incluye 14 pacientes trasladados de un periodo anterior como condición inicial.	Capacidad instalada-Demanda en el periodo anterior: 14 Admisión por mes: enero = 27, febrero = 31, marzo = 37, abril = 28, mayo = 36, junio = 43, julio = 39, agosto = 25, septiembre = 29, octubre = 30, noviembre = 33 y diciembre = 21.
Disponibilidad de equipos biomédicos	El número de incubadoras disponibles inmediatamente dentro de la UCIN, que tiene en cuenta la indisponibilidad relacionada con el mantenimiento y representa el techo operativo para la ocupación concurrente de pacientes.	Equipamiento biomédico disponible en el periodo anterior- $Biomedical\ Equipment(t) = Biomedical\ Equipment(t_o) + \int_0^t Installed\ Capacity(t_o) + dt$ $Biomedical\ Equipment(t) = Biomedical\ Equipment(t_o) + \int_0^t Installed\ Capacity(t_o) + dt$ $Installed\ Capacity(t)$ $= Installed\ Capacity(t - dt) + (F_{output} - F_{Incubator} - F_{input} - F_{BEgrowth})dt$ <p>Donde: $F_{BEgrowth}$: Flujo de crecimiento de equipos biomédicos F_{output}: Salida $F_{Incubator}$: Flujo en incubadora F_{input}: Flujo de entrada</p>

Laboratorio clínico e imagen diagnóstica	Esta variable se refiere a procedimientos médicos que permiten a los profesionales sanitarios evaluar la salud del paciente, específicamente mediante imágenes diagnósticas y pruebas de laboratorio clínico.	
Proceso diario	Esta variable se refiere a la evaluación rutinaria y sistemática del estado de salud y el progreso de los recién nacidos en la unidad.	Distribución empírica basada en datos de la UCIN, en días de simulación. Tabla 2.
Medicación y seguimiento	Esta variable se refiere a la aplicación de la intervención farmacoterapéutica en pacientes.	
Paciente ingresado	Esto se refiere a pacientes ya admitidos en el servicio. Estos son pacientes que requieren atención médica muy compleja, a menudo en estado crítico.	
Paciente estable	Esta variable se refiere a pacientes neonatales que ya no necesitan cuidados intensivos altamente especializados, como los que se ofrecen en una UCI neonatal.	Su función es explorar conceptualmente todas las relaciones relevantes de causa y efecto dentro del sistema, incluso aquellas que no se traducen directamente en niveles, flujos o ecuaciones en el modelo formal.

Cuidados de enfermería Atención de fisioterapia	Esta variable se refiere a un conjunto específico de intervenciones y cuidados proporcionados por el personal de enfermería y fisioterapia de la UCIN para garantizar el bienestar de los recién nacidos.	Distribución empírica basada en datos de la UCIN, en días de simulación. Tabla 2.
Programa Canguro	Describe una práctica de cuidados neonatales orientada principalmente a fomentar el vínculo entre el recién nacido y sus padres o cuidadores. Sin este proceso, el paciente no puede ser dado de alta de la UCI neonatal.	Distribución empírica basada en datos de la UCIN, en días de simulación. Tabla 2.
Derivación (Menor Complejidad) y Corredor de referencia (Mayor Complejidad)	Describe el proceso de derivación, que es la transferencia de un paciente de una unidad menos compleja a una más compleja, y el proceso de contrarreferencia, que es la transferencia de un paciente de una unidad más compleja a una menos compleja.	Se reportó una tasa del 0,52% basada en información de la institución de salud pública altamente compleja de Bogotá en 2022.
Intercambio recuperado	Los pacientes han completado su tratamiento en el servicio y han superado con éxito su condición médica crítica.	Se reportó una tasa del 96,5% basada en información de esta institución de salud pública altamente compleja en Bogotá.
Cambio por fallecimiento	Esta variable se refiere a pacientes ingresados en la UCIN que murieron en la unidad debido a diversas condiciones críticas.	Se reportó una tasa del 3,15% basada en información de la institución de salud pública altamente compleja de Bogotá.

Base de Escenario

El rendimiento del mantenimiento se caracterizó utilizando datos históricos obtenidos del departamento de mantenimiento del hospital. La Figura 4 presenta la evolución temporal de cuatro variables operativas interrelacionadas durante un periodo de simulación de doce meses: el número de pacientes hospitalizados (línea rosa), la capacidad de camas instaladas (línea azul), las actividades correctivas y preventivas de mantenimiento realizadas en equipos biomédicos (línea morada) y las altas de pacientes (línea verde).

