



Universitat Autònoma de Barcelona

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:  http://cat.creativecommons.org/?page_id=184

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:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

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>



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

Escola d'Enginyeria

Departament d'Arquitectura de
Computadors i Sistemes Operatius

**Programación de la admisión de pacientes no críticos
en un Servicio de Urgencias Hospitalarias**

Memoria presentada por **Eva Bruballa Vilas** para optar al grado de Doctora por la Universitat Autònoma de Barcelona. Este trabajo ha sido desarrollado bajo la dirección del doctor **Emilio Luque Fadón** en el Departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos de la Escuela de Ingeniería.

Bellaterra, Junio de 2017

Programación de la admisión de pacientes no críticos en un Servicio de Urgencias Hospitalarias

Tesis Doctoral presentada por **Eva Bruballa Vilas** para optar al grado de Doctora por la Universitat Autònoma de Barcelona. Este trabajo ha sido desarrollado en el Departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos de la Escuela de Ingeniería de la Universitat Autònoma de Barcelona, dentro del Programa de Doctorado en Informática RD-99/2011 bajo la dirección del doctor **Emilio Luque Fadón**.

Director de Tesis

Autora

Emilio Luque Fadón

Eva Bruballa Vilas

Bellaterra, Junio de 2017

*“Si pudiera vivir nuevamente mi vida,
en la próxima trataría de cometer más errores.
No intentaría ser tan perfecto, me relajaría más.
Sería más tonto de lo que he sido,
de hecho tomaría muy pocas cosas con seriedad.*

*... Si pudiera volver atrás trataría
de tener solamente buenos momentos.
Por si no lo saben, de eso está hecha la vida,
sólo de momentos; no te pierdas el ahora”.*

Jorge Luis Borges, Don Herold o Nadine Stair, qué más da...

Agradecimientos

Sin duda alguna, si tengo que agradecer a alguien el estar ahora escribiendo estas líneas es a Emilio. No sólo porque ha sido la persona que ha dirigido este trabajo sin dudar en ningún momento de que llegaría a su fin, sino también porque ya hace muchos años que depositó su confianza en mí y me inició y guio en mi carrera profesional. Seguramente porque hace ya tanto tiempo que me conoce, ha sabido cómo convencerme, una y otra vez, de que no debía tirar la toalla y seguir adelante, y eso que no se lo he puesto fácil. Desde el primer momento me he sentido acompañada y he recibido su apoyo a nivel tanto académico como emocional. Tu dedicación y paciencia conmigo ha sido infinita.

Álvaro ha sido la segunda pieza clave en el éxito de este trabajo. Su tenacidad, su apoyo y su optimismo no han faltado en ningún momento. Sin su contribución y sus consejos este trabajo no hubiera sido posible. Siempre animándome y guiándome tanto en la dirección como en el sentido. Y para sentido, su sentido del humor, siempre presente también. Me ha gustado mucho conocerte y espero no perderte de vista en adelante.

Lola completa el engranaje. Me ha acompañado también desde el principio y sus aportaciones, sus preguntas y consejos me han ayudado mucho en todo el recorrido. Tu cercanía, tu comprensión y tu empatía me han hecho sentir como parte de una pequeña familia, de la que han formado también una parte muy importante Liu y, sobretodo Cecilia, mi compañera de viaje en este periplo.

Qué decir de Cecilia, encantadora y sobretodo buenísima persona. Echaré de menos sus historias, me encanta escucharlas y me encanta su manera de explicarlas. Espero reencontrarme de nuevo contigo y con tu familia, ya sea a este lado o al otro del océano.

Al resto de compañeros del departamento, con los que he coincidido en las celebraciones de cumpleaños y demás festividades, discretamente organizadas por la siempre sonriente Pilar, o en las comidas o cenas propuestas por Emilio, también me ha encantado conocerlos. Creo que no he recibido tantos besos nunca, al llegar, al marchar, siempre alguien me recibía o despedía con un par de besos. Gracias también por esos besos.

Otra persona indispensable en este trabajo ha sido el doctor Francisco Epelde. Aunque todos hemos sido usuarios de urgencias más de una vez, nadie conoce como él los detalles del servicio. Pacientemente, siempre ha escuchado y respondido a todas nuestras preguntas en esas reuniones de mesa redonda en el Taulí. La investigación no se hubiera podido llevar a cabo sin su colaboración, su experiencia y sus aportaciones.

También debo un agradecimiento al apoyo recibido desde las Escuelas Universitarias Gimbernat y Tomàs Cerdà y a mis compañeros de trabajo. A Manel por su experiencia, apoyo y acompañamiento al inicio del camino. A Francesc, a M^{re} Jesús, a Nuri, a Gerard a Joan, a Josep y a Mercè por su interés y también por sus ánimos constantes. Y en especial a Miquel, que además de mi compañero de despacho es un buen amigo y mi particular y paciente confesor en esos momentos grises en los que necesitas sencillamente a alguien que te escuche. Gràcies per escoltar-me i intentar entendre'm sempre que ho he necessitat.

Le toca a Octavio, el máximo sufridor de esta historia y de todas las demás de mi vida. Siempre ahí, para lo bueno y para lo no tan bueno. Ya acostumbrado a convivir con mis otras compañeras de viaje, la inseguridad y la duda, siempre en mi maleta, pero mucho más pesada durante estos últimos años. Él encuentra las palabras adecuadas para hacerme reflexionar, ver las cosas de otro color o darme el pequeño empujón para seguir adelante

cuando lo necesito. Gracias por entenderme casi sin tener que explicarme y por estar a mi lado en esta y todas las demás aventuras que compartimos. La más emocionante de todas, la que compartimos también con nuestros hijos, Ana y David.

A ellos, mi mejor regalo, también quiero dedicarles unas palabras en este texto, aunque no creo que las palabras suplan todo el tiempo que he dejado de dedicarles durante estos años, sobretodo éste último. Quizás dentro de unos años alguno de ellos se embarque en algo similar, y quizás entonces lo puedan entender mejor. En cualquier caso creo que, a su manera, lo han entendido y me han apoyado.

Emilio y Manolita también han jugado un papel muy importante en este trayecto, y muy probablemente sin saberlo. Esos abuelos siempre dispuestos y disponibles, sin más. Discretos pero presentes en todo momento. La logística familiar sin vosotros hubiera sido caótica muchos días. Gracias por estar ahí, tan cerca siempre.

El último agradecimiento se lo debo a mis padres. Ellos sí que siempre han estado ahí. A ellos es a quien debo agradecer haber llegado hasta aquí, y ser como y quien soy. Gracias por vuestro esfuerzo, vuestro trabajo, vuestra dedicación y vuestro acompañamiento incondicional en todo lo que he hecho.

Y, por supuesto, el camino hubiera sido mucho más cuesta arriba sin esos cafés de puesta al día con Eli, esas comidas y conversaciones profundas con Sara, esos ratos distendidos y las risas de los lunes en el Mut con Pau, Zara, Xavi, Núria, Sara, Arnau, Laia, Roser, Anna, Andrés y todos los que se unían a nosotros. Y, por supuesto, tampoco sin mi mayor válvula de escape, el swing, esa música que me hace bailar, escuchar, cantar, disfrutar, gozar, compartir y, sobretodo, no pensar en nada más... *"It don't mean a thing, if it ain't got that swing"* (Duke Ellington). Así que, gracias también a Duke Ellington y a todos los grandes del swing y el jazz.

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (MINECO), proyecto TIN2014-53172-P.

A Josefina, mi madre.

RESUMEN

El aumento de la esperanza de vida, el crecimiento progresivo del envejecimiento y un mayor número de enfermedades crónicas son hechos que contribuyen significativamente a la creciente demanda de atención médica de urgencia y, consecuentemente, en muchas ocasiones, a la saturación de los Servicios de Urgencias Hospitalarias (SUH). Teniendo en cuenta además las limitaciones en los recursos disponibles, esta situación de riesgo constante de saturación de los SUH es uno de los problemas actuales más importantes en los sistemas sanitarios de todo el mundo, dado que a menudo se traduce en tiempos de estancia excesivos de los pacientes en el servicio y, consecuentemente, genera insatisfacción.

Los resultados presentados en este trabajo pretenden contribuir en la mejora de la calidad de la atención prestada en los SUH. Se propone un método para tratar de reducir el tiempo total de estancia de los pacientes en el servicio, a través de un modelo para la planificación de la llegada de pacientes no críticos al mismo. El modelo se basa en la caracterización detallada del sistema en cuanto a su capacidad de atención y al número de pacientes en asistencia en cada hora de forma dinámica. El uso de la simulación nos permite obtener conocimiento del comportamiento del sistema a través de la predicción de los tiempos de espera de los pacientes para una situación o escenario concreto, determinado por el modo en que llegan los pacientes al servicio y los recursos de personal sanitario disponibles.

Una primera aportación de la investigación es la definición de un modelo analítico para el cálculo del rendimiento teórico de una determinada configuración de personal sanitario. Proporcionamos un método analítico para el cálculo del número de pacientes que pueden ser atendidos por unidad de tiempo, conocida la composición del personal sanitario, respecto al número de médicos y enfermeras, a su nivel de experiencia y al tipo de asistencia prestada. La validación del modelo analítico propuesto se basa en datos generados por simulación del sistema real. El modelo de simulación del sistema es un modelo basado en agentes que permite tener en cuenta diferentes configuraciones del personal sanitario válidas y diferente número de pacientes que ingresan al servicio. El objetivo de esta primera parte de la investigación es evaluar la capacidad de respuesta del personal sanitario a la demanda del servicio, en función de la configuración de médicos, enfermeras, personal de admisión y triaje, y del modelo de flujo de pacientes a lo largo del servicio. No sería viable validar el modelo para las diferentes situaciones posibles en el sistema real. Esta es la razón principal por la que utilizamos la simulación para obtener la información necesaria para la validación del modelo.

La segunda aportación de la investigación que presentamos es la definición de un modelo para la planificación de la llegada de pacientes no críticos al servicio, a través de su redistribución respecto al patrón de entrada inicialmente previsto por los datos del histórico del hospital. El modelo analítico previo proporciona una medida de la capacidad de respuesta a la atención del paciente del sistema que será una referencia para llevar a cabo dicha redistribución. Hemos podido comprobar la eficacia del modelo de planificación propuesto basándonos en la información de los datos reales aportados por el Hospital de Sabadell, como hospital de referencia, y utilizando la simulación para poder valorar el resultado de su aplicación.

Las aportaciones descritas de esta investigación ofrecen a los gestores de los SUH nuevo conocimiento sobre el comportamiento del servicio, que puede ser relevante en la toma de decisiones, respecto a la mejora de la calidad del servicio, de gran interés teniendo en cuenta la previsión de la creciente demanda esperada en un futuro muy cercano.

RESUM

L'augment de l'esperança de vida, el creixement progressiu de l'envelliment i un major nombre de malalties cròniques són fets que contribueixen significativament a la creixent demanda d'atenció mèdica d'urgència i, conseqüentment, en moltes ocasions, a la saturació dels Serveis d'Urgències Hospitalàries (SUH). Tenint en compte a més les limitacions en els recursos disponibles, aquesta situació de risc constant de saturació dels SUH és un dels problemes actuals més importants en els sistemes sanitaris de tot el món, donat que sovint es tradueix en temps d'estada excessius dels pacients en el servei i, conseqüentment, genera insatisfacció.

Els resultats presentats en aquest treball pretenen contribuir en la millora de la qualitat de l'atenció prestada en els SUH. Es proposa un mètode per reduir el temps total d'estada dels pacients en el servei, a través d'un model per a la planificació de l'arribada de pacients no crítics al servei. El model es basa en la caracterització detallada del sistema respecte a la seva capacitat d'atenció i al nombre de pacients en assistència a cada hora de forma dinàmica. L'ús de la simulació ens permet obtenir coneixement del comportament del sistema amb la predicció del temps d'espera dels pacients per a una situació o escenari concret, determinat per la manera en què arriben els pacients al servei i els recursos de personal sanitari disponibles.

Una primera aportació de la investigació és la definició d'un model analític per al càlcul del rendiment teòric d'una determinada configuració de personal sanitari. Es proporciona un mètode analític per al càlcul del nombre de pacients que poden ser atesos per unitat de temps, coneguda la composició del personal sanitari, pel que fa al nombre de metges i infermeres, al seu nivell d'experiència i al tipus d'assistència prestada. La validació del model analític proposat es basa en dades generades per simulació del sistema real. El model de simulació del sistema és un model basat en agents que permet tenir en compte diferents configuracions del personal sanitari vàlides i diferent nombre de pacients que ingressen al servei. L'objectiu d'aquesta primera part de la investigació és avaluar la capacitat de resposta del personal sanitari a la demanda del servei, en funció de la configuració de metges, infermeres, personal d'admissió i triatge, i del model de flux de pacients al llarg del servei. No seria viable validar el model per a les diferents situacions possibles en el sistema real. Aquesta és la raó principal per la qual utilitzem la simulació per obtenir la informació necessària per a la validació del model.

La segona aportació de la investigació que presentem és la definició d'un model per a la planificació de l'arribada de pacients no crítics al servei, a través de la seva redistribució respecte al patró d'entrada inicialment previst per les dades de l'històric de l'hospital. El model analític previ proporciona una mesura de la capacitat de resposta a l'atenció del pacient del sistema que serà una referència per dur a terme aquesta redistribució. Hem pogut comprovar l'eficàcia del model de planificació proposat basant-nos en la informació de les dades reals aportades per l'Hospital de Sabadell, com a hospital de referència, i utilitzant la simulació per poder valorar el resultat de la seva aplicació.

Les aportacions descrites d'aquesta investigació ofereixen als gestors dels SUH nou coneixement sobre el comportament del servei, que pot ser rellevant en la presa de decisions, respecte a la millora de la qualitat del servei, de gran interès tenint en compte la previsió de la creixent demanda esperada en un futur molt proper.

ABSTRACT

The increase in life expectancy, the progressive growth of aging and a greater number of chronic diseases are factors that contribute significantly to the growing demand for urgent medical care and, consequently, in many cases, to the saturation of the Emergency Departments (ED). Taking into account also the limitations on available resources, this constant risk of ED saturation is one of the most important current problems in health systems around the world, since it often results in an excessive length of stay of patients in the service and, consequently, generates dissatisfaction.

The results presented in this study aim to contribute to the improvement of the quality of care provided in EDs. We propose a method to try to reduce the total length of stay of the patients in the service, through a model for planning the arrival of non-critical patients to it. The model is based on the detailed characterization of the system in terms of its attention capacity and the number of patients attending each hour dynamically. The use of the simulation allows us to obtain knowledge about the behavior of the system through the prediction of patient waiting times for a specific situation or scenario, determined by the way patients arrive at the service and the available sanitary staff resources.

A first contribution of the research is the definition of an analytical model for the calculation of the theoretical throughput of a certain sanitary staff configuration. We provide an analytical method for the calculation of the number of patients that can be attended per unit of time, for a specific composition of medical staff, concerning the number of doctors and nurses, their level of experience and the type of care provided. The validation of the proposed analytical model is based on data generated by simulation of the real system. The system simulation model is an agent-based model that allows taking into account different valid staff configurations and different number of patients entering the service. The objective of this first part of the research is to evaluate the responsiveness of sanitary staff to service demand, depending on the configuration of doctors, nurses, admission and triage personnel, and the model of patient flow throughout the service. It would not be feasible to validate the model for the different possible situations in the real system. This is the main reason why we use simulation to obtain the necessary information for the model validation.

The second contribution of the research that we present is the definition of a model for scheduling the admission of non-critical patients into the service, by their redistribution with respect to the input pattern initially foreseen by the hospital's historical data. The previous analytical model provides a way to measure the responsiveness of the system to patient's care, which will be a reference for carrying out such redistribution. We have been able to verify the effectiveness of the proposed scheduling model based on the information of the actual data provided by the *Hospital de Sabadell*, as reference hospital, and using the simulation to assess the results of its application.

The described research contributions offer the ED managers new knowledge about the behavior of the service, which may be relevant in decision making, regarding the improvement of service quality, of a great interest taking into account the expected growing demand of the service in a very near future.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: Introducción	1
1.1 Contexto y motivación.....	1
1.2 Planteamiento del problema. Hipótesis.....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	5
1.4 Metodología.....	6
1.5 Estructura de la memoria.....	9
CAPÍTULO II: Estado del arte y antecedentes	13
2.1 Trabajos relacionados.....	13
2.2 Funcionamiento del Servicio de Urgencias Hospitalarias.....	17
2.2.1 Fases del proceso de atención.....	17
2.2.2 Personal sanitario.....	20
2.3 El modelo conceptual del SUH.....	21
2.3.1 Modelado basado en agentes.....	22
2.3.2 Modelo de flujo de pacientes.....	23
2.4 El simulador del SUH.....	25
2.4.1 Funcionalidad del simulador del SUH.....	26
2.4.2 El simulador del SUH en trabajos previos.....	27
CAPÍTULO III: Modelo para el cálculo de la capacidad del sistema	29
3.1 Introducción.....	29
3.2 Determinación de indicadores del comportamiento del sistema.....	31
3.2.1 Tiempo de atención al paciente (PaT).....	32
3.2.2 Tiempo total de estancia en el servicio (LoS).....	36
3.2.3 Tiempo total de espera (LoW).....	37
3.2.4 Longitud de cola de espera (WQL).....	38
3.2.5 Utilización de los recursos de personal sanitario ($Ocupación$).....	38
3.3 Modelo analítico para el cálculo de la capacidad del sistema.....	39
3.3.1 Capacidad teórica de atención del sistema.....	39
3.3.2 Modelo de flujo de pacientes para la fase de diagnóstico y tratamiento (Área B).....	42
3.3.3 Ecuaciones del modelo.....	43
3.4 Diseño y resultados de los experimentos para la validación del modelo.....	48
3.4.1 Configuraciones de personal sanitario consideradas.....	48
3.4.2 Selección de indicadores para la validación.....	50

3.4.3	Resultados de simulación para la fase de admisiones.....	51
3.4.4	Resultados de simulación para la fase de triaje.....	56
3.4.5	Resultados de simulación para la fase de diagnóstico y tratamiento (Área B).....	59
3.4.6	Resumen de resultados.....	66
CAPÍTULO IV: Modelo para la programación de la admisión de pacientes no críticos		71
4.1	Introducción.....	71
4.2	Visión general del modelo.....	72
4.3	Caracterización del Estado del Sistema.....	74
4.4	Método para la reubicación de pacientes no críticos.....	80
4.4.1	Búsqueda de horas críticas y horas de reubicación.....	87
4.4.2	Restricciones para la reubicación de pacientes.....	87
4.4.3	Actualización del Estado del Sistema.....	88
4.5	Sistema de recomendación.....	91
4.5.1	Tabla de programación de citas.....	91
4.5.2	Política de asignación de citas.....	92
4.5.3	Reubicación dinámica de pacientes.....	94
4.6	Experimentación y resultados.....	96
4.6.1	Diseño de los experimentos.....	96
4.6.2	Resultados para el caso de estudio A.....	98
4.6.3	Resultados para el caso de estudio B.....	104
4.6.4	Resultados para el caso de estudio C.....	109
4.6.5	Resultados para el caso de estudio D.....	115
4.6.6	Resultados para el caso de estudio E.....	126
4.6.7	Resumen de resultados y discusión.....	132
CAPÍTULO V: Conclusiones y líneas abiertas		147
5.1	Conclusiones.....	147
5.2	Lista de publicaciones.....	150
5.3	Líneas abiertas.....	151
Referencias bibliográficas		155

Índice de figuras

CAPÍTULO I

Figura 1.1	Porcentaje de pacientes según nivel de urgencia (Histórico de datos del año 2014 del Hospital de Sabadell).....	4
Figura 1.2	Data-Intensive Scientific Discovery.....	6
Figura 1.3	Patrón de entrada de pacientes por hora y día de la semana (Histórico de datos del año 2014 del Hospital de Sabadell).....	6
Figura 1.4	Patrón de entrada de pacientes no críticos (Histórico de datos del año 2014 del Hospital de Sabadell).....	7
Figura 1.5	De los datos generados por simulación, al conocimiento y a la acción...	7

CAPÍTULO II

Figura 2.1	Fases del proceso de atención en un Servicio de Urgencias Hospitalarias.....	18
Figura 2.2	Modelo de flujo de pacientes en el servicio.....	23
Figura 2.3	Ejemplo de configuración de personal sanitario trabajando en paralelo.....	23

