

**Gestión de servicios de urgencias hospitalarios basándose
en los indicadores de rendimiento utilizando la simulación**

Ramona Elizabeth Galeano Galeano

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=ca>

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=es>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



Escuela de Ingeniería
Departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas
Operativos

Gestión de servicios de urgencias hospitalarios basándose en los indicadores de rendimiento utilizando la simulación

Tesis presentada por [Ramona Elizabeth Galeano Galeano](#), para optar al grado de Doctor por la [Universidad Autónoma de Barcelona](#). Este trabajo ha sido desarrollado en el departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos bajo la dirección del Dr. Emilio Luque y del Dr. Francisco Epelde, y la tutoría de la Dra. Dolores Isabel Rexachs del Rosario.

Barcelona (España), Noviembre, 2025



Aquitectura de Computadores y Sistemas Operativos

Gestión de servicios de urgencias hospitalarios basándose en los indicadores de rendimiento utilizando la simulación

Tesis presentada por **Ramona Elizabeth Galeano Galeano**, para optar al grado de Doctor por la Universidad Autónoma de Barcelona. Este trabajo ha sido desarrollado en el departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos, bajo la dirección del Dr. Emilio Luque y del Dr. Francisco Epelde, y la tutoría de la Dra. Dolores Isabel Rexachs del Rosario.

Directores

Autor

Acknowledgements

A Dios, fuente de mi fortaleza y guía constante. A mi familia, a mi mamá Felipa y a mis hermanos, Diego y Fátima, por su apoyo en cada paso, por su amor y por acompañarme en cada etapa de este doctorado. Y a mi papá, que me acompaña desde el cielo.

Expreso mi más profundo agradecimiento al Dr. Emilio Luque y a la Dra. Dolores Isabel por su constante orientación y aprender de su amplia experiencia. Estoy sinceramente agradecida por su valiosa supervisión, dedicación y sabiduría a lo largo de todo este proyecto. Gracias por aceptarme en el doctorado y por confiar en mi capacidad para cursarlo.

También quiero dar las gracias al Dr. Álvaro Wong, cuya ayuda fue fundamental para el desarrollo de este trabajo. Al Dr. Francisco Epelde. A mis compañeros del laboratorio, por su colaboración y camaradería, quienes hicieron de este proceso algo más llevadero y enriquecedor.

Finalmente, deseo expresar mi gratitud a la Beca Carlos Antonio López, que financió mis estudios de doctorado; a la Facultad Politécnica, que me concedió el permiso necesario para llevarlo a cabo; y a todas las personas que, con su apoyo y contribución, hicieron posible la realización y culminación de esta tesis.

Abstract

Hospital emergency departments must be prepared to handle crises and disasters, including pandemics and epidemics. If these types of events occur, they require a rapid solution to provide a sustained response to the problem at hand.

Simulation can be used effectively to create or improve a system or process. It is beneficial for building hypothetical scenarios and is used in many areas, including emergency departments, where it aids decision-making. In this context, simulation is presented as a valuable tool for designing or improving systems and processes. Its usefulness lies in its ability to create hypothetical scenarios that enable anticipation and planning of actions. This technique is widely used in various fields, including medical emergencies. Simulation in the emergency department serves as a decision-support system, enabling healthcare managers to make informed decisions and optimize resource utilization, ultimately leading to a more efficient patient care system.

Standards in hospital emergency services achieve greater efficiency, more transparent communication, and uniformity of services across the entire healthcare system. Having a set of standards for calculating doctors, nurses, bays, and triage in hospital emergency services would not only facilitate better management of these situations but also ensure consistency and accuracy. Still, it would also help maintain a consistent, high-quality response across all hospitals nationwide. Using a set of standards in hospital emergency services could help us maintain a standard across all hospitals in each country.

This research focuses on a simulator that will serve as a basis and

enhance its predictive potential by adapting it to a range of scenarios, including pandemics and epidemics. We use a reference model based on the Spanish Ministry of Health and Social Policy's document of standards and recommendations on hospital emergency services to analyze how specific parameters evolve under different conditions.

Among the scenarios considered are population aging and growth, as well as reductions in available resources (such as physicians and nursing staff). This model enables the evaluation and adjustment of key aspects, including the composition of the medical team and nursing staff, the devices used (care boxes), and patient wait-time management.

Additionally, we conducted a comparative analysis of emergency care standards across several countries. The objective is to evaluate the efficiency of the Spanish model relative to other international systems and to understand its performance across various contexts.

Resum

Els serveis d'urgències hospitalàries han d'estar preparats per actuar davant de situacions crítiques i esdeveniments de gran impacte, com ara epidèmies o pandèmies. Quan es presenten aquest tipus de crisi, cal oferir solucions ràpides que permetin mantenir una resposta efectiva i sostinguda en el temps.

La simulació constitueix una eina útil per crear, avaluar o perfeccionar processos i sistemes. És especialment beneficiosa per construir escenaris hipotètics que permetin anticipar problemes i planificar accions. La seva aplicació és comuna en múltiples disciplines i, dins de l'àmbit de les urgències hospitalàries, serveix com a suport per a la presa de decisions. D'aquesta manera, la simulació esdevé un recurs estratègic que ajuda els gestors sanitaris a optimitzar els recursos disponibles i millorar el funcionament del sistema d'atenció al pacient, aconseguint una operació més àgil i eficient.

L'establiment d'estàndards als serveis d'urgències permet millorar l'organització, garantir una comunicació clara i assegurar una uniformitat més gran en la prestació del servei en tot el sistema sanitari. Comptar amb criteris unificats per determinar necessitats com ara el nombre de metges, infermeres, àrees d'atenció o procediments de triatge facilita la gestió en situacions excepcionals i contribueix a oferir una atenció homogènia i de qualitat a tots els hospitals d'un país.

En aquest estudi es parteix d'un simulador existent, que s'amplia i s'adapta per augmentar la seva capacitat predictiva, incorporant diferents escenaris relacionats amb pandèmies i epidèmies. El model

es basa en el document destàndards i recomanacions del Ministeri de Sanitat i Política Social d'Espanya per als serveis d'urgències hospitalaris, per tal d'analitzar com es comporten diversos paràmetres sota diferents condicions externes.

Entre els escenaris plantejats es consideren factors com l'envelliment i l'increment de la demanda assistencial, així com la disminució de recursos humans disponibles, inclosos metges i personal d'infermeria. El model permet examinar i ajustar elements fonamentals com ara la configuració de l'equip sanitari, la dotació d'infermeria, l'ús d'àrees d'atenció (careboxes) i la gestió dels temps d'espera dels pacients.

Finalment, es fa una comparació internacional de diferents estàndards d'atenció a urgències, amb l'objectiu d'analitzar l'acompliment del model espanyol davant d'altres sistemes sanitaris del món i comprendre'n l'eficàcia en diferents contextos.

Resumen

Los servicios de urgencias hospitalarias deben estar preparados para actuar ante situaciones críticas y eventos de gran impacto, como epidemias o pandemias. Cuando se presentan este tipo de crisis, es necesario ofrecer soluciones rápidas que permitan mantener una respuesta efectiva y sostenida en el tiempo.

La simulación constituye una herramienta útil para crear, evaluar o perfeccionar procesos y sistemas. Resulta especialmente beneficiosa para construir escenarios hipotéticos que permitan anticipar problemas y planificar acciones. Su aplicación es común en múltiples disciplinas y, dentro del ámbito de las urgencias hospitalarias, sirve como apoyo para la toma de decisiones. De esta manera, la simulación se convierte en un recurso estratégico que ayuda a los gestores sanitarios a optimizar los recursos disponibles y mejorar el funcionamiento del sistema de atención al paciente, logrando una operación más ágil y eficiente.

El establecimiento de estándares en los servicios de urgencias permite mejorar la organización, garantizar una comunicación clara y asegurar una mayor uniformidad en la prestación del servicio en todo el sistema sanitario. Contar con criterios unificados para determinar necesidades como el número de médicos, enfermeras, áreas de atención o procedimientos de triaje facilita la gestión en situaciones excepcionales y contribuye a ofrecer una atención homogénea y de calidad en todos los hospitales de un país.

En este estudio se parte de un simulador existente, que se amplía y adapta para aumentar su capacidad predictiva, incorporando distintos escenarios relacionados con pandemias y epidemias. El modelo se basa

en el documento de estándares y recomendaciones del Ministerio de Sanidad y Política Social de España para los servicios de urgencias hospitalarios, con el fin de analizar cómo se comportan diversos parámetros bajo diferentes condiciones externas.

Entre los escenarios planteados se consideran factores como el envejecimiento y el incremento de la demanda asistencial, así como la disminución de recursos humanos disponibles, incluidos médicos y personal de enfermería. El modelo permite examinar y ajustar elementos fundamentales como la configuración del equipo sanitario, la dotación de enfermería, el uso de áreas de atención (careboxes) y la gestión de los tiempos de espera de los pacientes.

Finalmente, se realiza una comparación internacional de distintos estándares de atención en urgencias, con el objetivo de analizar el desempeño del modelo español frente a otros sistemas sanitarios del mundo y comprender su eficacia en diferentes contextos.

Índice general

Índice general	XI
Índice de figuras	XIII
Índice de tablas	XV
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Perfil clínico del Servicio de Urgencias y poblaciones prioritarias . .	4
1.3. Objetivos generales	5
1.4. Objetivos específicos	5
1.5. Metodología de la investigación	6
1.6. Contribuciones de la tesis	7
1.7. Estructura de la tesis	8
2. Marco teórico	11
2.1. Marco teórico	11
2.1.1. Indicadores clave de rendimiento (KPIs) y umbrales clínicamente relevantes	16
2.2. Antecedentes	18
2.3. Estado del arte	19
3. Metodología para la adaptación de un simulador del servicio de urgencias hospitalarias en casos de una emergencia (pandemia, epidemia)	25

ÍNDICE GENERAL

3.1. Objetivo de este capítulo	25
3.2. Aporte de este capítulo	26
3.3. Adaptación del modelo del servicio de urgencias en casos de pandemias como el COVID-19	27
3.3.1. Introducción	28
3.3.2. Estado del arte	32
3.3.3. Supuestos clínicos del escenario COVID-19	34
3.3.4. Descripción del Modelo de Servicio de Urgencias	35
3.3.5. Simulador adaptado	38
3.3.6. Contexto: COVID-19 en IPS Ingavi de Paraguay	40
3.4. Adaptación del modelo para epidemias de chikungunya	50
3.4.1. Supuestos clínicos del escenario chikungunya	51
3.4.2. Agentes activos	53
3.4.3. Variables de estado	53
3.4.4. Salida	54
3.4.5. Agentes pasivos	54
3.4.6. Método	54
3.4.7. Datos de entrada experimentales	55
4. Evaluación del Servicio de Urgencias Hospitalarias a través de Simulación: Construcción de un escenario de referencia	63
4.1. Objetivos	64
4.2. Método y aporte de la tesis	64
4.2.1. Implementación de la priorización basada en la gravedad y el KPI de puerta a médico (DTD)	64
4.3. Parámetros definidos en el estándar	67
4.3.1. Pacientes	67
4.3.2. Médicos	68
4.3.3. Para el área de urgencias	70
4.3.4. Enfermera	71
4.3.5. Careboxes de exploración y diagnóstico	71
4.3.6. Triage	72
4.4. Resumen de parámetros definidos	73

4.5. Parámetros no definidos	74
4.6. Materiales	75
4.7. Escenario de referencia	78
4.8. Evolución de los KPI en función de diferentes escenarios. Estudios de casos a cortos y largos plazos	84
4.8.1. Caso a corto plazo: Incremento del número de pacientes (300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450 pacientes, definición de escenarios del servicio de urgencias hospitalarias)	85
4.8.2. Caso a corto plazo: Disminución del personal sanitario del servicio de urgencias hospitalarias	89
4.8.3. Caso a corto plazo: Análisis del LoS y las ocupaciones en caso de aumento de careboxes	101
4.8.4. Caso a corto plazo: Análisis del DtD en caso de aumento de la cantidad de carebox	103
4.8.5. Caso a largo plazo: Análisis de los KPI utilizando la pirámide poblacional y los parámetros del estándar de referencia . . .	107
5. La simulación como herramienta de comparación de la eficiencia utilizando el indicador Door-To-Doctor DtD	123
5.1. Objetivos	123
5.2. Metodología	123
5.3. Experimentos	128
6. Conclusiones, limitaciones del simulador	137
6.1. Conclusiones	137
6.2. Limitaciones del simulador	139
Referencias	141
Apéndice	152
.1. Nomenclatura utilizada	155

ÍNDICE GENERAL

Índice de figuras

1.1. Etapas de la metodología en espiral del proceso de la investigación realizada	7
3.1. Transición de estado del agente paciente al interactuar con otros agentes o con el paso del tiempo	36
3.2. Transición de estado de los recursos humanos del hospital como personal de admisión, médico, enfermera de triaje, personal de laboratorio y enfermera al interactuar con otros agentes o con el paso del tiempo.	37
3.3. Visualización de la simulación en NetLogo del servicio de urgencias después de la adaptación.	39
3.4. Distribución de llegada de pacientes por hora del día al hospital con un promedio de 400 pacientes al día como mínimo del IPS Ingavi. .	44
3.5. Comparación de la edad del paciente entre datos reales y simulados del IPS Ingavi.	45
3.6. Porcentaje del nivel de agudeza de llegada de pacientes en el IPS Ingavi entre los datos reales y simulados.	45
3.7. Porcentaje del destino de los pacientes con COVID en el hospital IPS Ingavi	46
3.8. Valor de la configuración de recursos humanos caso 1 y 2 en el hospital IPS Ingavi.	46
3.9. Promedio en horas de la duración de la estancia según el nivel de agudeza (LoS) para los casos 1 y 2 en el hospital IPS Ingavi.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

3.10. Promedio en horas del tiempo de espera del paciente según nivel de agudeza (Lowt) para los casos 1 y 2 en el hospital IPS Ingavi. . . .	47
3.11. Número de pacientes del hospital Nacional de Itaugua de acuerdo al nivel de gravedad	57
3.12. Número de pacientes de acuerdo a la edad y el sexo en el hospital Nacional de Itaugua	58
3.13. Número de internados de chikungunya entre finales del 2022 y 2023 en el hospital Nacional de Itaugua	59
3.14. Porcentaje de ocupaciones de los recursos en el hospital Nacional de Itaugua a causa de los pacientes con chikungunya entre finales del 2022 y 2023	60
3.15. Longitud de la estancia en minutos de 250 pacientes con chikungunya según los distintos niveles de gravedad entre finales del 2022 y 2023 en el hospital Nacional de Itaugua	61
3.16. Longitud de la estancia en minutos de 400 pacientes con chikungunya según los distintos niveles de gravedad entre finales del 2022 y 2023 en el hospital Nacional de Itaugua	61
4.1. Simulador del Servicio de Urgencias Hospitalarias con la configuración del escenario de referencia	75
4.2. Modelo conceptual del simulador	76
4.3. Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 2 (LoS2) expresado en minutos de las 100 simulaciones. .	80
4.4. Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 3 (LoS3) expresado en minutos de las 100 simulaciones. .	80
4.5. Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 4 (LoS4) expresado en minutos de las 100 simulaciones. .	81
4.6. Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 5 (LoS5) expresado en minutos de las 100 simulaciones. .	81
4.7. Promedio de la duración de la estancia (LoS) de los pacientes en minutos según los niveles de gravedad para el caso de referencia con la media de 300 y el pico de 450 pacientes de 100 simulaciones. . . .	83

4.8. Promedio del porcentaje de ocupación de los diferentes recursos del hospital para el caso de referencia con la media de 300 y el pico de 450 pacientes de 100 simulaciones.	84
4.9. Promedio de la duración de la estancia (LoS) en minutos conforme se incrementa el número de pacientes de acuerdo a los distintos niveles de gravedad de 100 simulaciones	87
4.10. Promedio del porcentaje de ocupación de los diferentes recursos en el hospital de acuerdo al aumento de pacientes de 100 simulaciones	88
4.11. Promedio de la longitud de la estancia (LoS) en minutos para los niveles de gravedad 4 y 5 cuando se produce una disminución de médicos en el área B.	90
4.12. Promedio de la longitud de la estancia (LoS) en minutos para los niveles de gravedad 2 y 3 cuando se produce una disminución de médicos en el área A.	92
4.13. Promedio de la longitud de la estancia (LoS) en minutos para los niveles de gravedad 4 y 5 cuando se produce una disminución de médicos y enfermeras en el área B.	93
4.14. Promedio de la ocupación en porcentaje cuando se produce una disminución de médicos en el área B.	94
4.15. Promedio de la ocupación en porcentaje cuando se produce una disminución de médicos en el área A.	95
4.16. Promedio de la ocupación en porcentaje cuando se produce una disminución de médicos y enfermeras en el área B.	96
4.17. Promedio de la longitud de la estancia (LoS) en minutos para los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5 cuando se produce una disminución de enfermeras en el área B.	97
4.18. Promedio de la longitud de la estancia (LoS) en minutos para los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5 cuando se produce una disminución de enfermeras en el área A.	98
4.19. Promedio de la ocupación en porcentaje cuando se produce una disminución de enfermeras en el área B.	99

ÍNDICE DE FIGURAS

4.20. Promedio de la ocupación en porcentaje cuando se produce una disminución de enfermeras en el área A.	100
4.21. Promedio de la duración de la estancia (LoS) para los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5 expresado en minutos en caso de aumento de la cantidad de carebox del 22 a 42.	102
4.22. Promedio de las ocupaciones de los recursos humanos del hospital expresado en porcentaje en caso de aumento de la cantidad de carebox.	103
4.23. Promedio del DtD expresado en minutos en caso de aumento de la cantidad de carebox de 18 a 19 careboxes para los pacientes con nivel de gravedad 3.	104
4.24. Promedio del DtD expresado en minutos en caso de aumento de la cantidad de médicos de 8 a 10 del área A para los pacientes con el nivel de gravedad 3.	105
4.25. Promedio de la duración de la estancia (LoS) para los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5 expresado en minutos en caso de aumento de la cantidad de médicos de 8 a 10 para el área A.	106
4.26. Pirámide de población de España año 2023 según la pirámide poblacional global	108
4.27. Promedio de la duración de la estancia de acuerdo con los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5 y aumento de pacientes expresado en minutos, modificando la edad con la pirámide poblacional de España del año 2023 actualizada con respecto al año 2014.	109
4.28. Porcentaje de ocupación de los diferentes recursos de acuerdo al aumento de pacientes, utilizando la pirámide poblacional de España	110
4.29. Pirámide poblacional de Paraguay año 2023 según la pirámide poblacional global	111
4.30. Pirámide poblacional de Argentina año 2023 según la pirámide poblacional global	111
4.31. Pirámide poblacional de España año 2023 según la pirámide poblacional global	111
4.32. Pirámide poblacional de Paraguay, año 2024 según la pirámide poblacional global	113

4.33. Pirámide poblacional de Argentina, año 2024 según la pirámide poblacional global	113
4.34. Pirámide poblacional de España, año 2024 según la pirámide poblacional global	113
4.35. Pirámide poblacional de Paraguay, año 2029 según la pirámide poblacional global	114
4.36. Pirámide poblacional de Argentina, año 2029 según la pirámide poblacional global	114
4.37. Pirámide poblacional de España, año 2029 según la pirámide poblacional global	114
4.38. Pirámide poblacional de Paraguay, año 2034 según la pirámide poblacional global	115
4.39. Pirámide poblacional de Argentina, año 2034 según la pirámide poblacional global	115
4.40. Pirámide poblacional de España, año 2034 según la pirámide poblacional global	115
4.41. Pirámide poblacional de Paraguay, año 2039 según la pirámide poblacional global	116
4.42. Pirámide poblacional de Argentina, año 2039 según la pirámide poblacional global	116
4.43. Pirámide poblacional de España, año 2039 según la pirámide poblacional global	116
4.44. Comparación de la duración de la estancia hospitalaria para los niveles de gravedad 2, 3 y 4 en España, Paraguay y Argentina expresado en minutos.	117
4.45. Promedio del porcentaje de ocupación del médico en el área B para España, Argentina y Paraguay de acuerdo al número de pacientes. .	119
4.46. Porcentaje de ocupación de la enfermera en el área B para España, Argentina y Paraguay de acuerdo al número de pacientes.	120

ÍNDICE DE FIGURAS

4.47. Promedio de la comparación de los países duración de la estancia hospitalaria para el nivel de gravedad 3 (LoS3) expresado en minutos del 2024 a 2039; la barra azul corresponde a España, la barra naranja a Argentina y la barra verde a Paraguay.	122
5.1. Pacientes y patrón de distribución de la llegada de pacientes por hora del día	124
5.2. Porcentaje de pacientes según nivel de gravedad por hora del día .	125
5.3. Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 2 de España por hora del día	129
5.4. Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 2 de Estados Unidos por hora del día	129
5.5. Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 2 de Canadá por hora del día	130
5.6. Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 2 de Reino Unido por hora del día	130
5.7. Promedio de DtD en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de España	131
5.8. Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de Argentina por hora del día	132
5.9. Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de Paraguay por hora del día	132
5.10. Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de Alemania por hora del día	133
5.11. Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de Emiratos Árabes Unidos por hora del día	133
5.12. Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de Turquía por hora del día	134
1. Normal distribution of LoS5 de las 100 simulaciones.	155
2. Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 2 (LoS2) expresado en minutos de las 100 simulaciones. .	156

3. Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 3 (LoS3) expresado en minutos de las 100 simulaciones. . 156
4. Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 4 (LoS4) expresado en minutos de las 100 simulaciones. . 157
5. Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 5 (LoS5) expresado en minutos de las 100 simulaciones. . 157

Índice de tablas

3.1. Caso 1: Representación cuantitativa del servicio de urgencias hospitalarias antes de la contratación de más médicos y enfermeras.	41
3.2. Caso 2: Representación cuantitativa del servicio de urgencias hospitalarias tras la contratación de más personal debido a la alta demanda de pacientes	42
3.3. Análisis de los resultados de utilización de los recursos humanos (resultados de simulación).	48
3.4. Máximo, tamaño promedio de la muestra para evaluar la estancia del paciente (LoS, Lowt, error relativo: 10 %, confianza: 95 %). . . .	48
3.5. Representación cuantitativa del servicio de urgencias del Hospital Nacional de Itauguá	56
4.1. Explicación de los niveles de urgencias de triaje	73
4.2. Explicación de los niveles de urgencias de triaje con ejemplos	74
4.3. Configuración de recursos humanos en el hospital utilizados para la simulación	87
4.4. Configuración de recursos humanos en el hospital utilizados para la simulación	89
4.5. Configuración de recursos humanos en el hospital utilizados para la simulación	91
4.6. Configuración de recursos humanos en el hospital utilizados para la simulación	92

ÍNDICE DE TABLAS

4.7.	Comparación de la duración de la estancia hospitalaria para el nivel de gravedad 2 (LoS2) expresado en minutos según el número de pacientes del año 2024 para España, Argentina y Paraguay	119
4.8.	Promedio de la comparación de la duración de la estancia hospitalaria para el nivel de gravedad 3 (LoS3) expresado en minutos según el número de pacientes de 2024 para España, Argentina y Paraguay	120
5.1.	Comparación de los tiempos máximos expresado en minutos entre diferentes tipos de triaje por nivel de gravedad (I, II, III, IV, V) según el trabajo de Bermejo[14]	125
5.2.	Comparación del tipo de triaje, tiempo de triaje expresado en minutos utilizado en cada país según el nivel de gravedad	127
5.3.	Parámetros de simulación como cantidad de pacientes, enfermeras, médicos, careboxes según los estándares de cada país.	127

Capítulo 1

Introducción

Los servicios de urgencias hospitalarias constituyen estructuras complejas y de enorme relevancia, especialmente en situaciones críticas. Optimizar el funcionamiento de estos servicios representa un reto significativo para los gestores hospitalarios. La simulación se presenta como una herramienta que permite examinar y valorar el sistema sin generar riesgos para los pacientes. En la administración sanitaria, uno de los objetivos permanentes es la mejora sostenida de la calidad asistencial.

La administración de los servicios de urgencias puede beneficiarse del uso de herramientas informáticas que permitan planificar y asignar adecuadamente los recursos humanos y materiales disponibles. Dentro de estas alternativas, la simulación se consolida como una técnica útil para apoyar el proceso de toma de decisiones, ya que facilita a los gestores seleccionar las estrategias más adecuadas para optimizar los recursos y mejorar la atención prestada, alcanzando así un funcionamiento más eficiente.

Generalmente, los servicios de urgencias constituyen una unidad fundamental dentro del hospital. La experiencia del paciente en esta área influye de manera directa en su percepción de la atención recibida y, por extensión, en la imagen que proyecta el hospital. Su labor se centra en la recepción, valoración, estabilización y tratamiento inmediato de personas con patologías críticas, urgentes o de menor

1. INTRODUCCIÓN

gravedad.

Las guías y normas buscan definir los procedimientos y recursos básicos indispensables para asegurar una atención adecuada dentro de los servicios de urgencias. La implantación de estas normas facilita la atención de pacientes de diferentes niveles de gravedad y, cuando es necesario, su traslado a centros especializados. Contar con criterios homogéneos contribuye a unificar los procedimientos, definir los recursos requeridos, y asegurar servicios sanitarios de calidad en todo el país. En general, la estandarización favorece servicios más seguros, eficientes y confiables para la población.

En España existen documentos oficiales con recomendaciones dirigidas a la organización y diseño de los servicios de urgencias [4]. Aunque no tienen carácter normativo, proporcionan orientación para la apertura y funcionamiento de estas unidades. Su finalidad es ofrecer criterios que permitan mejorar la seguridad, la eficiencia y la calidad del servicio, así como definir aspectos relacionados con su estructura y equipamiento. Sin embargo, estas directrices son estáticas y no se ajustan de manera automática a cambios o situaciones extraordinarias que puedan surgir en la práctica diaria.

El triaje es un procedimiento utilizado para ordenar a los pacientes según el nivel de urgencia con el que requieren atención, generalmente mediante una escala de cinco categorías. Su aplicación permite mejorar la calidad asistencial y disminuir los tiempos de espera en los servicios de urgencias. Este mecanismo resulta esencial, ya que facilita la priorización objetiva en función de la gravedad clínica y la necesidad de tratamiento inmediato. A nivel internacional se emplean diferentes sistemas de triaje estandarizados.

El origen del triaje se remonta a las guerras napoleónicas [67], donde se desarrolló con la finalidad de administrar los recursos sanitarios disponibles priorizando a los pacientes según su estado, posibilidades de recuperación y necesidad de intervención rápida, optimizando la atención para permitir su pronto regreso al combate [63]. Desde entonces se establecieron categorías de clasificación que permitían acelerar la atención de los heridos más graves [63].

1. INTRODUCCIÓN

Las escalas más conocidas son el Emergency Severity Index System (ESI) [62] en EE. UU., la Australian Triage Scale (ATS) [54] en Australia, el Manchester Triage Scale System (MTS)[19],[47] en el Reino Unido, Alemania y la Canadian Triage and Acuity Scale (CTAS)[4] en Canadá. Otros sistemas de triaje utilizados son el Spanish Triage System (SET)[4], [49], utilizado en España, Paraguay, los sistemas andorranos y las Korean Triage and Acuity Scales (KTAS)[55] en Corea. También se utilizan otros sistemas de triaje, como el Nederlandse Triage Standard, la Japan Acuity and Triage Scale, en Italia, el Gruppo Formazione Triage (GFT), la Malaysian Triage Scale (MTS) [56], en Malasia.

Los principales objetivos del triaje son garantizar que los pacientes más críticos reciban atención prioritaria, prevenir la saturación del servicio de urgencias, distribuir los recursos disponibles de forma eficiente y reducir los tiempos de espera según el nivel de gravedad. Entre sus beneficios se encuentran la rápida identificación de casos potencialmente mortales, una mejor asignación del personal y los recursos materiales, la disminución de los tiempos de espera, una mayor calidad asistencial y la reducción de la mortalidad. Además, en situaciones de desastres o emergencias masivas [16], el triaje favorece la coordinación del equipo médico, agiliza la comunicación entre profesionales y mejora la toma de decisiones en escenarios de alta presión.

1.1. Planteamiento del problema

Los sistemas de salud son estructuras complejas y fundamentales, especialmente en situaciones críticas como epidemias o pandemias, las cuales pueden impactar simultáneamente a hospitales de distintos países. Una pandemia se define como la expansión de una enfermedad infecciosa que afecta a un gran número de personas y se extiende a varios continentes. A lo largo de la historia, la humanidad ha enfrentado más de veinte brotes de gran magnitud. Este tipo de crisis suele estar originado por virus de transmisión sencilla entre personas, como ocurrió con el COVID-19, capaz de propagarse rápidamente y abarcar amplias regiones geográficas, afectando ciudades, países o incluso al planeta entero.

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones que acompañaron a la pandemia de COVID-19, como la incertidumbre, el temor y las diversas medidas de contención (cuarentenas, restricciones de movimiento y distanciamiento social), generaron dificultades significativas. Su impacto no solo se reflejó en el ámbito sanitario, sino también en la economía mundial, ocasionando cierre de empresas, pérdida de empleo y dificultades financieras para numerosas familias. Esta pandemia representó un desafío sin precedentes para los sistemas de salud y los profesionales médicos. Disponer de estándares previamente definidos puede favorecer una respuesta más coordinada en estas situaciones, asegurando niveles mínimos de calidad en los centros sanitarios de un país.

Mejorar la atención en los servicios de urgencias constituye uno de los retos más importantes para quienes gestionan hospitales. La simulación es una herramienta que permite analizar el funcionamiento del sistema sin exponer a los pacientes a riesgos reales. Dentro de la administración sanitaria, uno de los aspectos prioritarios es la mejora continua de la calidad asistencial, especialmente en el contexto de enfermedades contagiosas de rápida expansión. Evaluar el sistema y estudiar el efecto que tendrían cambios en su organización es clave para aplicar medidas que ayuden a disminuir la transmisión del virus.

Tanto la modelización como la simulación ofrecen apoyo en la toma de decisiones al permitir estudiar posibles escenarios antes de que ocurran, identificar variables críticas y anticipar resultados. Esto facilita evaluar opciones de gestión y elegir aquellas que aporten mejores resultados para el sistema y para la atención a los pacientes.

1.2. Perfil clínico del Servicio de Urgencias y poblaciones prioritarias

El Servicio de Urgencias Hospitalarias (SUH) analizado atiende una población con elevada prevalencia de patologías tiempo-dependientes, entre las que destacan el síndrome coronario agudo (SCA), el ictus isquémico y hemorrágico, la sepsis y el shock séptico, el politrauma, así como las agudizaciones graves de la EPOC y

1. INTRODUCCIÓN

otras insuficiencias respiratorias agudas. Estos procesos, por su estrecha ventana terapéutica y su elevada morbilidad, requieren tiempos de respuesta muy estrictos y circuitos de atención preferente. En el modelo desarrollado, los episodios que cumplen criterios de activación de protocolos específicos —como “código infarto”, “código ictus” u otras emergencias tiempo-dependientes— se integran operativamente como prioridad 1, lo que implica una asignación preferente de recursos, tiempos mínimos de espera para la primera valoración médica y acceso acelerado a pruebas complementarias y unidades de tratamiento definitivo.

Asimismo, el modelo contempla la presencia de pacientes complejos, incluyendo personas frágiles, pluripatológicas, inmunodeprimidas y pacientes oncológicos, que presentan mayor vulnerabilidad clínica. Estos pacientes se adscriben a las categorías de mayor gravedad cuando su situación clínica lo justifica, de forma coherente con la práctica asistencial, de modo que los flujos simulados reflejen no sólo el volumen global de demanda, sino también la necesidad de proteger adecuadamente a los subgrupos de mayor riesgo. Esta caracterización clínica del SUH y de las poblaciones prioritarias permite interpretar los resultados del modelo no sólo en términos de eficiencia organizativa, sino también en relación con la calidad en la atención de patologías tiempo-dependientes.

1.3. Objetivos generales

Teniendo en cuenta el contexto, los antecedentes y las preguntas de investigación, el objetivo principal de este trabajo de investigación o de esta tesis es analizar y caracterizar diversos escenarios del Servicio de Urgencias Hospitalarias (SUH) mediante la simulación para su utilización en funciones o tareas de gestión.

1.4. Objetivos específicos

Este objetivo general se concreta a través de los siguientes objetivos específicos:

- * Adaptar el simulador del servicio de urgencias hospitalarias a servicios de

1. INTRODUCCIÓN

urgencias de otros hospitales o a otros escenarios para predecir sin rediseñarlo, cambiando los parámetros como el caso de (COVID, Chikungunya). Ajustar los parámetros de entradas de pacientes, para estudiar el impacto en los KPI de los recursos dedicados. Analizar el tiempo de espera de los pacientes y el tiempo de atención según el nivel de gravedad, el cual ayuda en la toma de decisiones cuando ocurren escenarios diferentes a los utilizados para dimensionar el SUH.

* Caracterización y dimensionamiento del servicio de urgencias hospitalarias y sus KPI a partir de un escenario de referencia.

* Verificar la evolución de los KPI (LoS (duración de la estancia), porcentaje de ocupación de médicos, enfermeras, laboratorio, imagen, triaje, admisión), en función de diferentes escenarios a cortos plazos, como el aumento de pacientes, disminución del número de recursos (doctores y enfermeras), aumento de careboxes, y a largo plazo, como el envejecimiento de la población.

* Analizar, a través del KPI (parámetro) DtD, la eficiencia del modelo español siguiendo su estándar de referencia en comparación con los estándares de otros países como Argentina, Reino Unido, Turquía, Estados Unidos, Paraguay, Alemania, Canadá, Emiratos Árabes y para explorar cómo funcionaría el SUH español utilizando los parámetros de los estándares de esos países.

1.5. Metodología de la investigación

La metodología utilizada para este trabajo es el modelo de la espiral [1.1](#).

La primera etapa es la del análisis del sistema: teniendo el simulador actual, en la primera fase se realizan entrevistas con personal del hospital para recolectar los datos para el análisis y el modelado en situación de pandemia y epidemia.

La segunda etapa es la modelización: Con el simulador actual, se utilizan los datos recolectados en la etapa de análisis. Se modeliza en situación de pandemia, epidemia o de acuerdo al documento de referencia. Luego se verifica con los datos y detalles recolectados en la etapa de análisis si es acorde a las especificaciones.

1. INTRODUCCIÓN

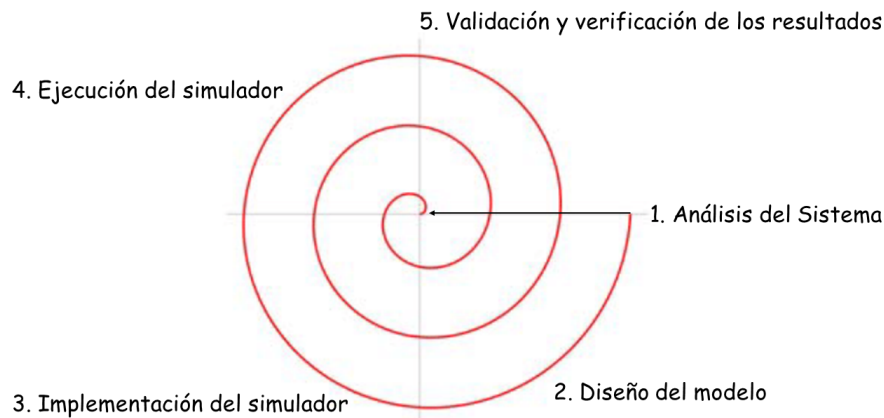


Figura 1.1: Etapas de la metodología en espiral del proceso de la investigación realizada

La tercera fase es la de la implementación del simulador: Teniendo el simulador actual, se adaptan los nuevos cambios al simulador actual de acuerdo con el modelo desarrollado en situación de pandemia, epidemia, o de acuerdo al documentos de referencia, adaptando al estándar de España o de otros países.

La cuarta etapa es la ejecución del simulador: Se utilizan los datos y parámetros recolectados en las etapas anteriores para la configuración del simulador, luego se ejecuta y se comparan los resultados obtenidos.

La quinta etapa es la validación y verificación: Se comparan los resultados obtenidos con el sistema real; por ejemplo, en el caso de pandemia y epidemia, se usan los datos de dos hospitales de Paraguay y se validaron los datos de esos hospitales. Para el caso de referencia se utilizó el documento de estándar para la comparación de los resultados.

1.6. Contribuciones de la tesis

Metodología para adaptar el simulador a situaciones puntuales como epidemias o pandemias.

1. INTRODUCCIÓN

Estudio comparativo de normativas de diferentes países, tomando como normativa de referencia la normativa española.

Análisis del impacto en el SUH de posibles cambios sociales.

1.7. Estructura de la tesis

Esta tesis se estructura en cinco capítulos. El capítulo 1 detalla el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación, la metodología utilizada, la contribución y la estructura de la tesis. El contenido de los restantes capítulos se detalla a continuación.

En el Capítulo 2. Se describen los conceptos teóricos, los antecedentes y el estado del arte.

En el Capítulo 3. Se detalla cómo se adapta el simulador del servicio de urgencias hospitalarias en casos de una emergencia como una pandemia (COVID-19) o epidemia (chikungunya). Se detalla la descripción del modelo de servicio de urgencias. Se realizan experimentos y discusión sobre el estudio de caso del COVID-19 en el Hospital IPS Ingavi de Paraguay. La chikungunya. Este capítulo ha permitido estas publicaciones [32], [28].

En el Capítulo 4. Se describe cómo se realiza la caracterización y dimensionamiento del servicio de urgencias hospitalarias y sus indicadores a partir de un escenario de referencia. Siguiendo el documento de estándares y recomendaciones del Ministerio de Sanidad y Política Social de España sobre la unidad de urgencias hospitalaria [4]. Se analiza la evolución de los KPI en función de diferentes escenarios como el incremento del número de pacientes, disminución del personal sanitario, aumento de careboxes, el envejecimiento de la población, y su desarrollo ha permitido publicaciones previas [29], [31].

En el Capítulo 5. Se analiza la eficiencia del modelo español siguiendo su estándar de referencia en comparación con los estándares de otros países. Este capítulo ha permitido publicaciones previas a congresos internacionales, como el ICCS 2025 en Singapur [30].

1. INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 6. Para terminar, en el capítulo 6 se describe la discusión, las principales conclusiones, las limitaciones y las posibles líneas abiertas para trabajos futuros de la presente investigación.

1. INTRODUCCIÓN

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Marco teórico

La gestión de los servicios de urgencias requieren el apoyo de herramientas informáticas que faciliten la planificación y una correcta asignación de los recursos humanos y materiales. Entre las alternativas disponibles, la simulación destaca como una técnica útil para este objetivo. En el ámbito de las urgencias, su aplicación permite respaldar el proceso de toma de decisiones, ayudando a los responsables a seleccionar las estrategias más adecuadas para optimizar los recursos y mejorar la eficiencia en la atención al paciente.

La simulación constituye una herramienta precisa y eficaz para evaluar nuevas técnicas y procesos orientados a incrementar la eficiencia hospitalaria. Un modelo suficientemente detallado permite realizar pruebas y validar posibles cambios sin afectar la seguridad de pacientes reales. Además, esta metodología posibilita analizar múltiples escenarios y estudiar el comportamiento del servicio de urgencias en condiciones controladas.

El empleo de técnicas de simulación permite explorar de manera automatizada distintos escenarios que ofrezcan las soluciones más adecuadas ante diversas restricciones y condiciones futuras. Esta capacidad de búsqueda sistemática de mejoras en un servicio de urgencias resulta de gran utilidad para los gestores que

2. MARCO TEÓRICO

requieren alternativas efectivas frente a los problemas operativos.

Un modelo consiste en una representación simplificada de un sistema complejo, ya sea existente o teórico. Su finalidad es reflejar los aspectos esenciales del fenómeno que se pretende analizar, anticipar, ajustar o gestionar. Este tipo de estructura puede crearse para simular la realidad en diferentes escalas temporales, que van desde unos pocos días hasta periodos de varios años o incluso siglos.

Es necesario disponer de un modelo lo suficientemente detallado del servicio que permita comparar distintos escenarios de funcionamiento. La creación del modelo y del simulador exige la colaboración de un equipo multidisciplinario, conformado por profesionales que conozcan el sistema y el área de estudio, así como especialistas capaces de desarrollar la simulación hasta un nivel que sirva como soporte para la toma de decisiones.

El modelado y simulación basados en agentes se considera un enfoque sistémico con una arquitectura ascendente que puede emplearse como un método productivo para alcanzar el punto de vista a nivel macro a partir de la evolución a nivel micro de las interacciones entre agentes. Los componentes principales de un modelo basado en agentes son el entorno, los agentes y las interacciones [53],[44].

El modelado y la simulación pueden ayudar a hacer una representación física o lógica de un sistema para generar datos y determinar decisiones o predecir un sistema o problema determinado. El objetivo final de construir simulaciones de sistemas complejos es que evolucionan como un conjunto de artefactos que interactúan entre múltiples módulos descentralizados. Los objetos o agentes individuales se refieren a los elementos que viven en el entorno y tienen propiedades que pueden cambiar con el tiempo; los agentes pueden manifestarse como diferentes objetos independientes bajo una configuración discreta o continua. Los agentes interactúan, y el sistema se constituye por la interacción activa de entidades o agentes y la resolución de conflictos [5].

Las herramientas de simulación de modelos basados en agentes ayudan a los investigadores y profesionales a investigar cómo el comportamiento macroscópico de un sistema depende de propiedades, restricciones y reglas de nivel micro.