Esta representación multivariante permite una evaluación cuantitativa de las interacciones entre el censo de pacientes, la disponibilidad de recursos y la programación de mantenimiento en un entorno real de cuidados intensivos neonatales. La trayectoria de las actividades de mantenimiento muestra un marcado agrupamiento temporal, lo que indica que las intervenciones correctivas y preventivas están distribuidas de forma desigual a lo largo del horizonte de simulación. Cabe destacar que los periodos de alta ocupación de pacientes tienden a solaparse con un aumento de la actividad de mantenimiento, lo que revela desajustes operativos que generan competencia de recursos y cuellos de botella en los flujos de trabajo. Estas dinámicas están asociadas a restricciones tanto en la ejecución del mantenimiento como en los procesos de alta de los pacientes.

Al visualizar conjuntamente estas variables acopladas, la Figura 4 destaca cómo una programación de mantenimiento desalineada durante los periodos de ocupación punta puede contribuir a prolongar las estancias y a reducir la eficiencia del rendimiento del servicio.

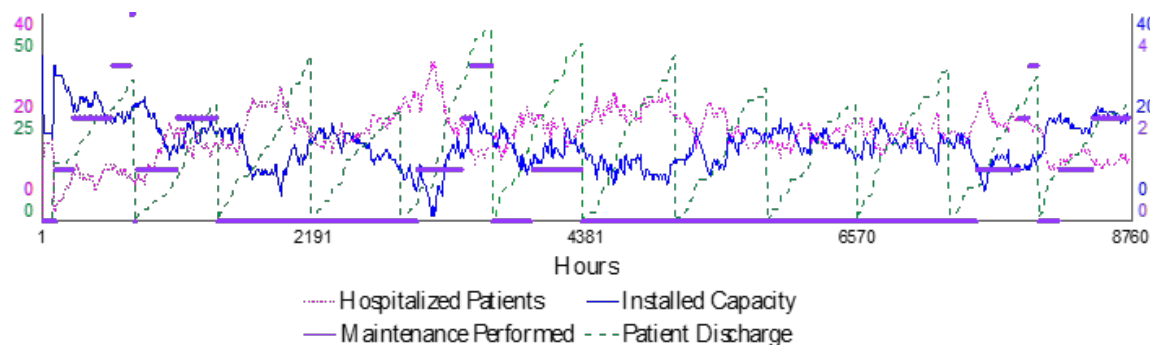


Figura 4. Dinámica de los pacientes hospitalizados, capacidad instalada, actividades de mantenimiento y altas de pacientes, escenario base. Fuente: Los autores.

El modelo de simulación fue validado mediante análisis de correlación realizado en Minitab. Los datos mensuales de ingresos de pacientes del hospital de estudio se compararon primero con los resultados correspondientes de la simulación, lo que arrojó un coeficiente de correlación de 0,989, lo que indica un alto nivel de concordancia y una representación precisa de la dinámica del flujo de pacientes. Se realizó un análisis comparable para las altas mensuales de pacientes, resultando en un coeficiente de correlación de 0,643. Esta menor correlación puede atribuirse a la presencia de pacientes que permanecieron hospitalizados al final del horizonte de simulación, influyendo así en el recuento de altas.

Para evaluar mejor el rendimiento del modelo, se aplicó una prueba de Wilcoxon emparejada para comparar los valores observados con los resultados generados por el modelo. Los valores p obtenidos (0,154 y 0,516) superaron el umbral de significación de 0,05, lo que indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los datos empíricos y las predicciones del modelo. Además, el análisis de correlación entre las actividades de mantenimiento correctivo observadas y las estimaciones del modelo produjo un coeficiente de 0,951, reflejando una asociación muy positiva y muy fuerte.