CAPÍTULO III

Figura 3.1	PaT promedio por hora para pacientes del Área B (nivel 4 y 5) según el tipo de atención requerida.....	33
Figura 3.2	Histograma de frecuencias del PaT para los pacientes directos.....	35
Figura 3.3	Histograma de frecuencias del PaT para los pacientes de test.....	35
Figura 3.4	Histograma de frecuencias del PaT para los pacientes de tratamiento..	35
Figura 3.5	Histograma de frecuencias del PaT para todos los pacientes.....	36
Figura 3.6	Diagrama de flujo de pacientes para la fase de diagnóstico y tratamiento.....	43
Figura 3.7	Número de veces que los pacientes tipo 4 y 5 son visitados por el médico en la fase de diagnóstico y tratamiento (Histórico de datos del Hospital de Sabadell).....	45
Figura 3.8	Porcentaje de ocupación del personal de la fase de admisiones correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.....	52

Figura 3.9	Evolución temporal del <i>WQL</i> para la fase de admisiones correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.....	53
Figura 3.10	Porcentaje de ocupación del personal de la fase de admisiones correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.....	55
Figura 3.11	Evolución temporal del <i>WQL</i> para la fase de admisiones correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.....	55
Figura 3.12	Porcentaje de ocupación del personal de la fase de triaje correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.....	57
Figura 3.13	Evolución temporal del <i>WQL</i> para la fase de triaje correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.....	57
Figura 3.14	Porcentaje de ocupación del personal de la fase de triaje correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.....	58
Figura 3.15	Evolución temporal del <i>WQL</i> para la fase de triaje correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.....	59
Figura 3.16	Porcentaje de ocupación del personal médico en la etapa de diagnóstico del Área B correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.....	60
Figura 3.17	Evolución temporal del <i>WQL</i> para la atención médica en la etapa de diagnóstico del Área B correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.....	61
Figura 3.18	Porcentaje de ocupación del personal médico en la etapa de diagnóstico del Área B correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.....	62
Figura 3.19	Evolución temporal del <i>WQL</i> para la atención médica en la etapa de diagnóstico del Área B correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.....	62
Figura 3.20	Porcentaje de ocupación de enfermeros/as asistenciales en la etapa de tratamiento del Área B correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.....	64
Figura 3.21	Evolución temporal del <i>WQL</i> para la etapa de tratamiento (enfermeros/as) del Área B correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.....	64

Figura 3.22	Porcentaje de ocupación de enfermeros/as asistenciales en la etapa de tratamiento del Área B correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.....	65
Figura 3.23	Evolución temporal del <i>WQL</i> para la etapa de tratamiento (enfermeros/as) del Área B correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.....	65
CAPÍTULO IV		
Figura 4.1	Visión general del modelo para la programación de la admisión de pacientes no críticos en el SUH.....	73
Figura 4.2	Diagrama de flujo para la determinación del Estado del Sistema (SS)....	77
Figura 4.3	Representación gráfica del SS para un input correspondiente a un lunes según el histórico de datos del Hospital de Sabadell.....	79
Figura 4.4	Identificación de hora inicial, horas críticas y pacientes susceptibles de reubicación para un límite de reubicación de 16 pacientes por hora.....	85
Figura 4.5	Diagrama de flujo del método para la reubicación de pacientes no críticos en el SUH.....	86
Figura 4.6	Esquema ejemplo de reubicación de pacientes bajo restricciones, para una hora crítica concreta, consecuente propagación de los pacientes reubicados por test o tratamiento y actualización correspondiente del Estado del Sistema.....	90
Figura 4.7	Sistema de recomendación al paciente no crítico para su admisión en el SUH.....	93
Figura 4.8	Reubicación dinámica de pacientes.....	95
Figura 4.9	Captura de la interfaz de usuario del simulador del SUH.....	97
Figura 4.10	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio A sin reubicación de pacientes.....	101
Figura 4.11	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio A con reubicación de pacientes.....	101
Figura 4.12	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio A sin reubicación de pacientes.....	102
Figura 4.13	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio A con reubicación de pacientes.....	102
Figura 4.14	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio A sin reubicación de pacientes.....	103

Figura 4.15	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio A con reubicación de pacientes.....	103
Figura 4.16	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio B sin reubicación de pacientes.....	106
Figura 4.17	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio B con reubicación de pacientes.....	106
Figura 4.18	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio B sin reubicación de pacientes.....	107
Figura 4.19	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio B con reubicación de pacientes.....	107
Figura 4.20	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio B sin reubicación de pacientes.....	108
Figura 4.21	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio B con reubicación de pacientes.....	108
Figura 4.22	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario C1 correspondiente al caso de estudio C sin reubicación de pacientes.....	112
Figura 4.23	LoW y PaT de los Pacientes Directos para los escenarios C1 y C2 correspondientes al caso de estudio C con reubicación de pacientes....	112
Figura 4.24	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario C1 correspondiente al caso de estudio C sin reubicación de pacientes.....	113
Figura 4.25	LoW y PaT de los Pacientes de Test para para los escenarios C1 y C2 correspondientes al caso de estudio C con reubicación de pacientes....	113
Figura 4.26	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario C1 correspondiente al caso de estudio C sin reubicación de pacientes.....	114
Figura 4.27	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para para los escenarios C1 y C2 correspondientes al caso de estudio C con reubicación de pacientes.....	114
Figura 4.28	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 sin reubicación de pacientes.....	118
Figura 4.29	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 con reubicación de pacientes.....	118
Figura 4.30	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 sin reubicación de pacientes.....	119

Figura 4.31	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 con reubicación de pacientes.....	119
Figura 4.32	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 sin reubicación de pacientes.....	120
Figura 4.33	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 con reubicación de pacientes.....	120
Figura 4.34	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 sin reubicación de pacientes.....	123
Figura 4.35	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 con reubicación de pacientes.....	123
Figura 4.36	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 sin reubicación de pacientes.....	124
Figura 4.37	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 con reubicación de pacientes.....	124
Figura 4.38	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 sin reubicación de pacientes.....	125
Figura 4.39	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 con reubicación de pacientes.....	125
Figura 4.40	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio E sin reubicación de pacientes.....	129
Figura 4.41	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio E con reubicación de pacientes (sin generación de huecos).....	129
Figura 4.42	LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio E con generación de huecos para la reubicación.....	129
Figura 4.43	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio E sin reubicación de pacientes.....	130

Figura 4.44	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio E con reubicación de pacientes (sin generación de huecos).....	130
Figura 4.45	LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio E con generación de huecos para la reubicación.....	130
Figura 4.46	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio E sin reubicación de pacientes.....	131
Figura 4.47	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio E con reubicación de pacientes (sin generación de huecos).....	131
Figura 4.48	LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio E con generación de huecos para la reubicación.....	131
Figura 4.49	Caso de estudio A: Entrada de pacientes sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes.....	134
Figura 4.50	Caso de estudio B: Entrada de pacientes sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes.....	136
Figura 4.51	Caso de estudio C: Entrada de pacientes sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes para el escenario C1.....	139
Figura 4.52	Caso de estudio D (Escenario D1): Entrada de pacientes con 17 pacientes más por accidente en la hora 9 sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes.....	141
Figura 4.53	Caso de estudio D (Escenario D2): Entrada de pacientes con 17 pacientes más por accidente en la hora 13 sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes.....	142
Figura 4.54	Caso de estudio E: Entrada de pacientes sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes.....	144

Índice de tablas

CAPÍTULO I

Tabla 1.1	Clasificación de los pacientes según su nivel de urgencia (Sistema Español de Triage).....	4
-----------	--	---

CAPÍTULO III

Tabla 3.1	Media y desviación estándar del PaT de los pacientes no críticos de la muestra analizada según el tipo de atención requerida.....	34
Tabla 3.2	Throughput teórico para cada fase del proceso del SUH correspondiente a la configuración de personal I.....	49
Tabla 3.3	Throughput teórico para cada fase del proceso del SUH correspondiente a la configuración de personal II.....	49
Tabla 3.4	Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de Admisiones de la CP I para todos los escenarios simulados.....	66
Tabla 3.5	Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de Admisiones de la CP II para todos los escenarios simulados.....	67
Tabla 3.6	Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de Triage de la CP I para todos los escenarios simulados.....	67
Tabla 3.7	Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de Triage de la CP II para todos los escenarios simulados.....	68
Tabla 3.8	Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal médico del Área B de la CP I para todos los escenarios simulados.....	68
Tabla 3.9	Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal médico del Área B de la CP II para todos los escenarios simulados.....	69
Tabla 3.10	Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de enfermería del Área B de la CP I para todos los escenarios simulados.....	69
Tabla 3.11	Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de enfermería del Área B de la CP II para todos los escenarios simulados.....	70

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1	Valores medios estimados para el PaT según tipo de atención requerida.....	76
Tabla 4.2	Ejemplo de determinación del Estado del Sistema (SS) para un input correspondiente a un lunes según el histórico de datos del Hospital de Sabadell.....	78
Tabla 4.3	Generación de huecos dentro de la distancia límite de reubicación para los pacientes de las horas críticas a reubicar.....	82
Tabla 4.4	Actualización completa del SS después de la reubicación.....	89
Tabla 4.5	Ejemplo de Tabla de Programación de Citas.....	91
Tabla 4.6	Distribución de entrada de pacientes para cada caso de estudio (Input Histórico).....	96
Tabla 4.7	Caso de estudio A: Cálculo del SS y resultado de la reubicación de pacientes.....	99
Tabla 4.8	Caso de estudio A: Tabla de Programación de Citas.....	100
Tabla 4.9	Caso de estudio B: Cálculo del SS y resultado de la reubicación de pacientes.....	104
Tabla 4.10	Caso de estudio B: Tabla de Programación de Citas.....	105
Tabla 4.11	Caso de estudio C: Cálculo del SS y resultado de la reubicación de pacientes.....	109
Tabla 4.12	Caso de estudio C: Tabla de Programación de Citas.....	110
Tabla 4.13	Caso de Estudio D: Distribución de entrada de pacientes (Input Histórico).....	115
Tabla 4.14	Escenario D1: Tabla de Programación de Citas antes del accidente.....	116
Tabla 4.15	Escenario D1: Actualización del SS contemplando el accidente.....	116
Tabla 4.16	Escenario D1: Tabla de Programación de Citas después del accidente y correspondiente entrada de pacientes programada.....	117
Tabla 4.17	Escenario D2: Tabla de Programación de Citas antes del accidente.....	121
Tabla 4.18	Escenario D2: Actualización del SS contemplando el accidente.....	121
Tabla 4.19	Escenario D2: Tabla de Programación de Citas después del accidente y correspondiente entrada de pacientes programada.....	122

Tabla 4.20	Caso de estudio E: Cálculo del SS y resultado de la reubicación de pacientes.....	127
Tabla 4.21	Caso de estudio E: Tabla de Programación de Citas (Reubicación sin generación de huecos).....	127
Tabla 4.22	Caso de estudio E: Tabla de Programación de Citas (Reubicación con generación de huecos).....	128
Tabla 4.23	Caso de estudio A: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el LoW por reubicación de pacientes.....	133
Tabla 4.24	Caso de estudio B: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el LoW por reubicación de pacientes.....	135
Tabla 4.25	Caso de estudio C: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el LoW después de la reubicación de pacientes para el Escenario C1.....	137
Tabla 4.26	Caso de estudio C: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el LoW por reubicación de pacientes para el Escenario C2.....	138
Tabla 4.27	Caso de estudio D: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el LoW por reubicación de pacientes (Escenario D1).....	140
Tabla 4.28	Caso de estudio D: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el LoW por reubicación de pacientes (Escenario D2).....	140
Tabla 4.29	Caso de estudio E: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el LoW por reubicación de pacientes.....	143

CAPÍTULO I

Introducción

1.1 Contexto y motivación

Los Servicios de Urgencias Hospitalarias (SUH) son una de las unidades más importantes del sistema sanitario y la principal vía de ingreso del paciente al hospital. El funcionamiento del servicio es el resultado de la interacción entre los diferentes elementos que lo componen, y su dinamismo y variabilidad en el tiempo, hacen que se trate de una de las áreas más complejas del sistema.

La modelización y simulación de sistemas reales complejos, tal como los SUH, es una de las herramientas más poderosas disponibles para su descripción. Transforma fenómenos complejos observados en modelos conceptuales que a su vez se formulan en algoritmos que se pueden ejecutar para obtener predicciones y estimar parámetros. Esto genera una comprensión adicional del fenómeno y conduce a modelos más específicos del mismo. Proporciona una mejor comprensión de su funcionamiento y de la actividad de sus elementos, y facilita la toma de decisiones para establecer estrategias para el funcionamiento óptimo del sistema [1] [2] [3].

El objetivo final de la modelización y simulación de un sistema real es encontrar conocimiento adicional del mismo mediante el desarrollo de procesos de inferencia

sobre las variables de interés del sistema con el fin de hacer predicciones sobre el comportamiento de estas variables en diferentes condiciones, en base a la información obtenida de los datos generados por la simulación [4].

Esta investigación se ha llevado a cabo en colaboración con un equipo de profesionales médicos del servicio de urgencias del Hospital de Sabadell¹, nuestro hospital de referencia y uno de los hospitales más importantes de España, que presta servicio sanitario a una área de influencia de 500.000 personas, y admite en su SUH un promedio de 160.000 pacientes por año.

Los sistemas informatizados de los hospitales proporcionan cada vez más datos reales, y el análisis exhaustivo de estos datos proporciona nuevo conocimiento útil en la toma de decisiones, respondiendo, en muchos casos, a las necesidades de los gestores del SUH. Pero, por razones éticas, de coste o de tiempo, no siempre las nuevas propuestas o políticas de acción para la mejora del servicio pueden ponerse a prueba en el sistema real. En esos casos, los datos necesarios para la obtención de información y conocimiento sobre el efecto de esas nuevas políticas no están disponibles directamente del sistema real. La modelización y simulación del sistema real puede ser la solución para la obtención de los datos necesarios para el análisis cuando ciertas propuestas de mejora no pueden probarse en el sistema real.

Como resultado de investigación previa llevada a cabo dentro de nuestro grupo de investigación², se ha desarrollado un modelo de simulación del SUH basado en un modelo de agentes (ABM, Agent-Based Modeling), que ha sido implementado, validado y sintonizado con datos históricos reales del Hospital de Sabadell, referentes a los pacientes atendidos a lo largo de todo un año [5] [6].

El simulador del SUH representa en nuestro estudio al sistema real, ya que, una vez validado, replica la realidad, pero es, de hecho, un sistema virtual donde podemos experimentar sin afectar al funcionamiento normal del sistema real. Nos permite ejecutar la simulación para diferentes escenarios según distintos patrones de entrada

¹ Parc Taulí Hospital Universitari. Institut d'Investigació i Innovació Parc Taulí I3PT.

² High Performance Computing for Efficient Applications and Simulations Research Group (HPC4EAS-UAB).

de pacientes y diferentes configuraciones de personal sanitario posibles. De esta manera tenemos la capacidad de adquirir conocimiento y hacer predicciones sobre el comportamiento del SUH para diferentes situaciones a través de la simulación.

La idea de partida de nuestra investigación es entender el simulador como replicador de la realidad para simular cualquier situación posible en el sistema real y utilizarlo como fuente de datos parametrizable para la obtención de información y nuevo conocimiento sobre el comportamiento del sistema real [7].

1.2 Planteamiento del problema. Hipótesis.

Actualmente, dada la creciente demanda de atención médica urgente, debida en gran parte al envejecimiento de la población y al aumento de la cronicidad, la gestión de los SUH es cada vez más importante, y en particular, cómo gestionar el incremento en la entrada de pacientes es uno de los problemas más importantes en los SUH en todo el mundo, ya que requiere de una cantidad de recursos humanos y materiales considerable, que desafortunadamente suelen ser limitados, así como un alto grado de coordinación entre ellos [8] [9].

Una de las principales consecuencias del incremento en la entrada de pacientes es la saturación del servicio [10]. Esta saturación provoca largos tiempos de espera de los pacientes en las diferentes etapas o fases a su paso por el servicio, en los peores casos superior al tiempo de atención dedicado al paciente, siendo el tiempo total de estancia en el mismo muy por encima de lo deseable. Esta situación provoca una insatisfacción general entre los pacientes, usuarios del servicio, y se traduce en una percepción de empeoramiento de la calidad del servicio recibido, además del abandono de pacientes sin recibir atención, y un acceso limitado a la atención urgente [11].

Es un hecho que el porcentaje más alto de pacientes que acuden al servicio de urgencias corresponde a pacientes con niveles de urgencia más bajos, pacientes clasificados como tipo 4 o 5 en el Sistema Español de Triage (SET) basado en el

Modelo Andorrano de Triage (MAT), la escala de prioridad y urgencia que se aplica en los hospitales españoles [12] [13] (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Clasificación de los pacientes según su nivel de urgencia (Sistema Español de Triage).

TRIAJE	TIPO DE ATENCIÓN	DESCRIPCIÓN
NIVEL 1	REANIMACIÓN	Condición de salud extrema que amenaza la vida. Requiere ATENCIÓN INMEDIATA.
NIVEL 2	EMERGENCIA	Condición de salud que amenaza la vida. Requiere ATENCIÓN PRIORITARIA PERO NO INMEDIATA.
NIVEL 3	URGENCIA	Condición aguda no amenazante de vida. Requiere VALORACIÓN NO INMEDIATA.
NIVEL 4	URGENCIA MENOR	Condición aguda no amenazante de vida. Requiere VALORACIÓN DIFERIDA.
NIVEL 5	NO URGENTE	Condición sintomática no amenazante de vida. NO REQUIERE ATENCIÓN URGENTE. CONSULTA EXTERNA.

Datos reales del Hospital de Sabadell corroboran que la mayoría de los pacientes que acuden al servicio, son de carácter no urgente o de urgencia menor (no críticos), más de un 60% del total de los pacientes tal como muestran los resultados del análisis estadístico de estos datos en la Figura 1.1. Por tanto, su necesidad del servicio no es inmediata y se podría posponer, sin afectar esto a su empeoramiento.

Si estos pacientes no críticos tuvieran información sobre en qué momento es más recomendable acudir al servicio, en función del tiempo de espera estimado, y se les diera una alternativa, dando por hecho que pueden esperar, muy probablemente lo harían en los momentos en que las esperas se previeran menores.

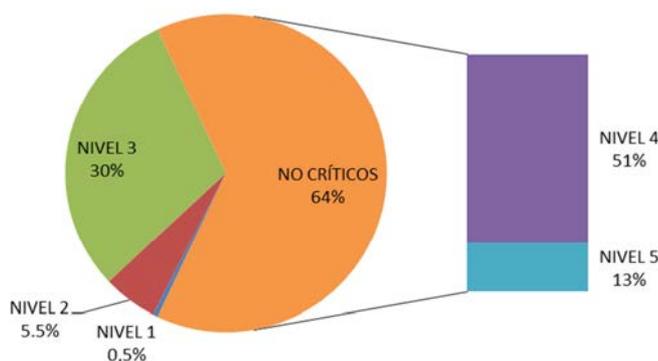


Figura 1.1 Porcentaje de pacientes según nivel de urgencia. (Histórico de datos del año 2014 del Hospital de Sabadell)

Nuestro trabajo parte de la hipótesis de que un modelo que permita la programación de la llegada al servicio de estos pacientes no críticos, de tal manera que suponga una adaptación de la entrada de los pacientes en el servicio respecto al patrón de entrada inicialmente previsto por los datos históricos reales, ajustando el flujo de pacientes de acuerdo con la capacidad teórica de atención del sistema a razón de los recursos de personal sanitario disponibles, puede llevar a una mejora en los tiempos de espera de los pacientes usuarios del servicio, y por lo tanto, a una mejora en la calidad de la atención prestada desde el punto de vista del paciente que lo recibe.

1.3 Objetivos de la investigación

Dado este contexto, como objetivo general de la investigación nos proponemos desarrollar una metodología que permita mejorar la calidad de la atención prestada en un Servicio de Urgencias Hospitalario, tratando de disminuir los tiempos de estancia de los pacientes en el mismo, a través de un modelo para la programación de la admisión de los pacientes no críticos en el servicio.

Este objetivo general se concreta en los siguientes objetivos específicos:

- Determinar indicadores adecuados de comportamiento del sistema que nos permitan evaluar el efecto del modelo propuesto.
- Caracterizar el sistema respecto a la demanda de atención en cada momento para cada escenario posible y determinar la capacidad de respuesta de la configuración de personal sanitario a esa demanda de atención.
- Desarrollar un sistema que permita una programación de la admisión de los pacientes no críticos al servicio, de acuerdo con su capacidad de respuesta a la atención, y analizar su efecto en la calidad del servicio prestado a través de la predicción por simulación del tiempo de espera de los pacientes.

El simulador nos permitirá evaluar el efecto de la aplicación del modelo, y validar la efectividad del mismo, a partir del análisis de los datos generados por simulación para la obtención de los valores de los indicadores o variables de interés, como, por ejemplo, del tiempo de estancia de los pacientes en el SUH.