2. MARCO TEÓRICO

Los agentes como objetos se caracterizan por estados específicos y conjuntos de atributos, propiedades o reglas funcionales; comportamientos que pueden desencadenar acciones particulares a través de parámetros predefinidos [5].

Los sistemas de salud se basan en interacciones humanas, y la capacidad de la simulación basada en agentes para reproducir tanto la intención como la interacción humana lo convierte en un enfoque atractivo. En tanto que la simulación de eventos discretos y la dinámica de sistemas, consideramos que no nos proveerán todas las características que precisa esta propuesta [15],[25].

El empleo de la simulación permite explorar de manera automatizada distintos escenarios, identificando aquellos que ofrecen mejores alternativas bajo ciertas limitaciones y condiciones futuras. Esta capacidad de análisis automatizado resulta especialmente útil para los responsables de gestión, ya que facilita la obtención de soluciones eficientes ante los problemas presentes en los servicios de urgencias.

La simulación de eventos discretos, la dinámica de sistemas y el modelado y la simulación basados en agentes son los tres enfoques principales que se utilizan en la simulación de sistemas sanitarios [15],[25]. La simulación de eventos discretos simula solo los eventos significativos de un sistema. Con frecuencia se identifica por una serie de tokens que se mantienen a su vez para un proveedor de servicios que los forma en algún momento y pasan a otra parte del sistema. La dinámica de sistemas se utiliza para simular grandes sistemas; comenzó a emplearse como método de simulación en la fiscalización operativa de la asistencia sanitaria más tarde que la simulación de eventos discretos. Una simulación de dinámica de sistemas se basa en el espacio continuo y no modela individuos; simula todo el sistema a lo largo del tiempo.

Una de las principales propiedades del modelo basado en agentes es su alcance; es decir, el dominio en el que es capaz de ejecutar escenarios de modelado y simulación. Los modelos basados en agentes se utilizan cada vez más en varias áreas científicas, en la simulación de sistemas complejos dinámicos a gran escala y en la observación de comportamientos emergentes. Los sistemas complejos pueden pensarse simplemente como conjuntos de agentes o entidades interactuantes [5].

2. MARCO TEÓRICO

El modelado basado en agentes proporciona formas de modelar más fácilmente comportamientos y también cómo estos comportamientos afectan a otros [46]. Existe una evolución en la literatura sobre la aplicación de los modelos basados en agentes a las operaciones de servicios de urgencias. En los últimos años, el uso de modelos basados en agentes ha aumentado notablemente, especialmente en entornos hospitalarios y en sistemas de atención sanitaria. Este tipo de modelado, como herramienta científica, permite obtener una visión diferente del funcionamiento real del sistema, en este caso del servicio de urgencias, su operatividad y los posibles mecanismos de propagación del virus dentro del mismo.

Los agentes pueden ser organizaciones, seres humanos, empresas, instituciones y cualquier otra entidad que pretenda perseguir un fin específico. Los modelos basados en agentes se utilizan principalmente en el caso de fenómenos de modelado complejos, donde muchos agentes o entidades activos interactúan entre sí con atributos inherentes específicos para establecer relaciones, facilitando así el razonamiento automatizado y la resolución de problemas [5]. Los modelos basados en agentes son sistemas basados en reglas.

Los servicios de urgencias deben estar preparados para cierto tipo de situaciones o eventos que lleguen a ocurrir, por ejemplo, la llegada de muchos pacientes a causa de algún siniestro o accidente. También la falta de personal médico por diversas situaciones. Los profesionales de salud son agentes muy importantes dentro del servicio de urgencias. Los servicios de urgencias a menudo operan las 24 horas del día, los 7 días de la semana, lo que puede resultar en horarios irregulares, turnos nocturnos y una mayor exposición a situaciones de alto estrés. Si las condiciones laborales no son adecuadas, como salarios bajos, falta de reconocimiento profesional o falta de apoyo y recursos, es probable que los profesionales médicos y de enfermería busquen empleo en otros lugares donde se ofrezcan mejores condiciones.

Puede ser difícil para los hospitales y sistemas de salud contratar y retener a médicos y enfermeras calificados en áreas geográficas específicas, especialmente en zonas rurales o remotas donde la oferta de servicios de salud puede ser limitada. La

2. MARCO TEÓRICO

falta de incentivos para trabajar en estas áreas, como oportunidades de desarrollo profesional, programas de vivienda subsidiada o compensación financiera adicional, puede dificultar aún más la contratación y retención de personal.

Los servicios de urgencias requieren profesionales médicos y de enfermería con habilidades y capacitación específicas para manejar una amplia gama de situaciones médicas, urgentes y emergencias. La capacitación y la especialización en medicina de urgencias pueden llevar tiempo y recursos, y la falta de programas de formación adecuados puede contribuir a la escasez de personal en estos servicios.

La disminución de médicos y enfermeras en los servicios de urgencias puede ser el resultado de una combinación de factores, que van desde la escasez general de personal y las condiciones laborales desfavorables hasta los desafíos específicos relacionados con la contratación, la capacitación y la retención de profesionales médicos y de enfermería en estos entornos exigentes.

En caso de falta de médicos, enfermeras u otro recurso en el hospital, esto puede afectar gravemente el funcionamiento en el hospital; puede llevar a la saturación del servicio de urgencias. Con los KPI podemos conocer, medir, evaluar el funcionamiento del servicio de urgencias para mejorar su calidad y la eficiencia.

En general, KPI son las siglas de Key Performance Indicator (KPI), o indicador clave de desempeño, es una métrica utilizada para resumir información relacionada con la eficiencia y el rendimiento de determinadas acciones, con el propósito de apoyar la toma de decisiones y evaluar qué medidas han contribuido de manera más efectiva al cumplimiento de los objetivos establecidos.

Un KPI sanitario es una métrica bien definida y cuantificable de la que hacer un seguimiento para mejorar la calidad de los servicios relacionados con los pacientes. En el sector sanitario, hay muchas métricas (como las métricas hospitalarias y otras métricas clave relacionadas) que debe analizar y optimizar para mejorar los procesos.

La sanidad es una industria muy exigente y los servicios/procesos relacionados

2. MARCO TEÓRICO

con los pacientes deben mejorarse a diario. Especialmente para comprender el éxito de un hospital, debería realizar un seguimiento y mejorar los KPI sanitarios más importantes con regularidad.

Hay muchas métricas e indicadores clave de rendimiento en la asistencia sanitaria. Por eso, elegir en cuáles centrarse es fundamental. Existen muchos estudios que hablan de los KPI sanitarios [59], [48].

2.1.1. Indicadores clave de rendimiento (KPIs) y umbrales clínicamente relevantes

Entre los KPIs analizados, destacan:

1. Door-to-Doctor (DtD)

- Se considera crítico el tiempo hasta la primera valoración médica, especialmente en pacientes de prioridad 1–2.
- En el modelo se fijan como objetivos:
 - Prioridad 1: atención inmediata (0 minutos).
 - Prioridad 2: menor o igual a 10 minutos.
 - Prioridad 3: menor o igual a 30 minutos.
- Desviaciones sistemáticas por encima de estos límites se interpretan como potencial incremento de riesgo clínico, en particular para patologías tiempo-dependientes (SCA, ictus, sepsis, insuficiencia respiratoria aguda).

2. Tiempos específicos en procesos tiempo-dependientes. Aunque el modelo no reproduce de forma detallada toda la cadena terapéutica, se incorporan referencias indirectas a estándares ampliamente aceptados:

- Electrocardiograma precoz y valoración urgente en dolor torácico sugestivo de SCA.

2. MARCO TEÓRICO

- Administración temprana de antibiótico en sepsis sospechada.
- Circuitos rápidos para “código ictus” e “infarto”, integrados como prioridad 1. Estos tiempos se utilizan como marco de referencia para interpretar si los retrasos observados en los distintos escenarios podrían ser clínicamente inaceptables. .

3. Longitud de estancia en urgencias (LoS)

- Una estancia prolongada en áreas de urgencias, particularmente en pacientes pendientes de ingreso, se asocia en la literatura con mayor riesgo de eventos adversos, complicaciones y peor evolución.
- En el modelo se consideran especialmente de riesgo los escenarios con tiempos de estancia muy prolongados en pacientes graves o complejos, lo que se discute como posible marcador de sobrecarga asistencial y pérdida de calidad.

4. Ocupación y hacinamiento

- Tasas elevadas de ocupación sostenida, saturación de boxes y acumulación de pacientes en camillas o salas de espera se interpretan no sólo como ineficiencia, sino como factor de riesgo asistencial, asociado a:
 - Aumento de mortalidad.
 - Mayor tasa de eventos adversos.
 - Incremento de pacientes que se van sin ser atendidos (LWBS).
 - Aumento de reconsultas precoces.
- Los escenarios simulados en los que la ocupación supera de forma mantenida umbrales altos se señalan como situaciones potencialmente inseguras.

5. Pacientes que abandonan sin ser atendidos (LWBS) y reconsultas

2. MARCO TEÓRICO

- Aunque el modelo no siempre estima directamente estos fenómenos, los patrones de demora excesiva en niveles intermedios (prioridad 2–3) se discuten como condiciones que favorecen LWBS y reconsultas, reconocidos en la literatura como indicadores sensibles de disfunción y riesgo en urgencias.

En conjunto, los KPIs se utilizan en este trabajo como señales de alerta clínica. Los escenarios en los que el DtD de pacientes prioritarios, la longitud de estancia o el grado de ocupación superan de forma consistente los rangos considerados seguros se interpretan como configuraciones organizativas de mayor riesgo potencial para el paciente. La simulación permite así no sólo comparar la eficiencia de los diferentes modelos, sino también anticipar situaciones de inseguridad clínica, ofreciendo una base cuantitativa para proponer ajustes estructurales y de recursos orientados a proteger a las patologías tiempo-dependientes y a los pacientes más vulnerables.

2.2. Antecedentes

Se dispone de un simulador del servicio de urgencias, el cual fue creado dentro de una investigación anterior realizada por el grupo de Computación de Alto Rendimiento para Aplicaciones Eficientes y Simulación (HPC4EAS) de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB)[64],[17],[44],[24], [35]. El simulador permite observar cómo se comporta el modelo bajo distintas configuraciones y, además, funciona como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones que puede resultar útil para los responsables de gestión hospitalaria. El modelo basado en agentes es un enfoque para modelar sistemas en los que interactúan agentes individuales. Ofrece formas de modelar más fácilmente las interacciones de los individuos y también cómo estas interacciones afectan a otros agentes en el sistema [46]. Algunos de nuestros trabajos en el área de urgencias son: Crear un simulador para el servicio de urgencias con la participación del equipo de urgencias del Hospital de Sabadell [64]. Identificación de agentes activos, los agentes pasivos y el entorno, y se crea una simulación inicial utilizando NetLogo [64]. Optimización del rendimiento del servicio de urgencias [17]. Se utiliza una optimización de búsqueda extensiva para encontrar la configuración óptima del personal del

2. MARCO TEÓRICO

departamento de emergencias, un problema multidimensional y multiobjetivo [17]. Se propone un índice para minimizar la duración de la estadía del paciente en el departamento de emergencias. Los resultados obtenidos prometedores utilizan esquemas alternativos de Monte Carlo y Pipeline [17]. Se presenta un marco de aplicación basado en capas para descubrir el conocimiento de un sistema del servicio de urgencias mediante la simulación de comportamientos de nivel micro de sus componentes [44]. Se propone el uso de una herramienta de simulación, el simulador de MRSA, para diseñar y realizar ensayos clínicos virtuales para estudiar la transmisión de contacto de MRSA entre pacientes hospitalizados [35].

2.3. Estado del arte

El inicio del siglo XXI ha estado marcado por importantes desafíos en el campo sanitario a nivel global, que incluyen el aumento de la resistencia a los antimicrobianos, el crecimiento de patologías oncológicas y la aparición de nuevas enfermedades infecciosas, entre ellas la COVID-19 [33].

Diversos virus han generado pandemias de gran impacto. La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que una proporción significativa de las enfermedades infecciosas nuevas o que han resurgido tienen origen zoonótico, lo que implica que pueden transmitirse entre animales y seres humanos. Los coronavirus son una amplia familia de virus que pueden causar enfermedades tanto en animales como en humanos [42].

En los seres humanos, distintos tipos de coronavirus pueden provocar infecciones respiratorias que van desde cuadros leves similares al resfriado hasta enfermedades más serias, como el síndrome respiratorio o el síndrome respiratorio agudo severo[42].

La COVID-19, también conocida como enfermedad por coronavirus de 2019, es provocada por el virus SARS-CoV-2 (coronavirus del síndrome respiratorio agudo severo tipo 2). Tanto el agente patógeno como la enfermedad eran prácticamente desconocidos antes del brote ocurrido en Wuhan. Sus manifestaciones clínicas suelen parecerse a las de una gripe, con fiebre, tos, fatiga, dificultad respiratoria

2. MARCO TEÓRICO

y dolores musculares. Además, se han documentado otros síntomas como pérdida repentina del gusto y el olfato, cefalea, diarrea y enrojecimiento o irritación ocular. En cuadros más graves, puede evolucionar hacia neumonía, síndrome de dificultad respiratoria aguda, sepsis o shock séptico, lo que en algunos casos puede causar la muerte, manteniendo una tasa de mortalidad elevada[6].

Uno de los modelos utilizados en caso de situaciones de pandemias, epidemias o situaciones similares es el modelo basado en agentes (ABM), el cual es un enfoque para modelar sistemas en el que interactúan agentes individuales. El ABM ofrece maneras de modelar con mayor facilidad comportamientos de individuos y también cómo estos comportamientos afectan a los demás [46].

El ABM ha visto un enorme crecimiento en muchas áreas sobre los últimos 15 años y más recientemente en atención hospitalaria y sanitaria. Una de las aplicaciones principales de ABM en los ambientes hospitalarios es que examina el flujo de pacientes en los servicios de urgencias [37], [27].

El ABM ofrece algunas ventajas tales como un mayor detalle en los experimentos basados en la simulación, un aprendizaje transparente y la capacidad de controlar y modificar fácilmente comportamientos individuales [64].

La simulación provee una metodología más segura para realizar pruebas con nuevas técnicas sin poner en peligro a las personas. Los temas de simulación más frecuentemente encontrados en la literatura en el área de simulación del COVID-19 los encontramos en el área de urgencias pediátrica [65], en la práctica de protocolos de seguridad para el personal de salud, sobre el distanciamiento social [9], situaciones en el área económica afectada [10], en los estudios para el rastreo de contactos con COVID-19 [39], modelos de transmisión de pacientes sanos con infecciosos, ciudades turísticas afectadas [23], propagación en los sistemas de salud [52], [51], y mejora de flujo de pacientes [68], entre otros.

Algunos métodos de simulación encontrados son el de eventos discretos [41], [26], [68], inteligencia artificial [8] y simulación basada en agentes [40], [36]. Algunos países utilizaron la simulación para la predicción de escenarios incluyendo el comportamiento de la variante Delta [60], para saber la cantidad de fallecidos

2. MARCO TEÓRICO

utilizando el clásico Susceptibles-Infectados-Recuperados (SIR)[60], evolución del COVID-19 [36], modelo infectados, asintomáticos, en cuarentena, recuperados y muertos (SEIAQR), este modelo trata de establecer los infectados, asintomáticos, en cuarentena, recuperados y muertos [18].

En un estudio en China, utilizaron el modelo determinista susceptible, expuesta, infectada y recuperada (SEIR). Utilizaron la distribución de Poisson para estimar la cantidad de infecciones. Ellos generaron 10000 simulaciones de Montecarlo [58].

Si los servicios de urgencias siguen un conjunto de normas o estándares, esto puede ayudar en momentos de pandemias, epidemias u otro tipo de situaciones similares a manejarse mejor y a mantener un estándar en los hospitales de cada país. El servicio de urgencias hospitalarias habitualmente es una unidad central de un hospital y la experiencia de los pacientes que asisten al servicio de urgencias hospitalarias influye significativamente en la satisfacción del paciente y en la imagen pública del hospital. Su función es recibir, clasificar, estabilizar y brindar manejo de emergencia a los pacientes que presentan una amplia variedad de condiciones críticas, urgentes y semiurgentes.

Los estándares en los servicios de urgencias hospitalarias logran una mayor eficiencia, una comunicación más clara y la uniformidad de los servicios de todo el sistema de salud. Las normas hacen la vida más segura, saludable y fácil para las personas en los servicios de urgencias.

Las normas delinear las pautas y los recursos necesarios para los servicios de urgencias hospitalarias. La adopción de normas debería facilitar la atención de emergencia para los pacientes de todas las edades y, cuando corresponda, el traslado oportuno a un centro con servicio de urgencias hospitalarias especializado. Esto ayudaría a tener un conjunto uniforme de procedimientos en el ámbito de los servicios, recursos humanos, equipamientos o infraestructuras de los servicios de urgencias hospitalarias. De modo que brinde servicios de salud de calidad en el país.

En España existen documentos de referencia que recogen recomendaciones y

2. MARCO TEÓRICO

pautas para la organización de los servicios de urgencias hospitalarias. Aunque estos textos fueron elaborados hace años y no tienen carácter legal obligatorio, sí proporcionan criterios orientativos para la autorización, puesta en marcha y correcto funcionamiento de estas unidades. Su finalidad principal es ofrecer a los gestores herramientas para mejorar la calidad, eficiencia y seguridad de la atención, así como orientar aspectos relacionados con el diseño estructural y el equipamiento necesario.

Dentro de estos servicios, el triaje constituye un elemento esencial. Se trata de un procedimiento que asigna prioridades de atención según la gravedad de cada paciente, habitualmente mediante escalas de cinco niveles. Su implantación persigue reducir los tiempos de respuesta, mejorar la calidad asistencial y organizar de manera más eficiente el flujo de pacientes. En la mayoría de los servicios de urgencias se emplea como un método estandarizado para clasificar a los usuarios de acuerdo con su estado clínico, la urgencia de la intervención requerida y la disponibilidad de recursos.

El origen histórico del triaje se remonta a las guerras napoleónicas, donde surgió como una estrategia para optimizar la utilización de los recursos sanitarios en situaciones de gran presión asistencial. Desde entonces, el método mantiene el mismo principio básico: priorizar la atención según la gravedad y la probabilidad de recuperación, estableciendo tiempos de actuación adaptados a cada caso. A nivel internacional existen diversos sistemas de triaje, que comparten una estructura similar y en muchos casos presentan solapamientos en sus criterios de clasificación.

Las escalas más conocidas son el Emergency Severity Index System (ESI) en EE. UU., la Australian Triage Scale (ATS), el Manchester Triage Scale System (MTS) en el Reino Unido y la Canadian Triage and Acuity Scale (CTAS) en Canadá. Otros sistemas de triaje utilizados son el Spanish Triage System (SET), los sistemas andorranos y las Korean Triage and Acuity Scales (KTAS). También se utilizan otros sistemas de triaje, como el Nederlandse Triage Standard, la Japan Acuity and Triage Scale, en Italia, el Gruppo Formazione Triage (GFT), la Malaysian Triage Scale (MTS), Malaysia [56].

2. MARCO TEÓRICO

Algunos de los objetivos del triaje son evitar el colapso del servicio de urgencias, asignar recursos de manera eficiente y reducir los tiempos de espera según la gravedad del paciente. Algunos beneficios del triaje en el sistema de salud son la atención prioritaria a los pacientes críticos, lo que permite la rápida identificación de pacientes con afecciones potencialmente mortales y garantiza que reciban tratamiento inmediato; la optimización de recursos, evitando la sobrecarga de los servicios de urgencias; la reducción de los tiempos de espera, que organiza la atención de manera eficiente, evitando que los pacientes graves queden sin atención.

Por el contrario, otros pacientes menos urgentes ocupan recursos, la disminución de la mortalidad y las complicaciones mediante la correcta priorización de los casos y la gestión eficiente en desastres y emergencias masivas. En eventos con múltiples víctimas, el triaje permite clasificar rápidamente a los afectados y decidir quién requiere evacuación inmediata o quién puede esperar. Facilita la coordinación del equipo médico, permitiendo una toma de decisiones más ágil.

Algunos estudios llevados a cabo sobre los estándares en los servicios de urgencias hospitalarias, ya sea para los cálculos de personal, tiempos de espera, entre otros, son:

El estudio de Bermejo et al. [14] tiene como objetivo determinar qué sistemas de triaje se utilizan en España, concretamente en los servicios de urgencias hospitalarias de la red nacional de salud pública, definir sus características y evaluar el grado de cumplimiento de las recomendaciones del estudio. Este estudio se llevó a cabo con más de 100 camas en 123 hospitales. Los resultados obtenidos fueron que el 37,3 por ciento de los hospitales utilizan el modelo de triaje andorrano adaptado para su uso como sistema de triaje español, y el 23,9 por ciento utiliza el triaje de Manchester. Los responsables del triaje son enfermeros en el 77,6 por ciento de los hospitales y médicos en el 6,9 por ciento.

El estudio realizado por Jones et al. [38] compara los estándares de práctica de enfermería de urgencias en cinco países, encontrando puntos en común, pero

2. MARCO TEÓRICO

variabilidad en los niveles de experiencia. Los estándares y las prácticas de los servicios de urgencias (SU) varían entre países. Un análisis comparativo de los estándares de práctica en Nueva Zelanda, EE. UU., Australia, Canadá y Reino Unido revelaron puntos en común en cuanto a experiencia clínica, comunicación, trabajo en equipo, recursos y ámbitos legales. Esto sugiere el beneficio potencial de un marco universal para los estándares de práctica de enfermería de urgencias y el desarrollo curricular.

El estudio realizado por Moon et al. [50] analizó la precisión del triaje utilizando la Escala Coreana de Triage y Agudeza (KTAS, por sus siglas en inglés). Utilizaron las Escalas Coreanas de Triage y Agudeza (KTAS, por sus siglas en inglés), basadas en la CTAS, para clasificar a los pacientes según sus síntomas. Con base en estos, el personal de enfermería determina el nivel de triaje. Los niveles que determinan las KTA son: nivel 1 (reanimación), nivel II (emergencia), nivel III (urgente), nivel IV (menos urgente) y nivel V (no urgente). Los plazos considerados para estos niveles son: nivel I (inmediato), nivel II (10 minutos), nivel III (30 minutos), nivel IV (60 minutos) y nivel V (120 minutos).

El estudio realizado por Pines et al. [57] ofrece una perspectiva internacional sobre la saturación en los servicios de urgencias, incluyendo datos y tendencias de 15 países fuera de EE. UU. La saturación en los servicios de urgencias es un problema mundial, y muchos países experimentan un aumento en las tasas de visitas y los consiguientes resultados clínicos adversos. Muchos hospitales han implementado intervenciones para mitigar el aumento de pacientes en urgencias, y algunos países tienen controles estrictos y limitados para controlar la duración de la estancia hospitalaria (DDE) de los pacientes en urgencias. En cambio, otros países no tienen límites precisos.

El estudio de Babaei et al. [12] compara los servicios de urgencias especializados en atención prehospitalaria en varios países y concluye que los países desarrollados cuentan con ambulancias más avanzadas y equipos especializados.

Capítulo 3

Metodología para la adaptación de un simulador del servicio de urgencias hospitalarias en casos de una emergencia (pandemia, epidemia)

3.1. Objetivo de este capítulo

Adaptar el simulador del servicio de urgencias hospitalarias a otros hospitales o a otros escenarios para predecir sin rediseñarlo, cambiando los parámetros como el caso de (COVID, Chikungunya). Ajustar los parámetros de entradas de pacientes, para estudiar el impacto en los KPI de los recursos dedicados. Analizar el tiempo de espera de los pacientes y el tiempo de atención según el nivel de gravedad, el cual ayuda en la toma de decisiones cuando ocurren escenarios diferentes a los utilizados para dimensionar el Servicio de Urgencias Hospitalarias (SUH).

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

3.2. Aporte de este capítulo

El aporte fundamental de esta tesis en este capítulo consiste en adaptar y ampliar la capacidad del simulador del Servicio de Urgencias Hospitalarias (SUH) para que pueda ser utilizado en otros hospitales y en distintos escenarios epidemiológicos, sin necesidad de rediseñar su estructura. Esta adaptación permite que el modelo sea flexible y escalable, facilitando su uso como herramienta de apoyo para la planificación operativa y la toma de decisiones en contextos cambiantes y cuando ocurren situaciones improvisadas como el caso de una pandemia o epidemia.

El simulador estaba limitado a un contexto hospitalario específico. Esta tesis introduce una configuración paramétrica que permite modificar las condiciones de entrada del sistema como el volumen de pacientes, la distribución por niveles de gravedad, o la variación de la demanda por enfermedades emergentes (por ejemplo, COVID-19 o Chikungunya), sin alterar la lógica interna del modelo. El simulador se convierte en una herramienta genérica, adaptable a cualquier SUH que cuente con datos de llegada y clasificación de pacientes.

Otro aporte clave es la capacidad de ajustar los parámetros de llegada y comportamiento de los pacientes para estudiar su impacto en los indicadores clave de desempeño (KPI). Esto permite realizar análisis de sensibilidad y evaluar cómo cambios en la demanda, en la distribución de pacientes o en la disponibilidad de recursos afectan la operación del SUH.

Finalmente, el simulador adaptado permite evaluar escenarios que difieren de aquellos utilizados originalmente para dimensionar el SUH, lo que potencia su capacidad predictiva y estratégica.

Otro aporte de esta tesis es la incorporación de variables epidemiológicas y operativas que permiten modelar la transmisión de enfermedades dentro del Servicio de Urgencias Hospitalarias (SUH). Se añadieron al simulador nuevas variables que representan el comportamiento de pacientes infectados, no infectados y personal sanitario expuesto.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

Para representar las políticas de control utilizadas en contextos de pandemia, se separaron a los infectados de los no en: Salas exclusivas para pacientes infectados, Salas exclusivas para pacientes no infectados.

En respuesta a la necesidad de disponer de más personal durante emergencias sanitarias, la tesis incorpora dos categorías de recursos humanos:

Intensivistas de emergencia (personal sénior), especializados y con mayor capacidad resolutive. Personal de distintas especialidades reasignado al SUH (personal junior), simulado como sanitarios junior en el modelo.

Esta diferenciación permite representar con mayor precisión:

Diferencias en tiempos de atención según la experiencia del personal. La redistribución y refuerzo del equipo médico durante brotes epidémicos. La capacidad de respuesta del SUH a incrementos repentinos de demanda (como COVID). El impacto de la mezcla de personal sénior/junior en los KPI operativos y epidemiológicos.

3.3. Adaptación del modelo del servicio de urgencias en casos de pandemias como el COVID-19

La pandemia de COVID-19 ha causado desastres en todo el mundo, abrumando los sistemas de salud pública y generando acciones como restricciones de movimiento y órdenes de confinamiento.

Ha expuesto las necesidades y brechas de atención médica para las poblaciones marginadas y vulnerables. En esta tesis, presentamos una metodología descrita sobre una simulación de un modelo basado en agentes para simular un servicio de urgencias para un hospital diferente en una situación de pandemia; comparamos algunos de los resultados que obtuvimos de las simulaciones con la realidad para ayudar a la gestión.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

La pandemia de COVID-19 ha causado una mortalidad significativa en la atención médica en todo el mundo. Un desafío para los hospitales es la gestión del hacinamiento en los servicios de urgencias, que puede ser crítico para la supervivencia del paciente y la atención efectiva al paciente. El uso de técnicas de modelado y simulación ofrece una alternativa segura y más exacta para evaluar nuevas estrategias de gestión sin comprometer la seguridad de los pacientes. En este trabajo se presenta una ampliación y mejora de un modelo previo basado en agentes, con el objetivo de reproducir el comportamiento real de un servicio de urgencias y desarrollar un simulador que apoye la planificación y administración de escenarios asociados a una pandemia. Hemos mejorado el modelo agregando las variables de pacientes y agentes del hospital que participan en el proceso de transmisión; y salas de emergencia separadas para los infectados y no infectados para evaluar la efectividad utilizando diferentes combinaciones como pruebas de laboratorio, aislamiento y otras políticas de control. Este modelado puede ayudar a la configuración del personal médico, enfermería, camas, dispositivos y gestión del tiempo de espera del paciente. Debido a que en momentos de emergencias se requiere más personal rápidamente, se han incorporado dos niveles de personal de salud (intensivistas de emergencia (sénior) y personal de diferentes especialidades (junior), los cuales se simularán como sanitarios junior en el servicio de urgencias) para tratar a los pacientes con COVID.

3.3.1. Introducción

Las pandemias son causadas por virus que pueden transmitirse fácilmente de persona a persona y se propagan en una amplia zona geográfica, generalmente, extendiéndose a muchos países.

Se trata de un brote de enfermedad que se extiende por varios países y continentes, afecta a muchas personas, cruza muchas fronteras, supera los casos esperados y persiste en el tiempo [61]. Las pandemias suelen ser causadas por virus, como el COVID-19, que pueden transmitirse fácilmente de persona a persona.

La pandemia provoca desempleo, lo que conlleva un aumento exponencial de

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

la pobreza, y sus repercusiones en el desarrollo de hambrunas sin precedentes.

Muchos países sufrieron muchas consecuencias de la crisis, con sistemas de salud sobrecargados, desempleo, quiebras empresariales y otros problemas.

Por último, es posible que surjan dudas sobre los aspectos éticos relacionados con la búsqueda de nuevos tratamientos y la creación de vacunas, especialmente cuando dichas investigaciones se llevan a cabo en un contexto de incertidumbre y presión social. Sin embargo, en muchos casos resulta inviable realizar ensayos clínicos para medir el efecto de determinadas medidas, por lo que la simulación se convierte en una alternativa valiosa, ya que permite analizar escenarios hipotéticos y responder a preguntas del tipo “¿qué pasaría si...?”. Esta metodología representa un apoyo importante para la gestión y la toma de decisiones en situaciones complejas.

La mayoría de los países se han visto afectados. COVID-19 ha causado muertes y ha expuesto las severas limitaciones de los sistemas de salud de los países.

Los servicios de urgencias deben estar preparados para manejar crisis y desastres como una pandemia o epidemia. Durante este tiempo, requieren una solución rápida para dar una respuesta sostenida a los problemas que se van presentando.

La simulación se puede utilizar de manera efectiva para crear o mejorar un sistema o proceso. Es beneficiosa para construir escenarios hipotéticos; se utiliza en muchas áreas y también para los servicios de urgencias.

Durante la pandemia, la gestión de los servicios de urgencias de los hospitales ha jugado un papel clave para la supervivencia de los pacientes. Mejorar dichos servicios sin saber de antemano cómo los cambios realizados pueden afectar el ciclo de atención al paciente sigue siendo un desafío. Uno de los puntos críticos en la gestión del servicio de urgencias es mejorar su capacidad para contener la propagación de enfermedades contagiosas. Por ejemplo, podríamos tratar de comprender cómo los cambios realizados en variables específicas en el ciclo de gestión de emergencias podrían ayudar a reducir la propagación del virus.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

En este apartado, proponemos diseñar y desarrollar un modelo basado en agentes que permita modelar la gestión de un servicio de urgencias durante la pandemia de COVID-19. Nuestro trabajo presentado aquí se basa en el trabajo de Jaramillo et al. [35], que desarrolló un simulador para la planificación y gestión de la propagación de *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (MRSA) entre pacientes hospitalizados, que tiene la ventaja de haber sido verificado y validado en varios ciclos o iteraciones, teniendo en cuenta una amplia variedad de datos y configuraciones, y con la participación del personal del servicio de urgencias del Hospital de Sabadell (España). El trabajo de Jaramillo [35] es un simulador con un diseño que permite simular la propagación de infecciones por contacto (MRSA), pero no funciona en una situación de pandemia. La pandemia fue ocasionada por un virus de transmisión aérea, no por un virus de contacto como el MRSA. La pandemia con un nivel de contagio elevado, y que provoca una tasa de entrada de pacientes, lo que requiere no solo medidas auxiliares de aislamiento, sino también un refuerzo de recursos en el servicio de urgencias, por lo que hay que añadir requisitos. Por lo tanto, para adaptar el simulador y que funcione adecuadamente en una situación de pandemia, se deben añadir algunos requisitos específicos.

Hemos modificado el modelo basado en agentes de Jaramillo et al. [35] para que sea útil para las salas de urgencias de COVID-19. En primer lugar, hemos incorporado variables relacionadas con COVID para cada paciente que incluyen su estado de infección, síntomas, carga viral. Y variables para cada personal del hospital que incluyen nivel de agudeza, edad, localización, infectado o no, sintomático o no, vacunado o no, carga viral y prueba PCR. En segundo lugar, hemos flexibilizado el simulador para incluir: (i) la gestión de múltiples salas de urgencias dentro del mismo hospital; (ii) múltiples resultados de pruebas PCR para cada paciente; y (iii) salas de urgencias separadas para infectados y no infectados.

Nuestro personal clínico de urgencias se ha modelado incorporando dos posibles niveles de experiencia: juniors (con experiencia limitada o baja en el servicio de urgencias hospitalarias) y seniors (con experiencia).

Esto es muy importante porque, durante una parte importante del “ataque de COVID”, además de los intensivistas de urgencias (seniors), se incorporó a

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

urgencias a personal sanitario de diferentes especialidades (juniors en comparación con los intensivistas).

Se ha preparado un conjunto de datos sintéticos de entrada para la simulación, por lo que se ha tenido que generar la distribución de pacientes de llegada COVID y NO COVID con diferentes niveles de gravedad y la distribución general de las edades de los pacientes simulados.

Con los cambios propuestos, nuestro simulador describe el comportamiento del servicio de urgencias durante la pandemia de COVID-19 y puede ayudar a los médicos y administradores como un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la gestión del servicio de urgencias. Nuestro simulador nos permite construir escenarios virtuales para comprender el impacto potencial en recursos humanos o materiales dentro del servicio de urgencias para la implementación de diferentes políticas si ocurren este tipo de situaciones.

Los principales métodos utilizados para la simulación en los servicios de urgencias son la simulación basada en agentes [32], [7], eventos discretos [69] y dinámica de sistemas [22]. La ventaja de la simulación es que facilita la búsqueda automática de escenarios que puedan proporcionar las mejores soluciones dadas a una serie de restricciones y estados futuros. Esta automatización de la búsqueda de mejoras para un servicio de urgencias puede ayudar significativamente a los administradores que necesitan respuestas a los problemas.

Nuestro trabajo presentado aquí se basa en el trabajo de Liu et al. [43], que desarrolló un simulador para la planificación y gestión del servicio de urgencias, que tiene la ventaja de haber sido verificado y validado en varios ciclos o iteraciones, teniendo en cuenta una amplia variedad de datos y configuraciones, y con la participación del personal del servicio de urgencias del Hospital de Sabadell (España).

Se propuso una metodología para adaptar el simulador a situaciones puntuales como epidemias o pandemias. Además, un modelo basado en agentes que permite modelar la gestión de un servicio de urgencias durante una pandemia como la COVID-19. El servicio de urgencias incorporó médicos y enfermeras de otras

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

especialidades para dar soporte al área de urgencias, gestionar más recursos (añadiendo camas o careboxes para aumentar el número de personas que pueden ser atendidas) y los niveles de gravedad de las urgencias.

Para adaptar la incorporación de más personal al servicio de urgencias, se configuró nuestro simulador, que tiene como parámetro configurable los recursos personales y, como hemos visto en la introducción, se considera dos niveles de experiencia: junior y senior: juniors (con conocimientos limitados o baja experiencia) y seniors (con experiencia); utilizamos los dos niveles que ya tiene el simulador para mapear los dos tipos de clasificación sobre los médicos utilizados durante la pandemia. Esto es muy importante porque, durante la pandemia de COVID-19, además de los intensivistas de urgencias (seniors), se incorporó al servicio de urgencias personal sanitario de diferentes especialidades (juniors versus intensivistas).

Para la parte experimental, hemos preparado un conjunto de datos sintéticos de entrada para la simulación, distribución de llegada de pacientes con COVID y NO COVID con diferentes niveles de gravedad; y distribución general por edad de los pacientes simulados. Con estos datos de entrada, hemos analizado los siguientes KPI: el LoS, el tiempo de ocupación de los médicos y enfermeras, el tiempo de espera de los pacientes, el tiempo de servicio según el nivel de gravedad, presentados en el capítulo 2. Luego lo comparamos con la realidad, obteniendo resultados muy prometedores.

Nuestro simulador describe el comportamiento del servicio de urgencias durante la pandemia de COVID-19 y puede ayudar al personal del hospital como un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la gestión del servicio de urgencias.

3.3.2. Estado del arte

En las últimas décadas, uno de los desafíos más destacados en el ámbito de la salud es el incremento de la resistencia a los antimicrobianos y el aumento de patologías oncológicas, junto con la aparición de nuevas infecciones como la COVID-19. Algunos agentes virales han llegado a desencadenar pandemias de gran

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

impacto mundial. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una proporción significativa de las enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes tiene origen zoonótico, es decir, se transmiten entre animales y seres humanos. Dentro de este contexto, los coronavirus constituyen una amplia familia de virus capaces de provocar enfermedades tanto en personas como en diferentes especies animales.

Los temas de simulación encontrados con mayor frecuencia en la literatura en el área de simulación de COVID-19 son estudios para rastreo de contactos con COVID-19, modelos de transmisión de pacientes sanos contagiados, ciudades turísticas afectadas, propagación en sistemas de salud[51], mejora del flujo de pacientes[68], cómo el modelado de simulación puede ayudar a reducir el impacto de COVID-19 [20]. En este trabajo nos centramos en la gestión dentro del Servicio de Urgencias Hospitalarias.

Algunos métodos de simulación encontrados que se utilizaron en el área de simulaciones de COVID-19 son eventos discretos [68][41][26], inteligencia artificial [8] y simulación basada en agentes [40].

Algunos países han utilizado la simulación para predecir escenarios, entre ellos el comportamiento de la variante Delta para conocer el número de muertos, infectados y vacunados infectados; otros para ver la evolución de la COVID-19; otros para establecer los infectados, en cuarentena, recuperados y muertos, utilizando el modelo Susceptible Exposed Infected Asymptomatic Quarantined Recovered (SEIAQR) [18].

Los estudios sobre el servicio de urgencias tratan sobre la práctica de protocolos u objetos para procedimientos médicos. Otro trabajo en el servicio de urgencias habla sobre la gestión de los recursos en cuidados intensivos, camas de cuidados intensivos y sus dispositivos, pero no hay un trabajo similar al nuestro en ese momento.

La diferencia entre nuestro trabajo y los demás es que este modelo de COVID-19 en el simulador del servicio de urgencias, permitirá a los gerentes del servicio de urgencias analizar y evaluar posibles soluciones para la distribución

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

de recursos tales como camas y los dispositivos. Y también se ha considerado en dos niveles, con experiencia y sin experiencia (juniors y seniors); al reforzar, el personal de salud que atiende COVID ha incorporado médicos intensivistas de urgencias (seniors) y personal de salud de diferentes especialidades (juniors). Y evaluar la efectividad de diferentes combinaciones de escenarios. Muchos países han estado experimentando un estrés extremo con pacientes que no pueden acceder a camas de terapia, que mueren mientras esperan que se liberen camas y una falta de médicos experimentados.

3.3.3. Supuestos clínicos del escenario COVID-19

El escenario COVID-19 se ha construido incorporando supuestos clínicos coherentes con la experiencia observada en los Servicios de Urgencias Hospitalarias durante las olas pandémicas, con el objetivo de garantizar que los patrones de demanda y consumo de recursos simulados resulten verosímiles desde el punto de vista asistencial.

En primer lugar, se asume una distribución de gravedad estratificada en cuatro categorías: casos leves (manejo ambulatorio), moderados (necesidad de observación y/o pruebas complementarias), graves (insuficiencia respiratoria o compromiso hemodinámico con alta probabilidad de ingreso en planta de hospitalización) y críticos (requiriendo soporte vital avanzado y/o ingreso en UCI).

Desde el punto de vista organizativo, el escenario incluye la existencia de circuitos diferenciados frente a pacientes no infecciosos o si, reproduciendo la separación de flujos implementada en la práctica clínica para reducir el riesgo de transmisión nosocomial. Los pacientes con clínica respiratoria o epidemiología compatible son dirigidos de forma preferente a áreas específicas de triaje y boxes dedicados, con prioridad en la monitorización de constantes y saturación de oxígeno. En el modelo se consideran tiempos máximos de espera más estrictos para los pacientes hipoxémicos o con criterios de gravedad (equivalentes a prioridad 1–2), de modo que cualquier demora por encima de estos umbrales se interpreta como situación potencialmente insegura.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

Asimismo, el escenario contempla de forma explícita el impacto de la dotación y mezcla de experiencia del personal (facultativos y enfermería junior versus senior) sobre la capacidad de respuesta global del servicio. Aunque no se modela la competencia clínica individual, sí se incorpora la premisa de que equipos con mayor proporción de profesionales menos experimentados pueden incrementar los tiempos de valoración, decisión y resolución, lo que resulta especialmente relevante en un contexto de alta demanda y pacientes frágiles o con insuficiencia respiratoria.

Es importante subrayar que el modelo se centra en la dinámica asistencial y de flujos, sin incluir un modelo explícito de transmisión aérea o contagio intrahospitalario. En consecuencia, el riesgo de infección entre pacientes o profesionales no se calcula de forma directa, sino que se aborda de manera indirecta a través de la separación de circuitos y la reducción de la exposición en áreas comunes. Esta ausencia de simulación microbiológica detallada constituye una limitación clínica relevante.