Para evaluar la robustez operativa del sistema de UCIN en contextos epidemiológicos heterogéneos, se establecieron tres escenarios de simulación. Cada escenario incorpora tasas de mortalidad neonatal e indicadores de tasa de natalidad rudimentaria estratificados en tres escalas geográficas: estimaciones de población global, América Latina y el Caribe, y datos nacionales de Colombia (Tabla 4), basados en los datos disponibles para 2023 en (19–21). Las tres configuraciones de escenarios (denominadas pesimista, intermedia y optimista) representan trayectorias que reflejan los diferentes niveles de rendimiento del sistema de salud neonatal y la transición demográfica. Es esencial que los parámetros operativos estructurales permanezcan sin cambios en todos los escenarios para aislar los efectos epidemiológicos de las variables dependientes de la infraestructura: la capacidad instalada de la incubadora permanece constante en 32 unidades, la población de pacientes restante del ciclo operativo anterior permanece fija en 14 pacientes, los protocolos de derivación institucionales persisten en el 0,52% y las definiciones de la tasa de recuperación del paciente se mantienen constantes en el 96,5%.

El mantenimiento correctivo de equipos biomédicos también se mantiene uniforme, con cinco intervenciones al año en todos los escenarios. Sin embargo, la intensidad del mantenimiento de la incubadora se ajustó entre escenarios: la frecuencia anual del mantenimiento correctivo se calibró a 13 eventos en el caso base, 0 en el escenario pesimista, 16 en el escenario intermedio (50% de la capacidad instalada) y 64 en el escenario optimista (el doble de la capacidad instalada). Esta caracterización del grado en que las variaciones en las tasas de mortalidad y natalidad (manteniendo constantes las restricciones operativas) en el conjunto de datos resultante proporciona evidencia empírica sobre la contribución de los factores epidemiológicos a las diferencias de rendimiento observadas cuando la capacidad institucional permanece estructuralmente fija.

La Tabla 4 muestra los parámetros variables utilizados en cada escenario para evaluar el rendimiento del modelo bajo diversas suposiciones en la Tasa de Natalidad, los protocolos de alta de pacientes y la intensidad correctiva del mantenimiento en incubadoras.

Tabla 4. Parámetros dados para el análisis de sensibilidad. Fuente: Los autores.

Variables de simulación	Base de Escenario	Valores		
		Pesimista	Intermedio	Optimista
Admisión de pacientes	395	448	437	423
Tasa de natalidad *1000	0%	15%	11%	7%
Altas de pacientes	3.15%	15%	13.5%	11%
Capacidad instalada (incubadoras)	32	32	32	32
Pacientes del año anterior	14	14	14	14
Tasa de derivación	0.52%	0.52%	0.52%	0.52%
Tasa de recuperación	96.5%	96.5%	96.5%	96.5%
Mantenimiento correctivo en incubadoras	13	0	16	64
Mantenimiento correctivo de equipos biomédicos	5	5	5	5

Escenario pesimista

El escenario pesimista representa un entorno operativamente limitado caracterizado por una demanda epidemiológica elevada y menor disponibilidad de recursos. Los resultados demuestran una diferencia entre el escenario base y la configuración pesimista: las admisiones anuales de pacientes aumentaron de 395 a 448 pacientes (+13,4%), reflejando una mayor demanda neonatal derivada de la amplificación de la tasa de natalidad. Correspondientemente, las recuperaciones exitosas de los pacientes disminuyeron ligeramente de 355 a 351 pacientes (-1,1%), lo que indica que la eficacia del tratamiento se mantuvo a pesar de las limitaciones operativas. Sin embargo, la mortalidad fue la variable de resultado más sensible, que pasó de 13 muertes (tasa de mortalidad del 3,2%) en el escenario base a 62 muertes (tasa de mortalidad del 15,1%) en el escenario pesimista, un aumento absoluto del 376% (49 muertes adicionales), lo que representa una degradación crítica del rendimiento. La población de pacientes residuales (aquellos que permanecieron en el sistema al terminar la simulación) aumentó de 27 a 35 pacientes (+29,6%), indicando congestión del sistema y una obstrucción de la vía de alta. La eficiencia de utilización de la cama, medida como tasa de utilización, se deterioró sustancialmente, aumentando de 1,41 bajo el escenario base a 2,06 en el escenario pesimista (un incremento del 46%), lo que indica una sobreasignación severa de recursos y saturación de capacidad en relación con la infraestructura disponible. La tasa de recuperación disminuyó de 0,968 a 0,848 (-12,4%), reflejando un éxito terapéutico comprometido bajo escasez de recursos, mientras que la tasa de mortalidad aumentó de 0,032 a 0,151 (+371 %). Este análisis comparativo cuantifica la fragilidad operativa del sistema de UCIN: incluso variaciones moderadas en los parámetros (implementadas mediante amplificación de la tasa de natalidad y escalada de la carga de mantenimiento) producen una degradación en cascada del rendimiento caracterizada por escalada de mortalidad, reducción de la eficacia terapéutica y cola persistente de los pacientes. Los resultados se muestran en la Tabla 5, que respalda la hipótesis de que las restricciones administrativas y técnicas constituyen cuellos de botella operativos vinculantes que amplifican las consecuencias clínicas bajo condiciones de estrés.