1.4 Metodología

El planteamiento metodológico inicial de esta investigación se apoya en el llamado cuarto paradigma científico [14] en el cual la exploración de los datos, ya sea capturados a través de instrumentos físicos o generados a través de la simulación, se lleva a cabo computacionalmente, desde su almacenamiento hasta su procesamiento y análisis, con el objetivo final de extraer la información que contienen y generar conocimiento basado en esta información. Jim Gray [15] lo postuló como una nueva manera o metodología de hacer ciencia, y se refería a ello como *Data-Intensive Scientific Discovery* (Figura 1.2).



Figura 1.2 Data-Intensive Scientific Discovery.

Los datos de partida de nuestro estudio provienen del histórico de datos del Hospital de Sabadell. De este histórico, y como resultado de un análisis estadístico completo de los mismos, obtenemos, entre otra, la información relativa a la manera en que llegan los pacientes al servicio. De este análisis se desprende el patrón real de entrada de pacientes (número medio de pacientes que entran en cada hora del día, los 7 días de la semana) que se representa en la Figura 1.3. Clasificados éstos por nivel, concretamente para los pacientes de nivel 4 y 5, aquellos identificados como no críticos, se representa el patrón correspondiente de entrada en la Figura 1.4.

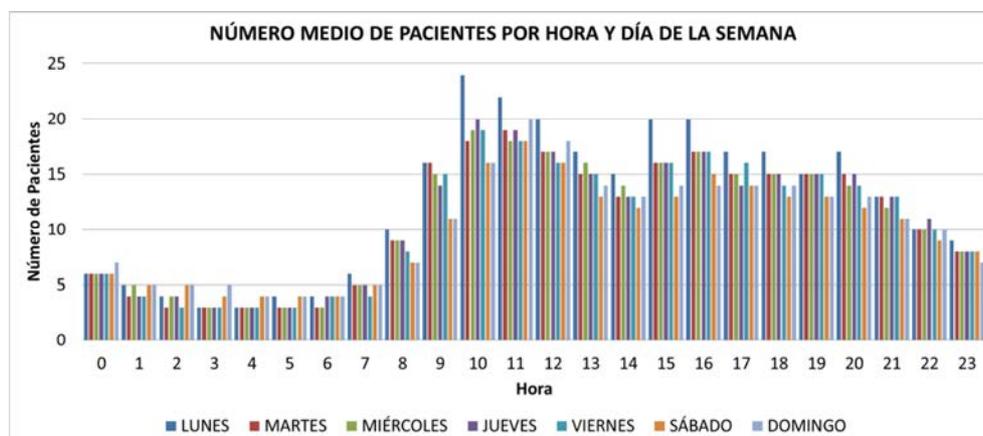


Figura 1.3 Patrón de entrada de pacientes por hora y día de la semana. (Histórico de datos del año 2014 del Hospital de Sabadell)

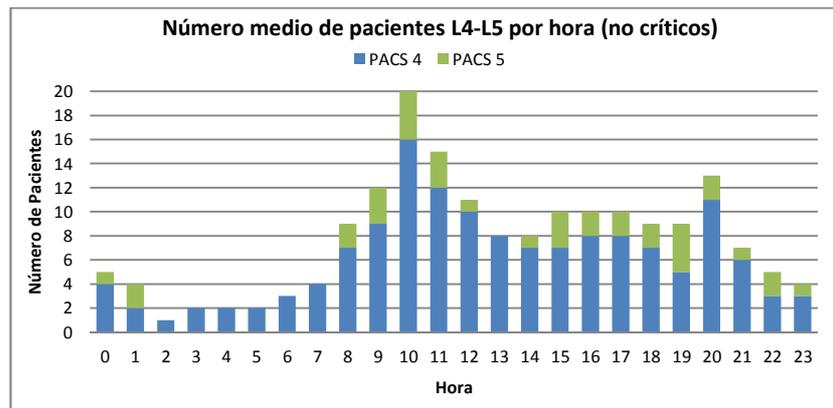


Figura 1.4 Patrón de entrada de pacientes no críticos.
(Histórico de datos del año 2014 del Hospital de Sabadell)

Por otra parte, una determinada configuración del personal sanitario del SUH, que está formada por los correspondientes médicos, enfermeras y personal de admisión y triaje, teniendo en cuenta no sólo el número sino también su nivel de experiencia, determinará la capacidad teórica de atención del sistema, que entendemos como el número de pacientes que esa configuración, por su composición, es capaz de atender teóricamente.

El patrón de entrada de pacientes y la configuración del personal sanitario son los parámetros que especifican un determinado escenario del SUH en el simulador. Por tanto una vez determinados estos parámetros, podemos lanzar la simulación, que nos va a generar datos referentes al escenario simulado. A partir del análisis de estos datos podemos obtener la información y el conocimiento deseado, siguiendo el esquema postulado por Jim Gray (Figura 1.5).

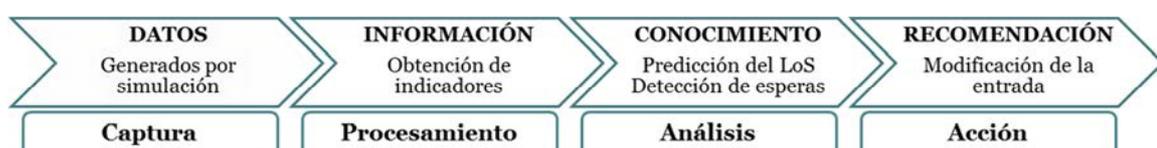


Figura 1.5 De los datos generados por simulación, al conocimiento y a la acción.

Así, los datos generados por la simulación, una vez procesados, a través del cálculo de los indicadores deseados, se transforman en información. Esta información se

torna a su vez en conocimiento cuando se le da un significado concreto. Y finalmente ese conocimiento puede concretarse en una propuesta o acción para la mejora del sistema [16].

En nuestro caso la acción propuesta se concreta en una recomendación al paciente no crítico sobre el momento más adecuado para desplazarse al servicio. Nuestra hipótesis de partida plantea que una redistribución adecuada de la entrada de pacientes podría disminuir los tiempos de espera de estos pacientes en el SUH.

El modelo para llevar a cabo esa redistribución estará basado en la caracterización del sistema tanto en cuanto a la capacidad de respuesta a la demanda de atención de la configuración del personal sanitario disponible, como al conocimiento específico en cuanto al número y tipología de pacientes que se encuentran en el servicio en cada momento, y la simulación se utilizará como herramienta predictiva del tiempo de espera de los pacientes en el SUH, como indicador a valorar.

De esta manera, la capacidad predictiva del simulador posibilitará la comprobación de la efectividad del sistema de programación de la admisión propuesto, a través del análisis de los datos de simulación para la obtención de información y finalmente conocimiento sobre la ganancia en calidad por el efecto de la aplicación del modelo, basando este conocimiento en la mejora observada en los valores de los tiempos de estancia (*LoS*) o de la espera (*LoW*) de los pacientes, como indicadores del comportamiento del sistema.

Será necesario un número elevado de ejecuciones para cada escenario para que los resultados obtenidos de los datos de simulación sean estadísticamente confiables y significativos. El uso de Computación de Altas Prestaciones (HPC) nos va a permitir disponer del volumen de datos necesario y nos va a facilitar su procesamiento. El potencial de la HPC, hace posible generar un gran número de datos en un plazo razonable, almacenar estos datos, procesarlos y analizarlos para obtener conocimiento. No hay otra limitación en la cantidad de datos que pueden ser generados que el tiempo de cómputo necesario para la ejecución de la simulación.

Cada ejecución generará los correspondientes datos basados en el modelo diseñado para su posterior análisis.

La implementación de este modelo para la programación de la entrada de pacientes en el SUH debe mejorar la calidad de la atención, optimizar la percepción de la calidad de la atención prestada a la población y contribuir a la sostenibilidad del sistema, garantizando un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

En definitiva, nuestra propuesta tiene como objetivo mejorar el servicio prestado en los servicios de urgencias hospitalarias, que son la entrada principal de los pacientes en el sistema de salud, en relación con el acceso, la calidad y la satisfacción del usuario.

1.5 Estructura de la memoria

Esta memoria se estructura en cinco capítulos. Los dos primeros son introductorios en la materia, el III y el IV describen el detalle de las principales aportaciones de la investigación realizada, y finalmente en el V y último se presentan las conclusiones del trabajo desarrollado y algunas líneas abiertas propuestas para futura investigación.

A continuación se resume el contenido de cada capítulo:

Capítulo I

En este primer capítulo de introducción se ha contextualizado la investigación, situándola en el ámbito de la modelización y simulación de servicios de urgencias hospitalarias, y en el uso de ésta para la obtención de nuevo conocimiento sobre el comportamiento del sistema. Se ha planteado el problema de la habitual saturación de los SUH, en gran parte motivada por el alto porcentaje de entrada de pacientes no críticos en el servicio, y se han expuesto las hipótesis y objetivos de la investigación en relación a la propuesta de desarrollo de una metodología para la mejora de esta situación. Finalmente se ha expuesto la metodología para llevar a cabo la investigación.

Capítulo II

En el segundo capítulo se presenta el estado del arte. Por una parte se presentan los trabajos relacionados encontrados en la literatura y se describen brevemente sus aportaciones. Por otra se hace una descripción del funcionamiento de los servicios de urgencias, y también del modelo de simulación del SUH desarrollado en investigaciones previas por compañeros de nuestro grupo de investigación, basado en un modelo de agentes. Se describen también las principales funcionalidades del simulador y casos de aplicación en trabajos anteriores.

Capítulo III

La primera aportación de este trabajo se expone en detalle en el Capítulo III. Aquí se desarrolla el modelo analítico para el cálculo de lo que llamaremos capacidad de atención del sistema y se lleva a cabo su validación. Es aquí también donde se definen los distintos índices que se van a utilizar como indicadores del comportamiento del sistema bajo el efecto de la aplicación de este modelo y el que se presenta en el siguiente capítulo, de tal forma que serán la base para poder decidir sobre la contribución de estos modelos a la mejora del sistema. Se describe también en detalle el diseño de los experimentos para llevar a cabo la validación del modelo y se presentan y discuten los resultados obtenidos.

Capítulo IV

El conocimiento de la capacidad del sistema, a través del modelo analítico desarrollado y validado en el Capítulo III, es una referencia para el desarrollo del modelo para la programación de la admisión de pacientes no críticos en el servicio que se presenta en el Capítulo IV, segunda aportación de la investigación. Se muestra una visión general del modelo y se concreta en un método para la redistribución de los pacientes no críticos respecto a su patrón de entrada en el servicio inicialmente previsto por los datos del histórico del hospital, y en un sistema de recomendación al paciente sobre el momento más adecuado para desplazarse al servicio en base al tiempo estimado de espera por simulación. De nuevo se presentan los experimentos

de simulación llevados a cabo y se analizan y discuten los resultados obtenidos para la valoración del efecto del modelo en el comportamiento del sistema.

Capítulo V

Un último capítulo de conclusiones a modo de resumen de las principales aportaciones de la investigación y de líneas abiertas para futuras investigaciones concluye la memoria.

CAPÍTULO II

Estado del arte y antecedentes

2.1 Trabajos relacionados

La investigación sobre el problema de la saturación de los SUH se divide principalmente en tres categorías: descriptiva, predictiva y orientada a la intervención [17]. Los estudios descriptivos se centran en la definición de la saturación [18], en evaluar las causas y los efectos de ésta [19] [20] [21] [22] [23] y en proponer modelos para describir el problema [24] y medidas para cuantificarlo [25] [26] [27] [28]. Por su parte, los estudios predictivos se han centrado en desarrollar medidas para predecir la saturación en el servicio [29] y sistemas de alerta para detectar episodios de saturación [30] [31]. Por último, los estudios orientados a la intervención, se centran en la búsqueda de métodos de optimización de los recursos y de los procesos en los SUH. Estas intervenciones suelen aplicarse al rediseño de procesos [32] y de los flujos de pacientes [33] [34] con el objetivo de controlar la duración de la estancia del paciente en el servicio [35].

En general, se dice que un SUH está saturado cuando la demanda asistencial excede los recursos disponibles y, por lo tanto, la capacidad de proporcionar un servicio de atención urgente de calidad [20] [21].

De los estudios de la literatura médica que tratan de analizar los factores que influyen en la saturación y en los prolongados tiempos de estancia de los pacientes en los SUH, destacan como causas comúnmente estudiadas las visitas de pacientes no urgentes [36] [37] [38], las epidemias de virus respiratorios (temporadas de gripe) [39] [40] [41], personal insuficiente [42], el ingreso hospitalario de pacientes [43] y el déficit de camas en el hospital [44] [45] [46], entre otros.

Otros estudios destacan como efectos de la saturación y de los largos tiempos de espera de los pacientes en los SUH, el incremento de la proporción de pacientes que abandonan el servicio sin llegar a ser atendidos por un médico (Leave Without Being Seen, LWBS) [47] [48] [49] [50], retrasos en los tratamientos, y el aumento en la mortalidad de los pacientes [51] [11].

Los trabajos destinados a la intervención proponen medidas o procesos diseñados para hacer el SUH más eficiente en tiempo y/o en recursos a través de cambios organizativos dentro del propio servicio [52]. El objetivo de todos ellos es la reducción del tiempo total de estancia de los pacientes en el servicio (LoS), y por tanto de las esperas, y algunas de las medidas que se han llevado a la práctica, son los llamados *fast tracks* [53] [54], áreas de visita rápida o medidas tipo *see and treat* [55], así como la derivación de pacientes no urgentes a otros niveles asistenciales [56] [57].

Pero la mayoría de las soluciones propuestas para hacer frente a los efectos de la saturación de los SUH y reducir los tiempos de espera de los pacientes, pasan por medidas que requieren un aumento de la capacidad del SUH o de los recursos humanos o físicos [58]. Sin embargo, debido a limitaciones económicas, la mayoría de los hospitales no disponen de recursos adicionales. Por lo tanto, dada la limitada disponibilidad de recursos causada por recortes en la financiación de los hospitales, es necesario centrarse en la optimización de los recursos y los procesos [17].

Las herramientas de análisis de sistemas complejos, como los SUH, juegan un papel importante en estos procesos de optimización, y la simulación es una herramienta de análisis muy potente que aporta una gran flexibilidad para realizar pruebas para distintos escenarios, hipótesis, o políticas de acción en entornos de atención médica,

y puede ser utilizada como herramienta de investigación, así como para la toma de decisiones [59].

Hay muchos ejemplos de modelos de simulación por ordenador que apoyan los procesos de toma de decisiones en el sector de la salud. Específicamente, la simulación ha sido ampliamente utilizada para comprender las causas de la saturación en los SUH y para poner a prueba intervenciones para reducir sus efectos, y muchas contribuciones muestran cómo la simulación puede ser utilizada como una herramienta para abordar este problema [60] [61] [62] [63] [64] [65].

Mayoritariamente en estos trabajos, el SUH se modela como un sistema estocástico, ya que los tiempos entre llegadas de pacientes y los tiempos de servicio se consideran variables aleatorias. La simulación de eventos discretos [66] es la técnica de simulación más utilizada en los estudios revisados. Otra técnica de modelado utilizada es la dinámica de sistemas [67], utilizada para modelar la complejidad en los grandes sistemas. Si bien la simulación de eventos discretos se puede utilizar para crear modelos detallados de subsistemas dentro de la asistencia sanitaria, la dinámica de sistemas permite una visión sistémica de las interacciones de los flujos de pacientes y la información.

La motivación de la mayoría de los estudios relacionados con el uso de la simulación en este ámbito está relacionada con los costos, la eficiencia, la reingeniería y la calidad del servicio [17]. Dada esta motivación para reducir costos y aumentar la eficiencia, uno de los principales objetivos de estos estudios es examinar las causas de ineficiencias en los procesos y la utilización de los recursos. Así, los estudios examinan los flujos de pacientes [68] y los cuellos de botella en los flujos [69], las causas de los excesivos tiempos de espera [68] [70] y el rendimiento [71].

Destacamos aquellas referencias que utilizan la simulación para mejorar los tiempos de estancia de los pacientes en el SUH a través del rediseño de los procesos y para comprobar la efectividad de las medidas propuestas [64] [71] [72] [73].

En el conjunto del Estado español, el número de asistencias urgentes crece constantemente y el ritmo de crecimiento parece establecido en torno al 4% anual

[74]. El envejecimiento de la población, la accesibilidad de los SUH, las expectativas en la atención hospitalaria, la demora en la atención programada y la cultura de la inmediatez, entre otros, son motivos propuestos para explicar este crecimiento constante. Siendo que el 80% de los casos acuden por iniciativa propia y que el 70% de las consultas son consideradas procesos leves o de urgencia menor, se discute la conveniencia de instaurar medidas correctoras de lo que se denomina un uso inapropiado de los SUH [75]. No obstante, estos intentos por contener la demanda, evitando las consultas no consideradas verdaderas urgencias, no están exentos de dificultades técnicas y éticas, y algunos estudios ponen en cuestión hasta qué punto estas consultas son inadecuadas [76].

Teniendo en cuenta este contexto, el alto porcentaje de pacientes de urgencia menor que acuden al SUH y las limitaciones en los recursos disponibles, nuestra propuesta trata de adaptar el flujo de estos pacientes a la capacidad de atención del servicio, a través de la programación de su admisión en el servicio en situaciones de saturación prevista. La propuesta incluye un modelo para la previsión de los momentos de saturación, en base al cual se plantea la recomendación al paciente de retrasar su admisión.

Como otros trabajos destacados en este apartado, la investigación utiliza la simulación como herramienta para comprobar la eficiencia del modelo propuesto, pero, a diferencia de éstos, el modelo de simulación utilizado es un modelo basado en agentes (*ABM, Agent-Based Model*) [77] [6]. Los experimentos de simulación nos aportan datos que nos permiten valorar la reducción de los tiempos de estancia de los pacientes en el SUH después de la intervención realizada.

La intervención propuesta reduce los tiempos de estancia de los pacientes en el SUH, pero sin eliminarlos del proceso de atención, a diferencia de las soluciones propuestas por otros trabajos referenciados en que los pacientes son derivados sin visita a otros servicios o niveles asistenciales, o atendidos por vías rápidas.

La reducción de los tiempos de estancia de estos pacientes en el SUH por la programación de su admisión pretende contribuir a desbloquear el sistema en situaciones de saturación.

2.2 Funcionamiento del Servicio de Urgencias Hospitalarias

Como parte indispensable del sistema sanitario, los servicios de urgencias hospitalarias (SUH) son las unidades que proporcionan atención inmediata a pacientes con necesidades médicas de urgencias y emergencias. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), urgencia se puede definir como la aparición fortuita en cualquier lugar o actividad de un problema de causa diversa y gravedad variable que genera la conciencia de una necesidad inminente de atención por parte del sujeto que lo sufre o de su familia. Según la OMS, urgencia también se define como la patología cuya evolución es lenta y no necesariamente mortal, pero que debe ser atendida en seis horas como máximo, para evitar complicaciones mayores. Emergencia es una situación urgente que pone en peligro inmediato la vida del paciente o la función de algún órgano. Es aquel caso en que la falta de asistencia conduciría a la muerte en minutos y en el que la aplicación de primeros auxilios por cualquier persona es de importancia vital.

La atención en los SUH se proporciona con el mayor nivel de disponibilidad y accesibilidad posible, 24 horas al día, 7 días a la semana y 365 días al año, y sin restricción alguna sobre quién puede acceder al servicio. Generalmente son la principal vía de ingreso al hospital y un componente clave de todo el sistema de salud.

De acuerdo con las especificaciones aportadas por nuestros colegas colaboradores del Hospital de Sabadell, expertos conocedores del sistema real, en este apartado se hace una breve descripción del funcionamiento del SUH, en particular respecto a las distintas fases o etapas por las que pasan los pacientes a lo largo de su atención desde el momento en que llegan al servicio hasta que salen de éste y se especifica el servicio prestado por cada tipo personal sanitario implicado en el proceso.

2.2.1 Fases del proceso de atención

El funcionamiento del SUH se basa en un proceso formado por diferentes fases por las que cada paciente va pasando desde su entrada en el servicio hasta que es dado

de alta, derivado a otro servicio, o ingresado en el hospital, tal como se muestra en la Figura 2.1.