Finalmente, la distribución de severidad, las tasas de ingreso y la proporción de pacientes con requerimientos de oxígeno avanzado empleadas en el escenario COVID-19 se han contrastado de forma cualitativa con los datos disponibles en el centro y en series publicadas de hospitales comparables, con el fin de asegurar que los parámetros de entrada se sitúen en rangos plausibles. Esta aproximación permite que las conclusiones derivadas del modelo sean interpretadas como representativas de un SUH sometido a presión pandémica realista, manteniendo al mismo tiempo la transparencia sobre los supuestos clínicos empleados.

3.3.4. Descripción del Modelo de Servicio de Urgencias

En esta sección se presenta un modelo para el servicio de urgencias durante la pandemia de COVID-19. El objetivo general de esta investigación es proponer un modelo que permita ampliar la funcionalidad del simulador para adaptarlo a los cambios en la operación del servicio de urgencias cuando se presentan situaciones excepcionales como pandemias, de tal manera que ayude en la planeación y gestión de emergencias.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

El primer paso del trabajo consiste en realizar un modelo conceptual del funcionamiento del sistema, a partir del cual se elabora el modelo computacional que permitirá simular el sistema.

Variables de estado

Se agregaron algunas variables necesarias para simular en casos de pandemias o epidemias.

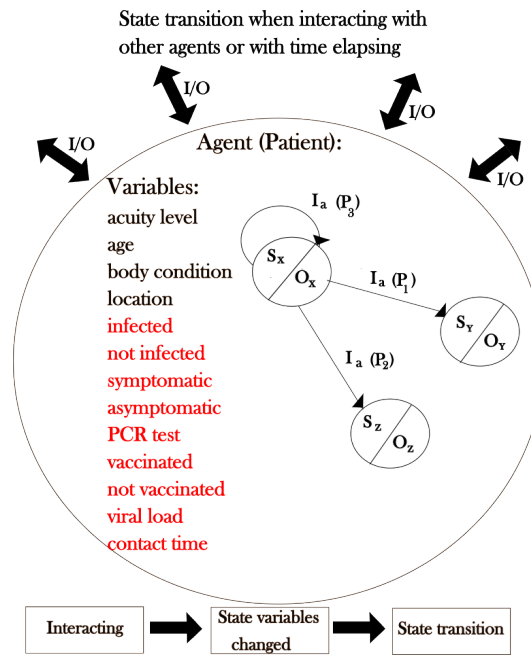


Figura 3.1: Transición de estado del agente paciente al interactuar con otros agentes o con el paso del tiempo

El modelado de los procesos del servicio de urgencias se ha fundamentado en observaciones in situ, entrevistas con profesionales médicos y la consulta de guías clínicas y protocolos institucionales reconocidos (por ejemplo, del SEMES o la OMS), con el fin de garantizar una representación precisa y clínicamente válida del flujo asistencial. Los agentes se mueven de un lugar a otro interactuando con otros agentes. Durante este tiempo, cada agente cambia su estado como resultado de las interacciones. En la Figura 3.1 se muestra un conjunto inicial de variables de estado para el paciente agente y en la Figura 3.2 para el personal del hospital (personal de admisión, médico, enfermera de triaje, personal de laboratorio y enfermera).

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

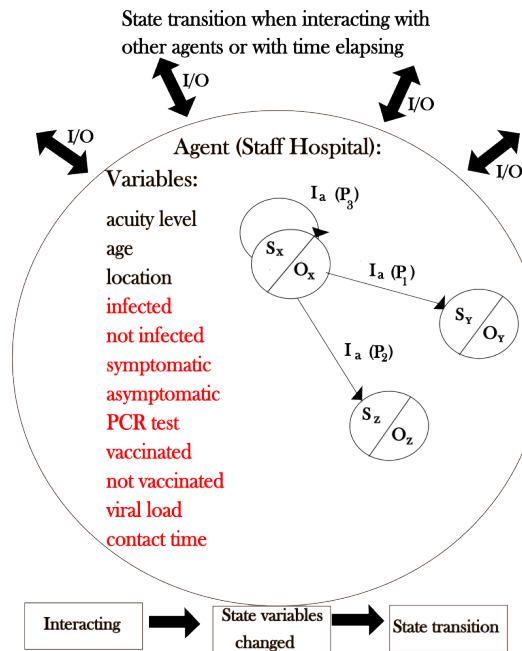


Figura 3.2: Transición de estado de los recursos humanos del hospital como personal de admisión, médico, enfermera de triaje, personal de laboratorio y enfermera al interactuar con otros agentes o con el paso del tiempo.

El vector de entrada (I) contiene una serie de valores de entrada que incluye muchos valores diferentes. La salida (O) depende del estado. Las transiciones entre estados dependen del estado actual en el tiempo (ST). Las variables del agente paciente son el nivel de agudeza, la edad, la condición corporal, la ubicación, infectado o no, sintomático o no, vacunado o no, carga viral, tiempo de contacto y prueba de PCR. Para el agente personal del hospital (personal de admisión, médico, enfermera de triaje, personal de laboratorio, enfermera), las variables son el nivel de agudeza, la edad, la ubicación, infectado o no, sintomático o no, vacunado o no, carga viral, prueba de PCR, tiempo de contacto.

En la Figura 3.1 se muestra un conjunto inicial de variables de estado para el paciente agente y en la Figura 3.2 para el personal del hospital (personal de admisión, médico, enfermera de triaje, personal de laboratorio y enfermera). En las Figuras 3.1 y 3.2 podemos ver cómo el agente paciente posee un atributo adicional que corresponde a la condición corporal. No obstante, los demás atributos, como nivel de agudeza, edad, ubicación, infectado, no infectado,

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

sintomático, asintomático, prueba de PCR, vacunado, no vacunado, carga viral y tiempo de contacto, son exactamente los mismos en ambos tipos de agentes.

La similitud entre muchas de las variables del agente paciente y del agente personal del hospital se debe a que este último también puede contraer una enfermedad, especialmente en contextos de pandemias o epidemias. Esta situación puede tener un impacto significativo, ya que la infección del personal puede generar ausencias laborales y, en consecuencia, un aumento de la carga de trabajo para el personal que permanece activo. Por ello, resulta relevante analizar este escenario y planificar la reposición del personal en caso de ser necesario.

Salida

La salida de un simulador basado en agentes incluye la información de estado (sensores) del servicio de urgencias; algunas de las salidas son la duración de la estadía (LoS), el tiempo de espera (Lowt) para cada etapa (p. ej., tiempo de espera para solicitud de servicio: wtsr, tiempo de admisión: at, tiempo de espera en admisión: wta, tiempo de espera en enfermería: wtn, tiempo de atención de enfermería: twnc, tiempo de espera en tratamiento del médico: wtd, tiempo de atención del tratamiento del médico: twmd y otros), destino, edad, nivel de agudeza, infectado, sintomático, prueba PCR, vacunado, carga viral. De esta manera, el simulador no proporciona directamente información sobre el comportamiento del servicio de urgencias simulado. Por el contrario, el análisis cruzado a través de diferentes escenarios de simulación es la forma de obtener información.

3.3.5. Simulador adaptado

El simulador adaptado tiene las mismas áreas, pero con diferentes recursos; por ejemplo, más careboxes, médicos y enfermeras, como se muestra en la Figura 3.3. Tiene las mismas áreas, pero con diferentes recursos y variables añadidas.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

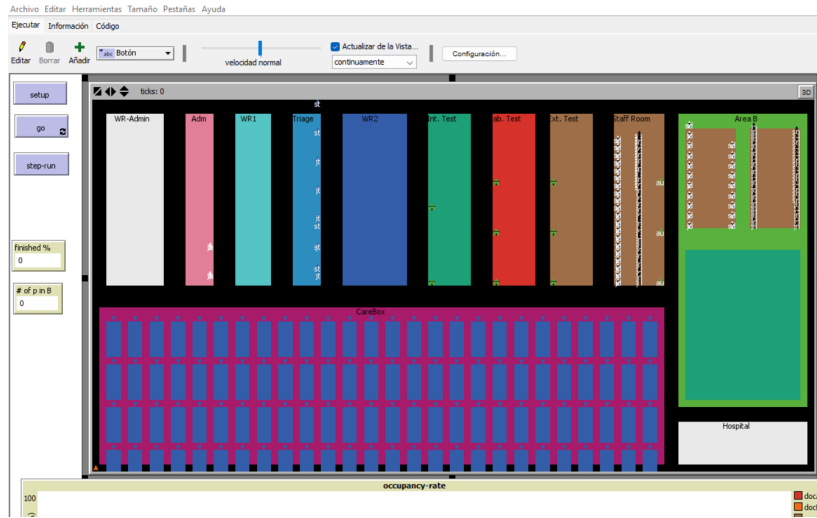


Figura 3.3: Visualización de la simulación en NetLogo del servicio de urgencias después de la adaptación.

$$\begin{aligned}
 n_{\text{scenarios}} = & n_{\text{admissions}} \cdot n_{\text{timeadmissions}} \cdot n_{\text{triagenursing}} \\
 & \cdot n_{\text{timetriagenursing}} \cdot n_{\text{nursing}} \cdot n_{\text{timenursing}} \\
 & \cdot n_{\text{doctor}} \cdot n_{\text{timedoctor}}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

El escenario adoptado para esta etapa inicial consiste en simular los pacientes que transitan por el servicio de urgencias. Las áreas y tipos de agentes activos representados en esta simulación son pacientes, personal de admisión, enfermeras de triaje, médicos, personal auxiliar, pruebas de laboratorio, pruebas internas, pruebas externas, ambulancia y cabina de cuidados. Cada combinación de valores representa una simulación de escenario diferente. Una amplia variedad de valores conforma el espacio de parámetros. Los parámetros pueden generar numerosos escenarios diferentes (3.1).

Para el personal médico que actúa como agente dentro del sistema, se establecen dos categorías según su nivel de experiencia: profesional júnior y profesional sénior. El usuario con menos experiencia necesitará más tiempo para completar el proceso que el más experimentado. Además, el simulador permite al usuario configurar de manera sencilla, desde la consola de configuración, tanto

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

la cantidad de trabajadores disponibles en cada categoría como su nivel de experiencia.

El menos experimentado dedicará más tiempo a realizar su trabajo por desconocimiento; podría ser un médico residente recién graduado. El más experimentado tardará menos tiempo. Ya conocen el proceso y el tratamiento gracias a su amplia experiencia y años de servicio. Para una demostración preliminar de cómo se puede reproducir una simulación con solo unos pocos parámetros, se ha definido un conjunto simplificado de atributos del paciente y un flujo de pacientes menos complejo. El tiempo de atención de los médicos varía según cada paciente y su nivel de gravedad.

La metodología utilizada para la adaptación fue primero la recolección de datos del hospital y el análisis del modelo del mismo, el cual queríamos reproducir. Primero, se analizó cómo fue el comportamiento del hospital en situación de pandemia, como por ejemplo la llegada de pacientes, el tipo de nivel de gravedad de los pacientes que llegaban, el tiempo que tardaban en el servicio. Todos esos parámetros fueron analizados con expertos del hospital antes de realizar el modelado. Una vez realizado el modelado, se realizó la simulación y luego la validación con los expertos del hospital.

3.3.6. Contexto: COVID-19 en IPS Ingavi de Paraguay

El IPS es un moderno hospital de alta complejidad en Paraguay que ofrece atención médica y servicio de urgencias a más de 2.000 asegurados al día, con aproximadamente 1.500.000 asegurados. Es uno de los hospitales de referencia. El IPS tiene varias sucursales en diferentes puntos del país.

El IPS Ingavi es una de las sucursales del IPS ubicado en la ciudad de San Lorenzo. De marzo de 2020 a septiembre de 2021, el Hospital IPS Ingavi atendió a aproximadamente 15.000 pacientes con COVID-19, de los cuales 1.500 fallecieron a pesar de los esfuerzos médicos[1]. En el período más crítico de la enfermedad, se registraron hasta 10 fallecimientos diarios, y se contabilizaron entre 200 y 300 decesos al mes.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

Tabla 3.1: Caso 1: Representación cuantitativa del servicio de urgencias hospitalarias antes de la contratación de más médicos y enfermeras.

Configuración de recursos humanos antes de la pandemia		
<i>Etiqueta</i>	<i>Interpretación</i>	<i>Número</i>
JA	personal de admisión júnior	3
SA	personal de admisión sénior	3
JTN	enfermero de triaje júnior	5
STN	enfermero de triaje sénior	5
JNA	Enfermero júnior área A	5
SNA	Enfermero sénior área A	5
JNB	Enfermero/a Junior, área B	5
SNB	Enfermero/a Junior, área B	5
JLE	Laboratorio Externo Junior	3
SLI	Laboratorio Interno Sénior	3
JDA	Médico Junior, área A	5
SDA	Médico Senior, área A	5
JDB	Médico Junior, área B	5
SDB	Médico Senior, área B	5

^aConfiguración de recursos humanos antes de la pandemia Hospital IPS Ingavi

Hubo un promedio de 400 a 600 consultas diarias por cuadros respiratorios por día[2]. Y un total de 44 camas de terapias intensivas del Hospital Ingavi del Instituto de Previsión Social estaban ocupadas en la época del COVID-19[2]. La Tabla 3.1 muestra los valores de la configuración de recursos humanos del hospital IPS antes de la contratación de más médicos y enfermeras. La Tabla 3.2 muestra la configuración de recursos humanos del hospital IPS tras la contratación de más personal debido a la alta demanda de pacientes por COVID-19.

NetLogo [66] almacena información sobre todo lo que sucede durante la ejecución del simulador y permite la creación de informes que se pueden exportar y procesar con estadísticas. Hicimos una simulación inicial con los datos que nos proporcionaron en el hospital, en comparación con la configuración anterior del simulador mencionado en los antecedentes. Al venir la pandemia del COVID-19, la llegada de pacientes fue completamente diferente a como era anteriormente. La configuración que cambiamos fueron los niveles de gravedad de los pacientes, el cual antes era la mayor cantidad de pacientes con niveles de gravedad 4 y 5,

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

Tabla 3.2: Caso 2: Representación cuantitativa del servicio de urgencias hospitalarias tras la contratación de más personal debido a la alta demanda de pacientes

Configuración de recursos humanos como personales durante la pandemia		
<i>Etiqueta</i>	<i>Interpretación</i>	<i>Número</i>
JA	personal de admisión júnior	3
SA	personal de admisión sénior	3
JTN	enfermero/a de triaje júnior	5
STN	enfermero/a de triaje sénior	5
JNA	Enfermero/a júnior área A	35
SNA	Enfermería superior A	20
JNB	Enfermería junior B	35
SNB	Enfermería superior B	20
JLE	Junior Laboratorio Externo	3
SLI	Laboratorio Interno Senior	3
JDA	Médico Junior área A	10
SDA	Médico Senior área A	10
JDB	Médico Junior área B	10
SDB	Médico Senior área B	10

^aRecursos humanos como personales durante la pandemia Hospital IPS Ingavi

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

los cuales son los menos graves, y al venir el COVID-19, el nivel de gravedad con mayor cantidad de pacientes es el 1, 2 y 3, los cuales son los pacientes más graves. También la cantidad de pacientes aumentó considerablemente con la llegada del COVID-19, al igual que la longitud de la estancia de los pacientes. Se analizó el comportamiento del simulador frente a las variables que influyen en el servicio de urgencias; se han realizado varias simulaciones con diferentes valores para observar qué resultados podíamos obtener.

El modelo de llegada de pacientes incluye pacientes con nivel de gravedad L (del 1 al 5). Para hacer la verificación y validación cuantitativa, construimos un modelo de llegada de pacientes de acuerdo con los datos reales de nuestro hospital cooperativo. Desde que llegó la pandemia causó grandes estragos en los hospitales de todos los países del mundo, no se queda atrás el hospital IPS Ingavi, el cual afectó en muchos puntos como la llegada de pacientes, la llegada de pacientes aumentó considerablemente con un promedio de llegada de entre 400 a 600 pacientes por día, también los niveles de gravedad de esos pacientes tuvo variación, debido a que antes de la pandemia no eran muy complejos los casos que llegaban en el hospital y era mayor la cantidad de pacientes con niveles de gravedad 4 y 5, pero durante la pandemia los pacientes que llegaban eran mucho más graves y los casos leves muchas veces eran tratados en sus casas o de forma telemática.

Se ha preparado un conjunto de datos de entrada sintéticos para la simulación, por lo que se tuvo que generar la distribución de pacientes de llegada COVID y NO COVID con diferentes niveles de gravedad, la distribución general de edades de los pacientes simulados y la distribución de las tasas de llegada de pacientes debido a las horas del día. En el simulador de nuestro grupo de investigación, reemplazamos con los datos del hospital, cambiamos los niveles de gravedad, la configuración del personal médico, enfermería, admisión, triaje.

La llegada de pacientes es la entrada de los simuladores de servicios de urgencias, que influye directamente en el comportamiento de los sistemas. Un modelo de precisión que refleje la llegada de pacientes es necesario para simular y predecir el comportamiento de un servicio de urgencias; el modelo de llegada

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

de pacientes incluye pacientes. La Figura 3.4 muestra la distribución de las tasas de llegada de pacientes según las horas del día en el hospital, antes del COVID, con un promedio de llegada de pacientes de 400 por día en IPS Ingavi y muestra la llegada de pacientes al hospital según la hora, y se puede ver que el rango de aproximadamente 6 a 21 horas es el rango donde los pacientes acuden más al hospital. La Figura 3.5 muestra el rango de edad de los pacientes reales en comparación con los simulados, donde se puede ver el rango de edad de los pacientes que más asistieron al hospital, que muestra un aumento de veinticinco a aproximadamente noventa y cinco años.

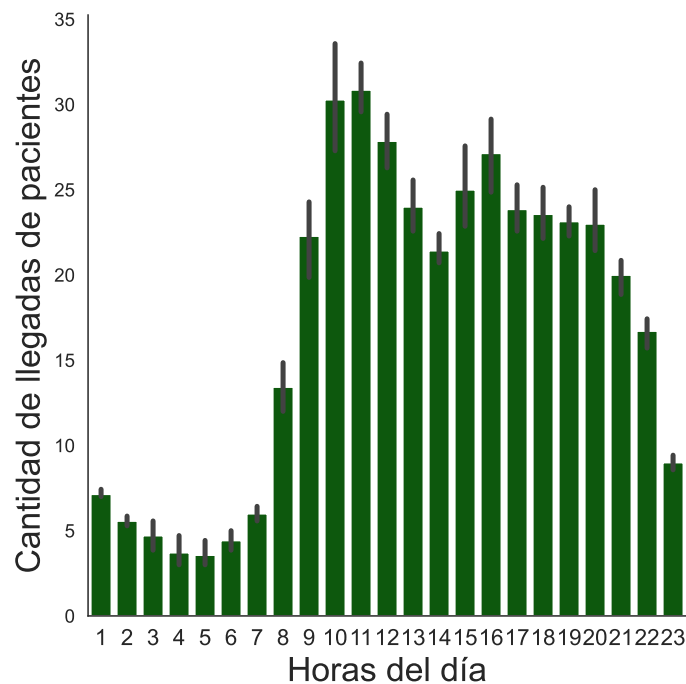


Figura 3.4: Distribución de llegada de pacientes por hora del día al hospital con un promedio de 400 pacientes al día como mínimo del IPS Ingavi.

El modelo de llegada de pacientes incluye pacientes con nivel de gravedad L (del 1 al 5). Para realizar la verificación y validación cuantitativa, construimos un modelo de llegada de pacientes según los datos reales de nuestro hospital cooperativo. Como se muestra en la Figura 3.6, al comparar los niveles de gravedad de los datos simulados con los datos reales, se observa que los niveles 1, 2 y 3

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

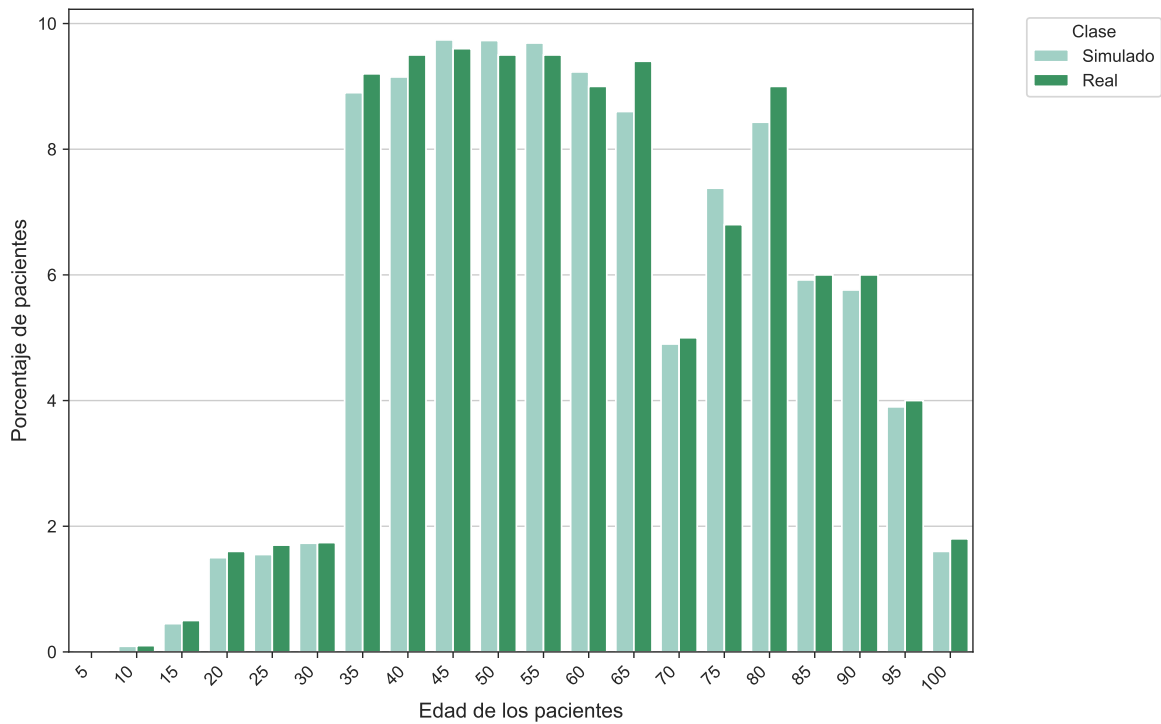


Figura 3.5: Comparación de la edad del paciente entre datos reales y simulados del IPS Ingavi.

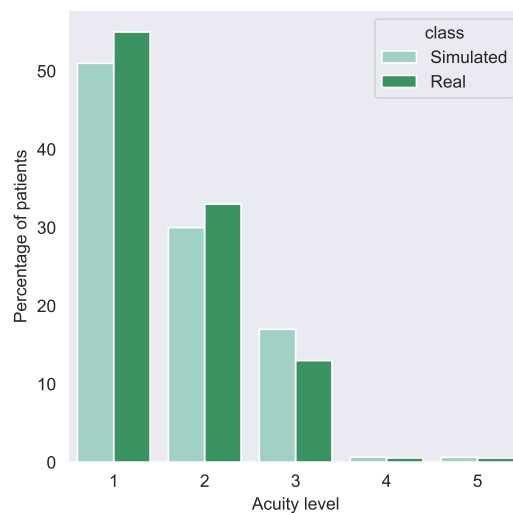


Figura 3.6: Porcentaje del nivel de agudeza de llegada de pacientes en el IPS Ingavi entre los datos reales y simulados.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

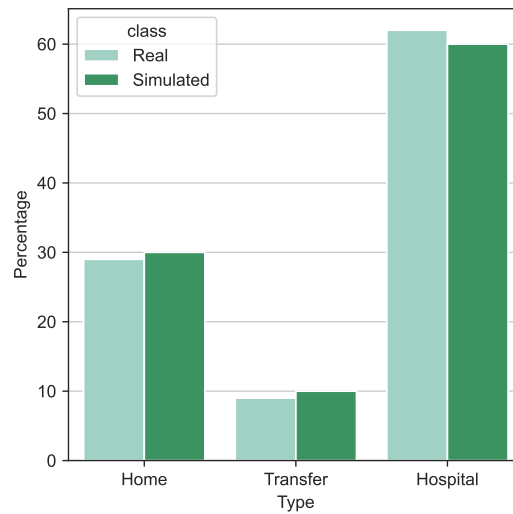


Figura 3.7: Porcentaje del destino de los pacientes con COVID en el hospital IPS Ingavi

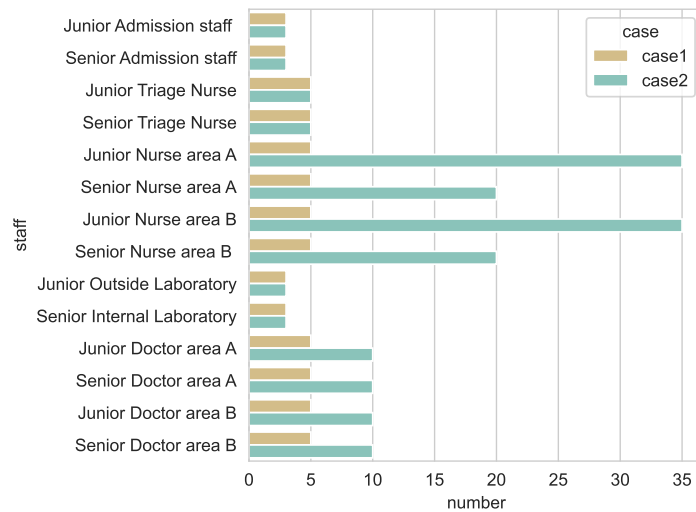


Figura 3.8: Valor de la configuración de recursos humanos caso 1 y 2 en el hospital IPS Ingavi.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

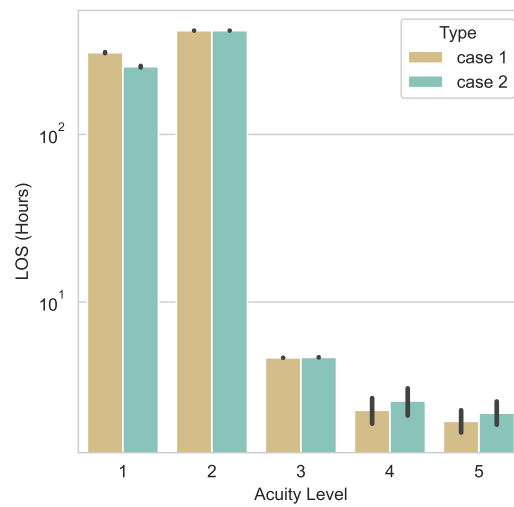


Figura 3.9: Promedio en horas de la duración de la estancia según el nivel de agudeza (LoS) para los casos 1 y 2 en el hospital IPS Ingavi.

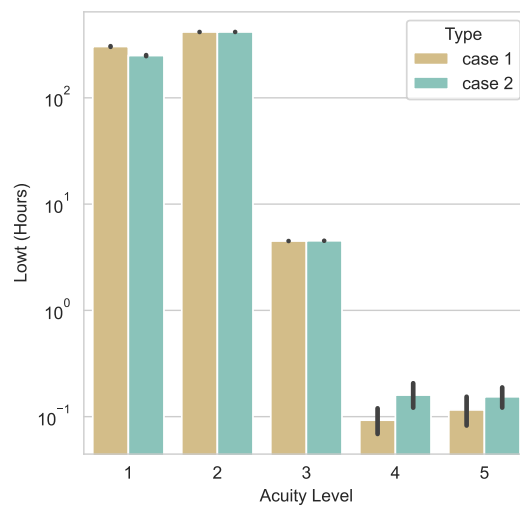


Figura 3.10: Promedio en horas del tiempo de espera del paciente según nivel de agudeza (Lowt) para los casos 1 y 2 en el hospital IPS Ingavi.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

Tabla 3.3: Análisis de los resultados de utilización de los recursos humanos (resultados de simulación).

Análisis de los resultados de utilización de los recursos humanos (porcentaje).				
<i>Caso</i>	<i>Recursos humanos</i>	<i>Promedio</i>	<i>Máximo</i>	<i>Intervalo de confianza</i>
Caso 1	Médico senior área A	70	100	(68, 70)
Caso 2	Médico senior área A	37	89	(37, 38)

^aAnálisis de los resultados de utilización de los recursos humanos para los casos 1 y 2.

Tabla 3.4: Máximo, tamaño promedio de la muestra para evaluar la estancia del paciente (LoS, Lowt, error relativo: 10 %, confianza: 95 %).

Tamaño máximo promedio de la muestra para evaluar la estancia del paciente (horas).				
<i>Caso</i>	<i>Tipo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Máximo</i>	<i>Intervalo de confianza</i>
Caso 1	LoS	284	508	(282, 286)
Caso 1	Lowt	282	433	(280, 284)
Caso 2	LoS	256	497	(254, 258)
Caso 2	Lowt	254	435	(252, 256)

^aTamaño máximo y promedio de la muestra para evaluar la estancia del paciente para los casos 1 y 2.

corresponden a los pacientes que acudieron con mayor frecuencia al hospital. Los pacientes con niveles de gravedad 1, 2 y 3 son los más graves, mientras que los niveles 4 y 5 son los más leves. En época de pandemia, la mayoría de pacientes eran muy graves; esto cambia mucho respecto a lo que ocurre en caso de no pandemia. En cambio, en época de pandemia, el 50 % de los pacientes que llegaban estaban muy graves y necesitaban atención inmediata.

Uno de los resultados del simulador es que la distribución de L (nivel de agudeza) entre los pacientes que llegaron se obtuvo mediante el análisis estadístico de los datos reales y la distribución general por edad de los pacientes.

Desde la visión del paciente, los indicadores principales analizados son la duración de la estancia en el servicio (LoS) y el tiempo que deben esperar antes de ser atendidos (Lowt). Por otro lado, desde la perspectiva administrativa, los resultados se enfocan en el nivel de utilización del personal médico, de enfermería, así como del equipo encargado del triaje y de admisión.

Los pacientes con niveles de gravedad 1, 2 y 3 son los más graves y, por lo tanto, se les atiende antes, pero están más tiempo de estancia en el servicio debido a la gravedad de los pacientes.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

Uno de los resultados del simulador es el destino del paciente tras su ingreso en urgencias. En la Figura 3.7, se puede observar la comparación de los valores reales y simulados del porcentaje de pacientes que se fueron a casa tras la consulta de urgencias (es decir, en los casos en que los pacientes no presentaban una enfermedad grave, como los pacientes con niveles de gravedad 3, 4 y 5), la tasa de pacientes que permanecieron en el hospital para continuar con sus tratamientos y el porcentaje de los transferidos al hospital.

La Figura 3.8 muestra la configuración de recursos humanos para los casos 1 y 2 de la simulación: el caso 1 presentaba un número bajo de médicos y enfermeras antes de la contratación de más personal hospitalario; el caso 2 presentaba un número alto de médicos y enfermeras tras la contratación de más personal. En cuanto a la duración de la estancia (LoS) y (Lowt) en las simulaciones realizadas con los casos 1 y 2, se observa que los pacientes con niveles de gravedad 1 y 2 son los que tienen un mayor tiempo de atención para ser atendidos en el hospital; esto se observa en las Figuras 3.9 y Figura 3.10. Como ya se había mencionado, los niveles de gravedad 1, 2 y 3 son los más graves, mientras que los niveles 4 y 5 son los más leves. Los niveles de gravedad 1 y 2 tienen un estado más crítico y requieren mayor tiempo de atención por parte del personal. En cuanto al porcentaje de ocupación de médicos y personal, el cálculo es esencial para determinar cuándo el sistema está a punto de saturarse y es necesario contratar más personal. Además, cuando los médicos están muy saturados, su rendimiento en la atención al paciente puede disminuir y no atenderlos correctamente, si ya están fatigados.

La Tabla 3.3 muestra el valor máximo, el promedio (porcentaje) y los intervalos de confianza del 95 por ciento del área A de los médicos para los casos 1 y 2. Al contratar más personal sanitario, los valores de las ocupaciones máxima y media disminuyen. Y al no contratar más personal sanitario, los valores promedio y máximo de las ocupaciones aumentan. En la Tabla 3.4 se muestran el valor máximo, el promedio y los intervalos de confianza al 95 por ciento del valor del LoS y Lowt para los casos 1 y 2. Se puede distinguir que cuando hay más personal de salud contratado, los valores de la media, máximo e intervalo de confianza de los tiempos de espera de los pacientes (horas) de LoS y Lowt son menores, y cuando

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

hay menos personal, los valores de la media, máximo e intervalo de confianza de los tiempos de espera de los pacientes de LoS y Lowt son mayores.

Como resultado de nuestra investigación, presentamos una adaptación de un modelo basado en agentes para la gestión de urgencias. Trabajamos con diferentes escenarios para adaptar el simulador a situaciones de pandemia, por ejemplo, combinando recursos humanos hospitalarios y aumento de pacientes.

Utilizamos un conjunto de datos sintéticos para la entrada de datos al simulador sobre la llegada de pacientes con y sin COVID-19, con diferentes edades, niveles de gravedad y la distribución de la llegada de pacientes por hora del día. Con estos datos, analizamos el tiempo de ocupación de los médicos, el tiempo de espera de los pacientes y el tiempo de servicio según el nivel de gravedad, para luego compararlo con la realidad. Una de las ventajas de nuestro trabajo es que este modelo/simulador de COVID-19 en urgencias"permite a los gestores de urgencias analizar y evaluar posibles soluciones para analizar el número de personal hospitalario, careboxes y camas.

Nuestro trabajo futuro consiste en incorporar la propagación aérea de la COVID-19 en urgencias para validar y añadir más detalles al simulador basado en agentes, con el fin de que sea lo más consistente y preciso posible en una situación de pandemia, y construir diferentes escenarios para la toma de decisiones. Esto nos permitirá construir escenarios virtuales para comprender el fenómeno de transmisión de la COVID-19 y el posible impacto de la implementación de diferentes políticas en las tasas de propagación viral.

3.4. Adaptación del modelo para epidemias de chikungunya

Esta sección presenta la adaptación del modelo para epidemias de chikungunya. El objetivo general es ampliar la funcionalidad del simulador para adaptarlo a los cambios en el funcionamiento del servicio de urgencias cuando se presentan situaciones excepcionales, como la epidemia de chikungunya, de tal manera que

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

ayude en la planificación y gestión del servicio.

El primer paso del trabajo consiste en realizar un modelo conceptual del funcionamiento del sistema, a partir del cual se elabora el modelo computacional que permitirá simular el sistema.

Las extensiones al diseño original se continuarán desarrollando sobre el entorno de simulación NetLogo [66].

3.4.1. Supuestos clínicos del escenario chikungunya

El escenario chikungunya se ha diseñado considerando un perfil clínico coherente con la evidencia disponible sobre esta arbovirosis emergente, con el objetivo de modelizar de forma verosímil su impacto asistencial.

Desde el punto de vista clínico, la infección aguda por el virus chikungunya se caracteriza predominantemente por un síndrome febril con artralgias intensas, mialgias, cefalea y, en muchos casos, exantema. Sin embargo, determinados grupos presentan mayor riesgo de formas graves o complicadas, incluyendo gestantes, recién nacidos expuestos periparto, personas ancianas y pacientes con comorbilidades relevantes (cardiovasculares, respiratorias crónicas, diabetes, inmunosupresión), en los que se han descrito descompensaciones clínicas, afectación neurológica, miocárdica o hepática y aumento de la morbimortalidad.

En el modelo de simulación se establece una diferenciación explícita entre casos banales y casos graves o de riesgo:

Los casos banales corresponden a pacientes jóvenes o sin comorbilidad significativa, con fiebre y artralgias intensas pero sin criterios de inestabilidad hemodinámica, afectación orgánica ni signos de alarma. Estos pacientes suelen requerir evaluación médica, analgesia, hidratación y eventualmente observación corta, con alta probabilidad de retorno domiciliario.

Los casos graves o de riesgo incluyen:

Gestantes con fiebre y sospecha de infección por chikungunya, Recién

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

nacidos y lactantes, Personas mayores o con pluripatología, Pacientes con signos de afectación neurológica, respiratoria, cardiovascular o hematológica, descompensación de enfermedades crónicas preexistentes asociada al cuadro febril.

Estos cuadros se priorizan en el triaje como niveles altos de gravedad, con necesidad de monitorización, pruebas complementarias, posible ingreso en observación, hospitalización o UCI.

En términos asistenciales, el incremento brusco de demanda vinculado a un brote de chikungunya se traduce en:

Riesgo de saturación de áreas de clasificación y boxes de atención rápida, dado el alto volumen de casos febriles que requieren valoración, aunque muchos sean de baja complejidad.

Consumo relevante de recursos de observación en subgrupos vulnerables (gestantes, ancianos, comórbidos) que precisan vigilancia clínica, hidratación, control del dolor y despistaje de complicaciones o diagnósticos alternativos (dengue, sepsis, otras infecciones).

Posible retraso en la atención de pacientes no chikungunya con patología grave o tiempo-dependiente, cuando la presión asistencial por casos febriles banales ocupa espacios físicos, profesionales y recursos diagnósticos necesarios para síndrome coronario agudo, ictus, sepsis u otras emergencias. El modelo permite identificar escenarios en los que el aumento de casos leves de chikungunya tiene un efecto secundario sobre los indicadores críticos de estos pacientes prioritarios (Door-to-Doctor, disponibilidad de boxes de críticos, tiempos de decisión para ingreso).

De este modo, el escenario de chikungunya no se limita a reproducir flujos globales, sino que incorpora la estratificación realista de severidad y riesgo, así como el impacto del brote sobre la organización del SUH y la seguridad de otros pacientes. Los parámetros de severidad, tasas de ingreso y necesidad de monitorización se han ajustado tomando como referencia series clínicas publicadas y documentos de organismos internacionales, con el fin de situar los supuestos del

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

modelo dentro de rangos plausibles de uso de recursos y carga asistencial.

3.4.2. Agentes activos

Durante la recogida de la información, son los agentes activos en representación de las personas y entidades que actúan por su iniciativa.

- Pacientes: Son los individuos en el sistema, se tendrá en cuenta su nivel de gravedad y se añadirá una variable de estado si está infectado o no, si se hizo el test o no, tipo de arbovirosis.
- Personal de admisiones: Personal que atiende al paciente en primera instancia para solicitar una cita y que actualiza sus datos y/o solicita la apertura o consulta de su historia clínica.
- Doctor: Interactúan con los pacientes para diagnosticarlos y tratarlos, se tendrá en cuenta su nivel de experiencia en pacientes con chikungunya y clasificarlos en *junior y senior*.
- La enfermera de triaje: Es quien llama al paciente para realizar la preconsulta. Identifica el nivel de gravedad del paciente, se le activa un sensor para saber el tiempo de estancia de este paciente para observar cuánto tiempo se encuentra en el servicio, si se requiere priorizar o no en la atención.
- Personal de Laboratorio: Son las personas que realizan las pruebas complementarias si es necesario.
- Enfermera: Atienden al paciente, toman muestras y las envían al laboratorio correspondiente.

3.4.3. Variables de estado

Cada agente cambia de estado debido a las interacciones. Una máquina de estados representa este comportamiento, y para ello se ha escogido una máquina de Moore probabilística.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

3.4.4. Salida

Cada estado puede tener una salida diferente. La salida de un simulador basado en agentes incluye la información de estado (sensores) del servicio de urgencias; algunas de las salidas son la longitud de estancia (LOS), la duración de la espera (Lowt) para cada etapa (por ejemplo, tiempo de espera para solicitud de servicio: wtrs, tiempo de admisión: ta, tiempo de espera en admisión: wta, tiempo de espera en enfermería: wtn, tiempo de atención de enfermería: twnc, tiempo de espera en tratamiento médico:wtdt, tiempo de atención en tratamiento médico: twmd, entre otros), destino, edad, nivel de agudeza, infectados, sintomáticos, vacunados. De esta forma, el simulador nos proporciona directamente información sobre el comportamiento del servicio simulado; si no, esta se obtiene a través del análisis cruzado de diferentes escenarios de simulación (ejemplo de estas salidas son el porcentaje de los diferentes recursos como doctores, enfermeras, personal de admisión, etc.).

3.4.5. Agentes pasivos

Son agentes que no se mueven. Un ejemplo de un agente pasivo es un sistema informático.

3.4.6. Método

Los servicios de urgencias se caracterizan por ser entornos dinámicos y poco predecibles, donde la llegada de pacientes puede producirse en cualquier momento y de forma repentina. Si bien es posible estimar probabilidades mediante métodos estadísticos, siempre existe un alto grado de incertidumbre ante eventos imprevistos. Un aumento inesperado en el número de pacientes puede alterar significativamente el funcionamiento y el rendimiento global del servicio.

Tras la llegada del paciente al servicio de urgencias y el registro realizado por el personal de admisión, en función de la gravedad de su situación de triaje, se categoriza a los pacientes teniendo en cuenta su nivel de gravedad. Hay cinco valores diferentes, el nivel 1 es la situación más crítica y el nivel 5 es la más leve.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

Los servicios cuentan con diferentes áreas: área de ingresos, área de triaje, área de diagnóstico-tratamiento, salas de espera, etc.

El servicio de urgencias de este hospital tiene dos áreas, A y B. El área A está ocupada por los pacientes más urgentes y está formada por *careboxes*. Los pacientes atendidos en zona A permanecerán en su propio carebox de cuidados durante todo el proceso de diagnóstico y tratamiento. El área B es para pacientes con un nivel de gravedad de 4 y 5, hay diversas salas de atención en las que los médicos y las enfermeras interactúan con los pacientes, y una gran sala de espera en la que permanecerán todos los pacientes mientras no tienen interacción con el personal del servicio de urgencias. Estas dos áreas (A, B) tienen su propio médico y enfermera, que trabajan por separado, pero comparten los mismos recursos de servicio, por ejemplo, rayos X, tomografía computarizada, ecografías, laboratorios para realizar análisis, etc.