Escenario intermedio

El análisis comparativo entre el escenario base y la configuración intermedia revela patrones de degradación del rendimiento de gravedad intermedia, demostrando las características de respuesta del sistema de UCI neonatal bajo estrés operativo. Las admisiones anuales de pacientes aumentaron de 395 a 437 (+10,6%), lo que indica una demanda neonatal elevada impulsada por la amplificación de la tasa de natalidad, aunque de forma menos severa que en condiciones pesimistas. Las recuperaciones exitosas de los pacientes disminuyeron de 355 a 347 pacientes (-2,3%), reflejando una reducción marginal en la eficacia terapéutica bajo restricciones operativas moderadas. La mortalidad emergió como la variable crítica de resultado, aumentando de 13 muertes (tasa de mortalidad basal del 3,2%) a 55 pacientes fallecidos (tasa de mortalidad del 12,6%), un aumento absoluto de 42 muertes que representan un incremento del 323% en la mortalidad relativa, lo que indica un deterioro clínico sustancial a niveles intermedios de estrés operativo. La población de pacientes residuales aumentó de 27 a 35 pacientes (+29,6%), coincidiendo con el escenario pesimista, demostrando que persisten cuellos de botella administrativos independientemente de la parametrización de intensidad del mantenimiento. La eficiencia de utilización de la cama se deterioró de 1,41 (base) a 1,68 (intermedio) (un aumento del 19,1%), lo que indica una saturación moderada de capacidad y una sobrecarga de recursos. La tasa de recuperación disminuyó de 0,968 a 0,857 (-11,4%), reflejando un éxito terapéutico comprometido bajo limitaciones moderadas de recursos, mientras que la tasa de mortalidad aumentó de 0,032 a 0,142, un aumento relativo del 344%. El escenario intermedio establece un umbral operativo crítico: la amplificación de la mortalidad (aumento del 323%) ocurre de forma desproporcionada al aumento de la demanda (aumento del 10,6%), lo que revela un comportamiento sistémico no lineal en el que variaciones epidemiológicas modestas desencadenan una escalada en cascada de la mortalidad. Este hallazgo confirma la hipótesis de que los sistemas de UCIN operan dentro de un ámbito operativo estrecho caracterizado por una sensibilidad extrema a las perturbaciones en la dinámica de la tasa de natalidad y la carga de mantenimiento, siendo la mortalidad el indicador clínico más reactivo de la degradación del sistema. La trayectoria desde los escenarios base a intermedios y pesimistas (mortalidad: 3,2%, 12,6%, 15,1%) demuestra consecuencias clínicas aceleradas a medida que la parametrización operativa empeora.

Escenario optimista

El análisis comparativo entre el escenario base y la configuración optimista muestra la capacidad operativa máxima alcanzable mediante intervenciones a nivel de sistema y optimización de recursos. Las admisiones anuales de pacientes aumentaron ligeramente de 395 a 423 (+ 7,1%), reflejando un aumento controlado de la demanda neonatal debido a tasas de natalidad más altas, mientras que se mantienen por debajo de niveles pesimistas e intermedios. Las recuperaciones exitosas de los pacientes disminuyeron ligeramente de 355 a 345 (-2,2,8%), indicando una pequeña reducción en la eficacia terapéutica a pesar de condiciones optimizadas de los recursos, lo que sugiere que el aumento de la demanda dificulta en cierta medida el éxito del tratamiento incluso en entornos operativos favorables. Es importante destacar que la mortalidad aumentó de 13 muertes (3,2% de tasa inicial) a 42 muertes (11,4% de mortalidad), un incremento de 29 muertes que representa un 223%, lo que demuestra que ni siquiera las operaciones optimizadas