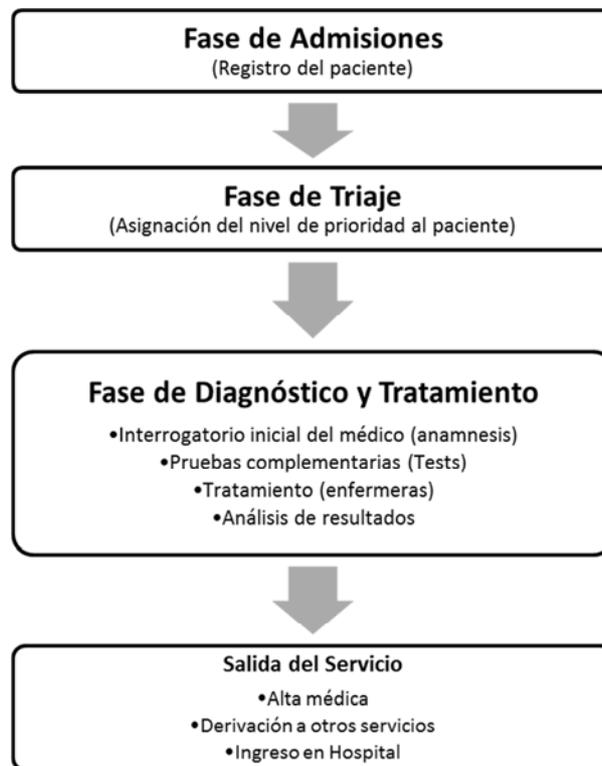


Figura 2.1. Fases del proceso de atención en un Servicio de Urgencias Hospitalarias.

Distribuidas en diferentes zonas del SUH, están las salas de espera, en las que los pacientes esperan a ser atendidos en las diferentes fases del proceso.

Se explicita a continuación el tipo de servicio que se realiza en cada fase:

Fase de Admisiones

En esta fase personal administrativo de admisión, en los mostradores de atención a la entrada del servicio, realiza la consulta sobre datos de filiación (domicilio y datos personales) y datos de facturación para el cobro de la asistencia (Mutua, Privado...), para llevar a cabo el registro de entrada del paciente en el SUH.

Fase de Triage

Profesionales sanitarios (enfermeros/as de triaje) identifican el nivel de prioridad con el que debe ser atendido el paciente de acuerdo con la escala de prioridad y urgencia del Sistema Español de Triage (SET) mostrado en la Tabla 1.1 del capítulo anterior.

Fase de Diagnóstico y Tratamiento

En esta fase profesionales sanitarios (médicos y enfermeros/as) intentan identificar las causas del problema de salud del paciente, y en la medida que sea posible, dar solución al mismo. Es una fase dividida en diferentes etapas:

- *Exploración inicial del médico o anamnesis (IE):* Es el primer contacto del paciente con el médico. El médico interroga/examina al paciente para realizar una orientación diagnóstica de su patología, que puede ser reforzada con pruebas diagnósticas. Realizado este primer interrogatorio, le da de alta al paciente, o, en caso necesario, solicita alguna prueba complementaria o la administración de algún tratamiento.
- *Exploraciones complementarias (pruebas o test):* Personal especializado lleva a cabo la prueba solicitada por el médico al paciente.
- *Administración de tratamiento:* Enfermeros/as asistenciales administran y controlan el proceso de tratamiento solicitado por el médico al paciente y realizan el seguimiento el tiempo necesario hasta su efecto.

Las fases de admisiones y triaje son comunes para todos los pacientes que entran en el servicio y el personal sanitario es compartido en estas dos fases. Pero, según el nivel de prioridad de los pacientes, determinado en la etapa de triaje, los pacientes son atendidos en dos zonas diferenciadas para la fase de diagnóstico y tratamiento, y el equipo médico en esta fase es específico de cada zona:

- *Zona de Nivel 1 (o Área A):* Es la zona de atención para pacientes con nivel de prioridad más urgente (pacientes 1, 2 y 3).
- *Zona de Nivel 2 (o Área B):* Es la zona de atención para pacientes con nivel de prioridad más bajo o pacientes no críticos (pacientes 4 y 5).

2.2.2 Personal sanitario

El personal sanitario responsable de la atención al paciente en las diferentes fases del proceso explicado en el apartado anterior se compone de personal de admisión, personal de triaje y equipo médico:

Personal de admisión

Es el personal administrativo que atiende a los pacientes a su llegada al SUH, responsables de realizar los trámites administrativos para la admisión de los pacientes al servicio.

Personal de triaje

Son los enfermeros/as encargados de llevar a cabo el interrogatorio correspondiente y recoger evidencias sobre los síntomas y signos que permitan evaluar el nivel de gravedad y urgencia para determinar el nivel de prioridad con el que debe ser atendido el paciente.

Equipo médico

Está formado por:

- *Médicos*: En su primera visita con el paciente, le interrogan y examinan para obtener la información necesaria para su diagnóstico. Si lo estiman necesario solicitan exploraciones complementarias (analíticas, radiológicas, electrocardiogramas, etc.) o determinan si se le debe administrar algún tipo de tratamiento. En estos casos realizan una segunda visita con el paciente para analizar los resultados de la prueba practicada o el efecto del tratamiento administrado. Finalmente realizan el diagnóstico y dan salida del servicio al paciente.
- *Personal de enfermería*: Son los responsables de administrar los tratamientos a los pacientes que el médico haya prescrito y de las extracciones de sangre en caso solicitud de analíticas. También dan la asistencia necesaria a los médicos y al personal especializado en la práctica de las distintas pruebas complementarias solicitadas por los médicos.

En cada fase puede haber varios profesionales sanitarios trabajando simultáneamente en paralelo y éstos profesionales pueden tener distintos niveles de experiencia. Para identificar el perfil del personal según su nivel de experiencia distinguimos entre:

Perfil *Júnior*: personal con menos de 5 años de experiencia.

Perfil *Sénior* o *Consultor*: personal con más de 5 años de experiencia.

Esta característica del personal sanitario se refleja, entre otras cosas, en el tiempo dedicado a la atención de los pacientes, que en el caso del personal de perfil *júnior* es más alto que el del personal *sénior*, por regla general.

Por lo tanto, la configuración del personal sanitario para un escenario concreto queda determinada por la composición específica de personal sanitario, tanto en cuanto al número de profesionales trabajando en cada fase como a su nivel de experiencia.

En definitiva, el funcionamiento del SUH se basa en el proceso descrito y es el resultado de las acciones e interacciones entre los pacientes y el personal sanitario en las diferentes fases de este proceso, así como de las características físicas del entorno (capacidad de las salas de espera, número de boxes, laboratorios, etc.).

2.3 El modelo conceptual del SUH

Como resultado de la investigación previa y paralela llevada a cabo en nuestro grupo de investigación se ha desarrollado un modelo conceptual del SUH basado en el proceso descrito en la sección anterior. Tanto los pacientes como el personal sanitario son modelados individualmente, de manera que el comportamiento del SUH en cuanto a los tiempos de estancia de los pacientes en el servicio u otras variables de interés, resulta del comportamiento individual de éstos y de sus interacciones, tal como ocurre en el sistema real.

2.3.1 Modelado basado en agentes

El simulador del SUH se ha desarrollado sobre un modelo basado en agentes [77] (*ABM, Agent-Based Model*) del servicio de urgencias. El modelo describe el comportamiento del servicio de urgencias a través de las acciones y las interacciones entre los distintos agentes (médicos, enfermeras, personal de admisiones, personal de triaje y pacientes, entre otros) y entre éstos y su entorno físico, de tal manera que el comportamiento global del sistema emerge de estas interacciones.

Un modelo basado en agentes (también llamado modelo basado en individuos) es una clase de modelo computacional para simular las acciones e interacciones de entidades (individuales o colectivas como organizaciones, departamentos, etc.) con el fin de evaluar sus efectos globales sistemáticamente. El comportamiento global de un SUH surge, tal como hemos comentado, de las interacciones entre los distintos elementos y individuos que lo integran, y eso lo convierte en un sistema integrado complejo.

El modelo basado en agentes es una de las herramientas más potentes para explorar este comportamiento emergente de un sistema, que no puede ser explicado solo por la suma de sus partes, sino también a través de sus interacciones [78]. Por este motivo se consideró utilizar la técnica de modelado *ABM*, para simular su comportamiento del SUH desde abajo hacia arriba, es decir, a partir de la simulación del comportamiento del personal sanitario, de los pacientes y las interacciones entre ellos, de tal manera que el comportamiento global del sistema surge de estas interacciones [79].

La determinación de la naturaleza de las distribuciones y las probabilidades de transición entre los estados de los agentes por sus interacciones, se llevó a cabo mediante el análisis de datos reales del histórico de datos proporcionado por nuestros colaboradores médicos del Hospital de Sabadell, correspondientes a todos los pacientes admitidos en el servicio a lo largo de un año completo. Estos datos fueron utilizados para llevar a cabo la sintonización y validación del modelo de simulación desarrollado.

2.3.2 Modelo de flujo de pacientes

Se presenta en este apartado el modelo de flujo de pacientes que se implementa en el simulador del SUH. El modelo se ha desarrollado de acuerdo a las especificaciones sobre el funcionamiento del SUH explicado en el apartado 2.2.1.

Desde el momento en que el paciente ingresa al servicio, la simulación se ejecuta según el modelo de flujo de pacientes que se muestra en la Figura 2.2. Además, la configuración del personal sanitario correspondiente en cada fase y etapa del proceso, está formada tal como hemos comentado por profesionales (júnior y/o sénior) trabajando en paralelo, de tal manera que un ejemplo concreto de configuración sanitaria se muestra en la Figura 2.3.

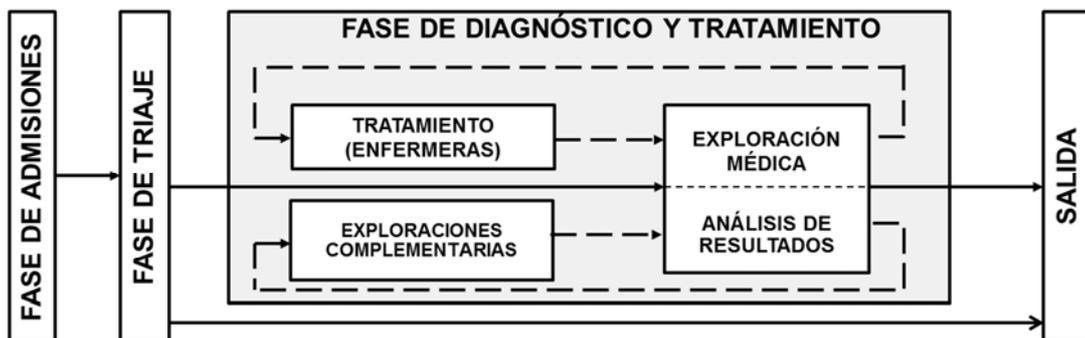


Figura 2.2. Modelo de flujo de pacientes en el servicio.

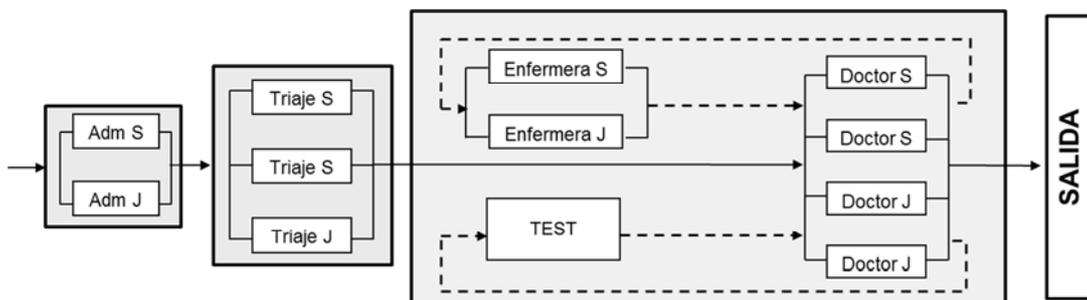


Figura 2.3. Ejemplo de configuración de personal sanitario trabajando en paralelo.

En el modelo de simulación, se incluyen las dos áreas del SUH: el Área A, de atención a los pacientes más urgentes (tipo 1, 2 y 3), y el Área B, donde son atendidos los pacientes no críticos (los 4 y 5). Las fases de admisión y triaje son comunes a todos los pacientes que ingresan al servicio y comparten el mismo personal, pero los médicos y el personal de enfermería de la fase de diagnóstico y tratamiento son diferentes para el área A y B.

Todos los pacientes generados son admitidos en el servicio a través de la fase de admisiones, y una vez superado este proceso, pasan a ocupar una primera sala de espera hasta que son llamados para realizar el proceso de triaje. Hay un porcentaje, aunque bajo, de pacientes que son derivados a otros servicios después de la fase de triaje y también un porcentaje de pacientes que abandona el SUH sin ser vistos por el médico (Leave Without Being Seen, LWBS).

Para nuestro trabajo, estaremos interesados en el seguimiento de los pacientes 4 y 5, aquellos que son pacientes no críticos, que podrían posponer su entrada en el servicio. Por lo tanto, consideraremos a todos los pacientes para las fases de admisión y triaje, pero sólo a los pacientes 4 y 5 (área B) para la fase de diagnóstico y tratamiento.

En la fase de diagnóstico y tratamiento, todos los pacientes generados por el sistema pasan por una etapa inicial de exploración médica, que identificamos en adelante como *IE*. Un porcentaje de ellos son dados de alta directamente y abandonan el SUH después de la etapa de *IE* (mostrado por una línea continua en las Figura 2.2 y 2.3). El resto permanece en el servicio y pasan por las etapas de exploraciones complementarias y/o tratamiento. Después de esto, vuelven ser visitados por el médico, que analiza los resultados de la prueba y/o el efecto del tratamiento (usaremos *AR* en adelante para referirnos a esta etapa de análisis de resultados por el médico). Finalmente, abandonan el servicio (se muestra mediante una línea discontinua en las Figuras 2.2 y 2.3).

La sintonización del simulador con los datos reales del hospital establece las probabilidades que determinan el porcentaje de pacientes que pasarán por las distintas etapas de esta fase, y también el número de veces que a cada paciente se le

requieren pruebas complementarias o tratamiento, pudiendo ser diferentes según el tipo de paciente, determinado por la edad y el nivel de prioridad que se la ha asignado en la fase de triaje.

En relación a las exploraciones complementarias, es también una etapa compartida por los pacientes del área A y los del área B. El paciente permanece en la sala de espera (o el box en el caso de los pacientes del área A), hasta que se le puede realizar la prueba o test, por disponibilidad de la maquinaria correspondiente. El paciente regresa a la sala de espera correspondiente una vez la exploración ha sido completada, a la espera de la atención del médico para que éste lleve a cabo el análisis de los resultados (AR).

Practicadas las exploraciones el modelo de simulación contempla tiempo necesario para que estén disponibles los resultados. Transcurrido dicho tiempo la simulación registra que ya se dispone de los resultados, y en el momento que el médico tiene disponibilidad llama al paciente a la sala de atención para analizarlos con él y continuar con el proceso.

La aplicación del tratamiento es llevada a cabo por el médico o el personal de enfermería en la sala de atención, y del mismo modo que en el caso de exploraciones complementarias, completada la acción, el paciente regresa de nuevo la sala de espera hasta que, transcurrido el tiempo considerado, el tratamiento produce sus efectos. De nuevo, transcurrido ese tiempo el paciente vuelve a ser visto por el médico (AR) y ya puede ser dado de alta o derivado a otros servicios y abandona el SUH.

2.4 El simulador del SUH

La implementación del modelo de simulación se ha hecho con NetLogo [80], un entorno de simulación basado en agentes muy adecuado para el modelado de sistemas complejos, programable para la simulación de fenómenos naturales y sociales [81].

La sintonización y posterior validación del simulador, como resultado de trabajo previo en nuestro grupo de investigación [82] [83], se llevó a cabo en base a los valores reales del histórico del Hospital de Sabadell.

Una vez sintonizado y validado, el simulador es para nosotros una plataforma para poder estudiar el comportamiento del SUH de manera flexible ya que es una fuente de datos parametrizable que permite simular cualquier situación posible. La parametrización nos permite ejecutar la simulación para diferentes escenarios según la carga de entrada de pacientes y la configuración de personal sanitario. Por tanto, tenemos la capacidad de adquirir conocimiento y hacer predicciones sobre el comportamiento del SUH para diferentes situaciones a través de la simulación.

De este modo, el efecto de diferentes políticas aplicadas sobre los parámetros iniciales (personal sanitario u otros recursos, entrada de pacientes, etc.) en variables de salida tales como los tiempos de espera o el rendimiento del sistema, pueden cuantificarse antes de la implementación de dichas políticas en el sistema real.

2.4.1 Funcionalidad del simulador del SUH

El simulador del SUH incluye, entre otros, los siguientes agentes (específicamente los agentes activos que afectan a nuestra investigación): pacientes, personal de admisiones, enfermeras de triaje, enfermeras asistenciales y médicos. En el caso de los agentes que representan al personal sanitario (todos excepto los pacientes), se consideran los dos niveles de experiencia comentados (Júnior / Sénior) y todos ellos pueden trabajar en paralelo en cada fase (Figura 2.3). Tal como ocurre en el sistema real, el nivel de experiencia tiene un efecto sobre la cantidad de tiempo requerido para la atención del paciente, que es diferente dependiendo de su condición de personal júnior o sénior (en adelante *PS* y *PJ*).

Cada distinto escenario a simular es identificado por los parámetros de entrada del simulador que caracterizan la configuración del personal sanitario, especificada por el número y nivel de experiencia de cada tipo de personal en cada fase, y la entrada específica de pacientes en el servicio, determinada por la distribución de llegada por

hora de pacientes en cuanto a número y nivel de prioridad. Otro parámetro inicial a determinar es el período de tiempo a simular.

La salida de la simulación (output) reporta datos relativos al número de pacientes atendidos, tiempo de atención y tiempo de estancia de cada paciente en cada una de las fases en su recorrido a través del servicio. De hecho, el simulador incluye sensores para obtener información completamente temporalizada sobre los agentes, de tal manera que los datos sobre el número de pacientes por hora y ubicación también están disponibles para cada iteración. El simulador genera un fichero de texto con toda esta información que puede ser importado para su procesamiento y visualización posterior desde las herramientas o aplicaciones de tratamiento estadístico que se consideren más adecuadas.

2.4.2 El simulador en trabajos previos

Una aplicación inicial del simulador del SUH en su versión inicial, con resultados interesantes, llevó a cabo un análisis de los efectos de diferentes políticas de derivación sobre el rendimiento del SUH, particularmente analizando cómo estos cambios modifican el tiempo total de estancia (*LoS*) de los pacientes en el servicio [84] [85].

Otro estudio en la misma línea consistió en tratar de encontrar la configuración óptima del personal sanitario para minimizar el *LoS* de los pacientes en el servicio, teniendo en cuenta una limitación relacionada con el costo de las configuraciones y la cantidad de recursos disponibles [86] [87].

Hay un gran número y variedad de agentes simulados y diferentes valores posibles para los parámetros de entrada en el simulador. Esto se traduce en un gran número de diferentes escenarios posibles para ser simulados [88]. Por lo tanto, el uso de HPC fue necesario en ambos experimentos, debido al gran número de ejecuciones requeridas y la cantidad de datos a procesar.

El propósito principal de estas investigaciones previas fue proporcionar conocimiento adicional sobre las variables específicas que afectan al rendimiento normal del sistema, en ambos casos conocimiento útil para apoyar la toma de decisiones (*DSS, Decision Support System*), ayudando a los administradores y gerentes del SUH a elegir las políticas que podrían permitirles lograr una mejor calidad de servicio.

La investigación que presentamos en esta tesis avanza en la misma línea para la obtención de más y diferente conocimiento sobre el funcionamiento del sistema. Analizamos el comportamiento de éste respecto al tiempo de estancia de los pacientes en el servicio, sin modificar necesariamente la configuración de personal sanitario, ni reducir el número de pacientes en el servicio, sino aplicando una política de redistribución de los pacientes, que trata de modificar la forma en que los pacientes no críticos llegan al servicio, de acuerdo con la capacidad de los recursos de personal disponibles.

CAPÍTULO III

Modelo para el cálculo de la capacidad del sistema

3.1 Introducción

La calidad del servicio prestado en el SUH, desde el punto de vista del paciente usuario, se refleja principalmente en el tiempo dedicado por el personal sanitario a la atención del paciente y en los tiempos de espera entre las diferentes fases del proceso. Por otra parte, desde el punto de vista de la gestión del SUH, el rendimiento del servicio está directamente relacionado con el número de pacientes tratados por unidad de tiempo, haciendo un uso eficiente de los recursos disponibles.

En el apartado 3.2 de este capítulo, se definen un conjunto de índices que se utilizarán como indicadores de la calidad y el rendimiento del servicio, y que por tanto nos van a permitir valorar el efecto en el funcionamiento del servicio, derivado de la aplicación de las medidas que proponemos para su mejora.