Después del triaje, los pacientes con nivel de gravedad diagnosticada 1, 2 y 3 son tratados por separado y asignados al área A, y los pacientes 4 y 5 se tratan en el área B.

El primer paso para adaptar el simulador al hospital será especificar la configuración concreta del entorno, será preciso especificar el número de careboxes del área A y B, el número de salas de espera, de laboratorios para realizar análisis, rayos X.

El escenario adoptado para esta etapa inicial es simular los pacientes que transitan por el servicio de urgencias, teniendo en cuenta el aumento de las entradas de pacientes debido al chikungunya. Las áreas y tipos de agentes activos representados en esta simulación son pacientes, personal de admisión, enfermeras de triaje, médicos, pruebas de laboratorio, ambulancia y salas de cuidados.

3.4.7. Datos de entrada experimentales

El Hospital Nacional de Itaugua es uno de los hospitales más grandes de Paraguay. Está ubicado en un punto entre la capital y el interior, y es uno de los hospitales de referencia del país con una considerable cantidad de pacientes.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

Entre enero y febrero de 2023, el Hospital Nacional de Itauguá, al igual que otros hospitales de Paraguay debido al aumento de casos de chikungunya, ha saturado la disponibilidad de camas a pesar de contar con un elevado número de plazas.

En el Hospital Nacional de Itauguá se debe contemplar que hay un número elevado de pacientes con otras patologías como diabetes, problemas de hipertensión y lesiones graves por accidentes de tránsito que llegan de diferentes partes del país. La Tabla 3.5 muestra los valores de los parámetros de la configuración de los recursos humanos para representar el servicio de urgencias simulado.

Tabla 3.5: Representación cuantitativa del servicio de urgencias del Hospital Nacional de Itauguá

Valor de la configuración de RRHH	
<i>Interpretation</i>	<i>Número</i>
Personal de junior de admisión	3
Personal senior de admisión	2
Enfermera de triaje junior	2
Enfermera de triaje senior	4
Enfermera junior area A	4
Enfermera senior área A	5
Enfermera junior area B	5
Enfermera senior área B	4
Laboratorio junior exterior	6
Laboratorio senior Interno	3
Doctor junior área A	6
Doctor Senior área A	3
Doctor Junior área B	5
Doctor Senior área B	4

^aValor de la configuración de recursos humanos del hospital Nacional de Itaugua

El modelo de llegada de pacientes incluye pacientes con distintos niveles de gravedad L (nivel de agudeza). Para hacer una verificación y validación

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

cuantitativa, se construyó un modelo de llegada de pacientes de acuerdo con los datos reales del Hospital Nacional de Itagua.

Con este criterio se ha preparado un conjunto de datos de entrada sintéticos para la simulación basados en la distribución de los pacientes que llegan al hospital. Esta distribución incluye pacientes con chikungunya con diferentes niveles de gravedad (4), la distribución general de pacientes simulados por edades y la distribución de los niveles de gravedad de los pacientes.

En los periodos de mayor afluencia de casos banales de chikungunya se observa una reducción de la disponibilidad de boxes y un incremento del tiempo de espera de pacientes con chikungunya de alta prioridad, lo que sugiere un riesgo asistencial indirecto relevante.

Una de las entradas del simulador es que la distribución de distintos niveles de agudeza L (agudeza) entre los pacientes que llegaron se obtuvo a través de análisis estadísticos de los datos reales y la distribución total de edad de los pacientes, como se muestra en la Figura 3.11 y la Figura 3.12. Como se puede observar en estas figuras, en la Figura 3.11, el nivel de severidad 2,3 acumula mayor número de pacientes, y los niveles de gravedad 1, 4 y 5 en menor cantidad.

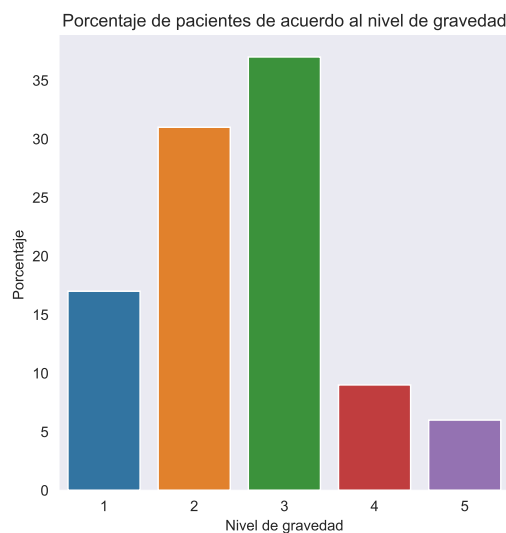


Figura 3.11: Número de pacientes del hospital Nacional de Itagua de acuerdo al nivel de gravedad

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

En la Figura 3.11 en el eje x se observa los niveles de gravedad de los pacientes y en el eje y la cantidad de pacientes. En la Figura a 3.12 en el eje x se puede observar la edad de los pacientes y en el eje y la cantidad de pacientes. Se muestra que está figura el sexo femenino acumula mayor número de pacientes en el rango de 15 a 100 años de edad comparado con el sexo masculino.

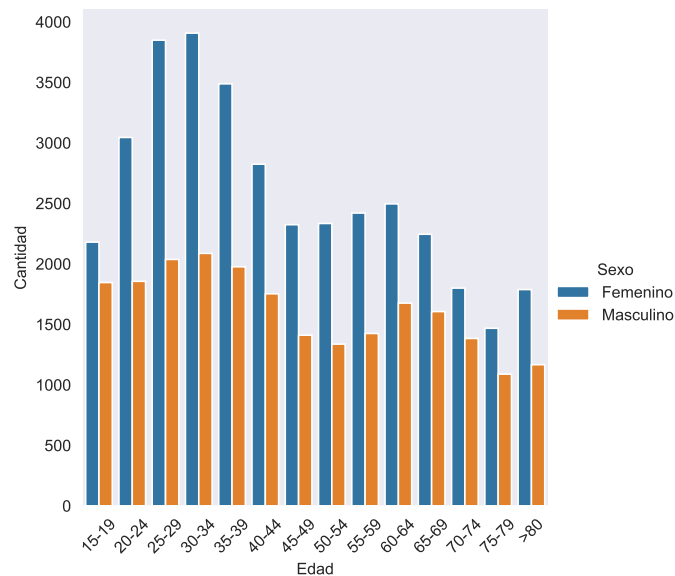


Figura 3.12: Número de pacientes de acuerdo a la edad y el sexo en el hospital Nacional de Itaugua

La chikungunya empezó con un brote muy alto de casos en Paraguay entre diciembre del 2022 y los primeros meses del 2023, un caso nunca registrado en el país. En la Figura 3.13, se puede observar el número de internados por chikungunya entre las últimas semanas del 2022 y las primeras 16 semanas del 2023, teniendo su pico en la semana número 6 del 2023 en Paraguay [13].

En la Figura 3.14 se observa el porcentaje de ocupación de los distintos recursos como admisión, triaje de enfermería, doctores, enfermeras, personal auxiliar y laboratorio en el Hospital Nacional de Itauguá, a causa de los pacientes con chikungunya entre finales de 2022 y 2023. Se aprecia que los doctores y enfermeras del área A alcanzan casi el 100 % de ocupación debido al elevado número de pacientes con niveles de gravedad 2 y 3.

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

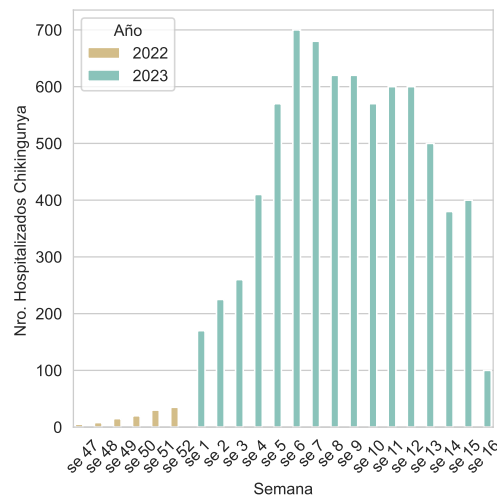


Figura 3.13: Número de internados de chikungunya entre finales del 2022 y 2023 en el hospital Nacional de Itaugua

En la Figura 3.15 se muestra la duración de la estancia, en minutos, cuando ingresan 250 pacientes al Hospital Nacional de Itauguá, según los diferentes niveles de gravedad de los afectados por chikungunya en el mismo periodo. Se observa que los pacientes con niveles de gravedad 2 y 3 presentan estancias más prolongadas, debido a la mayor cantidad de casos críticos y a la frecuencia con que llegan pacientes en esos niveles de severidad.

En la Figura 3.16 se presenta la duración de la estancia, en minutos, cuando ingresan 400 pacientes al Hospital Nacional de Itauguá, de acuerdo con los distintos niveles de gravedad por chikungunya entre finales de 2022 y 2023. Nuevamente, los pacientes con niveles de gravedad 2 y 3 son los que registran estancias más prolongadas, tanto por la mayor cantidad de enfermos críticos como por el incremento de pacientes que llegan en esos niveles de gravedad. Se puede apreciar, además, que la duración de la estancia aumenta significativamente al incrementarse el número de pacientes atendidos por chikungunya.

Para concluir, en esta sección se presenta un modelo del servicio de urgencias basado en agentes, que utiliza NetLogo como plataforma de simulación. Se ha propuesto un método para adaptar el simulador a otro entorno para dar soporte a

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

la gestión del servicio de urgencias en caso de epidemias. Para aplicar el método propuesto, se ha seleccionado un caso de estudio, se ha aplicado adaptando el simulador a un hospital de Paraguay y se ha preparado para dar soporte a la gestión del servicio en el caso de una epidemia ocasionada por chikungunya, preparando el simulador y generando unos datos sintéticos a los que se añaden, a la llegada de pacientes genérica del hospital, los pacientes infectados por chikungunya.

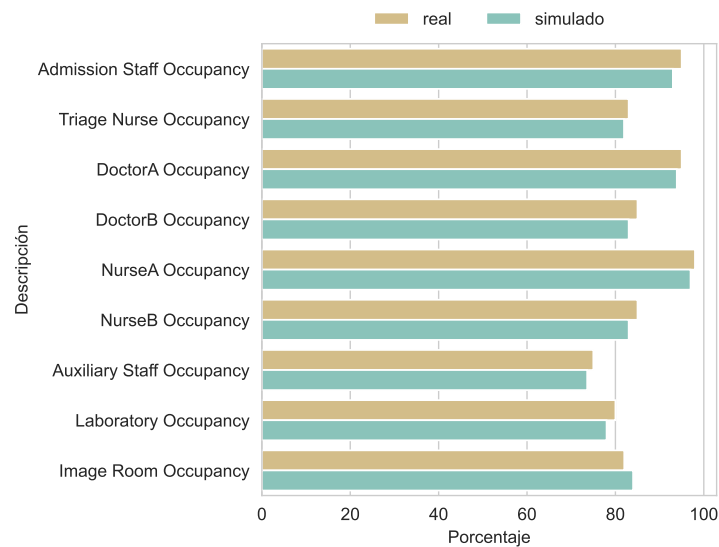


Figura 3.14: Porcentaje de ocupaciones de los recursos en el hospital Nacional de Itaugua a causa de los pacientes con chikungunya entre finales del 2022 y 2023

El modelo basado en agentes nos permite diseñar un plan de contingencia previo a la llegada de una posible pandemia, permitiendo adelantarnos en las modificaciones del sistema sanitario, tanto en estructuras como en personal, para dar mejor servicio a la población. Para probar posibles usos del simulador, solucionar el creciente problema de saturación de llegadas de pacientes y qué hacer para aumentar camas y recursos humanos como médicos y enfermeras en estos casos.

Para la simulación se ha preparado un conjunto de datos sintéticos de entrada, por lo que se ha tenido que generar la distribución de los pacientes que llegan con chikungunya con diferentes niveles de gravedad y distribución general de las

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

edades de los pacientes simulados.

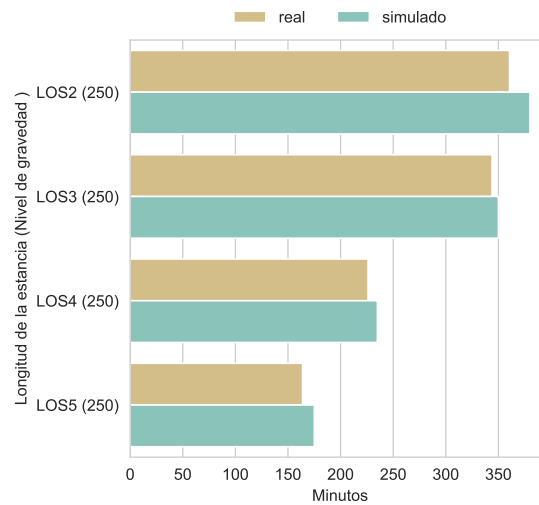


Figura 3.15: Longitud de la estancia en minutos de 250 pacientes con chikungunya según los distintos niveles de gravedad entre finales del 2022 y 2023 en el hospital Nacional de Itaugua

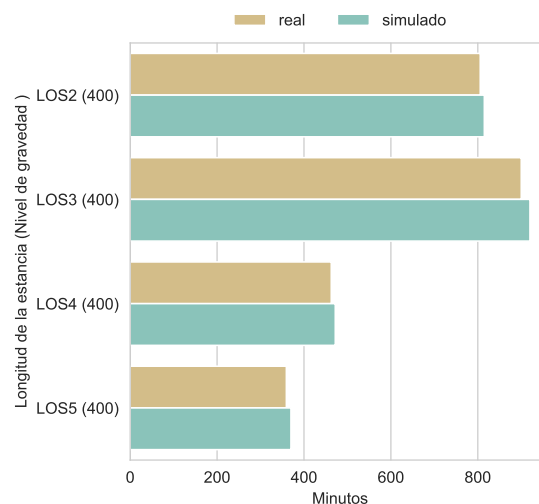


Figura 3.16: Longitud de la estancia en minutos de 400 pacientes con chikungunya según los distintos niveles de gravedad entre finales del 2022 y 2023 en el hospital Nacional de Itaugua

Las características de flexibilidad y adaptabilidad de este modelo genérico

3. METODOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN SIMULADOR DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS EN CASOS DE UNA EMERGENCIA (PANDEMIA, EPIDEMIA)

permiten que la simulación del servicio de urgencias se adapte a diferentes escenarios sin modificar significativamente el modelo subyacente al establecer los parámetros de entrada. Esta metodología facilita que los investigadores puedan centrar su esfuerzo en comprender el comportamiento del servicio de urgencias.

Capítulo 4

Evaluación del Servicio de Urgencias Hospitalarias a través de Simulación: Construcción de un escenario de referencia

El Ministerio de Sanidad y Política Social de España ha elaborado un documento que presenta estándares y recomendaciones relacionadas con la Unidad de Urgencias Hospitalaria (UUH). Sin embargo, dicho documento no tiene carácter normativo, lo que significa que no establece requisitos mínimos ni normas obligatorias para la autorización, apertura, funcionamiento o acreditación de estas unidades[4].

Presentamos una simulación de un Modelo Basado en Agentes (ABM), tomando como referencia el estándar de referencia y las recomendaciones para urgencias hospitalarias en España[4], utilizando los parámetros especificados en dicho estándar, como el triaje, la dotación de personal, los careboxes y el número de pacientes.

Basándonos en los parámetros de dicho estándar, adaptamos los parámetros de nuestro simulador de urgencias hospitalarias. Adaptamos el simulador para

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

analizar diferentes escenarios y analizamos el impacto en los Indicadores Clave de Desempeño o Medidores de Desempeño, por sus siglas en inglés Key Performance Indicator (KPI), duración de la estancia (LoS), tiempo de espera (Lowt), tiempo puerta-médico, factores que influyen en el tiempo de espera en una urgencia médica (DtD Door-To-Doctor), Factors Influencing Door-To-Doctor time in an emergency, porcentaje de ocupación de médicos, enfermeras, laboratorio, imagen, triaje, admisión en función de diferentes escenarios como el aumento y envejecimiento de la población, disminución del número de recursos, doctores y enfermeras, aumento de carebox.

4.1. Objetivos

El objetivo de este capítulo es caracterizar y dimensionar el servicio de urgencias hospitalarias y sus Indicadores Clave de Desempeño o Medidores de Desempeño (KPI) a partir de un escenario de referencia.

El objetivo es poner a disposición de las administraciones y gestores:

- Criterios de seguridad y calidad.
- Criterios de organización y gestión de las unidades.

4.2. Método y aporte de la tesis

4.2.1. Implementación de la priorización basada en la gravedad y el KPI de puerta a médico (DTD)

El marco de evaluación definido por la legislación española de atención de urgencias asigna un papel central al indicador Puerta al Médico (DTD), que mide el tiempo transcurrido entre la llegada de un paciente al servicio de urgencias (t_{door}) y el momento en que un médico inicia la primera evaluación clínica (t_{doctor}). Este KPI refleja la capacidad de respuesta del sistema y se utiliza tanto operativa como estratégicamente para evaluar la idoneidad del personal, los protocolos de derivación de pacientes y los niveles de congestión del servicio. Su interpretación es

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

especialmente sensible a la gravedad del paciente: un DTD clínicamente coherente debe reflejar que los pacientes con alta urgencia reciben atención médica inmediata o casi inmediata, mientras que los casos menos urgentes pueden, legítimamente, experimentar tiempos de espera más largos.

Si bien el modelo de simulación original ya incorporaba los eventos de llegada de pacientes, no incluía una representación de la primera interacción entre un paciente y un médico. Esta ausencia no era simplemente una omisión técnica, sino que limitaba la capacidad del modelo para alinearse con las definiciones operativas requeridas por la legislación. La falta de un t_{doctor} bien definido impidió el cálculo de la DTD según lo especificado en las normas regulatorias y, en consecuencia, limitó la capacidad del modelo para respaldar un marco de evaluación que refleje el desempeño real de los servicios de urgencias. Para superar esta limitación, se amplió el modelo para que cada agente del paciente mantenga un atributo temporal específico que almacena el instante del primer contacto médico. Esta ampliación requirió identificar el momento preciso en el flujo de trabajo de simulación en el que el paciente pasa del estado de espera o triaje a la evaluación activa por parte de un médico. Cuando ocurre esta interacción, el paciente registra el tiempo de simulación actual como t_{doctor} , lo que permite el cálculo de la DTD mediante:

$$\text{DTD} = t_{\text{doctor}} - t_{\text{door}}.$$

Esta mejora proporciona a cada agente un seguimiento temporal completo de su trayectoria dentro del sistema y garantiza que los valores de los KPI resultantes sean directamente comparables con los definidos en los documentos regulatorios españoles. Sin embargo, el cálculo correcto del DTD requiere más que la introducción de una marca de tiempo. Para que el indicador sea significativo, el modelo debe reproducir la lógica de priorización que rige los servicios de urgencias reales. Los pacientes con diferentes niveles de gravedad no experimentan las mismas vías clínicas. Un paciente de nivel 1, por ejemplo, no puede considerarse que "espere en la cola" de la misma manera que un paciente de nivel 4. En la práctica, los casos de nivel 1 se trasladan directamente a las áreas de tratamiento y son atendidos por un médico de inmediato, mientras que los de niveles 4 y 5

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

pueden ser enrutados a circuitos de vía rápida o colas de consulta estándar, con tiempos de espera a menudo significativamente más largos.

El simulador original trataba a los pacientes como un grupo homogéneo en cuanto al acceso a los médicos, lo que implícitamente asumía una disciplina de servicio FIFO (primero en entrar, primero en salir). En tales condiciones, incluso el cálculo de una marca de tiempo para el primer contacto médico habría producido valores incongruentes tanto con la realidad clínica como con las expectativas legales. Habría sido posible, por ejemplo, que un caso con riesgo vital (gravedad 1) fuera atendido después de varios casos no urgentes (gravedad 4 o 5), lo que habría generado valores de DTD que contradecían los protocolos de triaje establecidos. Por esta razón, la introducción del indicador DTD requirió la incorporación de una priorización basada en la gravedad en el modelo.

Para abordar esto, se integró en el flujo de pacientes un mecanismo de priorización, acorde con los estándares de triaje. Los pacientes de gravedad 1 evitan las colas regulares y son derivados directamente a evaluación inmediata. Los pacientes de gravedad 2 se ubican en colas de alta prioridad que reemplazan las rutas estándar. Los pacientes de gravedad 3 siguen el flujo estándar, pero conservan una mayor prioridad que los niveles 4 y 5, que representan dolencias no urgentes o leves, y se asignan a colas de baja prioridad o circuitos de vía rápida. Esta estructura garantiza que los tiempos de espera de cada grupo reflejen la realidad operativa de la atención de urgencias y que los valores de DTD calculados por el simulador sean clínicamente interpretables.

La implementación de estos mecanismos debe entenderse principalmente como una necesidad metodológica, más que como una contribución técnica. El objetivo no era modificar el simulador por sí mismo, sino garantizar que el modelo pudiera representar los constructos empíricos exigidos por la legislación española. La inclusión de un marcador temporal para el primer contacto médico y la introducción de un enrutamiento basado en la gravedad son, por lo tanto, componentes integrales del marco de modelado adoptado en esta tesis, lo que permite un cálculo válido del DTD y respalda la evaluación del rendimiento de los servicios de urgencias de acuerdo con los estándares regulatorios y clínicos.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

4.3. Parámetros definidos en el estándar

La determinación de las dimensiones esenciales de los recursos en una unidad de urgencias hospitalaria depende de diversos factores, entre los que se incluyen aspectos demográficos (estructura de la población atendida), epidemiológicos (patrones de morbilidad), clínicos (criterios para la indicación de los diferentes servicios que ofrece la unidad) y de gestión (uso de la capacidad productiva disponible). Es fundamental proyectar la demanda a mediano plazo y ajustar los recursos de la unidad (como consultas, careboxes para exploración y diagnóstico, y puestos de observación) según un perfil de productividad previamente definido. Para ello, se parte de una estimación de la población a mediano plazo (10-15 años), lo que permite elaborar diferentes escenarios que consideren la evolución de la demanda en el área de influencia de la unidad de urgencias y en otros hospitales, así como las variables específicas de la zona y la gestión de la atención[4].

La evaluación de la demanda y de los picos asistenciales debería apoyarse en los datos históricos del área de influencia de la unidad de urgencias hospitalarias[4].

El CEM79 es una resolución o documento normativo que establece criterios específicos para la organización, clasificación y funcionamiento de las Unidades de Urgencias en los hospitales. El CEM79 establece una clasificación de las Unidades de Urgencias Hospitalarias (UUH) según su volumen de actividad, diferenciando entre centros que registran menos de 40.000 atenciones anuales, aquellos que atienden entre 40.000 y 70.000 casos, y los que superan las 70.000 atenciones. Esta categorización refleja de manera bastante fiel la estructura del sistema sanitario español[4].

4.3.1. Pacientes

Partiendo de una tasa anual estimada de 500 urgencias hospitalarias por cada mil habitantes —sin incluir las urgencias obstétricas— y considerando una población de 250.000 personas con una estructura demográfica semejante a la española (14,5 por ciento menores de 14 años), puede calcularse que el volumen diario esperado sería de unas 350 consultas de urgencias. De estas,

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

aproximadamente 50 corresponderían a población pediátrica[4]. Como el simulador excluye a los pacientes pediátricos, el total considerado es de 300 pacientes adultos.

Media diaria del PMCT (MDPMCT): corresponde al número promedio de pacientes atendidos durante el mes con mayor presión asistencial. Se obtiene dividiendo el PMCT entre 30,5[4].

Pico mensual de carga de trabajo (PMCT): refleja el máximo número de atenciones registradas en un mes y equivale aproximadamente al 10 por ciento de la actividad anual de la Unidad de Urgencias Hospitalarias[4].

Aplicando la fórmula indicada, el pico diario de actividad se sitúa alrededor de 450 urgencias de adultos por día (sin incluir obstetricia), lo que equivale a unas 32 consultas por hora[4]. Este volumen es comparable al registrado en el Parc Taulí.

4.3.2. Médicos

La fórmula que utiliza el documento para calcular la plantilla de médicos es: $[0,37 \times \text{número de asistencias al año} / \text{número de horas anuales contratadas por un médico}]$. Considerando los cálculos realizados anteriormente, en consultas se necesita aproximadamente un equivalente de médico tratante a tiempo completo por cada 4.000 pacientes atendidos al año[4].

Se considera que el valor de 0,37 representa el porcentaje medio de consumo por hora de un paciente dentro del servicio de urgencias. No obstante, esta carga asistencial no es constante, ya que depende del nivel de prioridad y del perfil de los pacientes que se atienden. Por este motivo, se recomienda que el cálculo de las necesidades de recursos se realice a partir del historial combinado de los pacientes atendidos[4]. El número mínimo de atenciones anuales se estima en 40.000[4].

De forma aproximada, se necesita el equivalente a un médico adjunto a tiempo completo por cada 4.000 pacientes atendidos al año[4]. El número de horas contratadas anualmente por cada médico es de 1.680, cifra obtenida a partir de una jornada de 35 horas semanales multiplicada por 4 semanas al mes durante 12 meses[4].

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

Considerando el documento de estándar, una fórmula genérica para calcular el personal médico como se observa en la ecuación 4.1 y reemplazando los datos de las variables de la ecuación se puede observar en 4.2[4]:

$$M = \frac{[\sum N_{I-V} * T_{I-V}]}{(Hd * DA * 60 * RA)} \quad (4.1)$$

Donde[4]:

M representa la cantidad de médicos especialistas que deben estar asignados a la Unidad de Urgencias Hospitalarias (UUH)[4].

N I-V hace referencia al número de pacientes clasificados según cada nivel de gravedad[4].

T I-V corresponde al tiempo promedio dedicado a la atención de cada nivel de gravedad, expresado en minuto[4]s.

HD indica el total de horas de trabajo diario de un médico especialista[4].

DA se refiere al número de días laborables que un médico especialista trabaja a lo largo del año.

RA expresa el rendimiento asistencial del personal médico en forma de porcentaje. Para cumplir con este criterio, se puede considerar que, en el caso de los especialistas de la UUH, este valor debe ajustarse aplicando un factor del 80 por ciento, con el fin de permitir su participación en otras actividades como la formación continua (incluidos congresos), reuniones de carácter profesional, investigación y docencia. En el caso del responsable o titular de la UUH, dicho factor puede situarse entre el 50 por ciento y el 70 por ciento, debido a sus funciones adicionales de gestión y coordinación[4].

La recomendación de SEMES para la sala de observación de urgencias es de un facultativo por cada 8 pacientes, por turno, o determinar el personal en función de la fórmula. Un tiempo medio de atención médica por nivel[4].

Nivel I. 76 min[4].

Nivel II: 40 min[4].

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

Nivel III: 25 min[4].

Nivel IV: 12,5 min[4].

Nivel V: 7,5 min[4].

La duración aproximada considerada es de 7 horas. Por su parte, DA representa el total de días laborables al año de un médico especialista, calculado a partir de una jornada de cinco días por semana, multiplicada por cuatro semanas al mes y por doce meses.

DA = 240 días al año.

RA: 80 %

AR responsable: 50-70 %

Cálculo de la fórmula

$$D = \frac{((4000*76)+(4000*40)+(4000*25)+(4000*12,5)+(4000*7,5))}{(7*240*60*0,8)} \quad (4.2)$$

$$D = 8$$

4.3.3. Para el área de urgencias

Las expresiones utilizadas previamente para estimar el número de médicos deben considerarse únicamente como valores orientativos. Será necesario incrementar la dotación de personal médico en el servicio de urgencias en aquellos casos en que la unidad deba hacerse cargo de pacientes que permanecen más de 12 horas en áreas específicas de observación, mientras esperan su ingreso hospitalario[4]. Esta situación ocurre con bastante frecuencia en la mayoría de

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

los servicios de urgencias, incluido el Hospital Parc Taulí, y genera una notable sobrecarga tanto para los médicos como para el resto de los profesionales sanitarios que trabajan en esta área[4].

4.3.4. Enfermera

La SEMES recomienda que la dotación de personal de enfermería en las consultas o careboxes de exploración no sea inferior a una profesional por cada 4.000 atenciones anuales. Alternativamente, este número puede establecerse mediante la aplicación de una fórmula específica[4].

Enfermería = $[0,37 \times \text{número total de atenciones anuales} / \text{número de horas contratadas por enfermera al año}]$.

Recomiendan una proporción de 1 enfermera por cada cuatro pacientes.

Número de asistencias al año: 40000.

Número de horas anuales contratadas por médico: 1680 (calculado con base en 35 horas semanales $\times$ 4 semanas $\times$ 12 meses).

Enfermería = $0.37 \times 40000 / 1680 = 9$ (aproximadamente 9 enfermeras).

4.3.5. Careboxes de exploración y diagnóstico

Recurso (R): Tipo de recurso evaluado (en este caso, un carebox)

ppr: Personas por recurso (por ejemplo, "60-40 %" significa que se usan el 60 % de los recursos o capacidad)

t: Tiempo por persona (en este caso, 60 minutos)

Rto: Rendimiento del recurso (porcentaje de eficiencia, aquí 85 %)

Como se observa en la ecuación el calculo para hallar la cantidad de carebox e (4.3) y el resultado final (4.4) es 22 carebox.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

Recurso (R)	ppr	t	Rto
Carebox de exploración y diagnóstico	60-40 %	60 ´	85 %

$$careboxes = \left(\frac{32 \times 60 \% \times 60'}{60' \times 85 \%} \right) = 22 \text{ Careboxes} \quad (4.3)$$

$$careboxes = \left(\frac{32 \times 0,6 \times 60}{60 \times 0,85} \right) = 22 \text{ careboxes} \quad (4.4)$$

4.3.6. Triage

En el modelo de simulación se adopta una estructura de triaje de cinco niveles alineada con los sistemas validados utilizados en los Servicios de Urgencias Hospitalarias, como el Manchester Triage System (MTS) y su adaptación local (SET/MAT), esta correspondencia permite garantizar que las prioridades asignadas en la simulación reflejan de forma coherente la práctica clínica real y los estándares aceptados de seguridad asistencial como se muestra en la Tabla 4.1 y 4.2 .

El Nivel 1 del simulador se corresponde con situaciones de emergencia vital que requieren atención inmediata (p. ej., parada cardiorrespiratoria, compromiso hemodinámico grave, insuficiencia respiratoria severa, activación de “código infarto” o “código ictus”), con tiempo objetivo de valoración médica igual a 0 minutos. El Nivel 2 agrupa pacientes muy urgentes con riesgo significativo de deterioro rápido (dolor torácico sugestivo de SCA, sepsis sospechada, alteración del nivel de conciencia, sangrado activo relevante), con tiempos de atención recomendados en torno a los 10 minutos. El Nivel 3 incluye cuadros urgentes que requieren valoración precoz pero sin compromiso vital inmediato (fiebre con factores de riesgo, dolor abdominal moderado, traumatismos sin inestabilidad hemodinámica), con tiempos objetivo aproximados de 30 minutos. Los Niveles 4 y 5 corresponden a patologías menos urgentes o no urgentes (patología menor, demandas administrativas, procesos banales), con tiempos máximos de espera aceptables más prolongados.

En el modelo, estos niveles de triaje determinan de forma directa: 1. La

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

prioridad de acceso a la valoración médica y a las pruebas complementarias. 2. Los tiempos máximos aceptables de espera simulados para cada categoría, basados en los rangos recomendados por los sistemas de triaje validados. 3. La asignación diferencial de recursos (número de facultativos, boxes disponibles, área de críticos u observación), de modo que los pacientes de Nivel 1–2 reciben sistemáticamente una atención preferente y protegida frente al efecto del hacinamiento. Este anclaje explícito a sistemas de triaje reconocidos y validados incrementa la robustez clínica del modelo, facilita la interpretación de los resultados y permite comparar los distintos escenarios organizativos en términos de cumplimiento de tiempos de respuesta y seguridad del paciente, especialmente en patologías tiempo-dependientes.

Nivel de urgencia	Equivalente triaje (MTS/SET)	Tiempo objetivo (minutos)
1	Emergencia inmediata	0 min (atención inmediata)
2	Muy urgente	≤ 10 min
3	Urgente	≤ 30 min
4	Menos urgente	≤ 60 min
5	No urgente	≤ 120 min

Tabla 4.1: Explicación de los niveles de urgencias de triaje

4.4. Resumen de parámetros definidos

Médicos: 8.

Enfermeras: 9.

La mayor parte de la actividad se concentra entre las 08:00 y las 22:00-24:00 horas.

Media diaria de 300 atenciones urgentes.

El pico diario estimado de actividad alcanza aproximadamente las 450 atenciones de urgencias en adultos por día.

Careboxes de exploración y diagnóstico = 22 careboxes.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

Nivel de urgencia	Ejemplos
1	Parada cardiorrespiratoria, shock, insuficiencia respiratoria grave, código ictus, código infarto, convulsiones persistentes, hemorragia masiva
2	Dolor torácico sugestivo de SCA sin inestabilidad, sepsis sospechada, disminución del nivel de conciencia, crisis asmática moderada-grave, fractura abierta, dolor intenso con compromiso funcional
3	Fiebre con comorbilidad relevante, dolor abdominal moderado, infección respiratoria sin insuficiencia grave, traumatismo sin inestabilidad, descompensación de enfermedad crónica sin criterios de shock
4	Lumbalgia mecánica, esguinces, heridas simples, síntomas leves de infección urinaria, procesos subagudos sin criterios de alarma
5	Patología banal autolimitada, renovación de recetas, consultas administrativas, molestias leves sin datos de gravedad

Tabla 4.2: Explicación de los niveles de urgencias de triaje con ejemplos

Triage: SET (Sistema Español de Triage) y el CTAS (Canadian Triage and Acuity Scale).

Ocupación del doctor: 80 por ciento de ocupación y 20 por ciento para capacitación.

4.5. Parámetros no definidos

Algunos parámetros que no están definidos en el estándar, pero que se usan, son los definidos y validados en el Hospital Parc Taulí en trabajos anteriores de nuestro grupo de investigación, como se va describiendo en el capítulo 2:

- Admisión.
- Distribución de edad de los pacientes.
- Distribución del nivel de gravedad de los pacientes.
- Recursos físicos como rayos X (imagen).
- Recursos físicos como laboratorio.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

4.6. Materiales

Está previsto utilizar el entorno de simulación y una plataforma de alto nivel llamada NetLogo. La Figura 4.1 muestra el entorno de simulación en NetLogo; las diferentes áreas que conforman son: zona de admisiones, zona de triaje, área de diagnóstico-tratamiento, salas de espera, etc. Después del triaje, los pacientes con diagnóstico de los niveles de agudeza 1, 2 y 3 se tratan por separado y se asignan al Área A, y los pacientes 4 y 5 son tratados en el Área B, como se puede observar en la Figura 4.2 del modelo conceptual del simulador, la distribución de las diferentes zonas. Con la configuración de los datos configurados de los parámetros definidos y no definidos, realizamos 100 simulaciones para cada uno de los casos. La interfaz del simulador de NetLogo cambia en función de los diferentes escenarios, particularmente cuando se ajusta el número de carebox, doctores, enfermeras y personal de triaje y admisión. En este caso, la imagen del simulador en NetLogo que se observa en la Figura 4.1 corresponde a la configuración del escenario de referencia, pero va variando de acuerdo a los diferentes escenarios realizados.

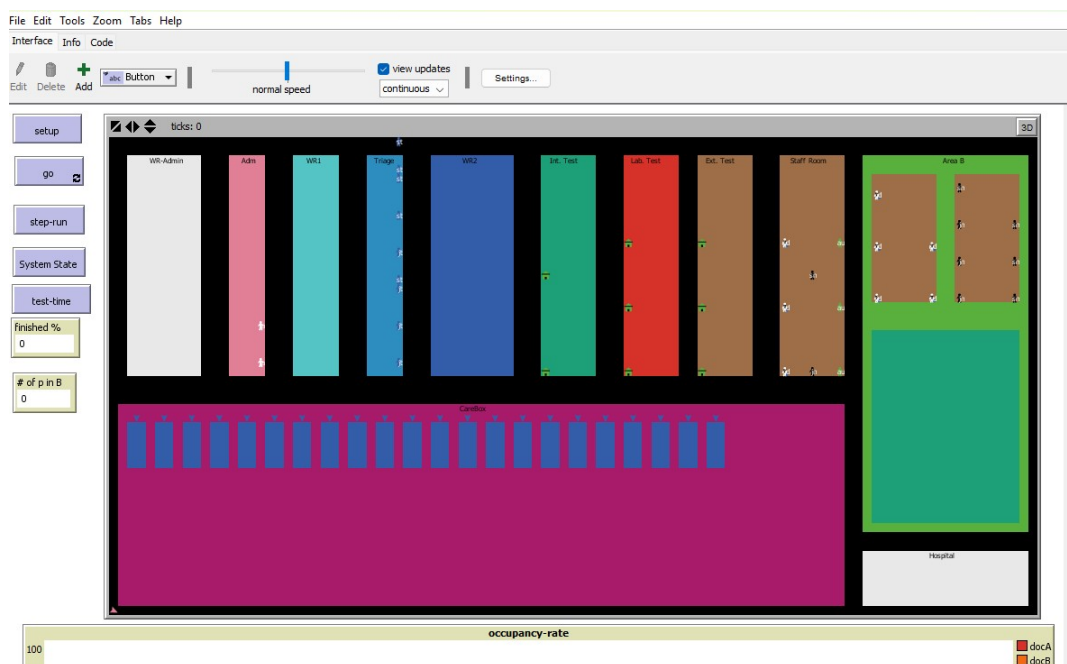


Figura 4.1: Simulador del Servicio de Urgencias Hospitalarias con la configuración del escenario de referencia

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

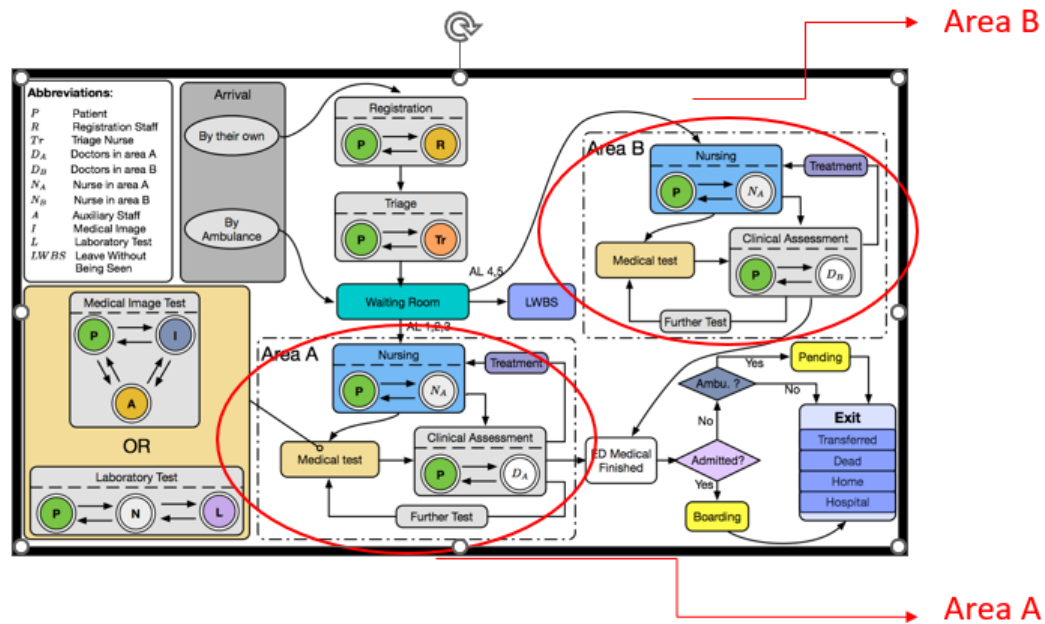


Figura 4.2: Modelo conceptual del simulador

El modelo conceptual describe el flujo general de los pacientes en los servicios de urgencias hospitalarias, tal como se muestra en la Figura 4.2. Habitualmente, un paciente puede ingresar al servicio de urgencias de dos formas: por iniciativa propia o mediante el traslado en ambulancia. A su llegada, los pacientes sin cita previa deben dirigirse a la ventanilla de registro, donde facilitan sus datos personales al personal administrativo. Posteriormente, permanecen en una sala de espera hasta ser llamados para el triaje.

Una vez en la sala de triaje, el paciente es atendido por una enfermera de triaje asignada por el sistema de información. El triaje consiste en una evaluación breve del estado clínico del paciente, tras la cual se le asigna un nivel de agudeza en función de la gravedad de su situación. Finalizado el triaje, los pacientes pasan a una segunda sala de espera antes de acceder al área de diagnóstico y tratamiento. En el caso de los pacientes que llegan en ambulancia, el registro y el triaje se realizan directamente en la propia ambulancia, pudiendo acceder de forma inmediata a la segunda sala de espera.

La escala española de triaje es muy similar a la Escala Canadiense de Triage

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

y Agudeza en Servicios de Urgencias, ampliamente utilizada a nivel internacional. Esta escala consta de cinco niveles, donde el nivel 1 corresponde a la situación más crítica (reanimación) y el nivel 5 a la menos urgente (no urgente). El proceso de triaje determina tanto el orden y la prioridad de atención como el área de tratamiento asignada a cada paciente. Mientras que el registro y el triaje se realizan por orden de llegada, el acceso al área de diagnóstico y tratamiento depende del nivel de agudeza, otorgándose máxima prioridad a los pacientes clasificados con nivel 1.