pueden evitar aumentos significativos de mortalidad cuando la demanda epidemiológica aumenta debido a las mayores tasas de natalidad. La población restante de pacientes creció de 27 a 36 (+ 33,3%), la cifra más alta en los tres escenarios, lo que revela un resultado inesperado: una mejor disponibilidad de recursos no reduce necesariamente los retrasos en el alta, lo que indica que los cuellos de botella administrativos son cuestiones estructurales resistentes a la mejora de recursos. La eficiencia de utilización de camas empeoró desde 1.41 (base) a 2.06 (optimista), coincidiendo con el escenario pesimista, sugiriendo que la saturación del lecho se debe principalmente a la demanda epidemiológica más que a limitaciones de recursos, ya que tanto los sistemas óptimos como los restringidos alcanzan niveles similares de saturación de capacidad. La tasa de recuperación bajó de 0.968 a 0.886 (-8,85%), mostrando un descenso moderado en el éxito terapéutico, mientras que la tasa de mortalidad aumentó desde 0.032 a 0.114, un aumento relativo del 256%. El escenario optimista revela una visión operativa clave: la mortalidad aumenta en todos los niveles de demanda (pesimista: + 376%, intermedia: + 323%, optimista: + 223%), con todos los escenarios combinándose hacia una saturación similar de la utilización de los lechos (rango 1).68-2.06), lo que indica que una mayor demanda epidemiológica genera presiones operativas resilientes que persisten a pesar de la optimización de los recursos. Esto cuestiona la idea de que simplemente aumentar los recursos puede resolver los límites de capacidad y muestra que las vías administrativas de descarga (no las deficiencias de infraestructura) son las principales barreras del sistema durante una alta demanda epidemiológica.

Tabla 5. Análisis de sensibilidad. Fuente: Los autores

	Base de Escenario	Pesimista	Intermedio	Optimista
Admisión de pacientes	395	448	437	423
Recuperado	355	351	347	345
Fallecido	13	62	55	42
Pacientes en el sistema	27	35	35	36
Tasa de utilización de la cama	1.41	2.06	1.68	2.06
Tasa de recuperación	0.968	0.848	0.857	0.886
Tasa de mortalidad	0.032	0.151	0.142	0.114

Discusión

Este estudio identificó factores administrativos clave que afectan a HS, como derivaciones a otras instituciones o servicios, aprobaciones para la entrega de suministros a domicilio, autorizaciones de seguros y pagos de alta. Estos procesos dependen en gran medida de la aprobación del seguro y pueden retrasar la atención semanas o incluso meses. Esto plantea un problema crítico que los sistemas sanitarios deben regular y supervisar para reducir los impactos negativos en la capacidad institucional y la sostenibilidad financiera. Investigación, (22), indica que los HS más cortos fomentan vínculos más fuertes entre los bebés y sus cuidadores en casa. También reducen la exposición a entornos hospitalarios y pueden disminuir el estrés y la presión financiera para las familias que compagan el trabajo o el cuidado de otros durante la visita a la UCIN.

En cuanto al impacto del tipo de seguro de salud, un factor reconocido en este estudio, la literatura mostró una diferencia en el HS según la aseguradora en análisis no ajustados, (23). Otros hallazgos importantes indicaron que los bebés prematuros con seguro público tenían menos complicaciones

documentadas en los registros de alta hospitalaria que aquellos con seguro privado, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Se desconocen las razones por las que los bebés prematuros con seguro público de salud tienen menos complicaciones a la misma edad gestacional, peso al nacer y método de parto que los bebés con seguro privado; Sin embargo, este es un aspecto que debería estudiarse más a fondo.

Varios estudios han examinado factores asociados con la hipertensión prolongada en recién nacidos, centrándose principalmente en predictores clínicos como el peso al nacer, la edad gestacional y las complicaciones neonatales, así como en características demográficas (24–26). En cambio, la literatura que aborda factores administrativos—a pesar de su posible influencia en la duración de la estancia—sigue siendo escasa. Desde una perspectiva sistémica e integral, las estrategias para mejorar la calidad de la atención neonatal también han enfatizado el fortalecimiento de la infraestructura sanitaria; específicamente, la ampliación y optimización de las UCIN y la modernización del equipamiento biomédico se han identificado como factores clave para mejorar los procesos y resultados de la atención. (27). Esto está en línea con los hallazgos de este estudio, que indica que la modernización del equipo podría mejorar la seguridad del paciente, reducir los tiempos de reparación y aumentar la disponibilidad de capacidad, lo que conduce a mayores ingresos.