En el apartado 3.3 se propone un modelo para la caracterización del sistema respecto a la configuración de personal sanitario disponible en el mismo [89]. Se trata de un modelo analítico basado en un conjunto de ecuaciones que nos permiten obtener la información necesaria para tener conocimiento referente a la capacidad teórica de atención de pacientes del sistema respecto a sus recursos de personal, dada una configuración de personal determinada y de acuerdo con el modelo de flujo de

pacientes presentado en la Figura 2.2 en el capítulo anterior. La caracterización completa del sistema requiere también de conocimiento específico en cuanto al número y tipología de pacientes que se encuentran en el servicio en cada momento. Esta parte se expone en detalle en el capítulo IV.

Procurar cambios en el sistema para mejorarlo requiere de este conocimiento completo del sistema. El objetivo final es utilizar este conocimiento para encontrar un método para la programación de la entrada de pacientes no críticos en el SUH (pacientes triados como 4 o 5), modificando su patrón de llegada respecto al previsto inicialmente por el histórico de datos del hospital, de tal manera que su llegada al servicio derive en un estado del sistema hora a hora de acuerdo con la capacidad calculada del sistema a partir de las ecuaciones del modelo analítico que se presenta en este capítulo.

El modelo que se define, es un modelo simplificado del sistema real, para el cálculo de su capacidad teórica de atención, considerando el sistema en un estado estacionario, es decir, con un flujo continuo de pacientes con entrada regular y sin producir esperas entre fases. Con esto, queremos obtener, analíticamente, un valor de referencia de la productividad del sistema para su caracterización en una situación ideal, en la que los pacientes son atendidos en cada fase del proceso sin esperas. Este valor de referencia nos va permitir valorar el efecto en el comportamiento del sistema respecto a su rendimiento frente a distintas medidas mediante la simulación. Cambios específicos en los parámetros de entrada del simulador, en particular, referentes a la entrada de pacientes y a la configuración del personal sanitario, simulando distintas posibles situaciones reales, modificarán la productividad real del sistema. El valor teórico obtenido a través del modelo analítico será una referencia para guiar esos cambios y valorar los resultados.

Para la validación del modelo analítico que se propone se realiza un análisis de sensibilidad sobre el efecto de un aumento o disminución en el número de pacientes que entran en el servicio cada hora, con respecto al valor teórico de capacidad obtenido como referencia con el modelo. Este análisis mostrará cómo el número de pacientes que esperan a ser atendidos en cada fase del proceso, lo que llamamos

longitud de cola de espera (*WQL, Waiting Queue Length*) alcanza valores muy altos cuando la entrada de pacientes supera la capacidad de atención calculada. Al mismo tiempo el porcentaje de tiempo que el correspondiente personal sanitario para cada fase está ocupado en la atención a los pacientes (ocupación), alcanza el 100% cuando esto sucede.

El simulador, representando al sistema real para la experimentación, será la principal fuente de datos para llevar a cabo este análisis de sensibilidad para la validación del modelo propuesto.

3.2 Determinación de indicadores del comportamiento del sistema

Para poder valorar el comportamiento del sistema tanto en cuanto a la calidad del servicio prestado como a su rendimiento, dado un escenario concreto y en relación a los recursos de personal sanitario disponibles, se necesita determinar un conjunto de índices, indicadores de sus características de calidad.

Identificaremos estos índices con aquellas variables asociadas al comportamiento del sistema que, según su valor nos permitan valorar el efecto de las medidas propuestas para la mejora de la calidad del servicio prestado y de su rendimiento.

En la literatura se enumeran varios indicadores (también llamados *KPIs, key Performance Indicators*) utilizados para medir el comportamiento de los SUH, entre los cuales destacan y se utilizan comúnmente, la duración de la estancia de los pacientes en el servicio (*LoS*), el porcentaje de pacientes que se van sin ser vistos por el médico (*LWBS*), o el tiempo que transcurre desde la llegada del paciente hasta ser visto por un médico, también conocido como *door-to-doctor time* [90] [91].

En nuestro caso particular, identificamos como índices de interés para nuestra investigación las siguientes variables, que se definen con detalle en los siguientes apartados y que pueden obtenerse a través de los datos generados por el simulador:

- Tiempo de atención o de asistencia al paciente (*PaT, Patient Attention Time*)
- Tiempo de estancia del paciente en el servicio (*LoS, Length of Stay*)
- Tiempo de espera del paciente en el servicio (*LoW, Length of Waiting*)

- Longitud de cola de espera (*WQL, Waiting Queue Length*)
- Utilización de los recursos de personal sanitario (*Ocupación*)

3.2.1 Tiempo de atención al paciente (*PaT*)

Como indicador de calidad del servicio desde el punto de vista del usuario, definimos un índice llamado *Patient attention Time (PaT)* como el tiempo total en que un paciente está siendo atendido en el SUH. Se entiende como tiempo de atención cualquier tiempo de interacción personal-paciente de cada agente (médico, enfermera, personal de admisión y de triaje) en cada fase del proceso de atención, es decir, sin contar las esperas entre fases.

Los tiempos de atención al paciente del personal sanitario en cada una de las fases del proceso es una parte de información que no está recogida en los datos reales proporcionados por el hospital porque está fuera del alcance del sistema de información. De acuerdo con la literatura respecto al uso adecuado de la distribución exponencial para modelar este tipo de variables en procesos similares [92], el simulador utiliza una distribución exponencial para modelar los tiempos de atención correspondientes a cada fase o etapa, dependiendo del tipo de personal sanitario (júnior o sénior) y del nivel de prioridad, la edad y el tipo de atención de los pacientes. El proceso de sintonización del simulador, de acuerdo a los datos reales proporcionados por el hospital de referencia, determina los parámetros de la distribución de probabilidad utilizada [93] [83].

Así, el valor de este índice viene dado por la suma de los valores para el tiempo de atención en cada fase, generados por el simulador sintonizado, de tal forma que:

$$PaT = \sum_i PaT_{fase\ i} \quad (1)$$

donde $PaT_{fase\ i}$ indica el tiempo de atención al paciente en la fase i .

Se trata de un indicador independiente del número de pacientes que ingresan al servicio. Se debe tener en cuenta que no es un valor fijo para todos los pacientes, ya que depende del recorrido de cada paciente a lo largo de su paso por el servicio. De hecho, recordemos que todos los pacientes pasan por las fases de admisiones y triaje

y la etapa de interrogatorio/exploración inicial del médico (*IE*), pero sólo una parte de los pacientes requieren exploraciones adicionales o reciben algún tipo de tratamiento. El tiempo necesario para llevar a cabo este tipo de atención complementaria también es parte del tiempo de atención de estos pacientes, así como el tiempo para la obtención de resultados o el necesario para el efecto del tratamiento administrado en cada caso.

En el gráfico de la Figura 3.1 se representan los valores promedio del *PaT* de los pacientes del área B del SUH (pacientes con nivel de prioridad 4 y 5) por hora, según si son pacientes que no requieren pruebas diagnósticas complementarias ni tratamiento (pacientes directos), pacientes a los que se les realiza alguna prueba diagnóstica (pacientes de test) y pacientes a los que se les administra algún tipo de tratamiento (pacientes de tratamiento). Los datos se obtienen de una simulación de 125 días, que asegura la generación de un número suficiente de pacientes de cada tipo para que los resultados sean estadísticamente significativos [92] [82].

En la Figura 3.1 se observa que los pacientes tardan un tiempo muy distinto en ser atendidos en función de sus requerimientos de atención (pacientes directos, pacientes de test o pacientes de tratamiento). Pero, el promedio del *PaT* de los pacientes por hora es bastante estable y presenta poca variabilidad para cada tipo de paciente, clasificados según lo hemos hecho, respecto al tipo de atención recibida.

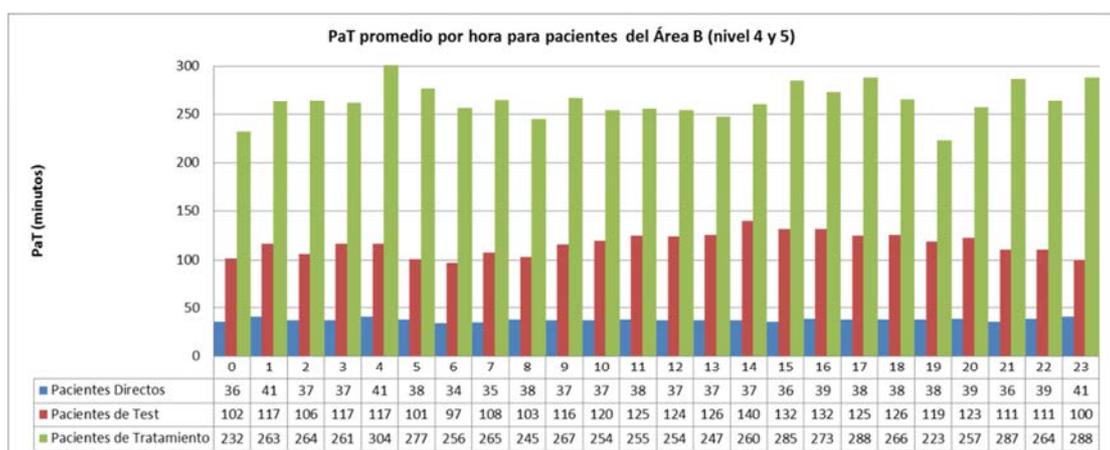


Figura 3.1 *PaT* promedio por hora para pacientes del Área B (nivel 4 y 5) según el tipo de atención requerida.

Por otra parte, en la Tabla 3.1, se muestran los cálculos de la media y la desviación estándar del *PaT* para cada tipo de paciente, obtenidos de los datos de simulación representados en la Figura 3.1. Para el *PaT* de los pacientes directos, sin test ni tratamiento, se calcula una desviación de 5 minutos alrededor de su valor medio. En los casos de pacientes de test y de tratamiento el *PaT* presenta una variabilidad considerable, dados los distintos tipos de exploraciones complementarias posibles, y el tipo de tratamiento administrado.

Tabla 3.1 Media y desviación estándar del *PaT* de los pacientes no críticos de la muestra analizada según el tipo de atención requerida.

ÁREA B (PACIENTES 4 – 5)	Número y porcentaje de pacientes		Media <i>PaT</i> (minutos)	Desviación Estándar (minutos)
Pacientes Directos	16403	71%	37,31	5,61
Pacientes de Test	5133	22%	118,93	71,73
Pacientes de Tratamiento	1515	7%	256,79	146,53

Vistos estos resultados, carece de sentido considerar como indicador el *PaT* promedio de todos los pacientes tomados a la vez a lo largo de un determinado período de tiempo (por hora, por día, etc.), ya que los tiempos son muy distintos para cada tipo de paciente considerado, con una variabilidad muy grande entre ellos, y su valor no sería indicativo de la realidad.

Además, de acuerdo con el histórico de datos del hospital, algo más de un 70% de los pacientes son pacientes directos, alrededor de un 22% son pacientes a los que se les realiza alguna prueba o test, sólo entre un 6% y un 7% reciben algún tipo de tratamiento, y menos de un 1% de los pacientes requieren ambos, test y tratamiento. Los datos de simulación analizados, correspondientes a unos 23000 pacientes generados, coinciden con estos porcentajes, tal como se muestra en la Tabla 3.1.

Así, una media global del *PaT* de todos los pacientes resultaría muy sesgada hacia el valor correspondiente a los pacientes directos y presentaría mucha variabilidad. Tomaremos, por tanto, como indicador de calidad, el *PaT* promedio de los pacientes según el tipo de atención requerida.

Las Figuras 3.2 a 3.4 representan el histograma de frecuencias del *PaT* (número de pacientes) para cada tipo de paciente. La Figura 3.5 presenta el histograma conjunto.

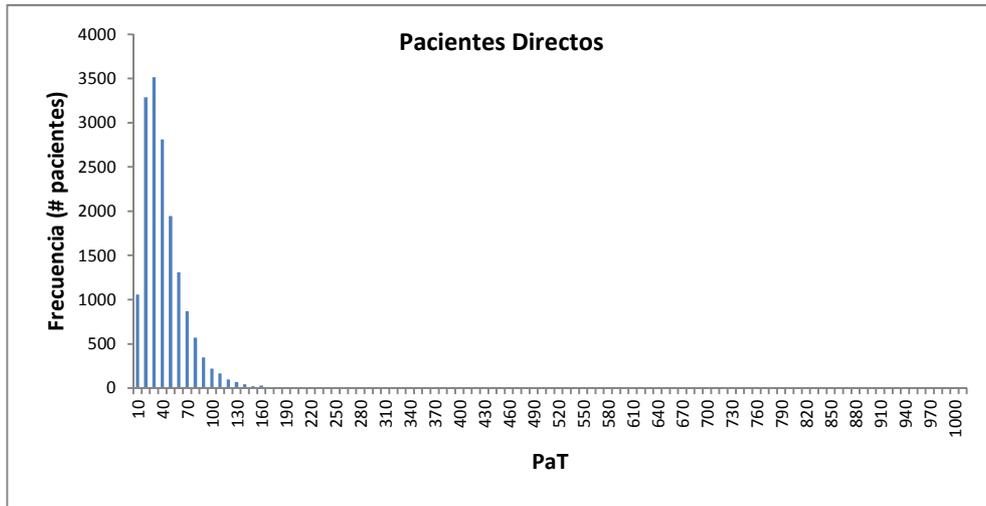


Figura 3.2 Histograma de frecuencias del PaT para los pacientes directos.

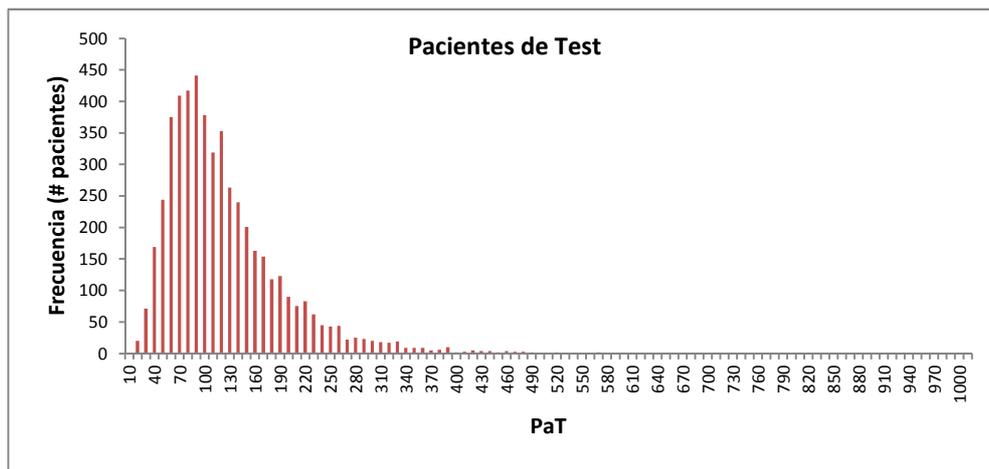


Figura 3.3 Histograma de frecuencias del PaT para los pacientes de test.

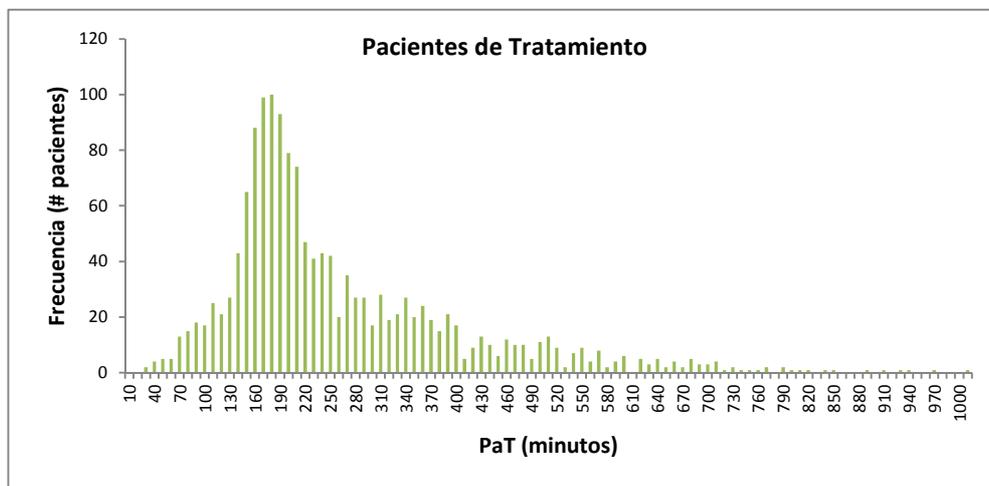


Figura 3.4 Histograma de frecuencias del PaT para los pacientes de Tratamiento.

La superposición de los tres histogramas anteriores, adaptando la escala en cada caso, se presenta en la Figura 3.5.

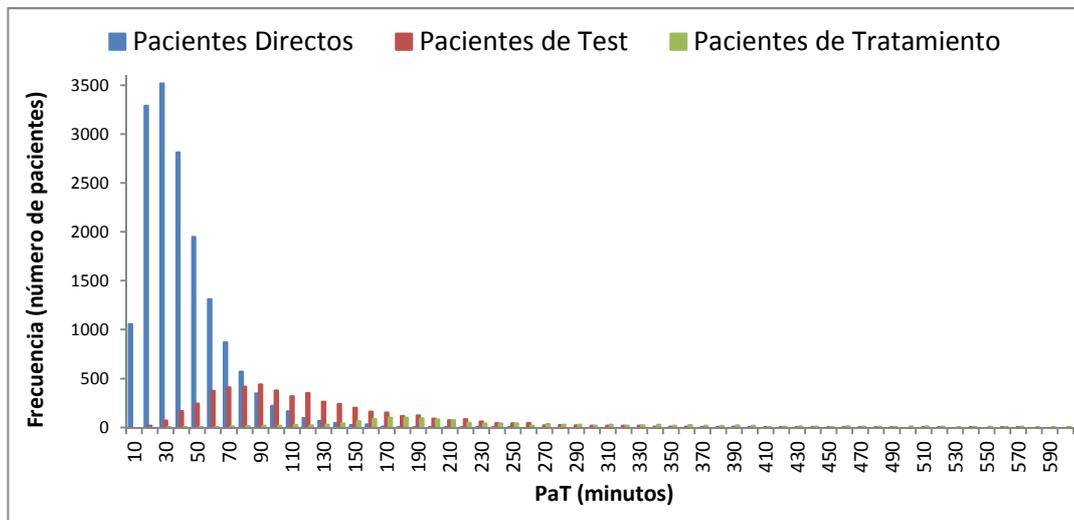


Figura 3.5 Histograma de frecuencias del PaT para todos los pacientes.

El predominio de los pacientes directos se hace evidente en el gráfico de la Figura 3.5 y la distribución del *PaT* para los pacientes de test y de tratamiento queda oculta en este gráfico. Los histogramas de las Figuras 3.2 a 3.4 visualizan esta distribución, alrededor de los valores de la media del *PaT* de la Tabla 3.1, y presentando claramente mayor dispersión los valores del *PaT* para los pacientes de tratamiento que para los pacientes de test, y para éstos que para los pacientes directos.

3.2.2 Tiempo total de estancia en el servicio (*LoS*)

El *LoS* (*Length of Stay*) se define como el tiempo total de estancia de un paciente en el servicio, desde que es admitido hasta que es dado de alta del mismo. Este índice se utiliza ampliamente en la literatura como indicador de calidad del servicio.

A diferencia del *PaT*, este índice depende del número de pacientes que entran en cada hora en el servicio, además del tipo de asistencia requerida por los pacientes y de la configuración del personal sanitario, ya que incluye las esperas de los pacientes en su recorrido a lo largo de las distintas fases del servicio. Así:

$$LoS = PaT + LoW \quad (2)$$

donde el *LoW* (*Length of Waiting*) representa el tiempo de espera del paciente que se define en el siguiente apartado.

El fichero de datos que genera la salida del simulador en cada ejecución reporta la entrada de cada paciente en el servicio y la salida, de donde se obtiene el valor correspondiente al *LoS* para cada paciente.

El promedio del *LoS* para todos los pacientes atendidos a lo largo de un determinado período de tiempo, también dependiendo del tipo de paciente según la atención requerida, será el valor de este indicador que caracterizará cada escenario considerado.

3.2.3 Tiempo total de espera (*LoW*)

El tiempo total de espera de un paciente a lo largo del servicio lo denotamos por *LoW* (*Length of Waiting*). Se obtiene como:

$$LoW = LoS - PaT \quad (3)$$

Este índice es claramente un indicador de calidad del funcionamiento del servicio importante tanto desde el punto de vista del paciente usuario, como del gestor del servicio, ya que es determinante para poder detectar posibles atascos en el sistema o cuellos de botella.