En relación con el área de tratamiento, en la mayoría de los servicios de urgencias hospitalarios españoles existen dos áreas diferenciadas, denominadas en este estudio como área A y área B, tal como se indica mediante círculos rojos en la Figura 4.2. Ambas áreas operan de forma independiente para proporcionar el servicio de diagnóstico y tratamiento. El área A está destinada a pacientes con niveles de agudeza 1, 2 y 3, mientras que el área B, también conocida como vía rápida, está orientada a atender de forma más ágil a pacientes con niveles de agudeza 4 y 5.

El área A está reservada a los pacientes más urgentes y está compuesta por espacios individuales denominados careboxes. Un carebox es una sala compacta equipada con el material y los suministros médicos necesarios para la atención del paciente. Los pacientes asignados a esta área permanecen en su carebox durante toda la fase de diagnóstico y tratamiento, siendo trasladados, en caso necesario, por personal auxiliar. Por su parte, el área B dispone de una sala compartida equipada con sillones individuales, donde médicos y enfermeras interactúan con los pacientes.

El médico asignado analiza al paciente y la información obtenida durante el triaje. A partir de esta valoración inicial, puede solicitar pruebas de laboratorio y/o emitir un diagnóstico preliminar. Habitualmente, tras este primer diagnóstico y en caso de haberse solicitado pruebas o iniciado un tratamiento, el paciente permanece en observación a la espera de los resultados o de la finalización del tratamiento, tras lo cual se realiza una segunda valoración médica. Este proceso puede repetirse tantas veces como el médico responsable considere necesario antes de emitir un diagnóstico definitivo. En los casos en los que no se requieran pruebas

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

adicionales o el médico considere innecesaria la espera de resultados, el paciente puede ser dado de alta tras la primera valoración y, si procede, derivado al centro de atención primaria.

En función de la valoración médica, el paciente puede ser sometido a pruebas de laboratorio o pruebas de imagen, lo que puede implicar su desplazamiento a otras dependencias hospitalarias, generalmente con la asistencia de personal auxiliar. Una vez que los resultados obtenidos son suficientes para que el médico emita su criterio clínico, se da por concluida esta fase y el paciente pasa, si corresponde, a la etapa de tratamiento, la cual es aplicada por personal de enfermería asistencial. Finalizado el tratamiento, el paciente es reevaluado, pudiendo continuar su ingreso si no se observa una mejoría en su estado clínico.

En cuanto a la movilidad y las limitaciones de espacio, en el área A, cuando se solicita una prueba de imagen médica como radiografías, tomografía computarizada o resonancia magnética, el paciente es trasladado por personal auxiliar a la sala correspondiente y acompañado durante todo el proceso. En cambio, en el área B, los pacientes se desplazan de forma autónoma a las distintas dependencias cuando son avisados a través del sistema de información.

Cuando el médico responsable considera que el proceso de atención ha finalizado, se procede a dar el alta al paciente. Esta fase puede implicar la derivación del paciente a otra área del hospital para recibir cuidados o tratamientos específicos, o bien la finalización de la atención de urgencias y su regreso al domicilio, ya sea por medios propios o mediante ambulancia. En una tercera situación, el paciente puede fallecer durante el proceso asistencial, lo que supone el cierre del expediente. Finalmente, cuando los pacientes han ocupado espacios individuales, estos no se consideran disponibles hasta que han sido correctamente limpiados y desinfectados por el personal de limpieza.

4.7. Escenario de referencia

En el contexto de un sistema de urgencias hospitalarias, un modelo de referencia se refiere a un conjunto de principios, procedimientos, estándares y prácticas que se consideran como el marco básico para el diseño, organización y funcionamiento

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

eficiente y efectivo de dichos sistemas. Un modelo de referencia para un sistema de urgencias hospitalarias proporciona un marco básico para el diseño, organización y funcionamiento de dicho sistema, asegurando la prestación de atención médica de emergencia eficiente, segura y de alta calidad.

Siguiendo nuestro modelo del estándar de urgencias hospitalarias, realizamos 100 simulaciones para la media y el pico de pacientes, la media diaria de 300 atenciones urgentes, comparado con el pico diario de la carga de trabajo de unas 450 urgencias al día de adultos. Los KPI que analizamos son los siguientes: LoS y la ocupación de médicos, enfermeras, laboratorio, imagen, triaje, admisión. El DtD (desde que entra al sistema hasta que llega hasta el doctor). Los niveles de gravedad se dividen en 1, 2 y 3, donde se encuentran los pacientes más graves, y ellos están en la zona A. Y los niveles de gravedad 4, 5, donde se encuentran los pacientes más leves, ellos están en la zona B.

Realizamos 100 simulaciones para todos los casos, verificando la distribución normal de cada uno de los casos, la media, desviación, dispersión. Los pacientes con niveles de gravedad 1 no se tienen en cuenta debido a la baja cantidad de pacientes con ese nivel de gravedad. En las Figuras 2, 3, 4 y 5, se observa la distribución normal de la longitud de la estancia para los pacientes con niveles de gravedad 2 (LoS2), longitud de la estancia para los pacientes con niveles de gravedad 3 (LoS3), longitud de la estancia para los pacientes con niveles de gravedad 4 (LoS4) y longitud de la estancia para los pacientes con niveles de gravedad 5 (LoS5), de las 100 simulaciones realizadas. En el eje X se puede observar el promedio en minutos del LoS para los pacientes con nivel de gravedad 1, 2, 3, 4 y 5 y en el eje Y se puede observar la cantidad de simulaciones, la cual fue 100 simulaciones en total.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

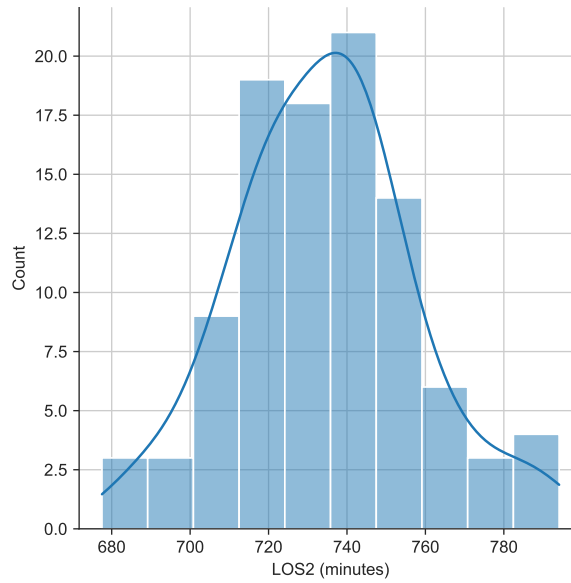


Figura 4.3: Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 2 (LoS2) expresado en minutos de las 100 simulaciones.

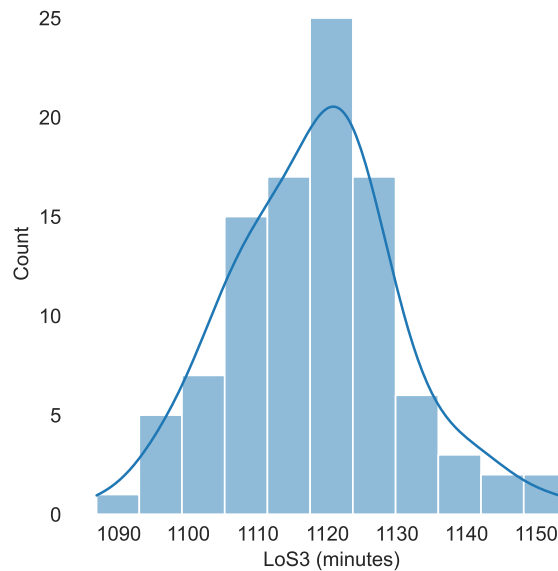


Figura 4.4: Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 3 (LoS3) expresado en minutos de las 100 simulaciones.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

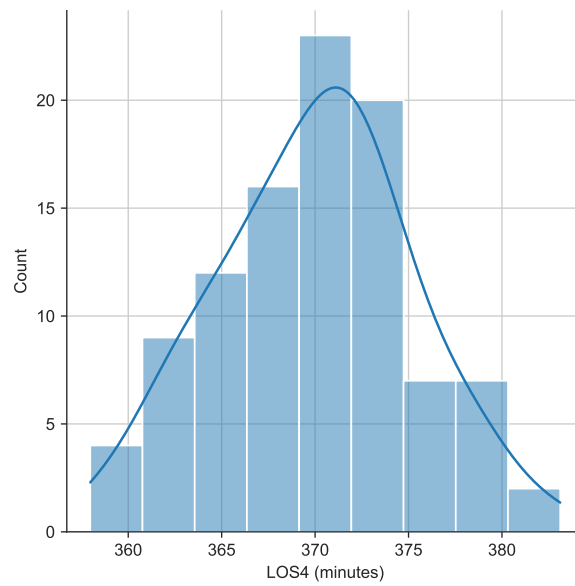


Figura 4.5: Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 4 (LoS4) expresado en minutos de las 100 simulaciones.

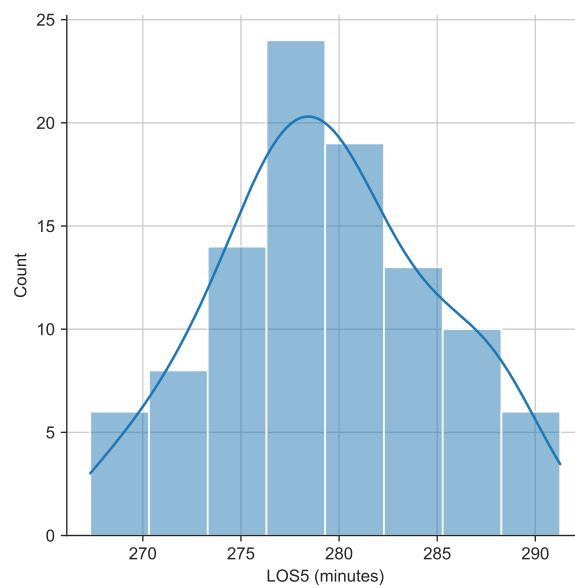


Figura 4.6: Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 5 (LoS5) expresado en minutos de las 100 simulaciones.

El LoS medio (Length of Stay medio, o tiempo promedio de la longitud de

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

estancia) se calcula como la suma de las diferencias entre la hora de salida y la hora de llegada de todos los pacientes, dividida entre el número total de pacientes, como se observa en la siguiente fórmula (4.5). Hora de salida es el momento en que cada paciente fue dado de alta o abandonó el recurso (hospital, UCI, etc.). Hora de llegada: La hora de llegada es el momento en que ingresó el paciente al recurso. La sumatoria $\sum$ se realiza sobre todos los pacientes atendidos. El denominador corresponde al número total de pacientes considerados en el periodo de análisis.

$$LoS_{Medio} = \frac{\sum(\text{Hora de salida} - \text{Hora de llegada})}{N^{\circ} \text{ de pacientes}} \quad (4.5)$$

En la Figura 4.7 podemos observar el promedio de la longitud de la estancia para los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5, después de realizar 100 simulaciones para el promedio de 300 pacientes comparado con 450 pacientes que representan el pico diario de pacientes para la unidad de urgencias hospitalarias según el estándar. Utilizando los mismos recursos definidos y no definidos mencionados anteriormente, con el promedio de 300 pacientes diarios. Los pacientes con nivel de gravedad 1 no los tuvimos en cuenta debido a la baja cantidad de pacientes con ese nivel de gravedad. Se puede observar que los niveles de gravedad 2 y 3 son los que tienen mayor longitud de estancia, ya que en esa zona se encuentran los pacientes más crónicos y graves. Mientras que los niveles de gravedad 4 y 5 son los que tienen menor longitud de estancia en la unidad de urgencias hospitalarias, ya que en esa zona se encuentran los pacientes más leves. A mayor cantidad de pacientes, aumentan los minutos de LoS para cada nivel de gravedad. En el eje X se puede ver el LoS de acuerdo a los niveles de gravedad del paciente, desde el nivel 2 hasta el nivel 5. Y en el eje Y se puede ver el promedio del LoS expresado en minutos. Las barras de color azul representan a la simulación realizada con 300 pacientes y las de color naranja, con 450 pacientes.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

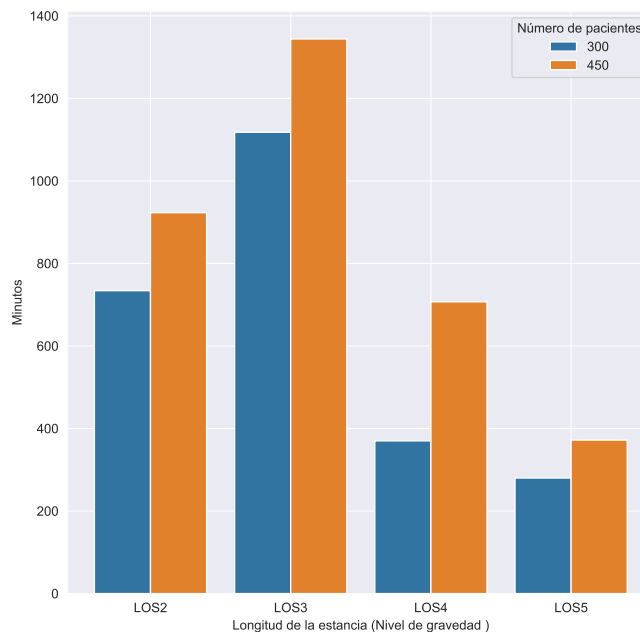


Figura 4.7: Promedio de la duración de la estancia (LoS) de los pacientes en minutos según los niveles de gravedad para el caso de referencia con la media de 300 y el pico de 450 pacientes de 100 simulaciones.

En la Figura 4.8 se puede observar el porcentaje de ocupación de los diferentes recursos que tiene el hospital, como doctores en el área A y B, enfermera en el área A y B, admisión, imagen, laboratorio, enfermera de triaje, personal auxiliar. Los recursos con mayor ocupación son el doctor en el área B, admisión y la enfermera en el área A. A mayor cantidad de pacientes, aumenta la ocupación de los diferentes recursos. Es importante equilibrar la eficiencia operativa con la calidad y la seguridad del paciente para garantizar una atención óptima en la unidad de urgencias hospitalarias. En el eje X se puede observar el porcentaje de ocupación y en el eje Y se pueden observar los diferentes recursos del hospital. Las barras de color azul representan a la simulación realizada con 300 pacientes y las de color naranja con 450 pacientes. Según el documento de estándar, dice que los médicos deben tener 80 por ciento de ocupación y 20 por ciento para capacitaciones. Para el caso de 300 pacientes, los doctores en el área B, se puede

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

observar en la imagen que tienen un 80 por ciento de ocupación, como dice en el estándar, y los doctores en el área A tampoco sobrepasan el 80 por ciento de ocupación.

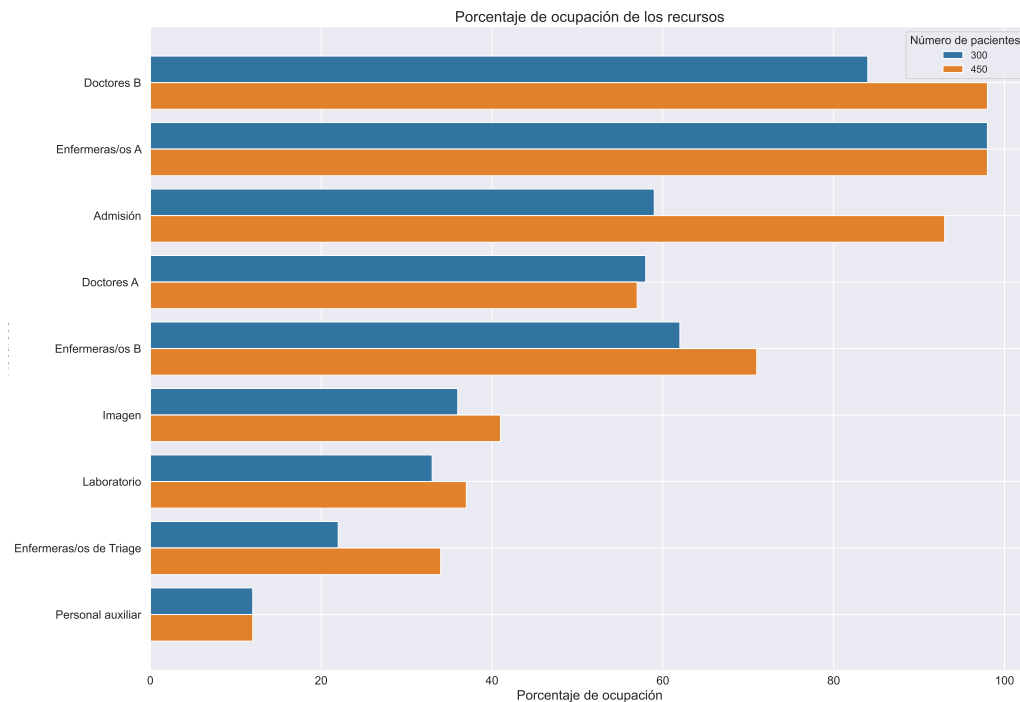


Figura 4.8: Promedio del porcentaje de ocupación de los diferentes recursos del hospital para el caso de referencia con la media de 300 y el pico de 450 pacientes de 100 simulaciones.

4.8. Evolución de los KPI en función de diferentes escenarios. Estudios de casos a cortos y largos plazos

Analizamos cómo cambia el sistema observando la evolución de los KPI en diferentes escenarios. Esto incluye situaciones a corto plazo, como aumento de

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

pacientes, disminución de doctores y enfermeras y aumento de carebox, así como cambios a largo plazo, como el envejecimiento de la población. Excluimos a los pacientes con LoS 1 del estudio por ser muy baja la cantidad de pacientes con ese nivel de gravedad.

Los estudios a corto plazo que hicimos son el incremento en el número de pacientes, disminución de recursos (doctores, enfermeras), aumento de carebox. Y los de largo plazo son el análisis de los KPI utilizando la pirámide poblacional.

4.8.1. Caso a corto plazo: Incremento del número de pacientes (300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450 pacientes, definición de escenarios del servicio de urgencias hospitalarias)

Este caso se podría dar en caso de un aumento repentino de pacientes, en caso de que en un periodo de corto plazo llegue una cantidad de pacientes considerable, como una gripe, pandemia como el COVID o epidemia como la chikungunya. Y se quiere observar cómo se adapta el sistema antes de recalcular los recursos. Podría darse el caso de que sea en un corto tiempo el aumento de pacientes. Representamos esa situación con un aumento progresivo de pacientes; utilizamos 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450 pacientes (aumento de pacientes).

El aumento progresivo de pacientes en los servicios de urgencias hospitalarias durante algunas de esas situaciones presentadas anteriormente (gripe, pandemia, epidemia, COVID) presenta desafíos multifacéticos que requieren una respuesta integral y coordinada por parte del sistema de salud. Es fundamental contar con recursos adecuados, personal capacitado y protocolos de manejo de emergencias para hacer frente a esta situación y garantizar la atención adecuada de los pacientes afectados.

Con el aumento progresivo de pacientes, el servicio de urgencias hospitalarias experimenta una mayor demanda de atención médica urgente, lo que puede sobrecargar los recursos disponibles.

La llegada constante de pacientes puede llevar a la congestión en el servicio de urgencias hospitalarias, resultando en tiempos de espera prolongados, espacios

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

limitados y una capacidad de respuesta reducida. Los KPI que analizamos que nos indican la congestión son el LoS y la ocupación de los recursos. Si el LoS está muy alto con respecto al de referencia, nos podría indicar la saturación del sistema, y si la ocupación de los recursos llega o está por alcanzar un 100 por ciento, nos señala que el sistema se está saturando o al menos indica que ese recurso se está saturando.

Para representar el aumento de los pacientes, utilizando los parámetros definidos del documento de estándares y los parámetros no definidos, para los cuales fueron utilizados los datos validados del Hospital Parc Tauli con 300 pacientes para todos los casos, analizamos los siguientes escenarios. Analizamos nuestros KPI de LoS y las ocupaciones de los diferentes recursos, podemos concluir los siguientes resultados de dichas simulaciones. El aumento de pacientes lo realizamos de 20 en 20, desde 300 pacientes, que era nuestra media, hasta el pico de 450 pacientes.

En la Figura 4.9 se puede observar cómo afecta a la duración de la estancia, de acuerdo con los niveles de gravedad, el aumento progresivo de pacientes. Para este escenario la distribución de recursos que utilizamos para la simulación se puede observar en la Tabla 4.3. Ese aumento lo hicimos de 20 en 20, con la misma distribución de llegada por hora del día del Hospital Parc Taulí. Se puede observar que, conforme se incrementa el número de pacientes, aumenta el promedio de la duración de la estancia. Los pacientes con niveles de gravedad 2 y 3 son los que tienen mayor duración de la estancia debido a que tienen mayor nivel de gravedad, y los pacientes con nivel de gravedad 4 y 5 tienen menor duración de la estancia porque son casos más leves. Las barras de color azul representan a 300 pacientes, las de color naranja a 320, las de verde a 340, la de roja a 360, la de lila a 380, la de marrón a 400, la de rosa a 420 y la de color gris a 450 pacientes. En el eje X se puede ver el LoS de acuerdo a los niveles de gravedad del paciente, desde el nivel 2 hasta el nivel 5. Y en el eje Y se puede ver el promedio del LoS expresado en minutos.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

Recursos	Cantidad
Pacientes	300,320,340,360,380,400,420,450
Médico junior área A	1 por turno
Médico senior área A	2 por turno
Médico junior área B	3 por turno
Médico senior área B	2 por turno
Enfermeras junior área A	1 por turno
Enfermeras senior área A	1 por turno
Enfermeras junior área B	3 por turno
Enfermeras senior área B	4 por turno

Tabla 4.3: Configuración de recursos humanos en el hospital utilizados para la simulación

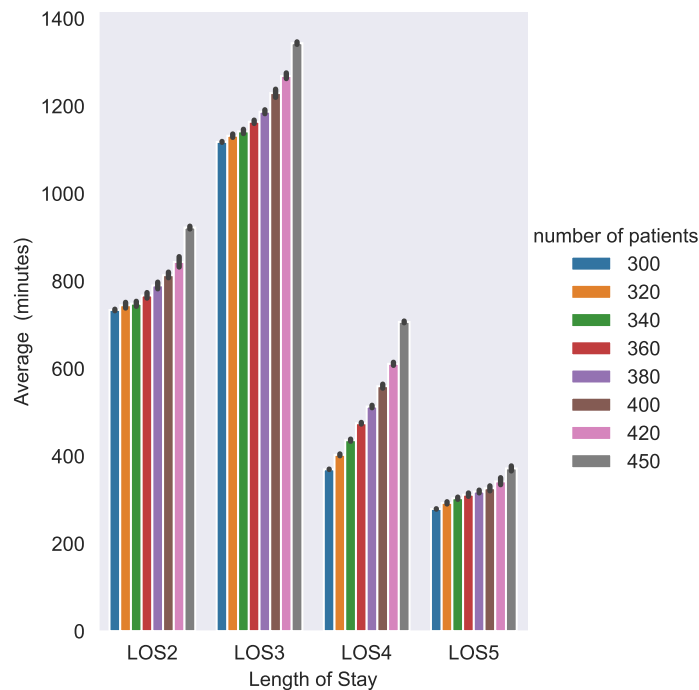


Figura 4.9: Promedio de la duración de la estancia (LoS) en minutos conforme se incrementa el número de pacientes de acuerdo a los distintos niveles de gravedad de 100 simulaciones

En la Figura 4.10 se puede observar cómo afecta la ocupación de los diferentes recursos conforme se incrementa el número de pacientes. Se puede observar que

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

los recursos más afectados son los de admisión, doctores en el área B, enfermeras en el área B. Cabe mencionar que el documento de estándares menciona que los doctores deben tener como máximo hasta un 80 por ciento de ocupación y un 20 por ciento para capacitaciones, cosa que con nuestra simulación quedó representado también; con 300 pacientes para nuestro caso de referencia, el doctor en el área B alcanzó 80 por ciento de ocupación, como se puede ver, quedando ese 20 por ciento para capacitaciones, como es una de las recomendaciones que nos sugiere el estándar. Eso también se cumple con los doctores en el área A que no sobrepasan el 80 por ciento de ocupación. Al llegar a 450 pacientes, podemos observar que algunos recursos ya llegan casi a un 100 por ciento de ocupación y de a poco va llegando a la congestión, como el doctor B, enfermera A y admisión. También se puede observar que, conforme se incrementa el número de pacientes, aumenta el promedio de la ocupación. Las barras de color azul representan a 300 pacientes, las de color naranja a 320, las de color verde a 340, la de color roja a 360, la de color lila a 380, la de color marrón a 400, la de color rosa a 420 y la de color gris a 450 pacientes. En el eje X se puede observar el porcentaje de ocupación y en el eje Y se pueden observar los diferentes recursos del hospital.

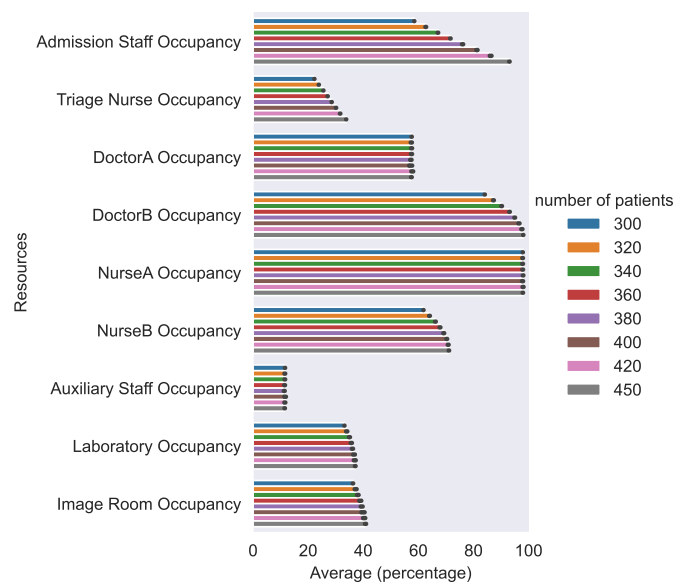


Figura 4.10: Promedio del porcentaje de ocupación de los diferentes recursos en el hospital de acuerdo al aumento de pacientes de 100 simulaciones

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

4.8.2. Caso a corto plazo: Disminución del personal sanitario del servicio de urgencias hospitalarias

La disminución de médicos y enfermeras en los servicios de urgencias puede ser causada por una serie de factores, que pueden variar según el contexto y las condiciones específicas de cada unidad de urgencias hospitalarias. En algunos casos, puede haber una escasez general de profesionales médicos y de enfermería debido a factores como la falta de programas de formación suficientes, falta de personal capacitado, la emigración de profesionales cualificados o la competencia con otros sectores que ofrecen mejores condiciones laborales. Por los bajos salarios, las jornadas laborales extensas, el estrés constante y la alta carga de trabajo, pueden llevar a un agotamiento del personal médico o de enfermería, falta de inversión en infraestructuras de salud, recortes presupuestarios o ineficiencias en la gestión del sistema sanitario. Además, el personal sanitario puede enfermar durante una epidemia o pandemia, al igual que el resto de la población general, lo que empeoraría el problema de falta de personal en momentos de crisis.

Recursos	Cantidad
Pacientes	300
Médico junior área A	1 por turno
Médico senior área A	2 por turno
Médico junior área B	2 por turno
Médico senior área B	2 por turno
Enfermeras junior área A	1 por turno
Enfermeras senior área A	1 por turno
Enfermeras junior área B	3 por turno
Enfermeras senior área B	4 por turno

Tabla 4.4: Configuración de recursos humanos en el hospital utilizados para la simulación

Los servicios de urgencias suelen estar sometidos a una alta demanda y pueden experimentar períodos de actividad intensa, especialmente en momentos de crisis de salud pública o cuando hay un aumento repentino en el número de pacientes que requieren atención urgente. Esta carga de trabajo extenuante puede resultar en altos niveles de estrés y agotamiento entre el personal médico y de enfermería,

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

lo que puede llevar a una rotación más alta del personal o a una disminución en el número de profesionales disponibles para trabajar en esos servicios.

Analizamos la disminución de médicos y enfermeras para las áreas A y B en un 10, 30 y 50 por ciento, utilizando los parámetros de nuestro estándar de referencia para el promedio de 300 pacientes, realizando 100 simulaciones para cada uno de los casos.

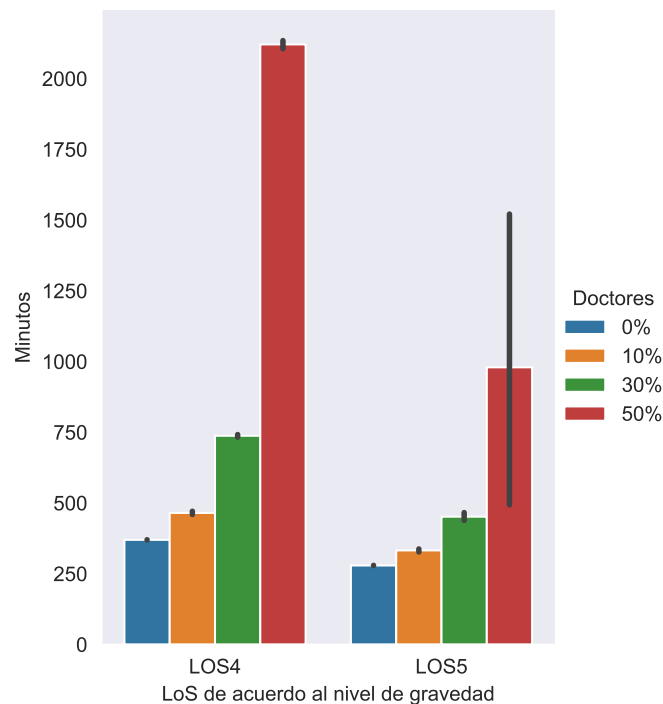


Figura 4.11: Promedio de la longitud de la estancia (LoS) en minutos para los niveles de gravedad 4 y 5 cuando se produce una disminución de médicos en el área B.

En la Figura 4.11, se puede observar el promedio de LoS en caso de que se disminuya la cantidad de médicos en el área B, en un 10, 30 o 50 por ciento. Para este escenario la distribución de recursos que utilizamos para la simulación se puede observar en la Tabla 4.4. Se puede observar que, a medida que disminuye la cantidad de médicos en el área B, aumenta el LoS para los pacientes que se encuentran en la zona B, los cuales eran los pacientes que tenían nivel de gravedad 4 y 5 y son los más leves. La barra de color azul representa cómo era sin realizar

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

ninguna disminución con 300 pacientes, la de color naranja disminuyendo en un 10 por ciento, la de color verde disminuyendo en un 30 por ciento y la de color rojo disminuyendo en un 50 por ciento. En el eje x se puede ver el LoS de acuerdo a los niveles de gravedad de los pacientes con niveles de gravedad 4 y 5, los cuales serían los pacientes que se encuentran en el área B. Y en el eje Y se puede ver el promedio del LoS expresado en minutos. Se puede observar que cuando disminuye la cantidad de médicos en un 50 por ciento, aumenta considerablemente el LoS para los niveles de gravedad 4 y 5.

En la Figura 4.12 se puede observar el promedio de LoS en caso de que se disminuya la cantidad de médicos en el área A, en un 10, 30 por ciento. Para este escenario la distribución de recursos que utilizamos para la simulación se puede observar en la Tabla 4.5.

Recursos	Cantidad
Pacientes	300
Doctores junior área A	1 por turno
Doctores senior área A	1 por turno
Doctores junior área B	3 por turno
Doctores senior área B	2 por turno
Enfermeras junior área A	1 por turno
Enfermeras senior área A	1 por turno
Enfermeras junior área B	3 por turno
Enfermeras senior área B	4 por turno

Tabla 4.5: Configuración de recursos humanos en el hospital utilizados para la simulación

Se puede observar que, a medida que disminuye la cantidad de médicos para el área A, aumenta el LoS para los pacientes que se encuentran en la zona A, que eran los pacientes que tenían nivel de gravedad 1, 2 y 3. En el eje X se puede ver el LoS de acuerdo a los niveles de gravedad del paciente, desde el nivel 2 hasta el nivel 5. Y en el eje Y se puede ver el promedio del LoS expresado en minutos. La barra azul representa el valor original del escenario de referencia con 300 pacientes, la barra naranja disminuyendo a un 10 por ciento, en la cual se puede observar que el LoS aumenta, pero mínimamente. Al disminuir en un 30 por ciento, el cual se representa con la barra verde, se puede observar que el LoS ya aumenta más

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

significativamente su valor para los niveles de gravedad 2 y 3.

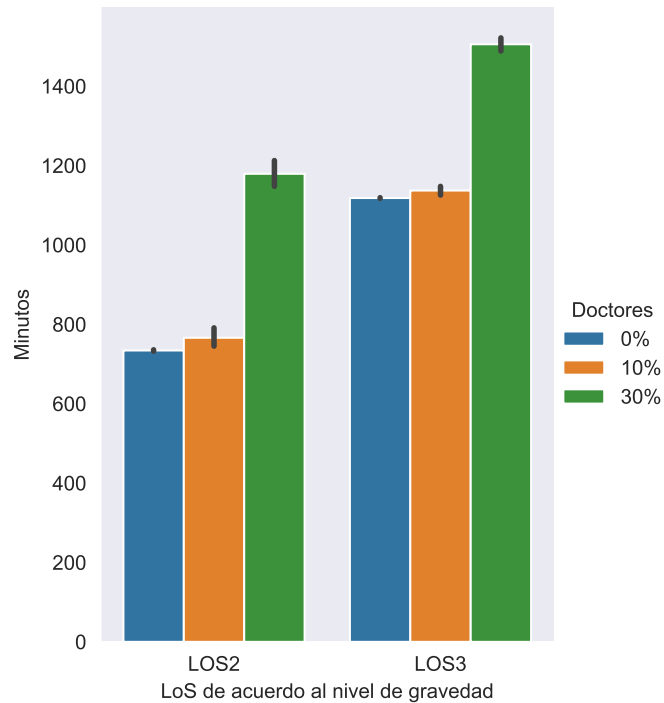


Figura 4.12: Promedio de la longitud de la estancia (LoS) en minutos para los niveles de gravedad 2 y 3 cuando se produce una disminución de médicos en el área A.

Recursos	Cantidad
Pacientes	300
Doctores junior área A	1 por turno
Doctores senior área A	2 por turno
Doctores junior área B	2 por turno
Doctores senior área B	2 por turno
Enfermeras junior área A	1 por turno
Enfermeras senior área A	1 por turno
Enfermeras junior área B	3 por turno
Enfermeras senior área B	3 por turno

Tabla 4.6: Configuración de recursos humanos en el hospital utilizados para la simulación

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

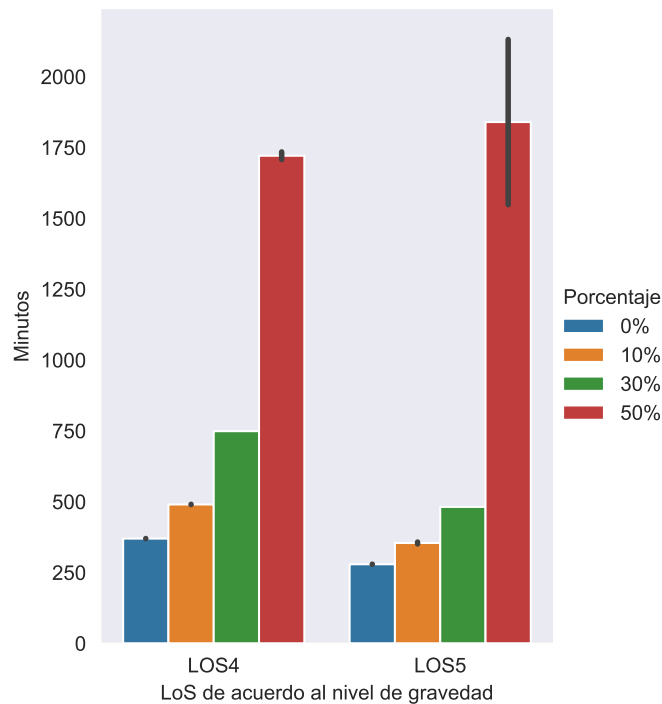


Figura 4.13: Promedio de la longitud de la estancia (LoS) en minutos para los niveles de gravedad 4 y 5 cuando se produce una disminución de médicos y enfermeras en el área B.

En la Figura 4.13 se puede observar el promedio de LoS en caso de que se disminuya la cantidad de médicos y enfermeras en el área B, en un 10, 30 y 50 por ciento. Para este escenario la distribución de recursos que utilizamos para la simulación se puede observar en la Tabla 4.6. Se puede observar que, a medida que disminuye la cantidad de médicos y enfermeras, aumenta el LoS para los pacientes que se encuentran en la zona B, en la cual se encontraban los pacientes que tenían nivel de gravedad 4 y 5 y eran los más leves. La barra de color azul representa cómo era sin realizar ninguna disminución con 300 pacientes, la de color naranja disminuyendo en un 10 por ciento, la de color verde disminuyendo en un 30 por ciento y la de color rojo disminuyendo en un 50 por ciento. En el eje X se puede ver el LoS de acuerdo a los niveles de gravedad del paciente, desde el nivel 2 hasta el nivel 5. Y en el eje Y se puede ver el promedio del LoS expresado en minutos. Se puede observar que cuando disminuye la cantidad de médicos y enfermeras en un 50 por ciento, el cual se representaba por la barra roja, se puede observar que

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

en ese caso aumenta considerablemente el LoS para los niveles de gravedad 4 y 5, debido a que, como hay menos médicos y enfermeras, los pacientes deben esperar más para ser atendidos.

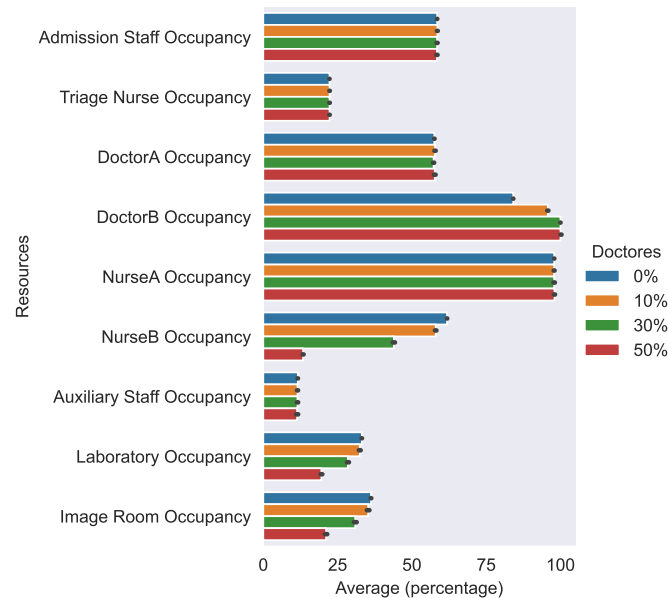


Figura 4.14: Promedio de la ocupación en porcentaje cuando se produce una disminución de médicos en el área B.

En la Figura 4.14, se puede observar el porcentaje de ocupación de los diferentes recursos en caso de que se disminuya la cantidad de médicos en el área B en un 10, 30 o 50 por ciento. Se puede observar que, a medida que disminuye la cantidad de médicos, aumenta su porcentaje de ocupación para los médicos que se encuentran en la zona B, en la cual se encontraban los pacientes con niveles de gravedad 4 y 5, que eran los más leves. Y disminuye la ocupación de las enfermeras en el área B, debido a la disminución de la cantidad de médicos; en caso de que haya menos médicos, las enfermeras tienen menos trabajo. También, al disminuir la cantidad de médicos, van disminuyendo las ocupaciones de laboratorio e imágenes, ya que al haber menos médicos habrá menos pacientes que requieran hacerse estudios o laboratorios. Las barras de color azul representan el valor original sin realizar ninguna disminución con 300 pacientes, la de color naranja, disminuyendo en un 10 por ciento, la de color verde, disminuyendo en un 30 por ciento; y la de color

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

rojo, disminuyendo en un 50 por ciento. En el eje X se puede observar el promedio del porcentaje de ocupación y en el eje Y se pueden observar los diferentes recursos del hospital.

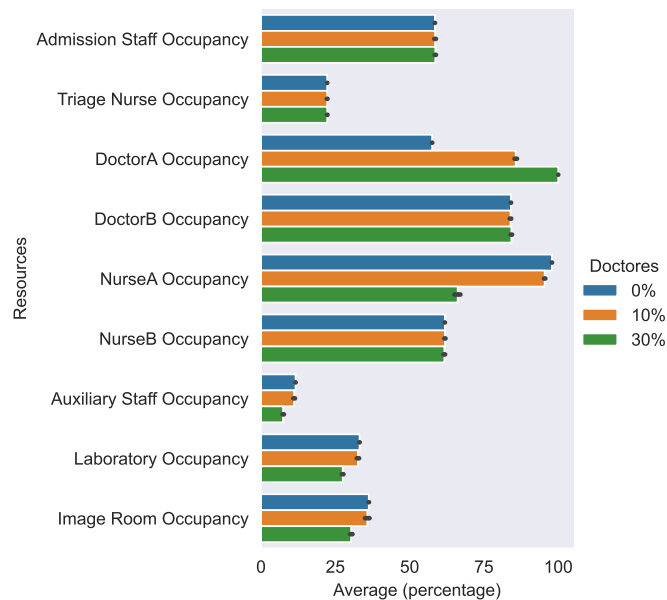


Figura 4.15: Promedio de la ocupación en porcentaje cuando se produce una disminución de médicos en el área A.