Este estudio analizó factores identificados a través de las experiencias de profesionales sanitarios de la UCIN, personal administrativo y personal de ingeniería biomédica. Las investigaciones futuras deberían examinar factores adicionales —como la distancia entre el hogar familiar y el hospital, así como la experiencia parental— y evaluar su impacto en la HS prolongada, como se informó en estudios previos, (28).

El modelo de simulación de dinámica de sistemas mostró alta precisión (coeficientes $>0,6$ y hasta $0,96$ para admisiones/altas; $p > 0,05$ en la prueba de Wilcoxon), lo que confirma su fiabilidad para la planificación de la UCI neonatal y la mejora continua. Se recomienda la validación en otros entornos hospitalarios y análisis coste-beneficio en escenarios pesimistas, intermedios y optimistas para establecer estrategias sostenibles.

Los escenarios de simulación demostraron que el sistema de cuidados neonatales analizado es altamente vulnerable a fallos bajo condiciones de mayor demanda de pacientes, ya sea de forma gradual o repentina. En contraste, los escenarios con menor demanda mostraron mayor estabilidad del sistema. Los periodos de alta demanda afectaron negativamente la recuperación de los pacientes, las tasas de mortalidad y la utilización de camas. Estos hallazgos ponen de manifiesto la necesidad de ajustes administrativos y logísticos a lo largo del proceso de prestación de cuidados para gestionar mejor las fluctuaciones de la demanda.

Conclusiones

Los resultados de la encuesta destacaron que los determinantes de la educación superior eran las derivaciones a otras instituciones o servicios, las autorizaciones para procesos y las autorizaciones para la entrega domiciliaria de materiales. Estos requieren que revisemos los problemas

administrativos y de gestión relacionados con la prestación de servicios porque no forman parte del CORE de la institución sanitaria. Los otros determinantes de la HE pueden revisarse porque están cerca de la media de aproximadamente 5; Por lo tanto, se pueden hacer pequeños cambios en estos determinantes, mejorando la percepción de la calidad del servicio.

En los subprocesos, se puede establecer que persisten retrasos en procesos administrativos, como las derivaciones de pacientes a otra institución para su traslado y las derivaciones a otra institución para examen o procedimiento clínico. Sin embargo, podemos observar que existe una oportunidad significativa de mejora en las solicitudes de mantenimiento correctivo de equipos médicos, que puede durar desde 1 hora hasta 1 día. Desde una perspectiva de ingeniería biomédica, podemos revisar los procesos para formar al personal técnico, respaldar el equipo médico y el número de personal técnico en el departamento de ingeniería.

Los hallazgos demuestran que las variables administrativas relacionadas con la gestión tecnológica (mantenimiento correctivo, disponibilidad de equipos biomédicos) y los procesos interinstitucionales (comunicación durante la rotación del personal, coordinación con aseguradoras) ejercen una influencia sistémica en la eficiencia operativa de la UCIN, lo que sugiere que las estrategias de mejora continua deben integrar componentes técnicos, administrativos y de gestión del conocimiento para optimizar la duración de la estancia hospitalaria y mejorar los resultados neonatales. Estos resultados proporcionan información útil para administradores y responsables sanitarios que buscan mejorar la prestación de cuidados neonatales mediante enfoques basados en sistemas, contribuyendo al creciente cuerpo de evidencia que respalda la aplicación de la modelización de dinámica sistémica en la gestión sanitaria y las iniciativas de mejora de la calidad

Declaración de contribución de autoría de CreditT

Conceptualización - Ideas: Isabella Varon Velasco, Mariana Escamilla Rodríguez, Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla. Curación de datos: Isabella Varon Velasco, Mariana Escamilla Rodríguez, Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla, Mauricio Alejandro Gómez Figueroa. Análisis formal: Isabella Varon Velasco, Mariana Escamilla Rodríguez, Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla, Mauricio Alejandro Gómez Figueroa. Investigación: Isabella Varon Velasco, Mariana Escamilla Rodríguez, Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla. Metodología: Isabella Varon Velasco, Mariana Escamilla Rodríguez, Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla. Dirección de Proyecto: Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla. Recursos: Isabella Varon Velasco, Mariana Escamilla Rodríguez, Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla, Mauricio Alejandro Gómez Figueroa. Análisis formal: Isabella Varon Velasco, Mariana Escamilla Rodríguez, Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla, Mauricio Alejandro Gómez Figueroa. Supervisión: Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla, Mauricio Alejandro Gómez Figueroa. Validación: Isabella Varon Velasco, Mariana Escamilla Rodríguez, Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla, Mauricio Alejandro Gómez Figuero. Redacción - borrador original - Elaboración: JIsabella Varon Velasco, Mariana Escamilla Rodríguez, Laura Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla, Mauricio Alejandro Gómez Figuero. Redacción - revisión y edición -Elaboración: JLaura