De hecho este es el indicador que utilizamos principalmente para analizar el efecto de las medidas propuestas para mejorar la calidad del servicio prestado ya que nuestro objetivo final es reducir el *LoS* de los pacientes, modificando la forma de la distribución de los pacientes que llegan al servicio, y esta acción no va a modificar el *PaT* de los pacientes, porque el tipo de atención que requieren es la misma, pero sí puede modificar las esperas de éstos.

El *LoW* de los pacientes depende directamente de la longitud de las colas de espera que se generan (*WQL*, *Waiting Queue Length*), y estas colas emergen como resultado de las interacciones entre agentes, dependiendo a su vez de la distribución de entrada de pacientes en cuanto a número y nivel, de la capacidad de atención de los

recursos de personal sanitario y de los recursos físicos disponibles. La simulación del sistema real mide estas interacciones entre agentes y nos reporta los datos correspondientes para obtener información sobre este índice.

3.2.4 Longitud de cola de espera (*WQL*)

Entre cada una de las fases del proceso, los pacientes tienen un tiempo de espera hasta poder ser atendidos en la siguiente fase. Definimos la longitud de cola de espera (*WQL*, *Waiting Queue Length*) como el número de pacientes en cola a la espera de servicio para la siguiente fase. Será uno de los indicadores clave para la validación del modelo analítico para el cálculo teórico de la capacidad de la configuración de personal sanitario, de tal forma que un crecimiento importante de este valor sería indicador de un atasco o cuello de botella en el sistema, y de haber superado la capacidad de atención de la configuración de personal sanitario. El número de pacientes a la espera de servicio de cada fase en las salas de espera correspondientes, se reporta también como dato de salida de la simulación para cada escenario simulado.

3.2.5 Utilización de los recursos de personal sanitario (*Ocupación*)

La utilización de los recursos de personal sanitario (o ocupación) se define como el porcentaje de tiempo que cada tipo de agente sanitario ocupa en la prestación de servicio a los pacientes. Es un indicador de comportamiento del sistema que permite también explorar posibles cuellos de botella en las diferentes fases del proceso. En nuestro caso será también uno de los indicadores clave para la validación del modelo analítico para el cálculo teórico de la capacidad de la configuración de personal sanitario, de tal manera que un valor de ocupación cercano al 100% indicará que la configuración considerada está al máximo de su capacidad de atención. El simulador incluye sensores específicos para generar el valor de este indicador si así se indica al inicio de la simulación.

3.3 Modelo analítico para el cálculo de la capacidad de sistema

El objetivo de este capítulo es determinar un conjunto de ecuaciones para el cálculo del número de pacientes que, por su composición, una determinada configuración de personal sanitario debería ser capaz de atender, en una situación ideal, sin generar esperas entre las distintas fases del proceso. Así, el planteamiento del modelo analítico desarrollado considera una simplificación del sistema real, considerando el sistema en un estado estacionario, con un modelo de flujo continuo de pacientes con entrada regular y sin esperas.

En el primer apartado de esta sección se define el concepto de capacidad de atención del sistema, y se explicita su cálculo para las fases de admisiones y triaje, previo cálculo del que llamamos *tiempo de atención equivalente (EpaT)* para cada fase, que considera la posibilidad de trabajo en paralelo del personal en cada fase.

Dado que el interés de nuestra investigación se centra en los pacientes no críticos (nivel 4 y 5), se considera específicamente el flujo de estos pacientes, es decir, se considera únicamente el Área B, para la fase de diagnóstico y tratamiento. A diferencia de las fases de admisiones y triaje, ésta es una fase compleja dada su no linealidad. En el segundo apartado se explicita el modelo de flujo de pacientes considerado en esta fase que tenemos en cuenta para el planteamiento de las ecuaciones de continuidad que nos llevarán al cálculo de la capacidad de atención, específicamente para esta fase. Las ecuaciones del modelo se exponen en el último apartado de esta sección.

3.3.1 Capacidad teórica de atención del sistema

Definimos la capacidad de atención del sistema, atendiendo únicamente a los recursos de personal disponibles, supuesta la adecuación de los recursos físicos a la demanda del servicio (espacio físico de las salas, número de boxes de atención, maquinaria para pruebas diagnósticas, etc.), como el número de pacientes que teóricamente pueden ser atendidos por la configuración de personal sanitario considerada, por unidad de tiempo. Lo identificamos como *Throughput Teórico* de la

configuración (T_{ThP}), es un valor que la caracteriza y una medida de su capacidad de respuesta a la demanda de servicio [94].

Así definido, el T_{ThP} depende únicamente de la composición de la configuración de personal sanitario considerada, en particular del número y perfil de personal trabajando en cada fase o etapa del proceso de atención en el servicio, de sus tiempos de atención correspondientes y del número de personal trabajando en paralelo en las distintas fases del proceso (grado de paralelismo).

Es necesario, por tanto, tener en cuenta la influencia del grado de paralelismo en cada fase para el cálculo del T_{ThP} . Con este objetivo se define el *tiempo equivalente de atención* del paciente ($EPaT$), como el tiempo efectivo (desde el punto de vista de la gestión del servicio), necesario para la atención de un paciente, considerando el trabajo en paralelo del personal sanitario en cualquiera de las fases del servicio.

El $EPaT$ es también una característica intrínseca de la configuración de personal sanitario, ya que se calcula atendiendo únicamente a su composición, teniendo en cuenta el tipo, perfil y la cantidad de personal trabajando en paralelo en cada fase del proceso.

Para su cálculo se ha considerado el modelo de flujo de los pacientes mostrado en la Figura 2.3 en el capítulo anterior, como una estructura de *pipeline* de tres etapas interconectadas por *buffers*, que representan las salas de espera del SUH, y de tal manera que en cada una de ellas se realizan varias tareas en paralelo [86]. De acuerdo con este enfoque calculamos el $EPaT$ correspondiente a cada etapa i como se indica en la ecuación 4:

$$EPaT_{etapa\ i} = \frac{1}{\frac{PS_i}{PaT_{PS}^i} + \frac{PJ_i}{PaT_{PJ}^i}} \quad (4)$$

PS_i y PJ_i en (4) y (6) representan el número de personal sanitario sénior y júnior respectivamente, trabajando en paralelo en la etapa i , y PaT_{PS}^i , PaT_{PJ}^i el tiempo de atención correspondiente a ese personal según su perfil (PS , perfil sénior o PJ , perfil júnior) y ocupación (según la etapa correspondiente i).

Cabe destacar que el valor del $EPaT$ para cada fase del proceso no es un valor de tiempo de atención real al paciente, ya que el tiempo de atención real al paciente viene dado directamente por el PaT . El valor del $EPaT$ nos interesa a efectos del cálculo del número de pacientes que pueden ser atendidos por una determinada configuración de personal sanitario, atendiendo únicamente a su composición, es decir, para el cálculo del T_ThP .

La fase más lenta según el $EPaT$ determinará la capacidad de atención de pacientes en el servicio y también es la que puede saturar el sistema. Por tanto, el inverso del $EPaT$ de la etapa más lenta, es el cálculo del número de pacientes que una configuración determinada puede atender por unidad de tiempo dada su composición, es decir, su capacidad teórica de atención o T_ThP . Así, el *throughput* máximo del sistema vendrá dado por:

$$T_ThP = \frac{1}{\text{Max } EPaT_i} \quad (5)$$

y, específicamente, el *Throughput Teórico* para cada fase i vendrá dado por el inverso del $EPaT$ para esa fase dado en (4), que por tanto se calculará como:

$$T_ThP_{\text{fase } i} = \frac{PS_i}{PaT_{PS}^i} + \frac{PJ_i}{PaT_{PJ}^i} \quad (6)$$

El T_ThP es un índice de referencia importante desde el punto de vista del gestor, para poder evaluar el rendimiento del sistema, ya que conocido el número de pacientes atendidos realmente en un determinado período de tiempo (índice que llamamos *throughput real* o R_ThP), la comparación entre estos dos índices informa sobre la efectividad del sistema. Así, se define el rendimiento del sistema, de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento} = \frac{R_ThP}{T_ThP} \quad (7)$$

Se trata también de un indicador de comportamiento del sistema, de tal forma que, cuando el número de pacientes atendidos se iguala al que la configuración, por las características de su composición, puede atender, el valor del rendimiento es del 100%.

3.3.2 Modelo de flujo de pacientes para la fase de diagnóstico y tratamiento (Área B)

La fase de diagnóstico y tratamiento es la más compleja debido a su no linealidad, y debido a eso requiere de un tratamiento específico que tenga en cuenta los distintos recorridos posibles de los pacientes dentro de ésta.

Todos los pacientes pasan en primer lugar por una etapa de interrogatorio/exploración inicial (*IE*), que es su primer contacto con el médico. Un porcentaje p_1 de pacientes requieren pruebas adicionales después de la etapa inicial de exploración del médico (pacientes de test), y también un porcentaje p_2 de pacientes requieren algún tipo de tratamiento, administrado y controlado por enfermeras asistenciales (pacientes de tratamiento). El resto de los pacientes serán dados de alta inmediatamente después de su primer contacto con el médico (pacientes directos).

El regreso de los pacientes de test y tratamiento con el médico para el análisis de los resultados (*AR*) y el diagnóstico final, después de completar las pruebas complementarias solicitadas por el médico en su primer contacto con el paciente, debe tenerse en cuenta, ya que el tiempo que el médico utiliza para visitar de nuevo a estos pacientes, no puede ser tiempo de atención de nuevos pacientes.

La Figura 3.6 muestra el detalle del modelo de flujo de pacientes a lo largo de esta fase, de acuerdo con todas estas consideraciones preliminares.

El número de enfermeras asistenciales, sénior y júnior, en la configuración considerada se representa en la Figura 3.6 por *NS* y *NJ* (*Nurses*) respectivamente. El número de médicos, también sénior y júnior, se representa respectivamente por *DS* y *DJ* (*Doctors*), y son valores conocidos, determinados por la composición de la configuración de personal considerada. Es necesario distinguir entre:

DS_{IE} : Médicos Sénior en servicio en la etapa de Interrogatorio/Exploración inicial.

DJ_{IE} : Médicos Júnior en servicio en la etapa de Interrogatorio/Exploración inicial.

DS_{AR} : Médicos Sénior en servicio en la etapa de Análisis de Resultados.

DJ_{AR} : Médicos Júnior en servicio en la etapa de Análisis de Resultados.

El tipo y tiempo de atención en cada caso, *IE* o *AR*, es diferente y es necesario tenerlo en cuenta en el planteamiento del modelo de ecuaciones.

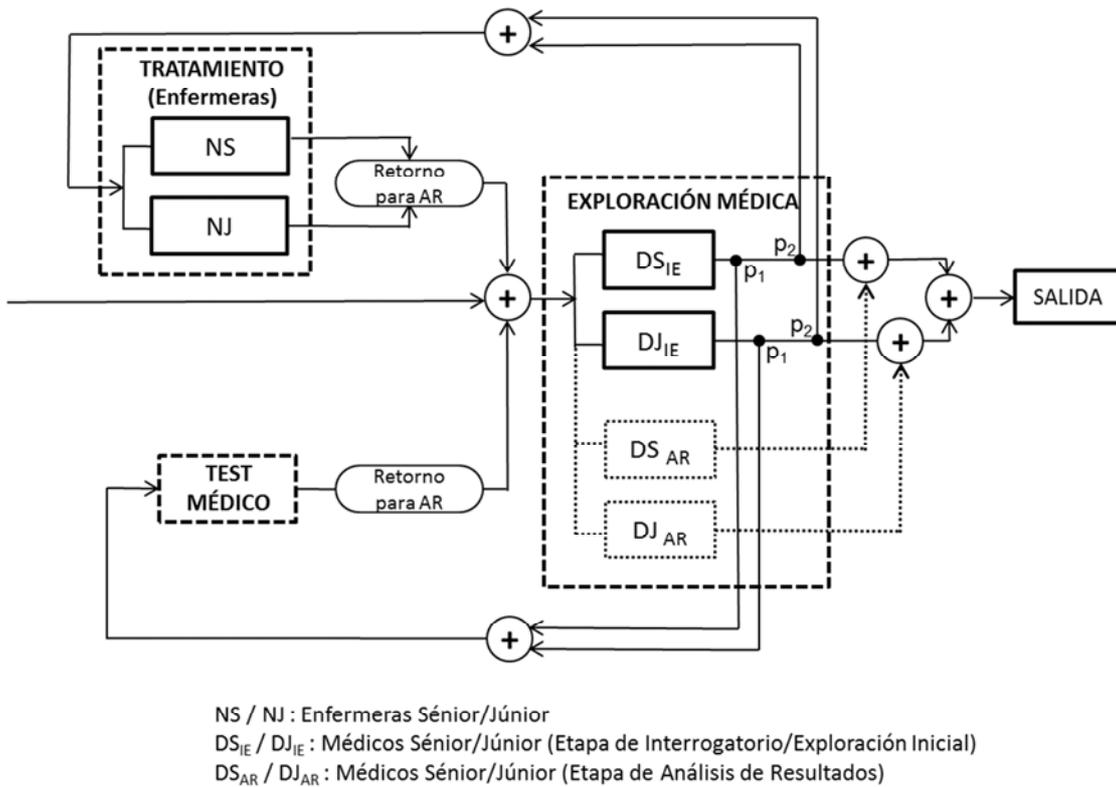


Figura 3.6 Diagrama de flujo de pacientes para la fase de diagnóstico y tratamiento (Área B).

3.3.3 Ecuaciones del modelo

Consideramos una cadencia en la entrada de pacientes suficiente para que el sistema esté funcionando de forma continua y suponemos el sistema en un estado estacionario. Consideramos también que los médicos priorizan la atención de los pacientes que ya han pasado por la primera etapa de interrogatorio y exploración inicial y que, por lo tanto, estos pacientes van a ser atendidos en el momento en que el mismo médico tenga disponibilidad, evitando así esperas adicionales en el retorno de los pacientes a su salida de una exploración complementaria o de un tratamiento previamente solicitado por el médico.

Para el cálculo del *Throughput Teórico* (T_{ThP}) de la etapa de diagnóstico y tratamiento es necesario considerar el tiempo medio de atención de cada tipo de médico atendiendo a su experiencia (Júnior o Sénior) y dependiendo del tipo de atención que presten, ya sea en primera visita de interrogatorio y exploración inicial (*IE*), o en posteriores visitas, consistentes en el análisis de los resultados de pruebas complementarias o tratamientos solicitados (*AR*). Denotamos estos tiempos como PaT_i^j , que representa el tiempo medio de atención al paciente de un médico tipo i realizando el servicio j . De tal manera que se considera:

PaT_{DS}^{IE} : Tiempo promedio de servicio de un médico sénior (*DS*) en la etapa de interrogatorio/exploración inicial (*IE*).

PaT_{DS}^{AR} : Tiempo promedio de servicio de un médico sénior (*DS*) en la etapa de análisis de resultados (*AR*).

PaT_{DJ}^{IE} : Tiempo promedio de servicio de un médico júnior (*DJ*) en la etapa de interrogatorio/exploración inicial (*IE*).

PaT_{DJ}^{AR} : Tiempo promedio de servicio de un médico júnior (*DJ*) en la etapa de análisis de resultados (*AR*).

Estos tiempos se determinan de acuerdo a la distribución exponencial determinada por la sintonización del simulador con los datos del histórico del hospital, y dados estos tiempos, su inverso resulta en el número de pacientes que cada tipo de médico puede atender, según su tipo de servicio, por unidad de tiempo considerada. Así, teniendo en cuenta el número de médicos en la configuración de cada perfil:

$$P_{DS}^{IE} = \frac{DS_{IE}}{PaT_{DS}^{IE}} = \text{Número de pacientes por minuto tratados por algún } DS \text{ en } IE;$$

$$P_{DJ}^{IE} = \frac{DJ_{IE}}{PaT_{DJ}^{IE}} = \text{Número de pacientes por minuto tratados por algún } DJ \text{ en } IE;$$

$$P_{DS}^{AR} = \frac{DS_{AR}}{PaT_{DS}^{AR}} = \text{Número de pacientes por minuto tratados por algún } DS \text{ en } AR;$$

$$P_{DJ}^{AR} = \frac{DJ_{AR}}{PaT_{DJ}^{AR}} = \text{Número de pacientes por minuto tratados por algún } DJ \text{ en } AR.$$

DS_{IE} , DS_{AR} , DJ_{IE} , DJ_{AR} son valores inicialmente desconocidos.

Del histórico de datos reales proporcionado por el Hospital de Sabadell sabemos que los pacientes pueden requerir una, dos o más pruebas complementarias y/o tratamientos, y consecuentemente ser visitados por el médico más de una vez. De todos modos, en el caso de pacientes no críticos (tipo 4 y 5), el porcentaje de pacientes que requieren más de una prueba o tratamiento es muy bajo tal como se muestra en la Figura 3.7.

Como hemos comentado al inicio de este apartado, y tal como se indica en la Figura 3.6, Hay un porcentaje p_1 de pacientes que, después de su primer contacto con el médico, requieren pruebas adicionales, y un porcentaje p_2 que requieren algún tratamiento. Por tanto, hay un porcentaje $1 - (p_1 + p_2)$ de los pacientes que son dados de alta del servicio directamente después de su exploración inicial con el médico, aquellos que no requieren ninguna prueba adicional ni ningún tratamiento.

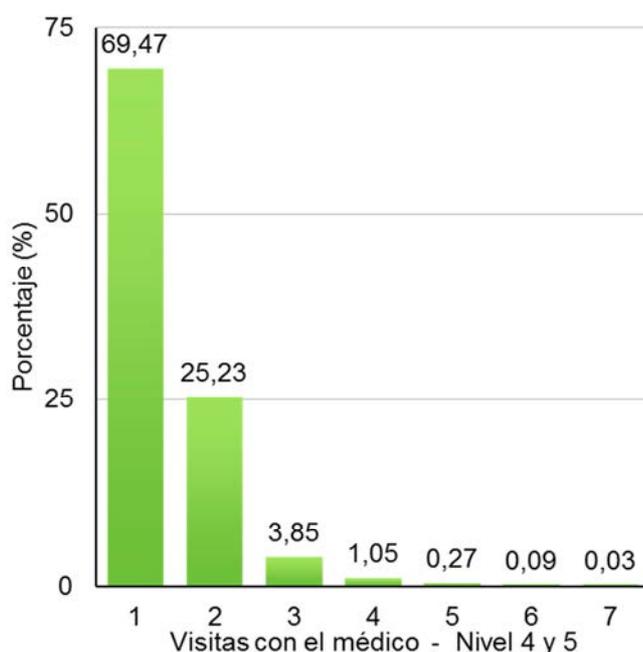


Figura 3.7 Número de veces que los pacientes tipo 4 y 5 son visitados por el médico en la fase de diagnóstico y tratamiento (Histórico de datos del Hospital de Sabadell).

Observando los datos representados en la Figura 3.3, podemos ver que alrededor de un 70% de los pacientes 4 y 5 son dados de alta del servicio directamente después de su exploración inicial con el médico. Por lo tanto, sólo un 30% de los pacientes del Área B requieren alguna prueba o tratamiento ($p_1 + p_2$), y únicamente un 5% de éstos requieren dos o más pruebas adicionales. Por lo tanto, dados estos porcentajes

y el flujo de pacientes de la Figura 3.6, obtenemos las siguientes ecuaciones de continuidad:

$$P_{DS}^{IE} \cdot (p_1 + p_2) = P_{DS}^{AR} \quad (8)$$

$$P_{DJ}^{IE} \cdot (p_1 + p_2) = P_{DJ}^{AR} \quad (9)$$

$$DS_{IE} + DS_{AR} = DS \quad (10)$$

$$DJ_{IE} + DJ_{AR} = DJ \quad (11)$$

Las ecuaciones (8) y (9) modelan el hecho de que los pacientes visitados en exploración inicial por un médico sénior/júnior a los que se les realizar algún test o tratamiento, determinados por $P_{DS}^{IE} \cdot (p_1 + p_2)$ y $P_{DJ}^{IE} \cdot (p_1 + p_2)$, respectivamente, serán exactamente los que ese mismo médico sénior/júnior visitará en segunda visita para el análisis de los resultados de las pruebas realizadas, determinados por P_{DS}^{AR} y P_{DJ}^{AR} respectivamente.

Las ecuaciones (10) y (11) tienen en cuenta el número total de médicos sénior y júnior que determina la configuración considerada (DS y DJ respectivamente).

La solución a este sistema lineal de ecuaciones determina los valores del número de médicos de cada perfil en etapa de exploración inicial y en etapa de análisis de resultados, es decir, DS_{IE} , DS_{AR} , DJ_{IE} , DJ_{AR} , y con éstos, podemos determinar también los valores de P_{DS}^{IE} , P_{DS}^{AR} , P_{DJ}^{IE} , P_{DJ}^{AR} , para la configuración de médicos considerada.