En la Figura 4.15, se puede observar el porcentaje de ocupación en caso de que se disminuya la cantidad de médicos en el área A en un 10 y 30 por ciento. Se puede observar que, a medida que disminuye la cantidad de médicos en dicha área, aumenta el porcentaje de ocupación para los médicos que se encuentran en la zona A. Eso afecta también al área de enfermería, lo cual hace que disminuya la ocupación de las enfermeras en el área A; debido a la disminución de la cantidad de médicos, las enfermeras tienen menos trabajo en ese caso, manteniendo la misma cantidad de 300 pacientes. También, al disminuir la cantidad de médicos, van disminuyendo las ocupaciones de laboratorio e imágenes, ya que al haber menos médicos habrá menos pacientes que requieran hacerse estudios o laboratorios. Las barras de color azul representan el valor original sin realizar ninguna disminución con 300 pacientes, la de color naranja, disminuyendo en un 10 por ciento, la de color verde, disminuyendo en un 30 por ciento. En la sección de admisión, triaje,

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

no afecta mucho la disminución de doctores y enfermeras en el área A; también eso no afecta prácticamente al área B. En el eje X se puede observar el porcentaje de ocupación y en el eje Y se pueden observar los diferentes recursos del hospital.

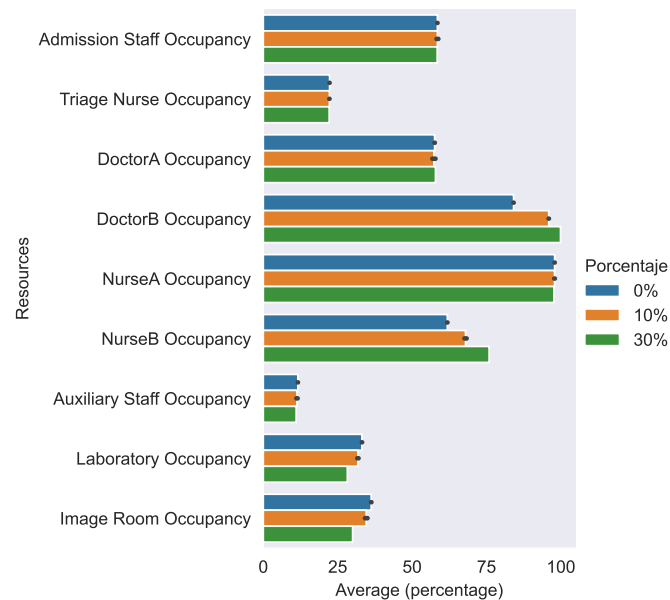


Figura 4.16: Promedio de la ocupación en porcentaje cuando se produce una disminución de médicos y enfermeras en el área B.

En la Figura 4.16, se puede observar el porcentaje de ocupación en caso de que se disminuya la cantidad de médicos y enfermeras en el área B, en un 10, 30 por ciento. Se puede observar que, a medida que disminuye la cantidad de médicos y enfermeras disponibles, aumenta el porcentaje de ocupación de aquellos que permanecen en la zona B del hospital. Esto indica una sobrecarga de trabajo para el personal restante, quienes deben asumir las tareas y responsabilidades de sus colegas ausentes. Al tener que atender a todos los pacientes que siguen llegando, se incrementa su tiempo de dedicación por paciente y, en consecuencia, su nivel de ocupación.

Por otro lado, se observa una disminución en las tasas de ocupación de los recursos de laboratorio e imágenes. Esta tendencia puede explicarse por el hecho de que, con menos personal médico y de enfermería disponible para realizar evaluaciones clínicas completas, se solicitan menos exámenes complementarios. Es

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

decir, la menor capacidad para atender pacientes también limita el uso de otros servicios diagnósticos, lo que genera una caída indirecta en la ocupación de estas áreas. Las barras de color azul representan el valor original sin realizar ninguna disminución con 300 pacientes, la de color naranja, disminuyendo en un 10 por ciento, la de color verde, disminuyendo en un 30 por ciento. En el eje X se puede observar el porcentaje de ocupación y en el eje Y se pueden observar los diferentes recursos del hospital.

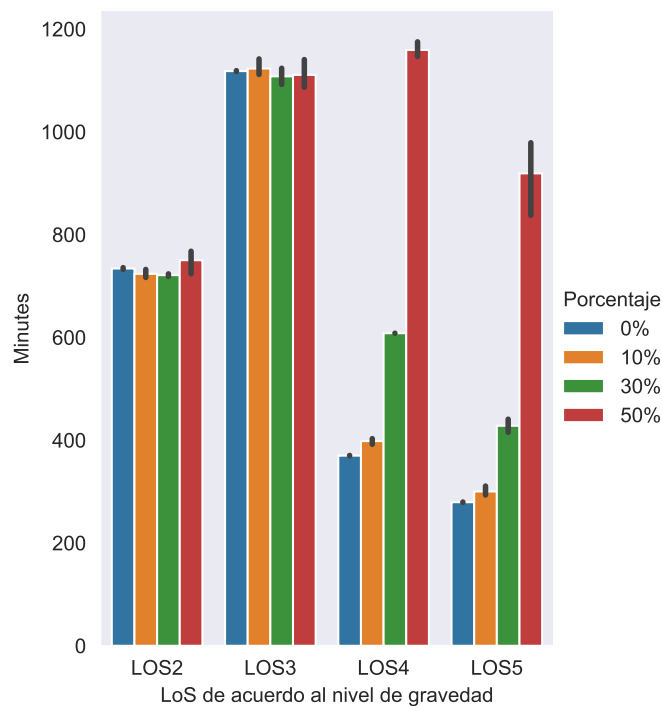


Figura 4.17: Promedio de la longitud de la estancia (LoS) en minutos para los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5 cuando se produce una disminución de enfermeras en el área B.

En la Figura 4.17 se puede observar el promedio de LoS en caso de que se disminuya la cantidad de enfermeras en el área B, en un 10, 30 o 50 por ciento. A medida que disminuye la cantidad de enfermeras, aumenta el LoS de los pacientes ubicados en la zona B, quienes corresponden a los niveles de gravedad 4 y 5, es decir, los casos menos graves. Se puede observar que, cuando la cantidad de enfermeras se reduce en un 50 por ciento, el LoS aumenta considerablemente para

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

los pacientes con niveles de gravedad 4 y 5. La barra de color azul representa cómo era sin realizar ninguna disminución con 300 pacientes, la de color naranja disminuyendo en un 10 por ciento, la de color verde disminuyendo en un 30 por ciento y la de color rojo disminuyendo en un 50 por ciento. En el eje X se puede ver el LoS de acuerdo a los niveles de gravedad del paciente, desde el nivel 2 hasta el nivel 5. Y en el eje Y se puede ver el promedio del LoS expresado en minutos.

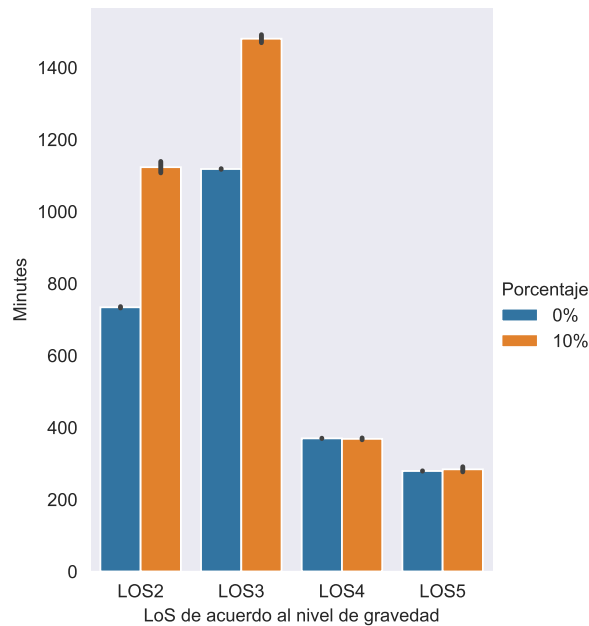


Figura 4.18: Promedio de la longitud de la estancia (LoS) en minutos para los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5 cuando se produce una disminución de enfermeras en el área A.

En la Figura 4.18 se puede observar el promedio de LoS en caso de que se disminuya la cantidad de enfermeras en el área A en un 10 por ciento. Se puede observar que, a medida que disminuye la cantidad de enfermeras, aumenta el LoS para los pacientes que se encuentran en la zona A. El LoS aumenta cuando disminuye la cantidad de enfermeras por diversos motivos, como menos enfermeras para atender a los pacientes; cada uno tiene que asumir mayor cantidad de trabajo. Falta de monitoreo constante: Los pacientes requieren un seguimiento adecuado; si hay poco personal, el monitoreo puede ser más esporádico. Mayor carga de trabajo para el personal restante; las demás enfermeras que siguen trabajando tienen una

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

carga mayor, lo que puede llevar a la fatiga o incluso se puede llegar a priorizar a otros pacientes más graves. La barra de color azul representa cómo era sin realizar ninguna disminución con 300 pacientes, la de color naranja, disminuyendo en un 10 por ciento. En el eje X se puede ver el LoS de acuerdo a los niveles de gravedad del paciente, desde el nivel 2 hasta el nivel 5. Y en el eje Y se puede ver el promedio del LoS expresado en minutos.

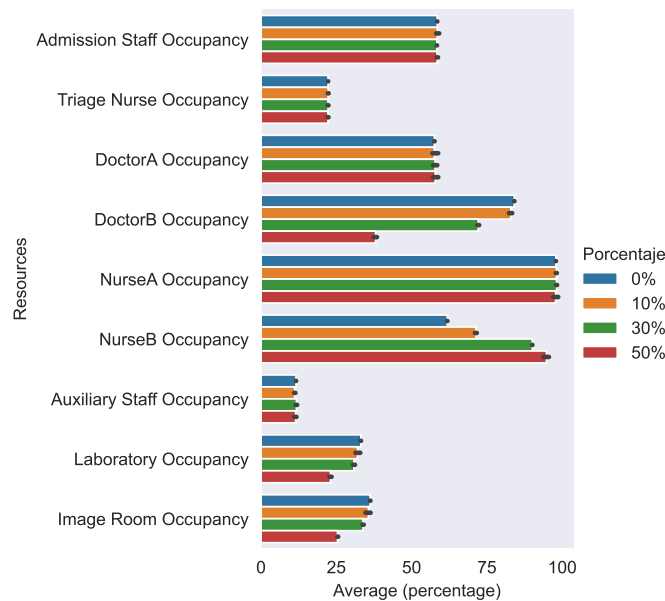


Figura 4.19: Promedio de la ocupación en porcentaje cuando se produce una disminución de enfermeras en el área B.

En la Figura 4.19, se puede observar el porcentaje de ocupación de los diferentes recursos en caso de que se disminuya la cantidad de enfermeras en el área B en un 10, 30 o 50 por ciento. Se puede observar que, a medida que disminuye la cantidad de enfermeras en el área B, aumenta el porcentaje de ocupación para las enfermeras de la zona B y disminuye el porcentaje de ocupación de los doctores que se encuentran en la zona B. Al disminuir la cantidad de enfermeras, también disminuye el porcentaje de ocupación de laboratorio e imágenes. La barra de color azul representa cómo era sin realizar ninguna disminución con 300 pacientes, la de color naranja disminuyendo en un 10 por ciento, la de color verde disminuyendo en un 30 por ciento y la de color rojo disminuyendo en un 50 por ciento. En el eje

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

X se puede observar el porcentaje de ocupación y en el eje Y se pueden observar los diferentes recursos del hospital.

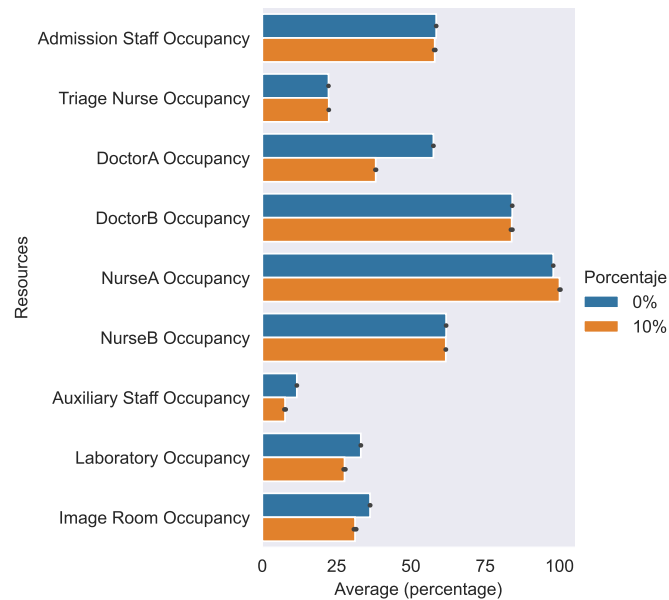


Figura 4.20: Promedio de la ocupación en porcentaje cuando se produce una disminución de enfermeras en el área A.

En la Figura 4.20, se puede observar el porcentaje de ocupación en caso de que se disminuya la cantidad de enfermeras en el área A, en un 10, 30 por ciento. Se puede observar que, a medida que disminuye la cantidad de enfermeras, aumenta el porcentaje de ocupación para las enfermeras que se encuentran en la zona A y disminuye el porcentaje de ocupación para los médicos que se encuentran en la zona A.

Al disminuir la cantidad de enfermeras en la zona A, también disminuye el porcentaje de ocupación de auxiliares, laboratorios e imágenes. La barra de color azul representa la simulación de referencia con 300 pacientes, la de color naranja, disminuyendo en un 10 por ciento. En el eje X se puede observar el porcentaje de ocupación y en el eje Y se pueden observar los diferentes recursos del hospital.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

4.8.3. Caso a corto plazo: Análisis del LoS y las ocupaciones en caso de aumento de careboxes

Aumentar la cantidad de carebox en un servicio de urgencias hospitalarias sin aumentar la cantidad de médicos y enfermeras puede tener varias implicaciones y desafíos. Con más carebox disponibles, es probable que el personal médico y de enfermería tenga que hacer frente a una mayor carga de trabajo, ya que tendrán que atender a más pacientes con la misma cantidad de recursos humanos disponibles. Esto puede aumentar el estrés, la fatiga y el riesgo de errores médicos.

Con más carebox disponibles, es probable que el servicio de urgencias hospitalarias vea un aumento en el número de pacientes que buscan atención médica. Esto puede conducir a tiempos de espera más largos para recibir atención, tanto en términos de tiempo de espera para ser evaluado inicialmente como para recibir tratamientos o pruebas adicionales.

Aumentar la cantidad de carebox en un servicio de urgencias hospitalarias sin aumentar la cantidad de médicos y enfermeras puede conducir a una serie de desafíos y riesgos para la calidad y seguridad de la atención médica proporcionada a los pacientes. Es importante considerar cuidadosamente las implicaciones de cualquier expansión de servicios y garantizar que se asignen los recursos adecuados para satisfacer las necesidades de atención médica de manera segura y efectiva.

Con los datos de entrada de nuestro estándar de referencia, vamos a analizar qué ocurriría si vamos aumentando de a poco la cantidad de carebox en el servicio de urgencias hospitalarias. Analizamos los parámetros LOS y las ocupaciones de los diferentes recursos hospitalarios con estas simulaciones.

En la Figura 4.21, se puede ver que al aumentar la cantidad de carebox de 22 a 42 de 5 en 5 (22, 27, 32, 37, 42), aumenta el LoS en la zona A donde se encuentran los pacientes con niveles de gravedad 1, 2 y 3. En el eje X se pueden observar los niveles de gravedad del 2 al 5. Y en el eje Y se puede observar el promedio en minutos. Las barras de color azul representan 22 careboxes, la naranja 27, la verde 32, la roja 37 y la lila 42 careboxes. Si se aumenta la cantidad de careboxes (careboxes de atención) sin incrementar proporcionalmente el número de médicos disponibles, se produce un desequilibrio entre la capacidad física del hospital y su capacidad operativa. Aunque haya más espacios físicos para recibir pacientes, la

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

cantidad de profesionales disponibles para atenderlos sigue siendo la misma. Como resultado, los médicos deben dividir su tiempo entre más pacientes, lo que reduce la velocidad de atención individual y genera cuellos de botella en la atención médica.

Esta sobrecarga provoca demoras en la evaluación, diagnóstico y tratamiento de los pacientes, lo que a su vez se traduce en un aumento en la duración total de la estancia de cada paciente en el hospital. En otras palabras, aunque haya más careboxes disponibles, la falta de personal médico suficiente impide aprovechar esa infraestructura adicional de forma eficiente, y termina por ralentizar el flujo general del sistema.

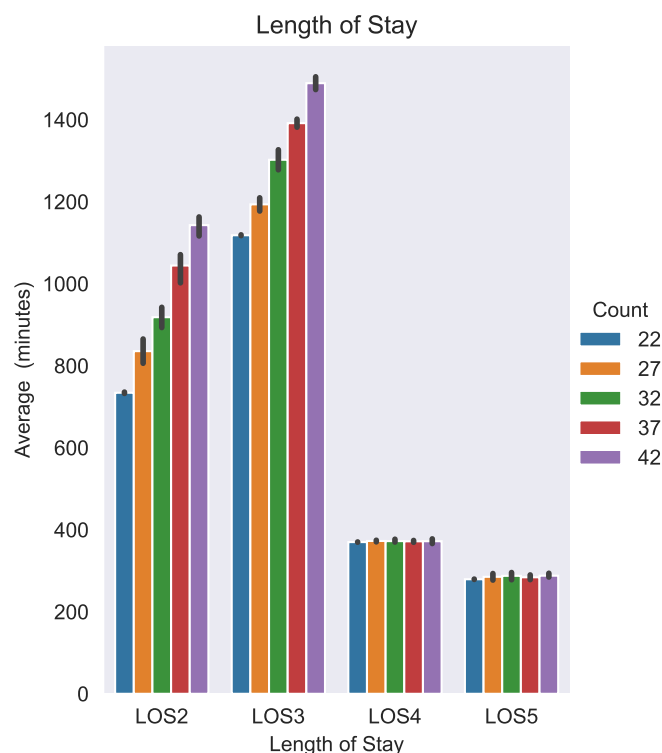


Figura 4.21: Promedio de la duración de la estancia (LoS) para los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5 expresado en minutos en caso de aumento de la cantidad de carebox del 22 a 42.

En la Figura 4.22 se muestra el porcentaje de ocupación de los distintos recursos del hospital ante un aumento en la cantidad de careboxes. Se observa que incrementar el número de careboxes no tiene un impacto significativo en la

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

ocupación de los recursos hospitalarios; sin embargo, sí conlleva un aumento en la duración de la estancia del paciente. En el eje X se representa el porcentaje de ocupación, mientras que en el eje Y se enumeran los diferentes recursos del hospital. Las barras están codificadas por color según la cantidad de careboxes: celeste para 22 careboxes, naranja para 27, verde para 32, rojo para 37 y lila para 42.

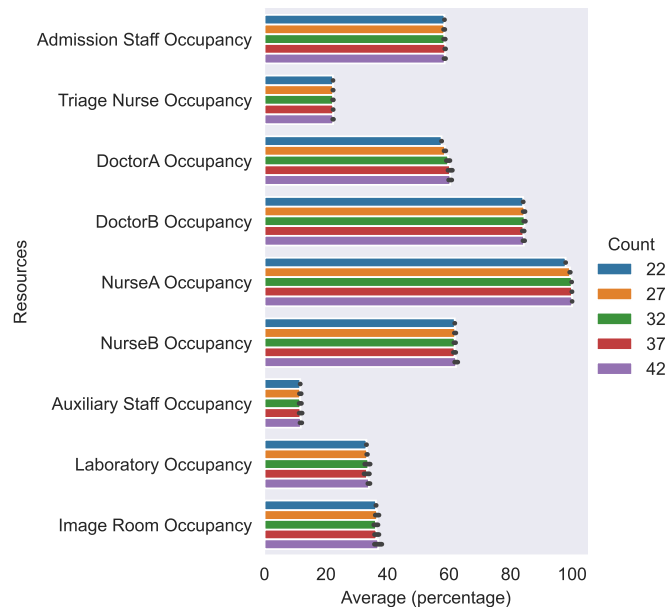


Figura 4.22: Promedio de las ocupaciones de los recursos humanos del hospital expresado en porcentaje en caso de aumento de la cantidad de carebox.

4.8.4. Caso a corto plazo: Análisis del DtD en caso de aumento de la cantidad de carebox

En la Figura 4.23, se puede observar la comparación del promedio del KPI DtD para 18 y 19 careboxes, donde se puede observar que a mayor cantidad de careboxes, es mayor la cantidad del promedio del tiempo para el DtD para los pacientes con nivel de gravedad 3. Se puede observar que, a medida que se incrementa la cantidad de careboxes, también aumenta el tiempo promedio del indicador DtD para los pacientes clasificados con nivel de gravedad 3. Este fenómeno refleja que, aunque se disponga de más espacios físicos para ubicar a los

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

pacientes, la atención no se vuelve más rápida si no se acompaña este aumento con una mayor dotación de recursos humanos, como médicos y enfermeras.

Los pacientes requieren una evaluación clínica cuidadosa y una serie de decisiones médicas que consumen tiempo. Si el número de profesionales no crece al mismo ritmo que la infraestructura, el personal disponible debe atender a un mayor número de pacientes, lo que diluye la capacidad de respuesta y prolonga los tiempos de atención. Por lo tanto, el incremento en el número de careboxes sin un refuerzo equivalente en recursos humanos no solo no mejora el flujo de atención, sino que puede empeorar los tiempos de resolución para ciertos grupos de pacientes, como los de gravedad intermedia. Las barras de color celeste representan el promedio del DtD en el caso de que se utilicen 18 careboxes, y las de color naranja en caso de que se utilicen 19 careboxes. En el eje x se pueden observar las 24 horas del día, y en el eje y, el promedio del DtD en minutos.

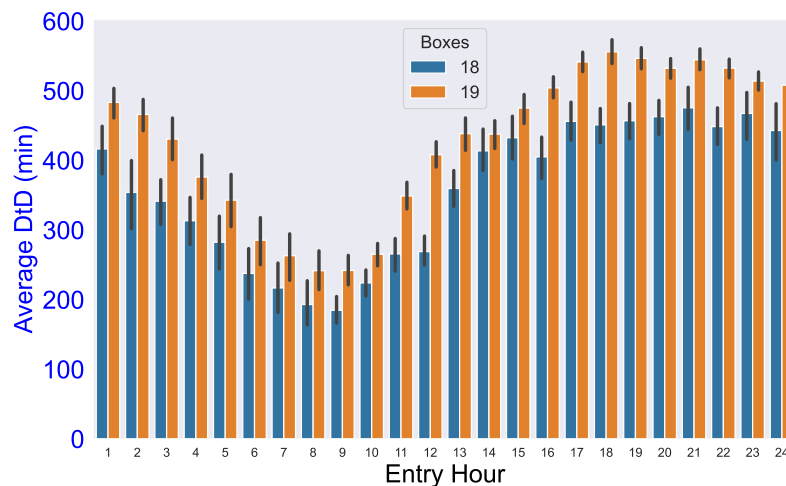


Figura 4.23: Promedio del DtD expresado en minutos en caso de aumento de la cantidad de carebox de 18 a 19 careboxes para los pacientes con nivel de gravedad 3.

En las gráficas anteriores se puede observar que, al aumentar la cantidad de careboxes sin aumentar la cantidad de recursos, ya sean médicos o enfermeras, aumenta el tiempo del LoS o del DtD. Por lo tanto, se puede observar en la Figura 4.24, la comparación del promedio del DtD para 19 careboxes, agregando

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

dos médicos más para el área A, los cuales, agregando dos médicos más, ya serían en total 10 médicos. Al realizar el cálculo de la fórmula como dice el estándar, nos sale que debe haber 8 médicos; si a esos 8 médicos le agregamos 2 médicos más, se observa que disminuye muchísimo más tiempo del DtD. En la barra azul se observa el promedio del DtD para 8 médicos y la barra naranja, el promedio para 10 médicos. En el eje X se pueden observar las 24 horas del día, y en el eje Y, el promedio del DtD en minutos.

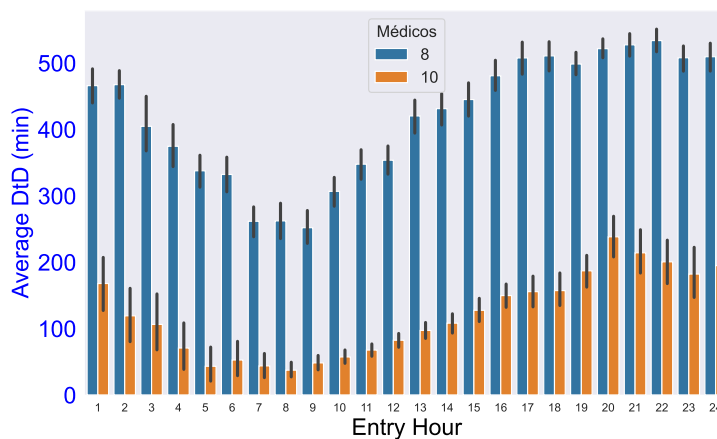


Figura 4.24: Promedio del DtD expresado en minutos en caso de aumento de la cantidad de médicos de 8 a 10 del área A para los pacientes con el nivel de gravedad 3.

En las gráficas anteriores se observa que, al aumentar la cantidad de careboxes sin incrementar los recursos humanos como médicos o enfermeras, se produce un aumento en los tiempos de LoS y DtD. En la Figura 4.25, se presenta una comparación del promedio de LoS para un escenario con 19 careboxes, considerando dos situaciones: una con 8 médicos (el valor de referencia según el estándar para España) y otra con 10 médicos, es decir, añadiendo dos médicos más exclusivamente en el área A.

Los resultados muestran que al incrementar el número de médicos en el área A, el tiempo promedio de LoS se reduce significativamente, lo cual refleja una mejora en la eficiencia del proceso asistencial para los pacientes de dicha área. En cambio, en el área B no se observa una disminución en el LoS, ya que en esa zona no se

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

realizaron cambios en la dotación de médicos. Cabe destacar que el área B atiende principalmente a pacientes de niveles de gravedad 4 y 5, por lo que el impacto del aumento de personal en el área A no se refleja en sus tiempos de atención.

En el gráfico, la barra azul representa el promedio de LoS con 8 médicos, mientras que la barra naranja muestra el promedio correspondiente con 10 médicos, destacando claramente la mejora al aumentar los recursos humanos en el área A. En el eje X se puede ver el LoS de acuerdo a los niveles de gravedad del paciente, desde el nivel 2 hasta el nivel 5. Y en el eje Y se puede ver el promedio del LoS expresado en minutos.

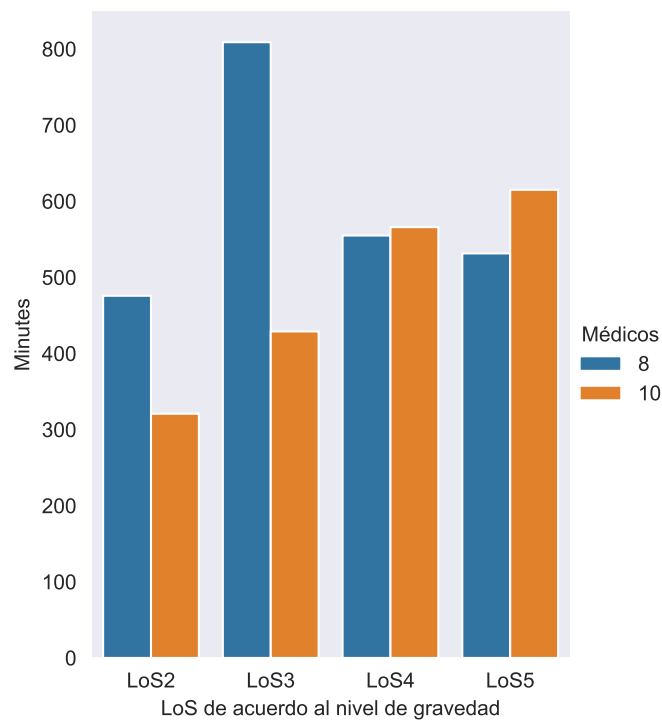


Figura 4.25: Promedio de la duración de la estancia (LoS) para los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5 expresado en minutos en caso de aumento de la cantidad de médicos de 8 a 10 para el área A.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

4.8.5. Caso a largo plazo: Análisis de los KPI utilizando la pirámide poblacional y los parámetros del estándar de referencia

El envejecimiento de la población tiene un impacto significativo en los servicios de urgencias hospitalarias, ya que los pacientes mayores presentan necesidades de atención médica más complejas al ser más frágiles y pluripatológicos. Es crucial adaptar los recursos, protocolos y prácticas de atención para satisfacer las necesidades únicas de esta población y garantizar una atención segura y de alta calidad en el departamento de urgencias.

La llegada de pacientes jóvenes a los servicios de urgencias hospitalarias también puede tener un impacto significativo en el funcionamiento y la dinámica de estos servicios. Aunque los pacientes jóvenes tienden a presentar menos comorbilidades y condiciones médicas crónicas en comparación con los pacientes mayores, aún pueden generar desafíos específicos. Es importante que los servicios de urgencias estén preparados para manejar una amplia gama de situaciones y condiciones médicas, desde lesiones traumáticas hasta problemas de salud mental, y proporcionar una atención integral y de alta calidad a todos los pacientes, independientemente de su edad.

Una pirámide poblacional es un gráfico de barras que representa la distribución por edad y sexo de una población. Generalmente, los hombres están representados a la izquierda y las mujeres a la derecha, y las edades se agrupan en intervalos (normalmente de cinco años). Base ancha, estrechamiento hacia arriba: indica una alta tasa de natalidad. Las sociedades con estas pirámides suelen ser jóvenes y en crecimiento. Base estrecha, amplia hacia el medio: indica tasas de natalidad decrecientes y una población que envejece.

La pirámide poblacional de España ha experimentado disminución de la tasa de natalidad, el aumento de la esperanza de vida y los cambios en los patrones de migración, como se observa en la Figura 4.26. Estas características generales de la pirámide poblacional de España reflejan las tendencias demográficas observadas en muchos países desarrollados, donde la población está envejeciendo y la proporción de personas mayores está aumentando en relación con la población más joven.

En nuestro simulador de emergencia, utilizamos datos de las distribuciones

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

de edad del paciente de España [3] como entradas al modelo para el agente del paciente. Estos datos se obtuvieron de la pirámide poblacional global de España [3]. El modelo realizado consistió en reemplazar primero los datos de las edades de la pirámide poblacional de España, porque el simulador tenía los datos de las edades del año 2014; luego procedimos a cambiar los parámetros de las edades para los demás países analizados, como Argentina y Paraguay. De los tres países analizados, también cambiamos los parámetros definidos y no definidos en el estándar de referencia para luego analizar diferentes escenarios.

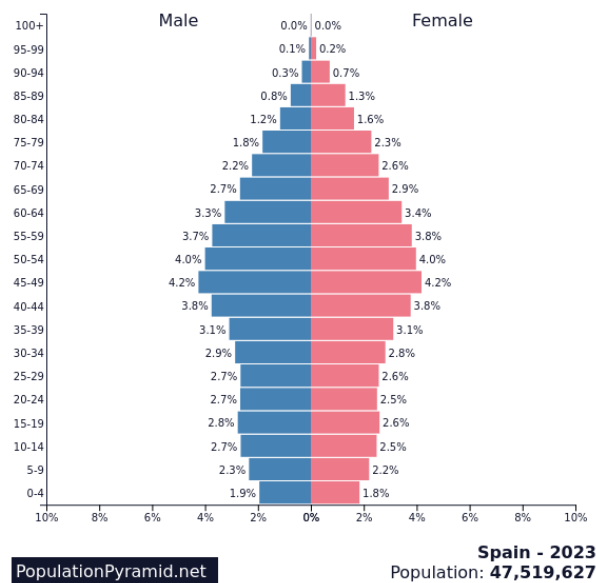


Figura 4.26: Pirámide de población de España año 2023 según la pirámide poblacional global

Analizando la pirámide poblacional de España y utilizando los parámetros de referencia de nuestro documento de estándares, realizamos algunas simulaciones para analizar los KPI de LoS u ocupaciones de los diferentes recursos.

En la Figura 4.27 se puede observar cómo afecta a la duración de la estancia de acuerdo con los niveles de gravedad el aumento progresivo de pacientes, con los parámetros de la pirámide poblacional de España del año 2023 con respecto al año 2014 que tenía anteriormente y los parámetros definidos y no definidos del documento de estándares. Tomamos como base primeramente los datos de la

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

pirámide poblacional de España para más adelante ir comparándolos con otros. Se puede observar que, conforme se incrementa el número de pacientes, aumenta el promedio de la duración de la estancia. Los pacientes con niveles de gravedad 2 y 3 son los que tienen mayor duración de la estancia debido a que tienen mayor nivel de gravedad, y los pacientes con nivel de gravedad 4 y 5 tienen menor duración de la estancia porque son casos más leves. En el eje x se pueden observar los distintos niveles de gravedad analizados de los pacientes, desde el 2 hasta el 5, y en el eje y se puede observar el promedio del LoS en minutos. La barra de color representa a la simulación realizada con 300 pacientes, la naranja con 320, la verde con 340, la roja con 360, la lila con 380, la marrón con 400, la rosa con 420, la gris con 450 pacientes.

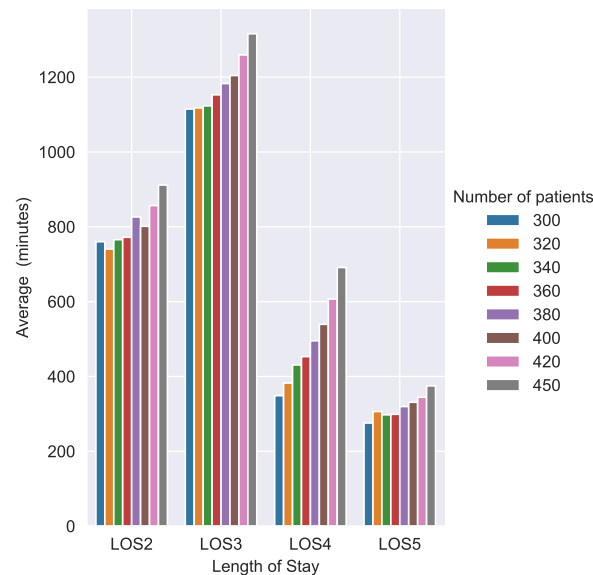


Figura 4.27: Promedio de la duración de la estancia de acuerdo con los niveles de gravedad 2, 3, 4 y 5 y aumento de pacientes expresado en minutos, modificando la edad con la pirámide poblacional de España del año 2023 actualizada con respecto al año 2014.

En la Figura 4.28 se puede observar cómo afecta la ocupación de los diferentes recursos conforme se incrementa el número de pacientes, con las edades según la pirámide poblacional de España.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

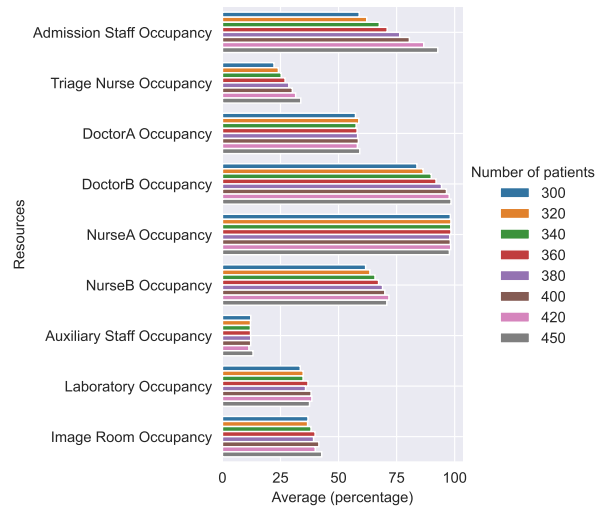


Figura 4.28: Porcentaje de ocupación de los diferentes recursos de acuerdo al aumento de pacientes, utilizando la pirámide poblacional de España

Se puede observar que los recursos más afectados son los de admisión, enfermeras de triaje, doctores en área B, enfermeras en el área A, enfermeras en el área B, laboratorio e imagen. La barra de color azul representa a la simulación realizada con 300 pacientes, la naranja con 320, la verde con 340, la roja con 360, la lila con 380, la marrón con 400, la rosa con 420, la gris con 450 pacientes. En el eje X se puede observar el porcentaje de ocupación y en el eje Y los diferentes recursos del departamento de urgencias.

Tomando como base los datos de la pirámide poblacional de España y los parámetros de nuestro documento de estándares, comparamos los KPI con otras pirámides poblacional como la de Paraguay y Argentina. Las pirámides poblacional de cada uno de estos países tienen una forma distinta, lo cual significa que los grupos de edad están distribuidos de manera diferente. El objetivo es comparar cómo cambian los diferentes KPI de acuerdo a la pirámide poblacional de estos países y cómo va influyendo eso en los KPI.

En nuestro simulador de emergencia, utilizamos datos de las distribuciones de edad del paciente [3] como entradas al modelo para el agente del paciente. Estos datos se obtuvieron de la pirámide poblacional global de cada país [3] y se puede observar en las siguientes Figuras 4.29, 4.30, 4.31, la pirámide poblacional de Paraguay, Argentina y España del año 2023.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

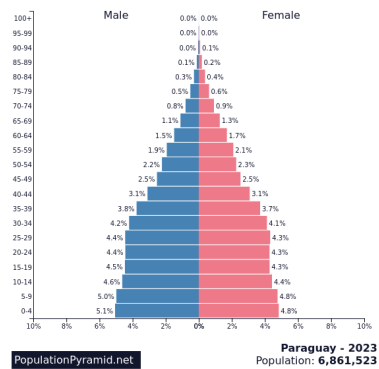


Figura 4.29: Pirámide poblacional de Paraguay año 2023 según la pirámide poblacional global

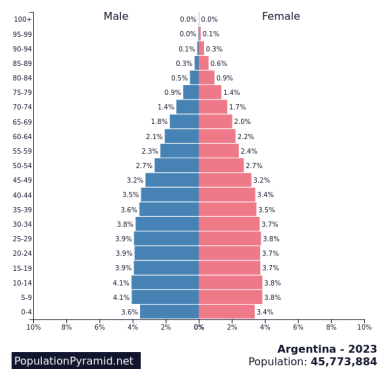


Figura 4.30: Pirámide poblacional de Argentina año 2023 según la pirámide poblacional global

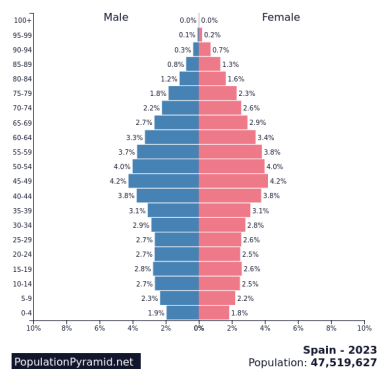


Figura 4.31: Pirámide poblacional de España año 2023 según la pirámide poblacional global

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

Con base en la pirámide poblacional del mundo, analizamos la pirámide poblacional de Argentina, Paraguay y España. La pirámide poblacional del Paraguay [4.29](#) suele tener una base amplia, lo que indica una proporción relativamente alta de jóvenes en la población. Esto sugiere una tasa de natalidad más alta y una población más joven en general. La pirámide puede mostrar una distribución más uniforme en los grupos de edad más jóvenes y una disminución gradual en los grupos de mayor edad.

La pirámide poblacional de Argentina [4.30](#) tiende a ser más equilibrada que la de Paraguay, con una base menos amplia. Esto sugiere una tasa de natalidad más moderada y una población más estable en cuanto a la distribución por edades. Argentina ha experimentado un proceso de envejecimiento poblacional en las últimas décadas, con un aumento en el porcentaje de personas mayores.

La pirámide poblacional de España [4.31](#) tiende a ser más estrecha en la base y más amplia en los grupos de mayor edad en comparación con Paraguay y Argentina. Esto refleja tasas de natalidad más bajas y una esperanza de vida más larga, lo que da como resultado una población de mayor edad en general. España ha experimentado un marcado proceso de envejecimiento poblacional en las últimas décadas, con un aumento significativo del porcentaje de personas mayores y una proporción relativamente menor de jóvenes.