Valentina Bocanegra Villegas, Sandra Patricia Usaquén Perilla, Mauricio Alejandro Gómez Figueroa.

Financiación: no declara. Conflicto de intereses: no declara. Aspecto ético: no declara.

Referencias

1. Díez López I, Cernada M, Galán L, Boix H, Ibañez L, Couce ML. Small for gestational age: concept, diagnosis and neonatal characterization, follow-up and recommendations. *An Pediatr (Engl Ed)*. 2024;101(2):124-31.

<https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2024.06.004>

2. Blencowe H, Cousens S, Chou D, Oestergaard M, Say L, Moller AB, et al. Born too soon: the global epidemiology of 15 million preterm births. *Reprod Health*. 2013;10(Suppl 1):S2.

<https://doi.org/10.1186/1742-4755-10-S1-S2>

3. Ohuma EO, Moller AB, Bradley E, Chakwera S, Hussain-Alkhateeb L, Lewin A, et al. National, regional, and global estimates of preterm birth in 2020, with trends from 2010: a systematic analysis. *Lancet*. 2023;402(10409):1261-71.

[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)00878-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)00878-4)

4. Sanhueza A, Cueva DA, Mujica OJ, Soliz P, Duran P. Income inequality as a determinant of neonatal mortality in the Americas during 2000-2019: implications for the attainment of Sustainable Development Goal target 3.2. *Int J Equity Health*. 2024;23(1):1-10.

<https://doi.org/10.1186/s12939-024-02157-9>

5. UNICEF. La desigualdad pone en riesgo la vida de los recién nacidos [Internet]. Bogotá: UNICEF; 2018 [cited 2026 Mar 13]. Available from: <https://www.unicef.org/colombia/comunicados-prensa/la-desigualdad-pone-en-riesgo-la-vida-de-los-recien-nacidos>

6. United Nations Inter-agency Group for Child Mortality Estimation. Child mortality estimates: under-five mortality rate [Internet]. 2025 [cited 2026 Mar 13]. Available from: <https://childmortality.org/all-cause-mortality/data?indicator=MRM0&refArea=BRA>

7. González-Zapatero C, González-Benito J, Lannelongue G, Ferreira LM. Using fit perspectives to explain supply chain risk management efficacy. *Int J Prod Res*. 2021;59(17):5272-83.

<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1776412>

8. Instituto Nacional de Salud (Colombia). Boletín epidemiológico semana 32: informe de desempeño en la vigilancia en salud pública. Entidades territoriales y entidades administradoras de planes de beneficios, primer trimestre de 2022 [Internet]. Bogotá: INS; 2022.