Determinados estos valores, podemos obtener el T_ThP para los médicos en la fase de diagnóstico y tratamiento a través de la suma de los pacientes que sólo han sido atendidos una vez por el médico (pacientes directos), los que han requerido pruebas adicionales o pacientes de test (*Test Pacs*), y los que han recibido tratamiento o pacientes de tratamiento (*Trat Pacs*), como se muestra en (12):

$$T_ThP_{médicos} = Pacientes Directos + Test Pacs + Trat Pacs \quad (12)$$

Considerando las probabilidades de test (p_1) y tratamiento (p_2):

$$Pacientes Directos = (P_{DS}^{IE} + P_{DJ}^{IE}) \cdot (1 - p_1 - p_2) \quad (13)$$

$$Test Pacs = (P_{DS}^{IE} + P_{DJ}^{IE}) \cdot p_1 \quad (14)$$

$$Trat Pacs = (P_{DS}^{IE} + P_{DJ}^{IE}) \cdot p_2 \quad (15)$$

Introduciendo las ecuaciones (13) a (15) en la ecuación (12) y simplificando la ecuación resultante encontramos:

$$T_ThP_{médicos} = P_{DS}^{IE} + P_{DJ}^{IE} \quad (16)$$

O equivalentemente,

$$T_ThP_{médicos} = \frac{DS_{IE}}{PaT_{DS}^{IE}} + \frac{DJ_{IE}}{PaT_{DJ}^{IE}} \quad (17)$$

Por otra parte, el T_ThP para la etapa de tratamiento llevada a cabo por las enfermeras asistenciales, como parte de esta fase de diagnóstico y tratamiento, se calcula tal como se indica en (6):

$$T_ThP_{enfermeras} = \frac{NS}{PaT_{NS}} + \frac{NJ}{PaT_{NJ}} \quad (18)$$

Y lo mismo para las fases de admisiones y triaje, que a partir de (6), obtenemos:

$$T_ThP_{admisiones} = \frac{AS}{PaT_{AS}} + \frac{AJ}{PaT_{AJ}} \quad (19)$$

$$T_ThP_{triaje} = \frac{TS}{PaT_{TS}} + \frac{TJ}{PaT_{TJ}} \quad (20)$$

donde,

AS : Número de personal Sénior de Admisiones en servicio.

AJ : Número de personal Júnior de Admisiones en servicio.

TS : Número de personal Sénior de Triaje en servicio.

TJ : Número de personal Júnior de Triaje en servicio.

Finalmente, las expresiones (17) a (20) nos proporcionan el cálculo del T_{ThP} para cada fase del proceso del SUH. En el caso particular de los médicos, además hará falta considerar el conjunto de ecuaciones (8) a (11) para determinar DS_{IE} , y DJ_{IE} , necesarios para el cálculo en (17). El valor del T_{ThP} para la fase de diagnóstico y tratamiento será el valor más bajo de (17) y (18), y este valor determinará la capacidad de respuesta a la atención del paciente en el SUH, suponiendo que el T_{ThP} de las fases de admisión y triaje (19) y (20) no limiten este valor.

3.4 Diseño y resultados de los experimentos para la validación del modelo

Una vez definidas las ecuaciones para el cálculo del rendimiento teórico (T_{ThP}), procedemos a su validación.

El diseño de los experimentos para llevar a cabo esta validación se basa en la utilización del simulador para comprobar si los valores obtenidos para el T_{ThP} para cada fase en el proceso del SUH están de acuerdo con los datos generados por simulación. Para ello se considerará un ingreso constante y homogéneo de pacientes, el mismo cada hora, para asegurar un estado estacionario en el que el sistema está funcionando continuamente, después de un tiempo de calentamiento. El diseño prevé realizar el mismo experimento para dos configuraciones distintas de personal sanitario y cuatro distintas entradas de pacientes cercanas al valor calculado para el T_{ThP} para cada una de las fases del proceso. Son en total 32 escenarios distintos a simular para la generación de los datos necesarios para el análisis previsto.

3.4.1 Configuraciones de personal sanitario consideradas

Se utilizan dos configuraciones diferentes de personal sanitario para la validación (Personal I y II), y sólo consideramos el Área B para la fase de diagnóstico y tratamiento. Los correspondientes valores obtenidos para el T_{ThP} calculado a partir de las ecuaciones del modelo (17) a (20) se presentan en la Tabla 3.2 y la Tabla 3.3, respectivamente.

Tabla 3.2 Throughput teórico para cada fase del proceso del SUH correspondiente a la Configuración de Personal I.

		CONFIGURACIÓN DE PERSONAL I				
		Personal sanitario		PaT (minutos)		T_ThP (pacs/hr)
		Júnior	Sénior	Júnior	Sénior	
FASE DE ADMISIONES		3	0	8,00	6,00	22,50
FASE DE TRIAJE		1	2	12,00	8,00	20,00
DIAGNÓSTICO & TRATAMIENTO	Enfermeras	5	7	30,00	27,00	25,56
	Médicos en IE	5	2	23,89	21,74	14,68
	Médicos en AR			19,17	15,25	

Tabla 3.3 Throughput teórico para cada fase del proceso del SUH correspondiente a la Configuración de Personal II.

		CONFIGURACIÓN DE PERSONAL II				
		Personal sanitario		PaT (minutos)		T_ThP (pacs/hr)
		Júnior	Sénior	Júnior	Sénior	
FASE DE ADMISIONES		1	1	8,00	6,00	17,50
FASE DE TRIAJE		2	1	12,00	8,00	17,50
DIAGNÓSTICO & TRATAMIENTO	Enfermeras	4	3	30,00	27,00	14,67
	Médicos en IE	3	2	23,89	21,74	10,63
	Médicos en AR			19,17	15,25	

De acuerdo con los datos presentados en la Figura 3.7, la probabilidad de que los pacientes 4 y 5 necesiten alguna prueba o tratamiento adicional se ha fijado en un 30% para el cálculo del número de médicos en IE y en AR según su perfil (DS_{IE} , DS_{AR} , DJ_{IE} , DJ_{AR}), a partir del conjunto de ecuaciones (8) a (11) del modelo, necesario para el cálculo del T_{ThP} correspondiente a los médicos en la fase de diagnóstico y tratamiento. Por otra parte, los valores del PaT en las Tablas 3.2 y 3.3 son los valores medios para cada fase que resultan de la sintonización del simulador de acuerdo con datos reales del histórico de datos del hospital. Para este cálculo, es importante recordar que el simulador considera una distribución exponencial aleatoria para modelar el comportamiento real del PaT , dependiendo del tipo y edad del paciente.

3.4.2 Selección de indicadores para la validación

Para validar los valores teóricos obtenidos para el T_{ThP} a partir de las ecuaciones del modelo, mostrados en las Tablas 3.2 y 3.3 del apartado anterior, hemos seleccionado los siguientes indicadores:

- El porcentaje de tiempo que el correspondiente personal de atención sanitaria dedica a atender o tratar a los pacientes para cada fase del proceso (*ocupación*).
- El número de pacientes a la espera de ser atendidos en cada fase del proceso, lo que hemos llamado longitud de cola de espera (*WQL*).

Tal como se ha comentado, dada una configuración de personal sanitario, se ejecutará la simulación para cuatro escenarios diferentes, determinados por cuatro entradas estacionarias para el número de pacientes que ingresan al servicio por hora, alrededor del valor teórico obtenido para el T_{ThP} como referencia para cada fase. A continuación, se realizará un análisis del efecto del número de pacientes que entran al servicio por hora, en los indicadores escogidos, de tal manera que, consideraremos que el valor teórico obtenido del modelo (T_{ThP}) es un buen acercamiento al valor real de la capacidad de atención del sistema, cuando:

- a) La ocupación del personal considerado en la fase analizada no alcanza su límite máximo del 100%, y no se observan colas para este valor.
- b) Se generan colas cuando añadimos más pacientes por hora ingresando al servicio y entonces el personal para esa fase alcanza el 100% de ocupación.

Si fuera necesario en algún caso, se adaptará la configuración de personal en la simulación, de tal forma que se considerarán recursos infinitos en las fases anteriores a la fase analizada, para que éstas no sean cuello de botella en la experimentación.

Por otra parte, se necesita un número mínimo de ejecuciones con el objetivo de generar el número de mínimo de pacientes, necesario para obtener datos suficientes, para que los valores de los indicadores escogidos correspondientes a los distintos escenarios simulados sean estadísticamente confiables. Se simulan 125 días, que es el

tiempo de simulación fijado por defecto en el simulador, y que asegura la fiabilidad de los resultados [82].

El análisis presentado en las siguientes secciones (muestra cómo el *WQL* alcanza valores altos cuando la entrada de pacientes alcanza y sobrepasa el T_{ThP} obtenido con el modelo en cada fase. Los resultados obtenidos muestran cómo esta situación conduce inevitablemente a la sobresaturación del sistema. También se observa cómo la ocupación del personal correspondiente en cada fase alcanza el 100% cuando esto sucede.

3.4.3 Resultados de simulación para la fase de admisiones

En este apartado se presentan los resultados de los experimentos llevados a cabo para la validación del valor calculado del T_{ThP} para la fase de admisiones, para las dos configuraciones de personal consideradas. También se analizan y discuten estos resultados.

Configuración de Personal I

En primer lugar fijamos los parámetros de entrada según la configuración de personal I fijados en la Tabla 3.2. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta tabla el valor obtenido para el T_{ThP} para el personal de admisiones considerado para esta configuración es de 22,50 pacientes por hora. Se genera un ingreso constante y homogéneo de pacientes para asegurar un estado estacionario de 20, 21, 22 y 23 pacientes por hora. Los resultados se muestran en las Figuras 3.8 y 3.9.

El diagrama de barras de la Figura 3.8 muestra los resultados para la ocupación del personal I en la fase de admisiones para las cuatro entradas diferentes de pacientes consideradas alrededor del T_{ThP} calculado. Observamos que la barra correspondiente a una entrada de 21 pacientes por hora para la ocupación del personal de admisiones llega casi al 100%, y se alcanza este límite máximo de ocupación para una entrada de 22 pacientes por hora. Esto significa que, a partir de 22 pacientes por hora, la fase de admisiones sobrepasa su límite de capacidad, por lo

que estos resultados de simulación están de acuerdo con el T_{ThP} calculado con el modelo analítico para la fase de admisiones considerada en la Tabla 3.2 y lo validan.

Por otra parte, la Figura 3.9 muestra la evolución de la longitud de cola de espera (WQL) en el tiempo, de tal forma que se representa el número de pacientes en la cola en la sala de espera previa a esta fase del proceso a lo largo de los 125 días simulados a la misma hora de cada día, y para los mismos cuatro valores diferentes considerados para la entrada de pacientes en el servicio.

Se observa en los diagramas temporales de la Figura 3.9 como el WQL está bajo control para una entrada de 20 y 21 pacientes por hora, por debajo del valor calculado para el T_{ThP} . Pero cuando el número de pacientes alcanza y supera los 22 pacientes por hora, el WQL empieza a crecer, se observa un aumento estable para una entrada de 22 pacientes por hora y crece indefinidamente cuando se supera este valor (23 pacientes por hora). De nuevo estos resultados están de acuerdo con el valor calculado para el T_{ThP} para esta fase.

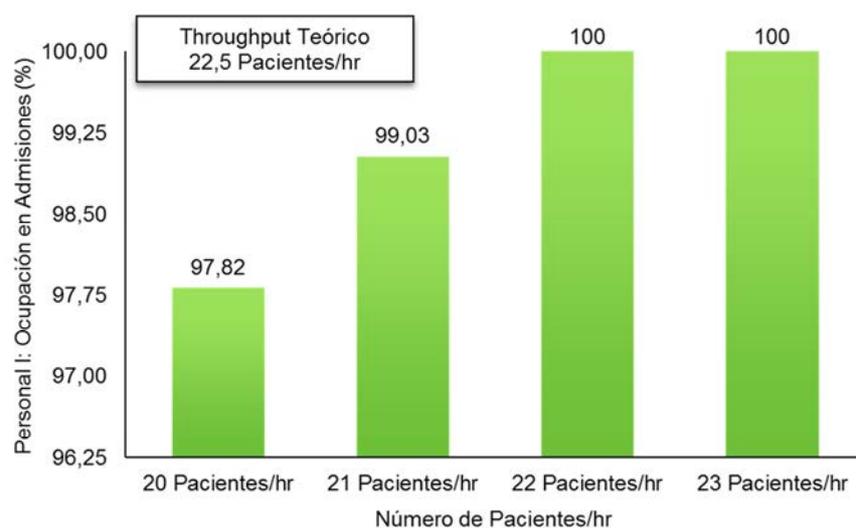


Figura 3.8 Porcentaje de ocupación del personal de la fase de admisiones correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.

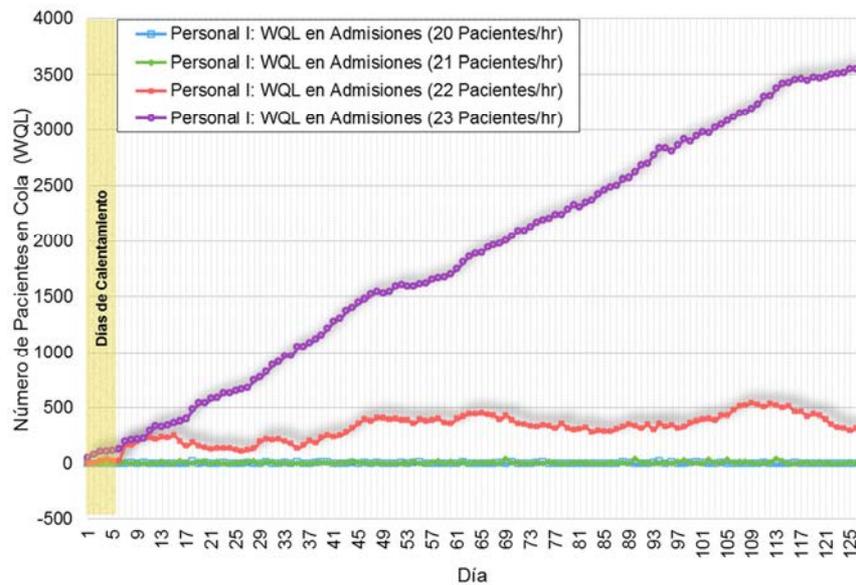


Figura 3.9 Evolución temporal del WQL para la fase de admisiones correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.

Las fluctuaciones en el número de pacientes en cola que pueden apreciarse en las líneas temporales de la Figura 3.9, y de forma más evidente en algunos de los casos de las siguientes fases analizadas (Figuras 3.11 y 3.15), se deben principalmente a dos motivos:

- El simulador no genera a los pacientes de forma totalmente homogénea dentro de cada hora, sino que lo hace considerando una distribución de probabilidad de Poisson, parametrizada por la sintonización del simulador con los datos reales del histórico del Hospital de Sabadell.
- La variación del *PaT* dependiendo del tipo y edad de los pacientes que el simulador genera, ya que utiliza una distribución exponencial para modelar este hecho que, ya hemos comentado repetidas veces, que también queda determinada por su sintonización con los datos reales disponibles del histórico del hospital [83] [82].

Debido a estas variaciones en los valores aleatorios, asignados a la semilla aleatoria para la generación de los pacientes en cada hora y al *PaT* para cada paciente generado, pueden producirse colas que aparecen aleatoriamente en cualquier

momento, pero que el sistema puede absorber si el número de pacientes que entran al servicio por hora está por debajo de la capacidad de atención del sistema.

Configuración de Personal II

Se procede a continuación con los experimentos para la validación del valor T_{ThP} calculado para el personal de admisiones considerado en la configuración de personal II (Tabla 3.3). El valor obtenido para el T_{ThP} de esta fase es de 17,50 pacientes por hora. Las Figuras 3.10 y 3.11 muestran los resultados para la ocupación del personal de la fase de admisiones y la evolución temporal de la longitud de cola de espera (WQL) de nuevo para cuatro entradas diferentes de pacientes (15, 16, 17 y 18 pacientes por hora) alrededor del valor calculado para T_{ThP} .

Cuando la entrada es de 17 pacientes por hora, la ocupación del personal de admisiones casi alcanza su límite máximo, pero no se generan colas importantes. Se observa en el diagrama de la Figura 3.10 cómo la barra correspondiente a esta entrada de 17 pacientes por hora llega hasta casi el 100% de ocupación, y las líneas temporales de la Figura 3.11 para 17 o menos pacientes por hora no conducen a la saturación del sistema, pero sólo un paciente más por hora entrando en el servicio produce colas interminables. De nuevo los resultados de los experimentos de simulación están de acuerdo con el T_{ThP} obtenido con el modelo (17,5 pacientes por hora) y por lo tanto, validan este valor.

Estos resultados junto con los obtenidos para esta misma fase de admisiones pero con la composición correspondiente a la configuración de personal I, son concluyentes acerca de la validación del modelo hasta aquí, dado que en ambos casos, están de acuerdo con el valor calculado para el T_{ThP} para esta fase.

A continuación, en los apartados siguientes, procedemos de la misma manera para la validación de los valores del T_{ThP} correspondientes al personal del resto de fases: personal de triaje, médicos y enfermeras en la etapa de tratamiento de la fase de diagnóstico y tratamiento.

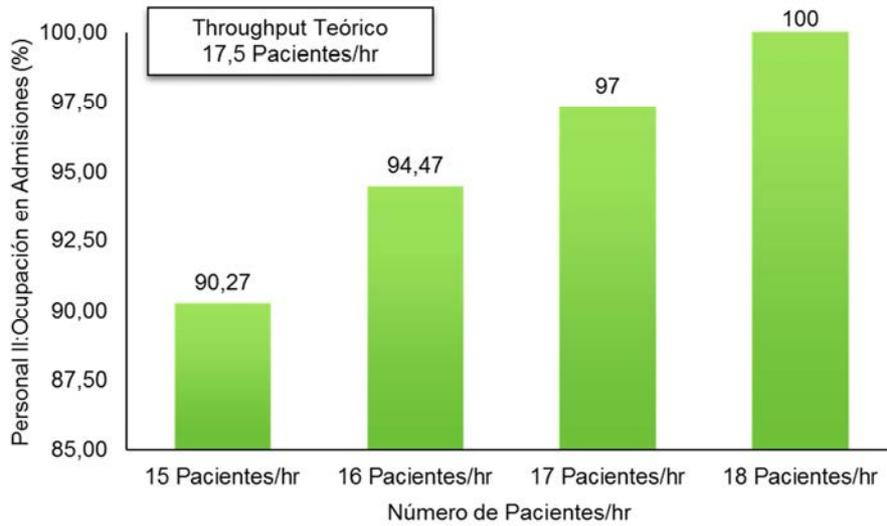


Figura 3.10 Porcentaje de ocupación del personal de la fase de admisiones correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.

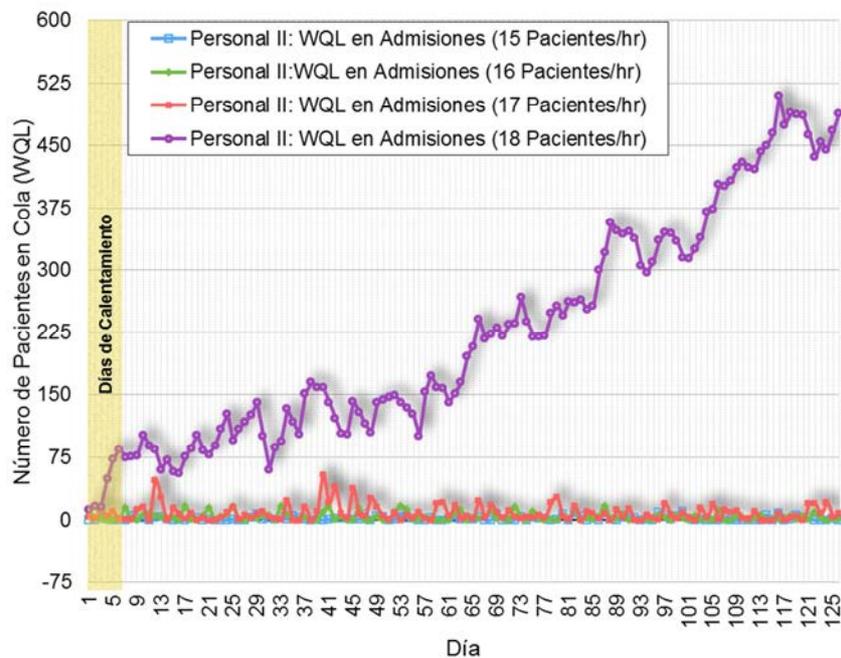


Figura 3.11 Evolución temporal del WQL para la fase de admisiones correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.