En nuestro simulador de emergencias, utilizamos datos de las distribuciones de edad de los pacientes como entrada al modelo para generar el agente del paciente. Estos datos se obtuvieron de la pirámide poblacional global de cada país y se pueden ver en las siguientes Figuras [4.32](#), [4.33](#), [4.34](#), [4.35](#), [4.36](#), [4.37](#), [4.38](#), [4.39](#), [4.40](#), [4.41](#), [4.42](#) and [4.43](#), el cual muestra cómo es y cómo serán las pirámides de población [3] de España, Argentina y Paraguay del año 2024, 2029, 2034 y 2039.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

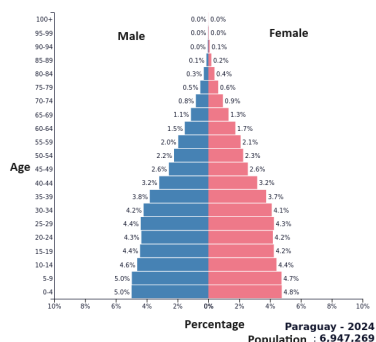


Figura 4.32: Pirámide poblacional de Paraguay, año 2024 según la pirámide poblacional global

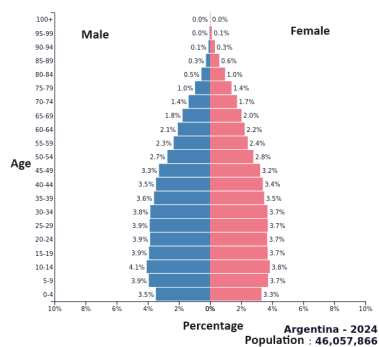


Figura 4.33: Pirámide poblacional de Argentina, año 2024 según la pirámide poblacional global

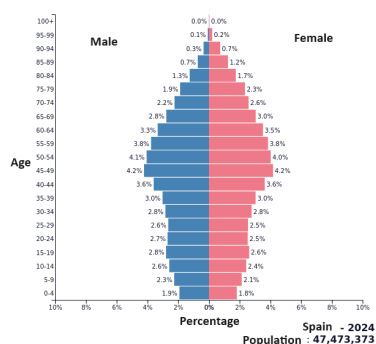


Figura 4.34: Pirámide poblacional de España, año 2024 según la pirámide poblacional global

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

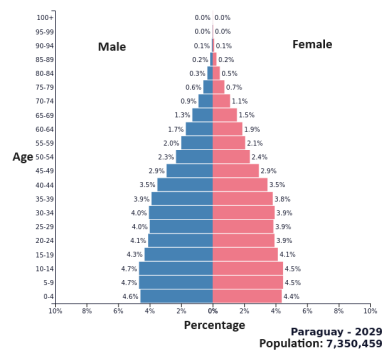


Figura 4.35: Pirámide poblacional de Paraguay, año 2029 según la pirámide poblacional global

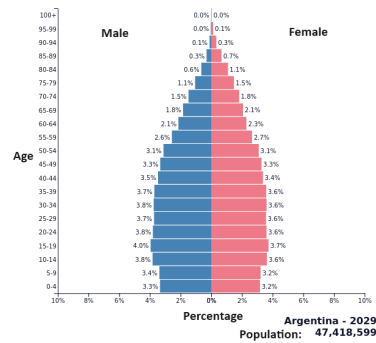


Figura 4.36: Pirámide poblacional de Argentina, año 2029 según la pirámide poblacional global

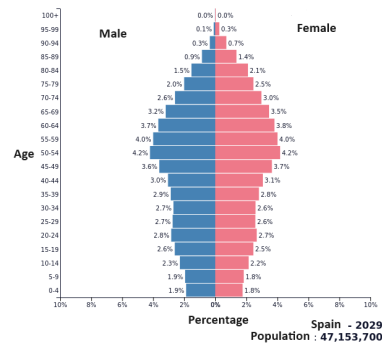


Figura 4.37: Pirámide poblacional de España, año 2029 según la pirámide poblacional global

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

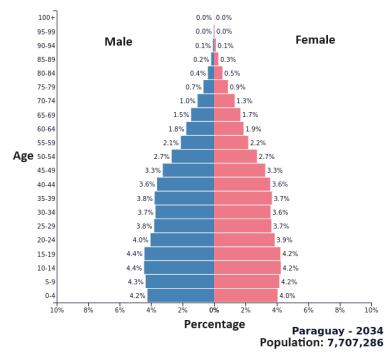


Figura 4.38: Pirámide poblacional de Paraguay, año 2034 según la pirámide poblacional global

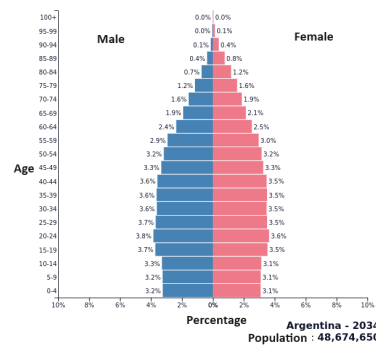


Figura 4.39: Pirámide poblacional de Argentina, año 2034 según la pirámide poblacional global



Figura 4.40: Pirámide poblacional de España, año 2034 según la pirámide poblacional global

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

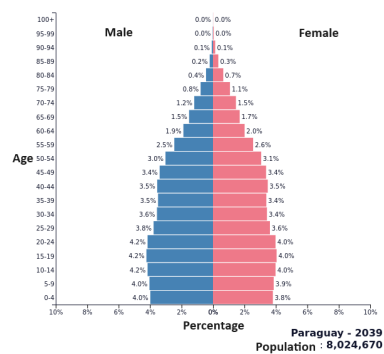


Figura 4.41: Pirámide poblacional de Paraguay, año 2039 según la pirámide poblacional global

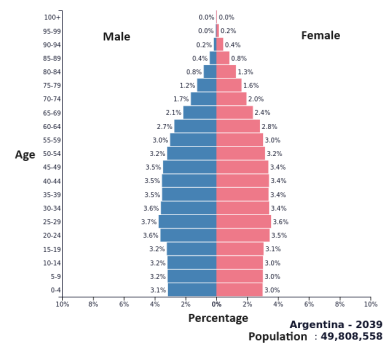


Figura 4.42: Pirámide poblacional de Argentina, año 2039 según la pirámide poblacional global



Figura 4.43: Pirámide poblacional de España, año 2039 según la pirámide poblacional global

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

Analizamos escenarios basados en las pirámides poblacional de España, Argentina y Paraguay. Podemos analizar diferentes distribuciones de edad debido a que se trata de pirámides poblacionales [3] diferentes con poblaciones más o menos mayores o jóvenes. Estos datos se derivaron de las pirámides de población globales de cada país. Verificamos la evolución de los parámetros en función de diferentes escenarios y explicamos cómo estos cambios demográficos pueden afectar la demanda de urgencias. Algunos KPI que seleccionamos para analizar son significativos para el paciente: tiempo de estancia (LoS) y tiempo de espera (Lowt), y esenciales para la gestión: la ocupación de médicos, enfermeras y hospitalización.

Con los datos de entrada de la pirámide poblacional de los países de España, Paraguay y Argentina, realizamos 100 simulaciones con 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420 y 450 pacientes durante tres meses para cada simulación. Analizamos los KPI como el LoS y las ocupaciones de los diferentes recursos hospitalarios con estas simulaciones.

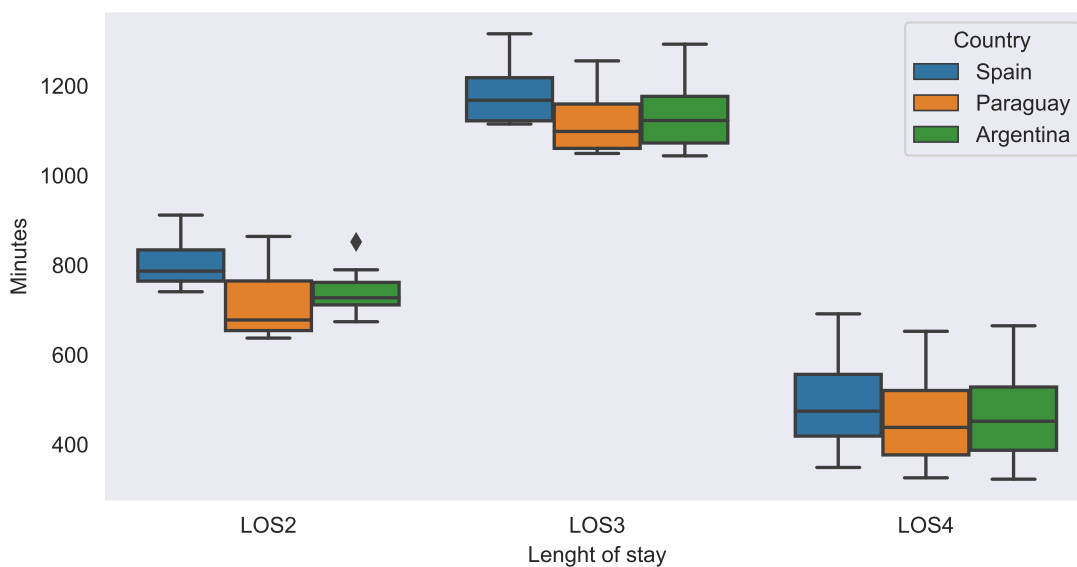


Figura 4.44: Comparación de la duración de la estancia hospitalaria para los niveles de gravedad 2, 3 y 4 en España, Paraguay y Argentina expresado en minutos.

En la Figura 4.44 observamos la comparación de LoS de los pacientes con niveles de gravedad 2, 3 y 4 de España, Paraguay y Argentina con la distribución

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

de edades que ingresamos como parámetro según la pirámide poblacional mundial. El diagrama de caja azul representa el LoS de España. El de Paraguay y Argentina se representa por los colores naranja y verde. Se puede observar que el LoS 2, 3 y 4 de España es mayor que el de Paraguay y Argentina. El LoS de España es mayor que en Paraguay y Argentina debido a que España tiene un número más alto de pacientes crónicos debido a que tiene una población más envejecida, lo que lleva a que estos pacientes necesiten estancias hospitalarias más largas. Las enfermedades crónicas suelen ser más complejas y requieren más tiempo de atención y cuidado, lo que incrementa la duración de la estancia en los hospitales. En comparación, en Paraguay y Argentina, la prevalencia de pacientes crónicos puede ser menor, debido a que tienen una población más joven y eso hace que las condiciones del sistema de salud les permitan un manejo más eficiente de estos casos fuera del hospital. En el eje X se pueden observar los diferentes niveles de gravedad y en el eje Y el promedio en minutos.

En la Figura 4.45 y Figura 4.46 se muestran las ocupaciones del médico en el área B y de la enfermera en el área A para los países de España, Paraguay y Argentina, con 100 simulaciones de 3 meses cada simulación y un aumento gradual en el número de pacientes a 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420 y 450. Se observa un aumento de la ocupación en los departamentos de urgencias conforme se incrementa el número de pacientes. Esto puede deberse a varios factores, como mayor congestión, retrasos en la atención, complejidad de los casos y limitaciones de recursos, todos los cuales pueden contribuir a una mayor ocupación de los recursos. También se observa que la ocupación de España es un poco mayor que la de Paraguay y Argentina. La barra celeste representa a España, la naranja a Paraguay y la verde a Argentina. En el eje X se puede observar la cantidad de pacientes y en el eje Y se observa el porcentaje de ocupación de dicho recurso para la Figura 4.45 el médico en el área B, y para la Figura 4.46 la enfermera en el área B.

La ocupación y el LoS para España son un poco más altos; esto puede deberse a que el envejecimiento de la población puede incrementar la carga de trabajo de los médicos y enfermeras en los servicios de urgencias debido a la mayor prevalencia de enfermedades crónicas de alta complejidad, el mayor riesgo de complicaciones,

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

la complejidad de los casos, la necesidad de evaluación geriátrica o la coordinación de cuidados post-alta.

Tabla 4.7: Comparación de la duración de la estancia hospitalaria para el nivel de gravedad 2 (LoS2) expresado en minutos según el número de pacientes del año 2024 para España, Argentina y Paraguay

Cantidad de Pacientes	España LoS2 (minutos)	Argentina LoS2 (minutos)	Paraguay LoS2 (minutos)
300	433	369	361
320	447	390	335
340	475	407	391
360	496	430	415
380	494	436	441
400	532	491	448
420	557	499	468
450	641	583	539

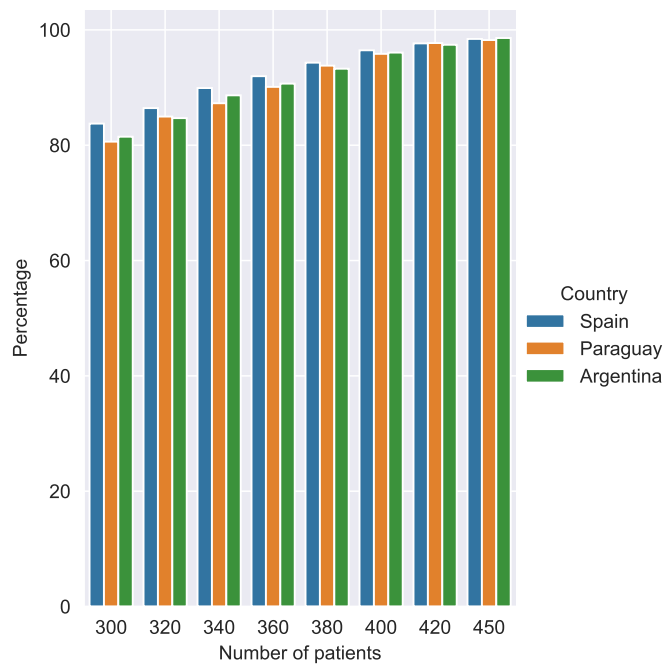


Figura 4.45: Promedio del porcentaje de ocupación del médico en el área B para España, Argentina y Paraguay de acuerdo al número de pacientes.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

Tabla 4.8: Promedio de la comparación de la duración de la estancia hospitalaria para el nivel de gravedad 3 (LoS3) expresado en minutos según el número de pacientes de 2024 para España, Argentina y Paraguay

Cantidad de pacientes	España LoS3 (minutos)	Argentina LoS3 (minutos)	Paraguay LoS3 (minutos)
300	496	409	369
320	618	464	359
340	714	526	536
360	774	622	571
380	803	760	685
400	864	761	768
420	939	886	844
450	1051	994	971

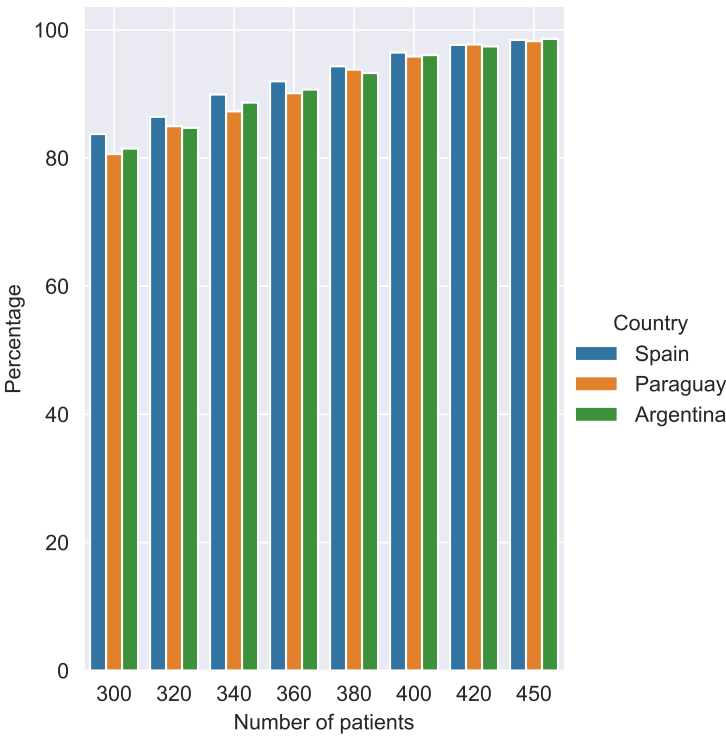


Figura 4.46: Porcentaje de ocupación de la enfermera en el área B para España, Argentina y Paraguay de acuerdo al número de pacientes.

Las Tablas 4.7 y 4.8 presentan el promedio de la duración de la estancia (LoS)

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

para el LoS 2 y LoS 3 del año 2024 para España, Argentina y Paraguay, con un aumento progresivo del número de pacientes de 300 a 450 para evitar variaciones bruscas. Los datos revelan que España, el país con la población más envejecida, presenta el LoS más alto. En cambio, Argentina y Paraguay, con una pirámide poblacional más joven, presentan LoS más bajos que España.

La Figura 4.47 muestra el resultado de la simulación del comportamiento de una comparación del análisis de la duración de la estancia hospitalaria de pacientes con nivel de gravedad 3 (LoS3) en España, Argentina y Paraguay en los años 2024, 2029, 2034 y 2039, utilizando la pirámide poblacional mundial [3]. El eje x indica los años seleccionados para la simulación (2024, 2029, 2034 y 2039) utilizando la pirámide poblacional específica de cada país y año. El eje y muestra el tiempo de espera promedio (LoS) en minutos para el nivel de gravedad 3.

Se observa que el LoS de los pacientes con nivel de gravedad 3 en España es mucho mayor que en Argentina y Paraguay para el año 2024, 2029, 2034, 2039 debido al mayor número de pacientes crónicos en España. Las barras están coloreadas para representar cada país: azul para España, naranja para Argentina y verde para Paraguay.

4. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE URGENCIAS HOSPITALARIAS A TRAVÉS DE SIMULACIÓN: CONSTRUCCIÓN DE UN ESCENARIO DE REFERENCIA

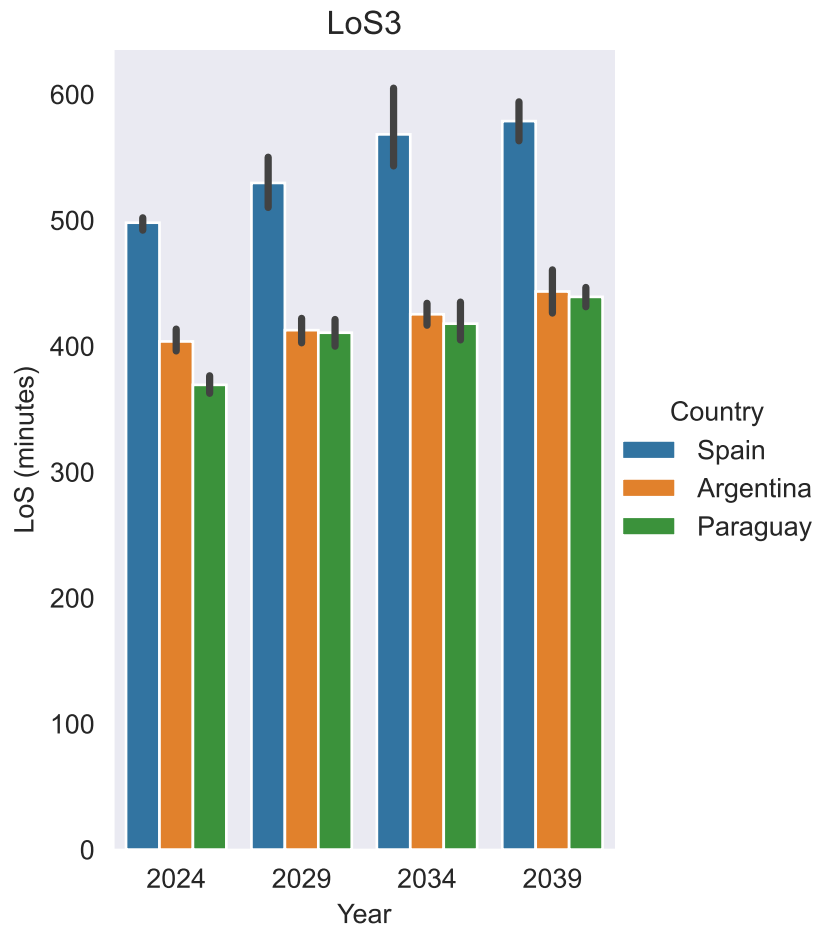


Figura 4.47: Promedio de la comparación de los países duración de la estancia hospitalaria para el nivel de gravedad 3 (LoS3) expresado en minutos del 2024 a 2039; la barra azul corresponde a España, la barra naranja a Argentina y la barra verde a Paraguay.

Capítulo 5

La simulación como herramienta de comparación de la eficiencia utilizando el indicador Door-To-Doctor DtD

5.1. Objetivos

Analizar la eficiencia del modelo español siguiendo su estándar de referencia en comparación con los estándares de otros países.

5.2. Metodología

Presentamos una simulación de un modelo basado en agentes tomando como referencia el documento de referencia con estándares y recomendaciones para los servicios de urgencias hospitalarias de España [4], utilizando los parámetros especificados en dicho estándar: dotación de médicos y enfermeras, dotación de triaje, número de careboxes, número de pacientes. Los demás parámetros sin modificar son los validados del Hospital Parc Taulí de Sabadell. La entrada de pacientes utilizada es la del Hospital Parc Taulí, se aprecia que en la Figura 5.1; en el eje X las horas del día en que llegan los pacientes, y en el eje Y, el porcentaje

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

de llegadas de pacientes por hora. Puede notarse que en el gráfico, las horas con menor número de llegadas de pacientes son entre la 1:00 y las 8:00. El horario de mayor afluencia de pacientes es entre las 11:00 y las 00:00. Cada nivel del sistema se ha vinculado en el simulador con tiempos máximos de espera y probabilidad de eventos adversos, siguiendo las recomendaciones de implementación clínica descritas en la literatura científica.

La Figura 5.2 muestra el porcentaje de pacientes que llegan por hora según su nivel de gravedad. El triaje utiliza cinco niveles de gravedad: los pacientes con niveles 1, 2 y 3 son los más graves, y los 4 y 5, los más leves. En la gráfica los resultados evidencian que el menor porcentaje de pacientes que llegan a urgencias corresponde a pacientes con nivel de gravedad 1, representado por las líneas azules. El nivel de gravedad 1 representa el 1 por ciento de los pacientes que llegan al hospital, el nivel 2 el 10 por ciento, el nivel 3 el 30 por ciento, el nivel 4 el 49 por ciento y el nivel 5 aproximadamente el 15 por ciento. En el eje X se muestran las horas del día y, en el eje Y, el porcentaje de llegada de pacientes en el servicio de urgencias hospitalarias.

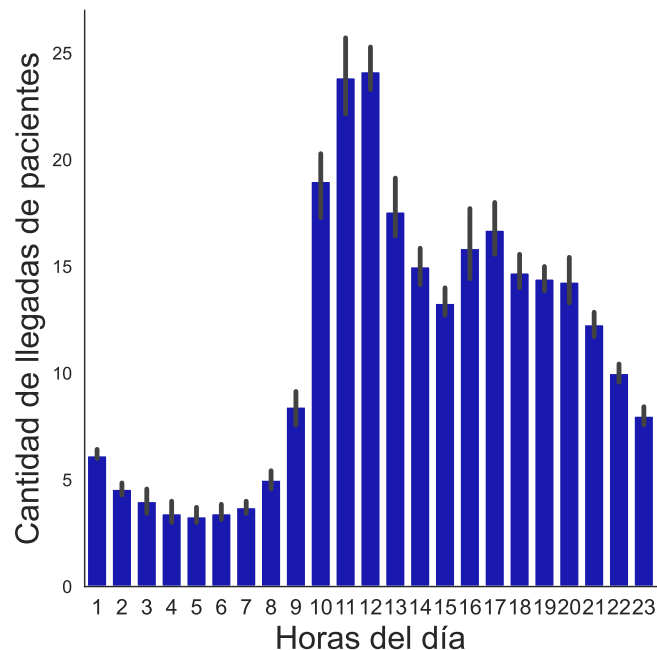


Figura 5.1: Pacientes y patrón de distribución de la llegada de pacientes por hora del día

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

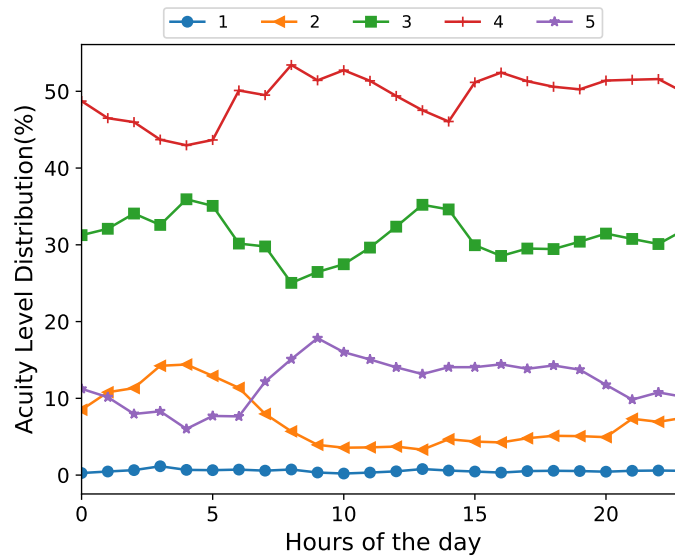


Figura 5.2: Porcentaje de pacientes según nivel de gravedad por hora del día

En la Tabla 5.1, se puede ver el tiempo máximo de triaje en los servicios de urgencias según el sistema o estándar, como se puede visualizar en el trabajo de Bermejo et al.[14]. Esta comprensión de los tiempos de triaje es crucial para una gestión eficaz de los servicios de urgencias. En el trabajo de Bermejo, se muestran los tiempos de triaje MTS, CTAS y ATS según cada nivel de gravedad. Existen varios tipos de triaje, como el Sistema Español de Triage (SET), el Sistema de Índice de Gravedad de Emergencias (ESI), el Sistema de Triage de Manchester (MTS), la Escala Australiana de Triage (ATS), el Modelo Andorrano de Triage (MAT), las Escalas Coreanas de Triage y Agudeza (KTAS) y el Sistema Canadiense de Triage y Escala de Gravedad (CTAS). Dependiendo del hospital, algunos países utilizan más de un tipo de triaje.

Tabla 5.1: Comparación de los tiempos máximos expresado en minutos entre diferentes tipos de triaje por nivel de gravedad (I, II, III, IV, V) según el trabajo de Bermejo[14]

Tipo	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV	Nivel V
MTS	Inmediato	10 min	60 min	120 min	240 min
CTAS-ATS	Inmediato	15 min	45 min	120 min	240 min

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

Los distintos modelos de triaje, como la Escala de Triage de Australasia (ATS), la Escala Canadiense de Triage y Gravedad (CTAS) y el Sistema de Triage de Manchester (MTS), constituyen herramientas de clasificación que comparten determinados elementos en común. Aunque su grado de implantación y eficacia ha sido variable, han superado evaluaciones que avalan su utilidad en el ámbito asistencial[4]. En el contexto español, se emplea principalmente el Sistema de Triage de Manchester (MTS), junto al Modelo Andorrano de Triage (MAT), así como las adaptaciones pediátricas de los sistemas canadiense y andorrano[4]. Todos ellos han sido validados. SEMES da soporte al sistema de triaje español (SET) basado en el sistema andorrano [4]. Entre los sistemas de triaje más extendidos se encuentran el ATS, el CTAS y el MTS. Este último sistema es el que cuenta con mayor implantación en Europa, donde se calcula que más de diez millones de pacientes son evaluados anualmente mediante esta escala. En el caso español, los modelos más utilizados son el MTS y el SET. A pesar de las diferencias en la terminología y en algunos conceptos específicos empleados por cada sistema, todos ellos presentan una estructura básica similar. [4].

Tanto el ATS como el CTAS, el MTS y el SET organizan la atención de los pacientes en cinco niveles de gravedad, representados por una numeración específica y un sistema de colores que incluye el rojo, naranja, amarillo, verde y azul y una denominación asociada al grado de urgencia (desde atención inmediata o muy urgente hasta no urgente). Además, el CTAS y el SET incluyen tiempos máximos de espera recomendados antes de la primera valoración médica. En el caso del CTAS, los objetivos de atención son [4]: nivel I (inmediato): atención inmediata, nivel II (muy urgente): máximo 15 minutos, nivel III (urgente): máximo 30 minutos, nivel IV (poco urgente): hasta 60 minutos, nivel V (no urgente): hasta 120 minutos [4].

El KPI que analizamos en este trabajo es el tiempo desde que llega el paciente hasta que el médico lo atiende (DtD). En la Tabla 5.2 se comparan los tiempos máximos de DtD en cada país según el estándar de triaje utilizado por ese país, agrupados por nivel de gravedad del paciente. Alemania utiliza el Sistema de Triage de Manchester (MTS)[19], Estados Unidos utiliza el ESI[34], el Reino Unido utiliza el Sistema de Triage de Manchester (MTS)[47], los Emiratos Árabes Unidos

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

utilizan el ESI[11], Turquía utiliza el ESI[21], Argentina utiliza el Sistema de Triage de Manchester (MTS)[45], España utiliza la Escala Canadiense de Triage y Agudeza (CTAS) y el Sistema de Triage Español (SET)[4], Canadá utiliza la Escala Canadiense de Triage y Agudeza (CTAS)[4] y Paraguay utiliza el Sistema de Triage Español (SET)[49].

Tabla 5.2: Comparación del tipo de triaje, tiempo de triaje expresado en minutos utilizado en cada país según el nivel de gravedad

Países	Tipo	Nivel de gravedad				
		I	II	III	IV	V
España	CTAS/SET	0	15	30	60	120
Estados Unidos (US)	ESI	0	10	60	120	240
Reino Unido (UK)	MTS	0	10	60	120	240
Alemania	MTS	0	10	60	120	240
Canadá	CTAS	0	15	45	120	240
Emiratos Árabes Unidos	ESI	0	10	60	120	240
Turquía	ESI	0	10	60	120	240
Argentina	MTS	0	10	60	120	240
Paraguay	SET	0	15	30	60	120

Tabla 5.3: Parámetros de simulación como cantidad de pacientes, enfermeras, médicos, careboxes según los estándares de cada país.

Países	Pacientes	Enfermeras	Médicos	Careboxes
España	300	9	8	22
Estados Unidos(US)	100	20	10	30
Reino Unido(UK)	200	20	10	30
Alemania	150	10	6	15
Canadá	70	10	8	20
Emiratos Árabes Unidos	200	15	10	30
Turquía	250	15	8	25
Argentina	50	10	6	20
Paraguay	20	5	4	10

5.3. Experimentos

Utilizando nuestro simulador de emergencias, realizamos 100 simulaciones, cada una con una duración de nueve meses. Modificamos los parámetros de pacientes, médicos, enfermeros/as y careboxes establecidos en el documento de referencia con estándares y recomendaciones para los servicios de urgencias hospitalarias para España [4] y los estándares de los demás países analizados. Estos datos se encuentran en la Tabla 5.2 y Tabla 5.3. Los sustituimos en nuestro simulador como parámetros de entrada para cada país. La distribución del nivel de agudeza de gravedad y otros datos, como la distribución del flujo de pacientes, el tiempo de atención por médico y enfermero/a, el tiempo de triaje, los servicios de imagen y laboratorio, son los datos reales del Hospital Parc Taulí de Sabadell. En todas los datos analizados, el eje x muestra las horas del día y el eje y el tiempo medio de atención del médico desde la llegada al hospital hasta la visita (DtD), expresado en minutos. El valor de cada columna de nivel es el tiempo DtD "máximo" para cada nivel de agudeza (I a V) en cada país. En el nivel I, para todos los países, la atención debe ser inmediata. El valor de la columna paciente representa el número total de pacientes que llegan a urgencias por día en cada país. Las columnas de paciente, enfermero, médico y careboxes son parámetros para la simulación según los estándares de cada país. Los pacientes con nivel de gravedad I no superan el ingreso ni el triaje; acuden directamente al médico. Los pacientes con nivel de gravedad I son muy escasos y no presentan diferencias significativas, por lo que se seleccionaron pacientes con niveles de gravedad II y III.

El primer conjunto de resultados de la simulación se puede ver en las Figuras 5.3, 5.4, 5.5, 5.5; agrupamos cuatro países: (a) España, (b) Estados Unidos, (c) Canadá y (d) Reino Unido. El objetivo es analizar cómo se comportarían los hospitales españoles utilizando los parámetros de los estándares de otros países. Analizamos el nivel de gravedad II para España, Estados Unidos, Canadá y Reino Unido. Para este nivel, el tiempo de triaje estándar para estos países es de 15 minutos para España, 10 minutos para Estados Unidos, 15 minutos para Canadá y 10 minutos para el Reino Unido, como se muestra en la Tabla 5.2.

En la Figura 5.4 se aprecia que que en Estados Unidos, los tiempos de DtD mejoran mucho más que en España Figura 5.3; en promedio, superan el tiempo

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

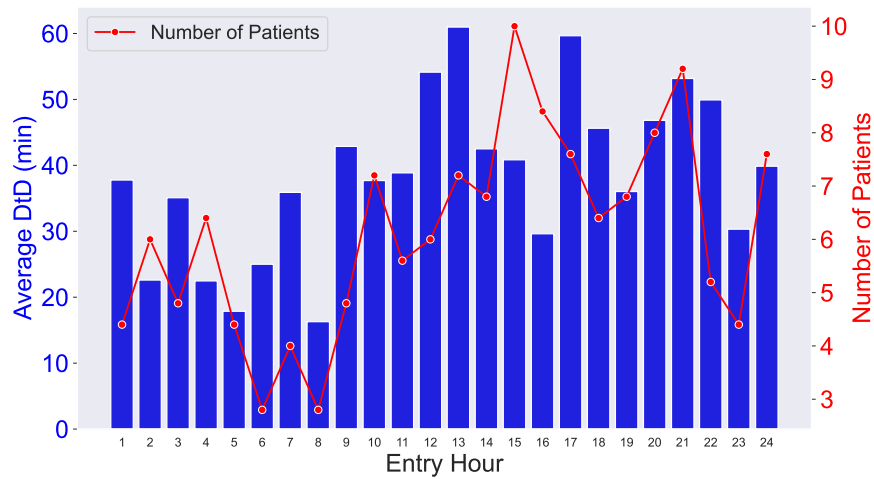


Figura 5.3: Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 2 de España por hora del día

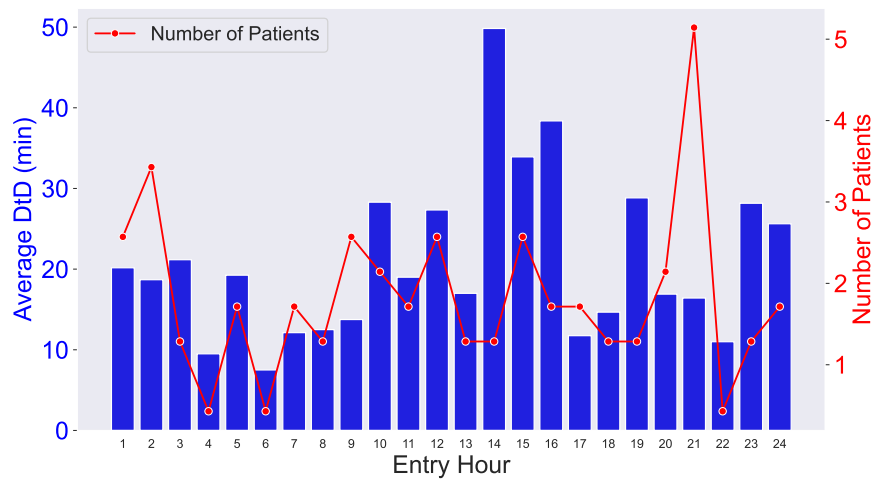


Figura 5.4: Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 2 de Estados Unidos por hora del día

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

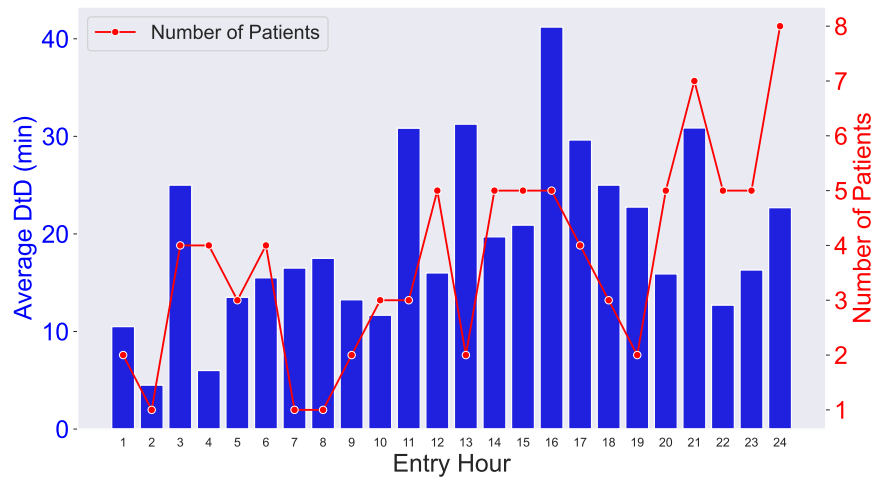


Figura 5.5: Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 2 de Canadá por hora del día

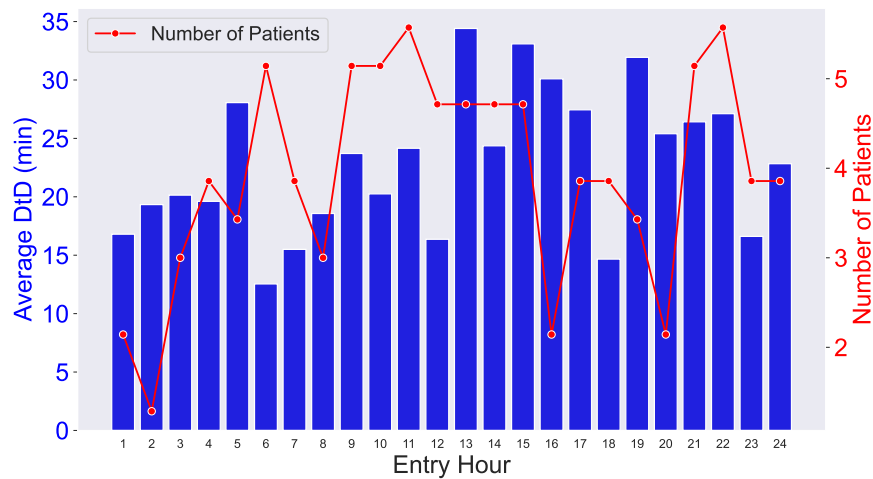


Figura 5.6: Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 2 de Reino Unido por hora del día

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

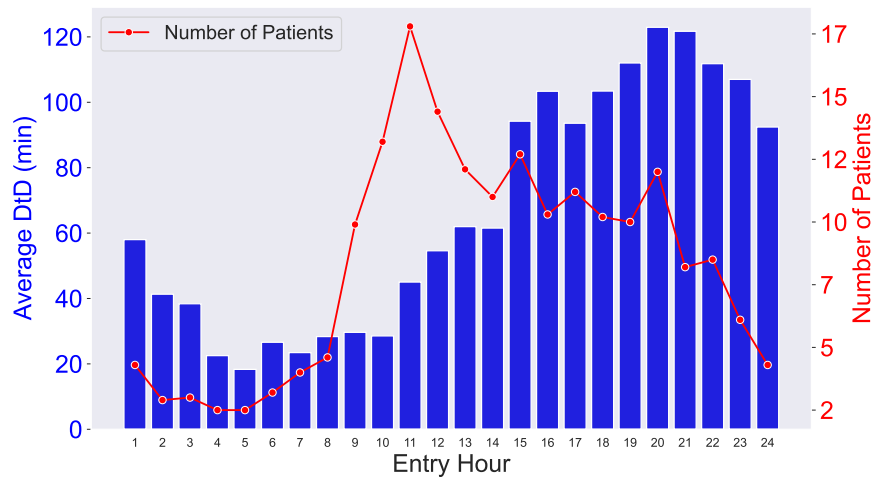


Figura 5.7: Promedio de DtD en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de España

requerido por el estándar de triaje para ese nivel de agudeza. Y el tiempo máximo promedio de DtD es menor que el de España. En la Figura 5.5 puede notarse que, en Canadá, los tiempos de DtD mejoran mucho más que en España Figura 5.3 y, en promedio, superan el tiempo requerido por el estándar de triaje para el nivel de agudeza II. Y el tiempo máximo promedio de DtD es menor que el de España. En la Figura 5.6, los resultados evidencian que en el Reino Unido, utilizando los datos del estándar británico, los tiempos son mejores que los de España Figura 5.3, y el tiempo máximo promedio de DtD es menor que el de España.

Agrupamos 6 países: (a) España, como se aprecia en la Figura 5.7, (b) Argentina, en la Figura 5.8, (c) Paraguay, en la Figura 5.9, (d) Alemania, en la Figura 5.10, (e) Emiratos Árabes Unidos, en la Figura 5.11, y (d) Turquía, en la Figura 5.12. Analizamos el nivel de agudeza III para España, Argentina, Paraguay, Alemania, Emiratos Árabes Unidos y Turquía. Para este nivel de agudeza, el tiempo de triaje estándar para estos países es de 30 minutos para España, 60 minutos para Argentina, 30 minutos para Paraguay, 60 minutos para Alemania, 60 minutos para Emiratos Árabes Unidos y 60 minutos para Turquía, como se muestra en la Tabla 5.2.