<https://doi.org/10.33610/23576189.2022.41>



9. Driscoll CAH. Quality improvement in neonatal care. In: Martin RJ, Fanaroff AA, Walsh MC, editors. Fanaroff and Martin's Neonatal-Perinatal Medicine: Principles of Neonatology. Philadelphia: Elsevier; 2024.
10. Sauer S, Hedt-Gauthier B, Haneuse S. Optimal allocation in stratified cluster-based outcome-dependent sampling designs. *Stat Med*. 2021;40(18):4090-107.
<https://doi.org/10.1002/sim.9016>
11. Cassidy R, Tomoia-Cotisel A, Semwanga AR, Binyaruka P, Chalabi Z, Blanchet K, et al. Understanding the maternal and child health system response to payment for performance in Tanzania using a causal loop diagram approach. *Soc Sci Med*. 2021;285:114277.
<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.114277>
12. Hettiarachchi BD, Brandenburg M, Seuring S. Connecting additive manufacturing to circular economy implementation strategies: links, contingencies and causal loops. *Int J Prod Econ*. 2022;246:108414.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108414>
13. Nijhof A, Wins A, Argyrou A, Chevrollier N. Sustainable market transformation: a refined framework for analyzing causal loops in transitions to sustainability. *Environ Innov Soc Transitions*. 2022;42:352-61.
<https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.01.010>
14. Groundstroem F, Juhola S. Using systems thinking and causal loop diagrams to identify cascading climate change impacts on bioenergy supply systems. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*. 2021;26(7):29.
<https://doi.org/10.1007/s11027-021-09967-0>
15. Qin H, Simchi-Levi D, Ferer R, Mays J, Merriam K, Forrester M, et al. Trading safety stock for service response time in inventory positioning. *Prod Oper Manag*. 2022;31(12):4462-74.
<https://doi.org/10.1111/poms.13869>
16. Gachúz Maya JC. Mexico's trade relationship with China in the context of the United States-China trade war. *J Curr Chin Aff*. 2022;51(1):83-107.
<https://doi.org/10.1177/18681026211038339>
17. Crossa M. USMCA and uneven regionalized protectionism: automotive industry in Mexico under US corporate control. *Int J Polit Econ*. 2024;53(4):492-505.
<https://doi.org/10.1080/08911916.2024.2407578>
18. Wang M. Trade diversion effects from global tensions-higher than we think. *IMF Work Pap*. 2023;2023(234).
<https://doi.org/10.5089/9798400257421.001>

19. Pan American Health Organization. Neonatal mortality rate [Internet]. PAHO; [cited 2026 Mar 13]. Available from: <https://pbdigital.paho.org/eob-2022-2023/impact-results/03-neonatal-mortality-rate>
20. United Nations Inter-agency Group for Child Mortality Estimation. Mortality rate, neonatal (per 1,000 live births) [Internet]. World Bank Data; 2025 [cited 2026 Mar 13]. Available from: <https://data.worldbank.org/indicator/SH.DYN.NMRT>
21. UNICEF. UNICEF Data Warehouse: Demography [Internet]. 2025 [cited 2026 Mar 13]. Available from: https://data.unicef.org/resources/data_explorer/unicef_f/?ag=UNICEF&df=GLOBAL_DATAFLOW&ver=1.0&dq=COL.CME_TMM0+CME_PND+CME_MRM0.&startPeriod=2016&endPeriod=2023
22. Lakshmanan A, Song AY, Belfort MB, Yieh L, Dukhovny D, Friedlich PS, et al. The financial burden experienced by families of preterm infants after NICU discharge. *J Perinatol*. 2022;42(2):223-30.
<https://doi.org/10.1038/s41372-021-01213-4>
23. Ounpraseuth S, Bronstein J, Gauss CH, Wingate MS, Hall RW, Nugent RR. Time trends and payer differences in lengths of initial hospitalization for preterm infants, Arkansas, 2004-2010. *Am J Perinatol*. 2015;32(1):33-42.
<https://doi.org/10.1055/s-0034-1373843>
24. Omar SM, Hassan AA, Al-Nafeesah A, AlEed A, Alfaifi J, Adam I. Length of stay and its associated factors in the neonatal intensive care unit of Gadarif Hospital, Eastern Sudan: a retrospective study. *BMC Pediatr*. 2024;24:821.
<https://doi.org/10.1186/s12887-024-05318-5>
25. Fu M, Song W, Yu G, Yu Y, Yang Q. Risk factors for length of NICU stay of newborns: a systematic review. *Front Pediatr*. 2023;11:1121406.
<https://doi.org/10.3389/fped.2023.1121406>
26. Alhamawi NJ, Alharbi HA, Alqahtani MH. Reasons and factors affecting the neonatal intensive care unit length of stay of full-term newborns: a systematic review. *Cureus*. 2024;16(11):e73892.
<https://doi.org/10.7759/cureus.73892>
27. Heidarzadeh M, Rahimi R, Mahmoudi M, Habibelahi A, Ali Akbari Khoei R, Abdollahi-Abed L, et al. Impact of managerial and clinical interventions on trend of neonatal care and mortality in a regional hospital in Iran: a retrospective study. *Egypt Pediatr Assoc Gaz*. 2025;73(1):79.
<https://doi.org/10.1186/s43054-025-00423-1>
28. Bourque SL, Williams VN, Scott J, Hwang SS. The role of distance from home to hospital on parental experience in the NICU: a qualitative study. *Children (Basel)*. 2023;10(9):1576.
<https://doi.org/10.3390/children10091576>