En la Figura 5.8 resultados evidencian que en Argentina los tiempos de DtD

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

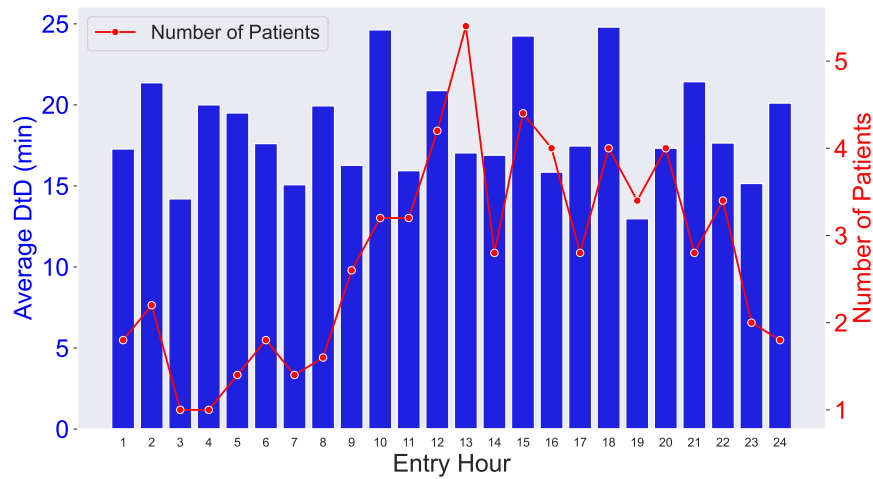


Figura 5.8: Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de Argentina por hora del día

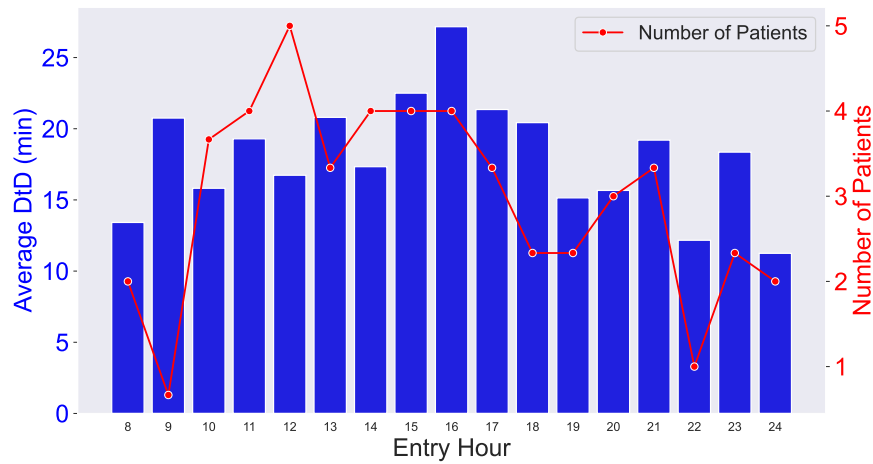


Figura 5.9: Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de Paraguay por hora del día

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

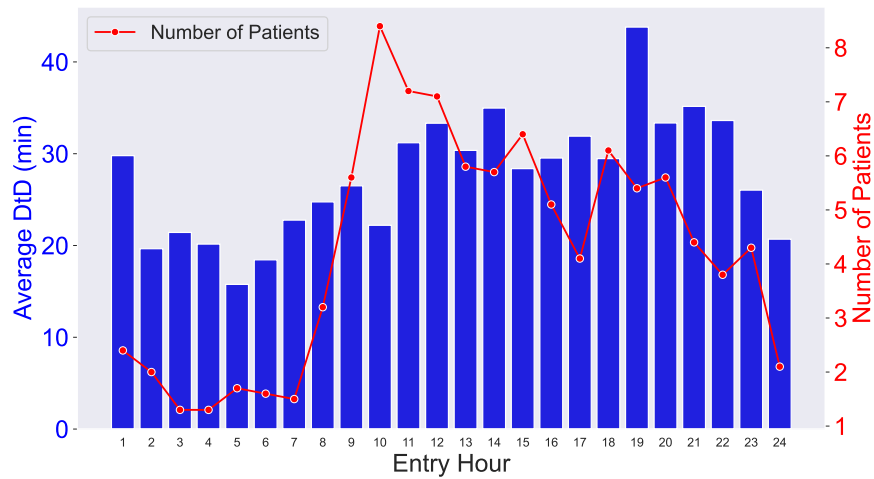


Figura 5.10: Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de Alemania por hora del día

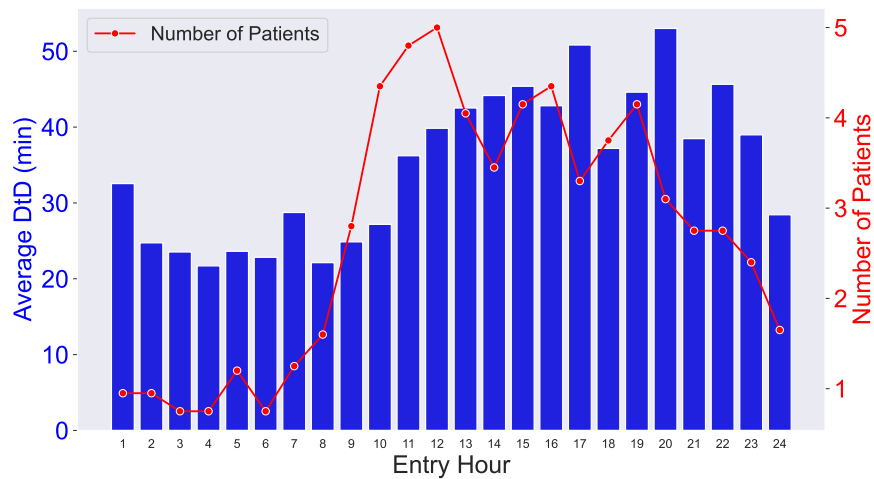


Figura 5.11: Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de Emiratos Árabes Unidos por hora del día

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

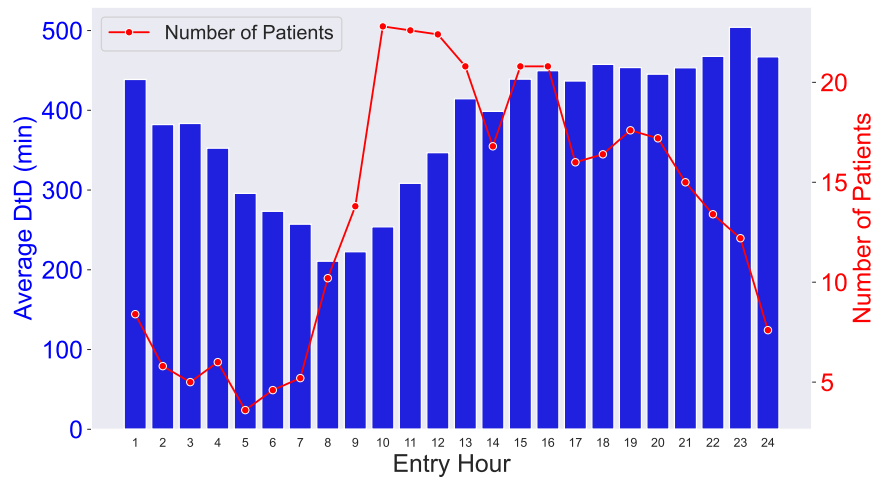


Figura 5.12: Promedio de DtD expresado en minutos para los pacientes con nivel de gravedad 3 de Turquía por hora del día

mejoran mucho más que el de España Figura 5.7 y, de media, superan el tiempo exigido por el estándar de triaje para ese nivel de agudeza. Y el tiempo máximo promedio de DtD es menor que el de España. En la Figura 5.9 se aprecia que en Paraguay los tiempos de DtD mejoran mucho más que en España Figura 5.7 y, de media, superan el tiempo exigido por el estándar de triaje para el nivel de agudeza III. Y el tiempo máximo promedio de DtD es menor que el de España. En el caso de Argentina y Paraguay, siempre cumplen con el tiempo exigido por el estándar de esos países para el nivel de agudeza III, como se puede ver. Se contempla que entre las 4 y las 10 de la mañana, España alcanzó el tiempo de 30 minutos exigido por el estándar.

Se puede examinar que Alemania, Figura 5.10, alcanza el tiempo de DtD requerido por su estándar, que es de 60 minutos, y sus tiempos son mejores que los de España, Figura 5.7. El tiempo máximo promedio de DtD es menor que el de España.

Se aprecia que, en los Emiratos Árabes Unidos donde se representa por la Figura 5.11, los tiempos de DtD se comportan mejor que los de España Figura 5.7 para el nivel de gravedad III. Alcanza el tiempo de DtD requerido por su estándar para todas las horas. Y el tiempo máximo promedio de DtD es menor que el de

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

España. En la Figura 5.12, con los datos del estándar turco, se muestra que los tiempos de DtD son peores que los de España Figura 5.7 en todos los casos. El tiempo máximo promedio de DtD es mucho mayor que el de España. El sistema de triaje utilizado por los Emiratos Árabes Unidos es el ESI, y el utilizado por Turquía también es el ESI, como se muestra en la Tabla 5.2, así como los parámetros utilizados para la simulación, como el número de recursos de pacientes, enfermeras, médicos y careboxes según cada país.

5. LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA DE COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO EL INDICADOR DOOR-TO-DOCTOR DTD

Capítulo 6

Conclusiones, limitaciones del simulador

6.1. Conclusiones

Exploramos diversos usos del simulador a través de un conjunto de escenarios, incluyendo su adaptación para situaciones como pandemias y epidemias, lo que nos permite mostrar su versatilidad para ser utilizado en diferentes áreas y para diversas funciones.

También se ha realizado un análisis de un conjunto de escenarios a partir de un modelo de referencia, siguiendo el documento de estándares y recomendaciones del Ministerio de Sanidad y Política Social de España sobre los servicios de urgencias hospitalarias, con la finalidad de lograr una mejor atención, eficiencia y uniformidad de los servicios de urgencias hospitalarias en el sistema de salud.

Mostramos la evolución de los KPI (LoS, porcentaje de ocupación de médicos, enfermeras, laboratorio, imagen, triaje, admisión) en función de diferentes escenarios como el aumento y envejecimiento de la población, disminución del número de recursos (doctores y enfermeras), aumento de carebox.

El simulador reproduce escenarios realistas de triaje y gestión de flujo de pacientes. Esta investigación presenta un análisis de escenarios mediante modelado y simulación basados en agentes. Examinamos las pirámides de población de España, Argentina y Paraguay entre 2024 y 2039 para comprender cómo la

6. CONCLUSIONES, LIMITACIONES DEL SIMULADOR

estructura demográfica afecta la longitud de la estancia (LoS) de los pacientes en urgencias y la necesidad de personal médico y de enfermería.

Los diferentes escenarios sugieren que la longitud de la estancia (LoS) de los pacientes aumenta con el envejecimiento de la población y disminuye en caso contrario. Esto concuerda con el razonamiento lógico, ya que las poblaciones de mayor edad suelen requerir una atención más compleja y prolongada. Los resultados también muestran que la ocupación de médicos, enfermeras y careboxes de exploración aumenta con la llegada de más pacientes. Dado que España tiene una población ligeramente mayor que los demás países, la duración de la estancia fue ligeramente superior a la de Argentina y Paraguay.

La planificación proactiva a largo plazo es fundamental para predecir cómo cambiará la demanda de servicios de urgencias con el tiempo debido al envejecimiento de la población y otros factores demográficos. La asignación de recursos ayuda a determinar la necesidad futura de personal médico, equipo y suministros, garantizando que los recursos se ajusten a la demanda proyectada.

La simulación puede ayudar a evaluar la capacidad actual de los servicios de urgencias y a decidir si podrán satisfacer las necesidades futuras previstas. Es una herramienta eficaz para predecir y planificar diversos escenarios en los servicios de urgencias, en múltiples contextos o, específicamente, como es el caso de la cambiante pirámide poblacional y el aumento de la llegada de pacientes. Esto incluye evaluar la disponibilidad de camas, personal médico y de enfermería, equipo, suministros y espacio físico. Este enfoque proporciona a los responsables políticos y a los gestores sanitarios información crucial y las herramientas necesarias para planificar y asignar eficazmente los recursos físicos, materiales y humanos, así como los servicios sanitarios, según las necesidades de cada país.

Con la configuración de los datos configurados de los parámetros definidos y no definidos, realizamos 100 simulaciones para cada uno de los casos, cada una con 3 meses de simulación, de las cuales se analizó un conjunto de escenarios. Uno de los análisis llevados a cabo consiste en evaluar cómo se comportarían los hospitales españoles si adoptaran los parámetros establecidos en los estándares de otros países, con el objetivo de analizar la eficiencia del modelo español de urgencias en comparación con estándares de diferentes países, ubicados en zonas

6. CONCLUSIONES, LIMITACIONES DEL SIMULADOR

geográficamente diferentes.

Para ello, se modificaron en el simulador los parámetros como el número de pacientes, el número de médicos, el personal de enfermería y los careboxes, tomando como referencia el documento de estándares y recomendaciones de España y los correspondientes estándares de los países analizados. Estos parámetros se utilizaron como datos de entrada en el modelo de simulación. Mediante dichas simulaciones, se evaluó el funcionamiento del sistema español aplicando los estándares de Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, Turquía, Emiratos Árabes Unidos, Canadá, Argentina y Paraguay, centrándose específicamente en el indicador clave de rendimiento (KPI) Door to Doctor (DtD).

Los resultados en minutos obtenidos muestran que el KPI DtD del sistema español puede mejorar al aplicar como parámetros de entrada los estándares de Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, Emiratos Árabes Unidos, Canadá, Argentina y Paraguay, mientras que se observa un empeoramiento del indicador DtD cuando se utilizan los estándares de Turquía. Estos análisis podrían ayudar a los administradores de los hospitales a comparar estándares de otros países y aplicarlos en el país si se considera que mejoraría el servicio de urgencias al aplicarlo.

Esta investigación podría ayudar a reevaluar el estándar que se utiliza en ese país para que ayude a reducir el tiempo de espera de los pacientes. Podría ayudar a la configuración del cuadro médico, enfermería, camas, dispositivos y gestión del tiempo de espera del paciente a partir de un modelo de referencia.

Con las distintas adaptaciones realizadas, pudimos comprobar la gran utilidad del simulador, el cual permite recrear diversas situaciones que pueden presentarse en el entorno hospitalario. Esto lo convierte en una herramienta de gran valor para los administradores del hospital, facilitando la toma de decisiones y la planificación estratégica.

6.2. Limitaciones del simulador

Una limitación importante es la falta de modelado del impacto clínico de los retrasos, como el deterioro del paciente o aumento del riesgo vital. Se propone, en

6. CONCLUSIONES, LIMITACIONES DEL SIMULADOR

futuras versiones, integrar funciones de riesgo clínico dependientes del tiempo para cada nivel de triaje, basadas en estudios de morbilidad hospitalaria.

Limitaciones médicas del modelo, se deben reconocer ciertas limitaciones en el plano médico-asistencial:

- Ausencia de variables clínicas detalladas: El modelo no incorpora signos, síntomas, parámetros fisiológicos ni resultados analíticos que permitan simular diagnósticos diferenciales o decisiones terapéuticas, lo que limita su aplicación en escenarios clínicos de mayor complejidad.
- No se modelan consecuencias clínicas del retraso en la atención: Aunque el simulador calcula los tiempos de espera y atención, no se ha incorporado una función de deterioro clínico progresivo en función del tiempo. Este aspecto es clave para estimar el riesgo real de morbilidad y mortalidad por demoras asistenciales.
- Simplificación del comportamiento del personal sanitario: El modelo considera dos niveles de experiencia (junior y senior) para el personal, pero no contempla aspectos como el agotamiento, la carga cognitiva o el error humano, que influyen significativamente en contextos de alta presión.
- Generalización de protocolos entre países: La comparación entre estándares internacionales no toma en cuenta diferencias epidemiológicas, culturales o estructurales que pueden influir en la aplicabilidad real de dichos protocolos a contextos distintos del español.

Estas limitaciones abren la puerta a futuras líneas de investigación, orientadas a incorporar componentes fisiopatológicos, simulación de decisiones clínicas basadas en reglas médicas, y la modelización del impacto clínico de las decisiones operativas.

Referencias

- [1] IPS Ingavi dio de alta a sus últimos internados por covid | Unicanal. URL: <https://unicanal.com.py/pais/ips-ingavi-sin-pacientes/>. 40
- [2] La Nación / IPS Ingavi, de nuevo se halla abarrotado de pacientes con covid. URL: https://www.lanacion.com.py/pais_edicion_impresa/2022/02/01/ips-ingavi-de-nuevo-se-halla-abarrotado-de-pacientes-con-covid/. 41
- [3] Population pyramids of the world from 1950 to 2100 - populationpyramid.net. URL: <https://www.populationpyramid.net/>. 108, 110, 112, 117, 121
- [4] Unidad de urgencias hospitalaria estándares y recomendaciones, s.f. URL: <https://www.sanidad.gob.es/areas/calidadAsistencial/excelenciaClinica/docs/UUH.pdf>. 2, 3, 8, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 123, 126, 127, 128
- [5] Sameera Abar, Georgios K. Theodoropoulos, Pierre Lemarinier, and Gregory M. P. O'Hare. Agent based modelling and simulation tools: A review of the state-of-art software. *Computer Science Review*, 24:13–33, May 2017. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574013716301198>. 12, 13, 14
- [6] Manuel Ramón Pérez Abreu, Jairo Jesús Gomez Tejeda, and Ronny Alejandro Dieguez Guach. Características clínico-epidemiológicas de la covid-19. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 19(2):1–15, 2020. URL:

REFERENCIAS

- <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=97798/>. 20
- [7] Jason M Adleberg, Christina L Catlett, Richard E Rothman, Katie Lobner, and Yu-Hsiang Hsieh. Novel applications of agent-based modeling in emergency medicine research—a systematic literature review. *The American journal of emergency medicine*, 35(12):1971, 2017. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5723227/>. 31
- [8] Vanita Ahuja and Lekshmi V Nair. Artificial intelligence and technology in covid era: A narrative review. *Journal of Anaesthesiology, Clinical Pharmacology*, 37(1):28, 2021. URL: https://journals.lww.com/joacp/fulltext/2021/01000/Artificial_Intelligence_and_technology_in_COVID.4.aspx/. 20, 33
- [9] Oguzhan Alagoz, Ajay K Sethi, Brian W Patterson, Matthew Churpek, and Nasia Safdar. Effect of timing of and adherence to social distancing measures on covid-19 burden in the united states: A simulation modeling approach. *Annals of internal medicine*, 174(1):50–57, 2021. URL: <https://www.acpjournals.org/doi/full/10.7326/M20-4096>. 20
- [10] Lucian Liviu Albu, Ciprian Ion Preda, Radu Lupu, Carmen Elena Dobrotă, George Marian Călin, and Claudia M Boghicevici. Estimates of dynamics of the covid-19 pandemic and of its impact on the economy. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 23(2):5–17, 2020. URL: https://ipe.ro/rjef/rjef2_20/rjef2_2020p5-17.pdf. 20
- [11] Yousif AlSerkal, Kalthoom AlBlooshi, Sumaya AlBlooshi, Yasir Khan, Sadaf A. Naqvi, Colin Fincham, and Noor AlMehiri. Triage accuracy and its association with patient factors using emergency severity index: Findings from united arab emirates. *Open Access Emergency Medicine*, 12:427–434, 2020. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.2147/OAEM.S263805>. 127
- [12] Habib Allah Babaei, Masoud Ferdosi, Gholamraza Masoumi, and Fatemeh Rezaei. A comparative study on specialized services in pre-hospital

- emergencias in iran and selected countries. *Journal of Education and Health Promotion*, 12(1):414, 2023. URL: https://journals.lww.com/jehp/fulltext/2023/11270/a_comparative_study_on_specialized_services_in.414.aspx. 24
- [13] Irene Benítez, Martha Torales, Katia Peralta, Chaveli Dominguez, Lorena Grau, Víctor Guillermo Sequera, and Zoilo Morel Ayala. Caracterización clínica y epidemiológica de la epidemia de chikungunya en el Paraguay. *Anales de la Facultad de Ciencias Médicas*, ISSN-e 2313-2841, Vol. 56, Nº. 2, 2023 (Ejemplar dedicado a: ANALES of the Faculty of Medical Sciences), págs. 18-26, 56(2):18–26, 2023. URL: <https://www.acpjournals.org/doi/full/10.7326/M20-4096>. 58
- [14] R Sánchez Bermejo, C Cortés Fadrique, B Rincón Fraile, E Fernández Centeno, S Pena Cueva, and Eva María. Triage in spanish hospitals. *Emergencias*, 25(1):66–70, 2013. URL: https://revistaemergencias.org/wp-content/uploads/2023/09/Emergencias-2013_25_1_66-70_eng.pdf. 23, 125
- [15] Eric Bonabeau. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(suppl 3):7280–7287, 2002. URL: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.082080899>.
- [16] Alberto José Cobo Borrero and Alfonso Vargas Carrillo. Triage en emergencias y desastres en colombia: ¿como, cuando y donde utilizarlo? *Gastrohnap*, 18(3 S2):17–25, 2016. URL: <https://link.gale.com/apps/doc/A586357678/IFME?u=anon~9e429b60&sid=googleScholar&xid=91d366da>.
- [17] Eduardo Cabrera, Emilio Luque, Manel Taboada, Francisco Epelde, and Ma Luisa Iglesias. Abms optimization for emergency departments. In *Proceedings of the 2012 winter simulation conference (WSC)*, pages 1–12. IEEE, 2012. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6465116>.

REFERENCIAS

- [18] Zhongxiang Chen, Zhiquan Shu, Xiuxiang Huang, Ke Peng, and Jiaji Pan. Modelling analysis of covid-19 transmission and the state of emergency in Japan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(13):6858, 2021. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/13/6858>.
- [19] Michael Christ, Florian Grossmann, Daniela Winter, Roland Bingisser, and Elke Platz. Modern triage in the emergency department. *Deutsches Ärzteblatt International*, 107(50):892, 2010. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3021905/>.
- [20] Christine Currie et al. How simulation modelling can help reduce the impact of covid-19. *Journal of Simulation*, 14(2):83–97, 2020. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17477778.2020.1751570>.
- [21] Orhan Cinar, Erdem Cevik, Necati Salman, and Bilgin Cömert. Emergency severity index triage system and implementation experience in a university hospital. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 10(4):156–164, 2010. URL: <https://www.trjemergmed.com/abstract/292>.
- [22] Mohammad Reza Davahli, Waldemar Karwowski, and Redha Taiar. A system dynamics simulation applied to healthcare: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16):5741, 2020. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/16/5741>.
- [23] Marco D’Orazio, Gabriele Bernardini, and Enrico Quagliarini. Sustainable and resilient strategies for touristic cities against covid-19: An agent-based approach. *Safety Science*, 142:105399, 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753521002435>.
- [24] Francisco Epelde. Designing a model for flu propagation in emergency departments. URL: https://personales.upv.es/thinkmind/dl/conferences/simul/simul_2020/simul_2020_2_80_50026.pdf.
- [25] Paula Escudero-Marin and Michael Pidd. Using abms to simulate emergency departments. In *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*

- (WSC), pages 1239–1250. IEEE, 2011. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6147773>.
- [26] Giordano Fava, Tommaso Giovannelli, Mauro Messedaglia, and Massimo Roma. Effect of different patient peak arrivals on an emergency department via discrete event simulation: a case study. *Simulation*, page 00375497211038756, 2021. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/00375497211038756>.
- [27] Marcia R Friesen and Robert D McLeod. A survey of agent-based modeling of hospital environments. *IEEE Access*, 2:227–233, 2014. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6778747>.
- [28] Ramona Galeano, Dolores Rexachs, Alvaro Wong, Eva Bruballa, Cynthia Villalba, Diego Galeano, and Emilio Luque. Simulation of the emergency department management during the pandemic. *International Journal on Advances in Systems and Measurements*, 16(1 and 2):80–90, jun 2023. URL: https://personales.upv.es/thinkmind/dl/journals/sysmea/sysmea_v16_n12_2023/sysmea_v16_n12_2023_8.pdf.
- [29] Ramona Galeano, Alvaro Wong, Dolores Rexachs, Remo Suppi, Eva Bruballa, Francisco Epelde, and Emilio Luque. Analysis and prediction of emergency department scenarios from the reference model. 1, 2024. URL: <https://womencourage.acm.org/2024/wp-content/uploads/2024/06/womencourage2024-posters-final196.pdf>.
- [30] Ramona Galeano, Alvaro Wong, Dolores Rexachs, Remo Suppi, Eva Bruballa, Francisco Epelde, and Emilio Luque. Preliminary comparison of different eds performance, using simulation. In *International Conference on Computational Science*, pages 11–18. Springer, 2025. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-97635-3>.
- [31] Ramona Galeano, Alvaro Wong, Dolores Rexachs, Remo Suppi, Eva Bruballa, Francisco Epelde, and Emilio Luque Fadón. Impact of the population pyramid on the emergency department. *Journal of Computer Science & Technology*,

REFERENCIAS

- 25, 2025. URL: <https://journal.info.unlp.edu.ar/JCST/article/view/3501/1969>.
- [32] Ramona Elizabeth Galeano Galeano, Dolores Isabel Rexachs del Rosario, Alvaro Wong Gonzalez, Eva Brugada, Cynthia Emilia Villalba Cardozo, Diego Ariel Galeano Galeano, and Emilio Luque Fadón. An agent-based model for the management of the emergency department during the covid-19 pandemic. *The Fourteenth International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL)*, pages 54–62, Oct 2022. URL: https://personales.upv.es/thinkmind/dl/conferences/simul/simul_2022/simul_2022_1_100_50046.pdf.
- [33] Ciro Braulio Estrada García, Idoneida Recio Fornaris, Rolando Vega Torres, Yusel Mariuska Collejo Rosabal, and Dania Martínez Orozco. Comportamiento clínico epidemiológico de la covid-19. *Multimed*, 24(4), 2020. URL: <https://revmultimed.sld.cu/index.php/mtm/article/view/1993>.
- [34] Nicki Gilboy, Paula Tanabe, Debbie Travers, and Alexander M. Rosenau. *Emergency severity index (ESI): A triage tool for emergency department care, version 4. Implementation handbook, 2012 edition*. Agency for Healthcare Research and Quality, Rockville, MD, 2011. URL: https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-HE20_6500-PURL-gpo23161/pdf/GOVPUB-HE20_6500-PURL-gpo23161.pdf.
- [35] Cecilia Jaramillo, Dolores Rexachs, Francisco Epelde, and Emilio Luque. Virtual clinical trials: A tool for the study of transmission of nosocomial infections. *Procedia Computer Science*, 108:109–118, 2017. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917308736>.
- [36] Cristian Jiménez Romero, Adela Tisnés, and Santiago Linares. Simulation model agent-based covid-19: application to the argentine case. 2020. URL: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/107719>.
- [37] Spencer S Jones and R Scott Evans. An agent based simulation tool for scheduling emergency department physicians. In *AMIA Annual Symposium*

- Proceedings*, volume 2008, page 338. American Medical Informatics Association, 2008. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2656074/>.
- [38] Tamsin Jones, Ramon Z Shaban, and Debra K Creedy. Practice standards for emergency nursing: An international review. *Australasian Emergency Nursing Journal*, 18(4):190–203, 2015. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574626715000828>.
- [39] Young Jin Kim and Pyung-Hoi Koo. Effectiveness of testing and contact-tracing to counter covid-19 pandemic: designed experiments of agent-based simulation. In *Healthcare*, volume 9, page 625. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2021. URL: <https://www.mdpi.com/2227-9032/9/6/625>.
- [40] Marek Laskowski, Robert D McLeod, Marcia R Friesen, Blake W Podaima, and Attahiru S Alfa. Models of emergency departments for reducing patient waiting times. *PloS one*, 4(7):e6127, 2009. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0006127>.
- [41] Jules Le Lay, Vincent Augusto, Xiaolan Xie, Edgar Alfonso-Lizarazo, Bienvenu Bongue, Thomas Celarier, Regis Gonthier, and Malek Masmoudi. Impact of covid-19 epidemics on bed requirements in a healthcare center using data-driven discrete-event simulation. In *2020 Winter Simulation Conference (WSC)*, pages 771–781. IEEE, 2020. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9384093>.
- [42] María Angélica Leguizamón. Covid-19 el visitante inesperado. *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*, 18(2):3–5, 2020. URL: <https://scielo.iics.una.py/pdf/iics/v18n2/1812-9528-iics-18-02-3.pdf>.
- [43] Zhengchun Liu, Eduardo Cabrera, Manel Taboada, Francisco Epelde, Dolores Rexachs, and Emilio Luque. Quantitative evaluation of decision effects in the management of emergency department problems. *Procedia Computer Science*,

REFERENCIAS

- 51:433–442, 2015. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091501073X>.
- [44] Zhengchun Liu, Dolores Rexachs, Emilio Luque, Francisco Epelde, and Eduardo Cabrera. Simulating the micro-level behavior of emergency department for macro-level features prediction. In *2015 Winter Simulation Conference (WSC)*, pages 171–182. IEEE, 2015. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7408162>.
- [45] Vania Cristina Chica Londoño. Triage in the intoxicated patient. *Revista Argentina de Medicina*, 11(4):345–348, 2023. URL: <https://revistasam.com.ar/index.php/RAM/article/view/901>.
- [46] Charles Macal and Michael North. Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. In *Proceedings of the winter simulation conference 2014*, pages 6–20. IEEE, 2014. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7019874>.
- [47] Kevin Mackway-Jones, Janet Marsden, and Jill Windle. *Emergency triage: Manchester triage group*. John Wiley & Sons, 2013. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118299029>.
- [48] Mohammad Hossein Mehrolhassani, Anahita Behzadi, and Elaheh Asadipour. Key performance indicators in emergency department simulation: a scoping review. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 33(1):15, 2025. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13049-024-01318-7>.
- [49] Mirta Mesquita, Viviana Pavlicich, and Carlos Luaces. El sistema español de triaje en la evaluación de los neonatos en las urgencias pediátricas. *Revista chilena de pediatría*, 88(1):107–112, 2017. URL: https://www.scielo.cl/pdf/rcp/v88n1/en_art08.pdf.
- [50] Sun-Hee Moon, Jae Lan Shim, Keun-Sook Park, and Chon-Suk Park. Triage accuracy and causes of mistriage using the korean triage and acuity scale. *PloS*

- one*, 14(9):e0216972, 2019. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0216972>.
- [51] Robert Moss et al. Coronavirus disease model to inform transmission-reducing measures and health system preparedness, Australia. *Emerging infectious diseases*, 26(12):2844, 2020. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7706956/>.
- [52] MS Narassima, Guru Rajesh Jammy, Rashmi Pant, Lincoln Choudhury, R Aadharsh, Vijay Yeldandi, SP Anbuudayasankar, P Rangasami, and Denny John. An agent based model for assessing spread and health systems burden for covid-19 in rangareddy district, telangana state, india. *medRxiv*, 2020. URL: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.04.20121848v4>.
- [53] Dung Minh Nguyen. *A risk analysis framework for nosocomial influenza infection using agent-based simulation*. PhD thesis, Doctoral Thesis, Tokyo Tech Research Repository. 2014, July 28th. URL: <https://t2r2.star.titech.ac.jp/rrws/file/CTT100693389/ATD100000413/>.
- [54] Toni G McCallum Pardey. The clinical practice of emergency department triage: application of the australasian triage scale—an extended literature review: part i: evolution of the ats. *Australasian Emergency Nursing Journal*, 9(4):155–162, 2006. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574626706000991>.
- [55] Joonbum Park and Taeho Lim. Korean triage and acuity scale (ktas). *Journal of The Korean Society of Emergency Medicine*, 28(6):547–551, 2017. URL: <https://www.jksem.org/journal/view.php?number=2180>.
- [56] Dawn Peta, Alison Day, Walter Sergio Lugari, Vanessa Gorman, Vientiane Melchizedek T Pajo, et al. Triage: A global perspective. *Journal of emergency nursing*, 49(6):814–825, 2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0099176723002143>.

REFERENCIAS

- [57] Jesse M Pines, Joshua A Hilton, Ellen J Weber, Annechien J Alkemade, Hasan Al Shabanah, Philip D Anderson, Michael Bernhard, Alessio Bertini, André Gries, Santiago Ferrandiz, et al. International perspectives on emergency department crowding. *Academic Emergency Medicine*, 18(12):1358–1370, 2011. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1553-2712.2011.01235.x>.
- [58] Jonathan M Read, Jessica RE Bridgen, Derek AT Cummings, Antonia Ho, and Chris P Jewell. Novel coronavirus 2019-ncov: early estimation of epidemiological parameters and epidemic predictions. *MedRxiv*, 2020. URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2020.0265>.
- [59] RA Ribeiro, EN Baungratz, G Vaccaro, PS Schmitz, AK Fernandes, V Colpani, and M Falavigna. Factors influencing door-to-doctor time in an emergency department: discrete event simulation model. *Value in Health*, 19(7):A624, 2016. URL: [https://www.valueinhealthjournal.com/article/S1098-3015\(16\)32963-1/fulltext](https://www.valueinhealthjournal.com/article/S1098-3015(16)32963-1/fulltext).
- [60] Héctor Eduardo Sánchez Vargas, Luis Alberto Taramona Ruiz, Amyrsa Salgado Rodríguez, Maribel Huatuco Lozano, and Fernando Castillo Picón. Simulation of scenarios to predict the behavior of covid-19 in peru. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 20(6):e4394, 2021. URL: <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v20n6/1729-519X-rhcm-20-06-e4394.pdf>.
- [61] Natalia Romero Sandoval, Ivette Valcárcel, Héctor Javier Sánchez Pérez, Miguel Martín Mateo, et al. *Principios de epidemiología: Tasas y estandarización, análisis poblacionales y muestrales*. Bubok, 2015. URL: https://books.google.com/books/about/Principios_de_Epidemiolog{í}a_Tasas_y_est.html?hl=es&id=u7a1CgAAQBAJ.
- [62] Dana R Sax, E Margaret Warton, Dustin G Mark, David R Vinson, Mamata V Kene, Dustin W Ballard, Tina J Vitale, Katherine R McGaughey, Aaron Beardsley, Jesse M Pines, et al. Evaluation of version 4 of the emergency severity index in us emergency departments for the rate of mistriage. *JAMA*

- Network Open*, 6(3):e233404–e233404, 2023. URL: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2802556>.
- [63] Daniel Aragón Suárez, M^a Ángeles Rivera Vizcaino, and M^a del Mar Cañas Ante. Recepción, acogida y clasificación de pacientes. URL: <https://enfermeriadeurgencias.com/wp-content/uploads/2024/08/rac.pdf>.
- [64] Manel Taboada, Eduardo Cabrera, Ma Luisa Iglesias, Francisco Epelde, and Emilio Luque. An agent-based decision support system for hospitals emergency departments. *Procedia Computer Science*, 4:1870–1879, 2011. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050911002614>.
- [65] Elisabetta Venturini, Carlotta Montagnani, Silvia Garazzino, Daniele Donà, Luca Pierantoni, Andrea Lo Vecchio, Giangiacomo Nicolini, Sonia Bianchini, Andrzej Krzysztofiak, Luisa Galli, et al. Treatment of children with covid-19: position paper of the italian society of pediatric infectious disease. *Italian journal of pediatrics*, 46(1):1–11, 2020. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13052-020-00900-w>.
- [66] Uri Wilensky and William Rand. *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*. Mit Press, 2015. URL: <https://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/4/reviews/2.pdf>.
- [67] Christopher P Zabbo, Katy E Welzbacher, MBA Lynne Rivard, and Peter F Graves. The extinction of triage. *Rhode Island Medical Journal*, 98(6):30, 2015. URL: <http://www.rimed.org/rimedicaljournal/2015/06/2015-06-17-em-complete.pdf#page=16>.
- [68] Masoomeh Zeinalnezhad, Abdoulmohammad Gholamzadeh Chofreh, Feybi Ariani Goni, Jiri Jaromir Klemes, and Emelia Sari. Simulation and improvement of patients’ workflow in heart clinics during covid-19 pandemic using timed coloured petri nets. *International journal of environmental research and public health*, 17(22):8577, 2020. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/22/8577>.

REFERENCIAS

- [69] Xiang Zhang. Application of discrete event simulation in health care: a systematic review. *BMC health services research*, 18(1):1–11, 2018. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12913-018-3456-4>.

Apéndice

.1. Nomenclatura utilizada

Triage:

Proceso de clasificación inicial de los pacientes según la gravedad y urgencia de atención requerida en el servicio de urgencias hospitalarias.

Door-to-Doctor (DtD):

Tiempo entre la llegada del paciente al servicio de urgencias y su primera valoración por un médico.

Length of Stay (LoS):

Duración total de la estancia del paciente en urgencias, desde su llegada hasta el alta o ingreso.

Carebox:

Espacio individual de atención en el área de urgencias.

Algunas gráficas de distribución normal realizadas:

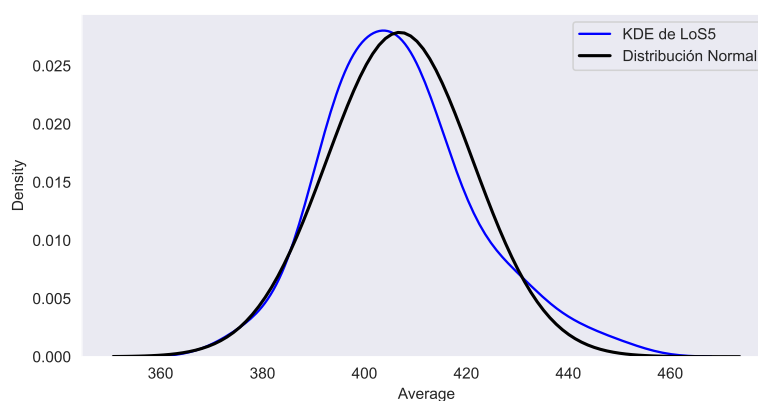


Figura 1: Normal distribution of LoS5 de las 100 simulaciones.

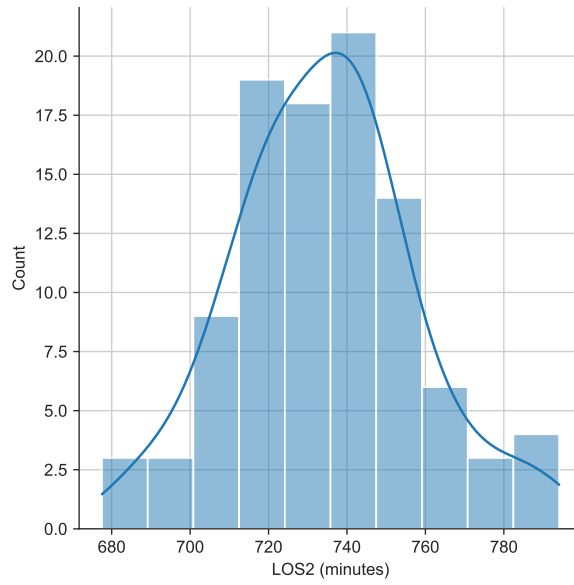


Figura 2: Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 2 (LoS2) expresado en minutos de las 100 simulaciones.

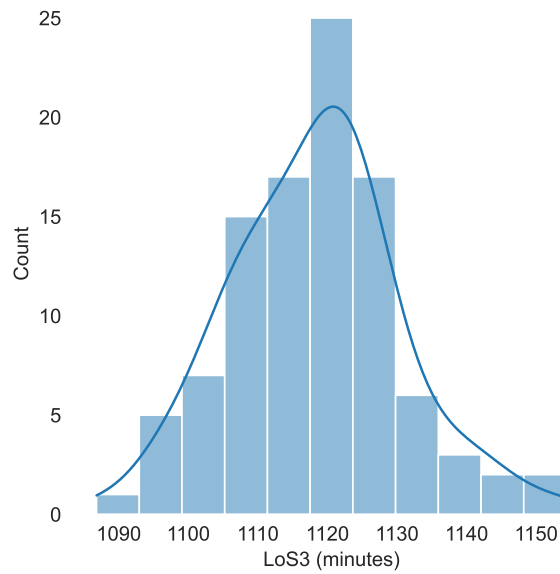


Figura 3: Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 3 (LoS3) expresado en minutos de las 100 simulaciones.

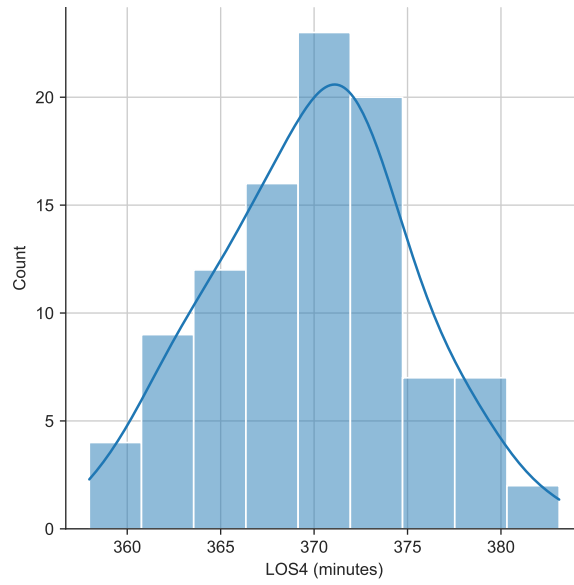


Figura 4: Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 4 (LoS4) expresado en minutos de las 100 simulaciones.

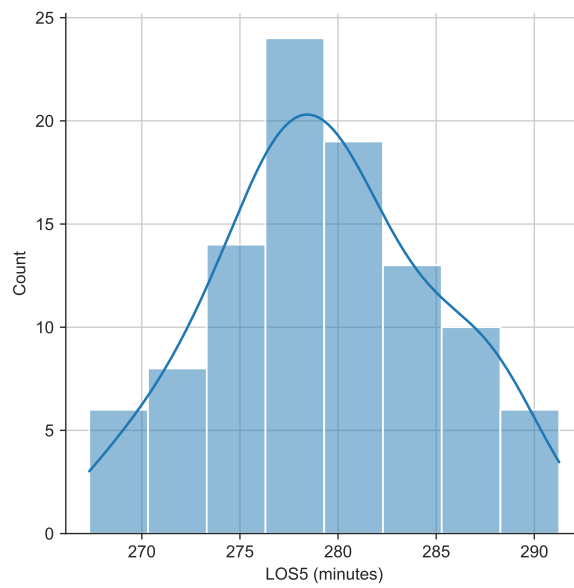


Figura 5: Distribución normal de la duración de la estancia para el nivel de gravedad 5 (LoS5) expresado en minutos de las 100 simulaciones.