3.4.4 Resultados de simulación para la fase de triaje

Se realizan los experimentos de validación para la fase de triaje para las dos configuraciones de personal consideradas en el apartado 3.4.1 y se presentan aquí los resultados obtenidos.

Configuración de Personal I

Los resultados de simulación de los experimentos conducidos para la validación del valor del T_{ThP} , calculado para el personal de triaje considerando el personal de la configuración I de la Tabla 3.2, se muestran en las Figuras 3.12 y 3.13.

El valor obtenido a través de las ecuaciones del modelo analítico para el T_{ThP} en este caso es de 20 pacientes por hora. Se realizan los cuatro experimentos correspondientes a cuatro escenarios distintos caracterizados, en este caso, por la configuración de personal I y cuatro entradas de pacientes de 18, 19, 20 y 21 pacientes por hora respectivamente.

El diagrama de barras de la Figura 3.12 muestra como estos primeros resultados experimentales están de acuerdo con el valor calculado para la capacidad máxima de atención de 20 pacientes por hora, ya que es precisamente para este valor cuando se alcanza el 100% de ocupación del personal sanitario responsable de esta fase.

Por otra parte, en la Figura 3.13 podemos observar la evolución de la longitud de cola de espera (WQL) para la fase de triaje, de nuevo para las cuatro entradas diferentes de 18, 19, 20 y 21 pacientes por hora. Las colas crecen indefinidamente cuando entran en el servicio 20 pacientes por hora o más, justo el límite de capacidad calculado teóricamente. En cambio, no se generan colas para entradas de 18 y 19 pacientes por hora, valores por debajo del T_{ThP} calculado con el modelo analítico.

Así, estos resultados de simulación de nuevo concuerdan con el el valor teórico calculado del T_{ThP} para la fase de triaje, por lo que lo validan.

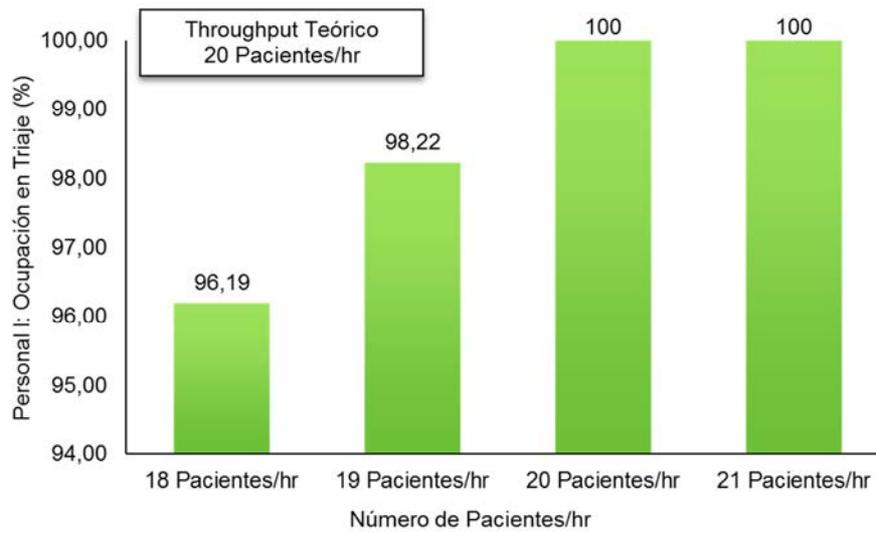


Figura 3.12 Porcentaje de ocupación del personal de la fase de triaje correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.

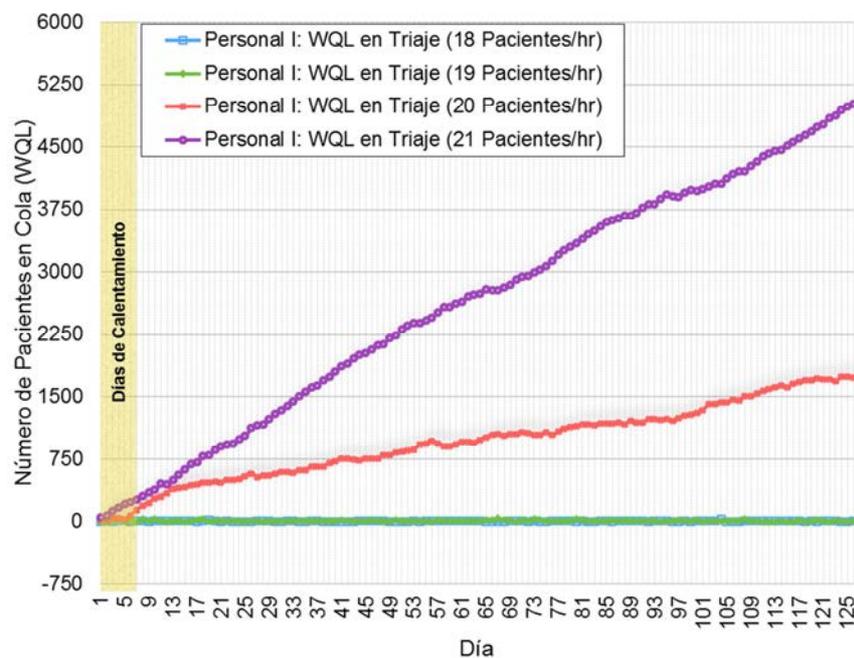


Figura 3.13 Evolución temporal del WQL para la fase de triaje correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.

Configuración de Personal II

Las Figuras 3.14 y 3.15 muestran el porcentaje de ocupación del personal en la fase de triaje, correspondiente a la configuración de personal II de la Tabla 3.3, y la correspondiente longitud de cola de espera (*WQL*), respectivamente para cuatro entradas diferentes de pacientes de 15, 16, 17 y 18 pacientes por hora, valores cercanos al valor teórico calculado para este caso de 17,50 pacientes por hora.

Cuando la entrada es de 17 pacientes por hora, la ocupación del personal de triaje casi alcanza el 100% (Figura 3.14), por lo que está casi al límite de su capacidad según los resultados experimentales. Sólo un paciente más por hora colapsa el sistema en esta fase, como muestra la línea temporal en la Figura 3.15 para el escenario correspondiente a 18 pacientes por hora ingresando en el servicio que provoca una evolución de aumento desmesurado de la longitud de cola con el tiempo.

Este resultado de simulación de nuevo está de acuerdo con el T_{ThP} obtenido con el modelo analítico de 17,50 pacientes por hora, por lo queda también validado este valor para el T_{ThP} del personal de triaje de la configuración del personal II.

Como ya hemos comentado, las fluctuaciones observadas en la Figura 3.15 se deben a la distribución exponencial aleatoria utilizada por el simulador para considerar la variación del PaT y a la entrada también aleatoria de pacientes en cada hora.

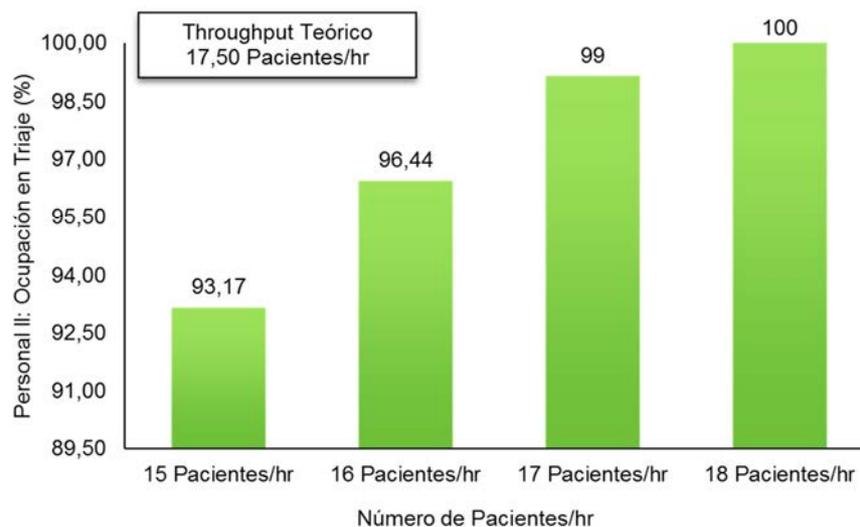


Figura 3.14 Porcentaje de ocupación del personal de la fase de triaje correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.

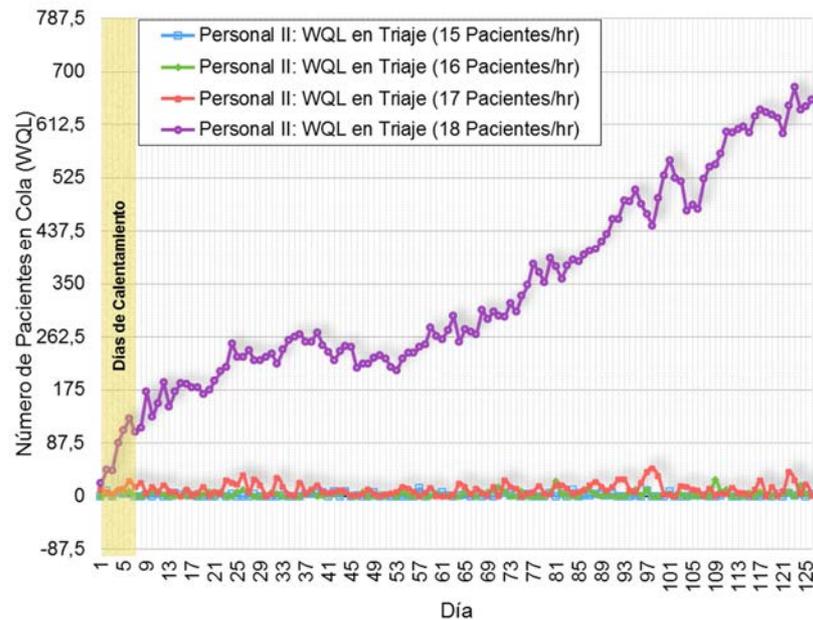


Figura 3.15 Evolución temporal del WQL para la fase de triaje correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.

3.4.5 Resultados de simulación para la fase de diagnóstico y tratamiento (Área B)

Aquí sólo se consideran los pacientes 4 y 5, ya que estamos analizando el comportamiento del sistema para la fase de diagnóstico y tratamiento en el Área B, donde se tratan únicamente pacientes no críticos.

Una vez más consideramos las dos configuraciones de personal sanitario cuya composición de médicos y enfermeras para esta fase se especifica en las Tablas 3.2 y 3.3.

Distinguimos los experimentos realizados para validar el T_{ThP} calculado para los médicos en su etapa de diagnóstico y el calculado para los enfermeros/as en su etapa de tratamiento.

Etapa de diagnóstico (Médicos) – Configuración de Personal I

Los diagramas de las Figuras 3.16 y 3.17 muestran los resultados experimentales de simulación para la ocupación y la longitud de cola de los médicos en esta etapa de diagnóstico, considerando la configuración de personal I de la Tabla 3.2. El T_{ThP}

calculado por el modelo analítico para los médicos en este caso es de 14,68 pacientes por hora, y en el diseño experimental se consideran nuevamente cuatro escenarios distintos correspondientes a cuatro entradas de 13, 14, 15 y 16 pacientes por hora, en este caso, todos de nivel 4 y 5, para forzar que todos lleguen al Área B en esta fase.

En la Figura 3.16 podemos ver la ocupación de personal médico correspondiente para las cuatro entradas de pacientes consideradas. Los datos de simulación muestran cómo la ocupación de los médicos para una entrada de 14 pacientes por hora llega casi al 100%, y también el análisis de los resultados experimentales para la longitud de cola (*WQL*) mostrados en la Figura 3.17, muestra cómo el sistema llega a la saturación en esta etapa cuando sólo un paciente más por hora entra en el servicio, ya que las colas a la espera de atención médica aumentan desmesuradamente para entradas de 15 y 16 pacientes por hora, mientras para las entradas de 13 y 14 pacientes por hora no se producen colas.

Por tanto, una vez más, los resultados experimentales muestran que el valor teórico calculado a través de las ecuaciones del modelo para el T_{ThP} se corresponde con el límite de capacidad obtenido por simulación, ya que cuando este valor es superado, el sistema se colapsa en esta fase.

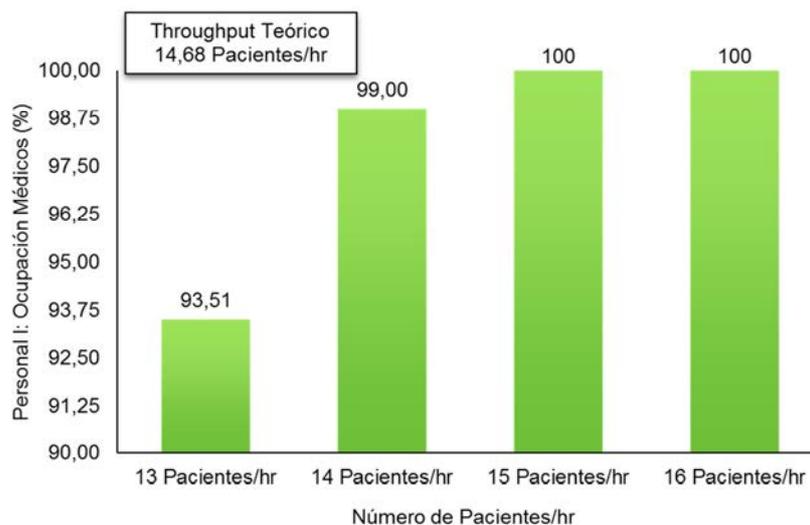


Figura 3.16 Porcentaje de ocupación del personal médico en la etapa de diagnóstico del Área B correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.

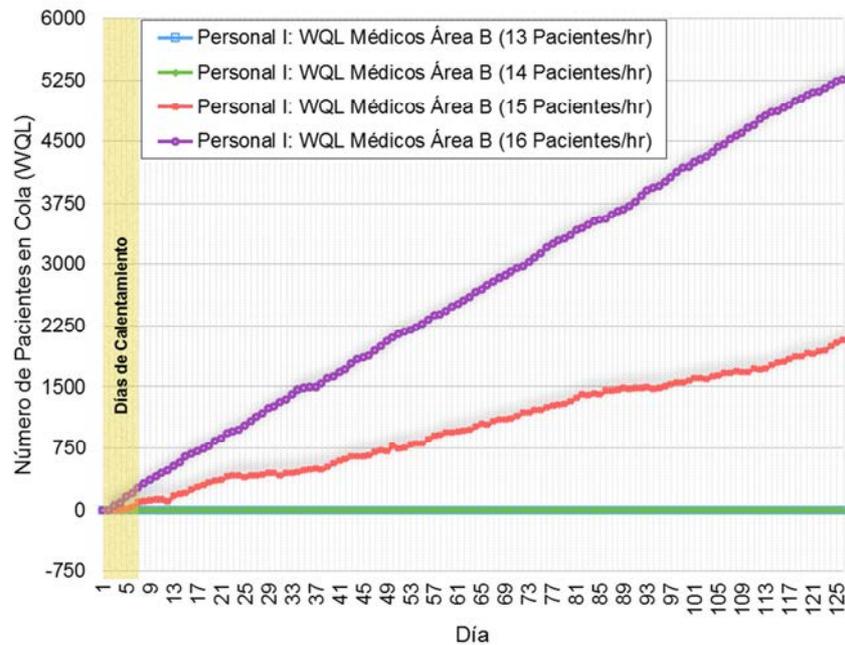


Figura 3.17 Evolución temporal del *WQL* para la atención médica en la etapa de diagnóstico del Área B correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.

Etapa de diagnóstico (Médicos) – Configuración de Personal II

Del mismo modo, las Figuras 3.18 y 3.19 muestran la tasa de ocupación del personal médico y la tendencia de la longitud de cola (*WQL*) para la etapa de diagnóstico, para la configuración de personal II (Tabla 3.3). Cuatro nuevos experimentos se llevan a cabo, correspondientes a los escenarios identificados por una entrada de 9, 10, 11 y 12 pacientes por hora, considerando el valor calculado teóricamente para el T_{ThP} de los médicos, en este caso de 10,63 pacientes por hora, como referencia para la selección de estos escenarios.

Analizando los resultados obtenidos, podemos ver cómo, cuando la entrada es de 11 pacientes por hora, la ocupación del personal médico alcanza el 100% (Figura 3.18). Es también para 11 o más pacientes cuando la longitud de las colas (*WQL*) evoluciona aumentando indefinidamente y colapsan el servicio. Estos resultados de simulación muestran que el sistema ha superado su límite de capacidad para este valor en esta etapa, una vez más, de acuerdo con el valor del T_{ThP} obtenido para los médicos con el modelo.

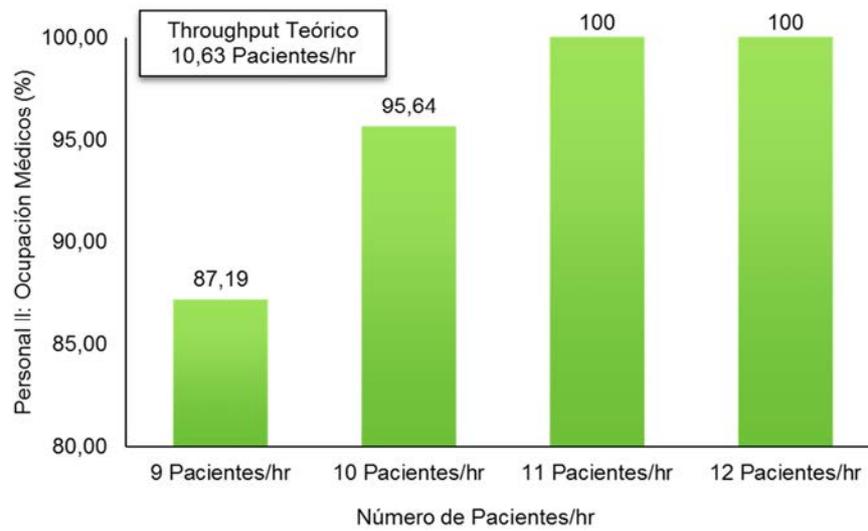


Figura 3.18 Porcentaje de ocupación del personal médico en la etapa de diagnóstico del Área B correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.

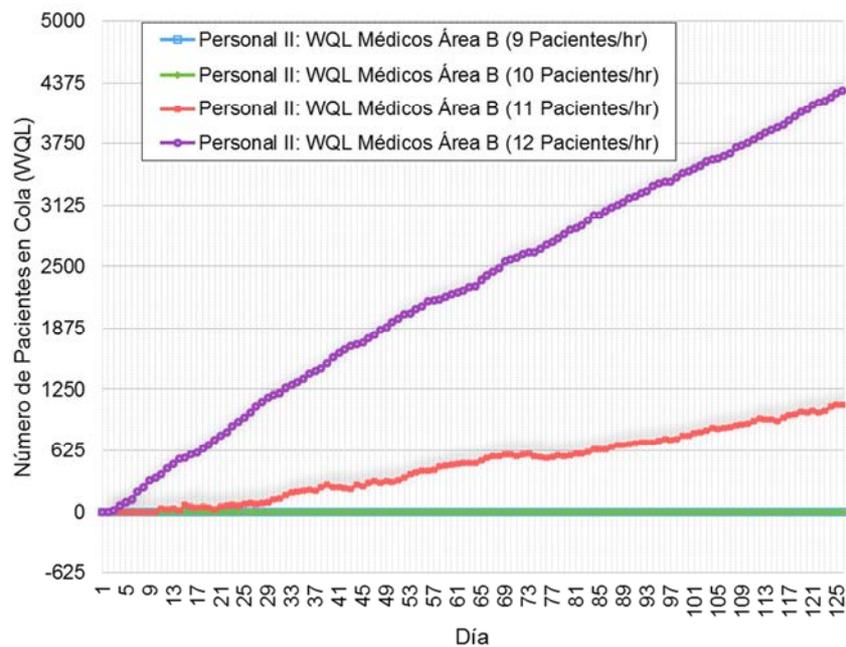


Figura 3.19 Evolución temporal del WQL para la atención médica en la etapa de diagnóstico del Área B correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.

Etapa de tratamiento (Enfermeros/as) – Configuración de Personal I

Por último, se presentan los resultados de simulación de los experimentos realizados para la validación del cálculo del T_{ThP} de los enfermeros/as en la etapa de tratamiento con la composición correspondiente a la configuración de personal I de la Tabla 3.2. En esta ocasión ha sido necesario adaptar la configuración, aumentando el personal en el resto de las fases (admisiones, triaje y médicos), de tal forma que permitan que lleguen los pacientes deseados a la fase de tratamiento, objetivo del análisis en estos experimentos.

Las Figuras 3.20 y 3.21 muestran los resultados experimentales de los cuatro nuevos escenarios simulados dado este personal, para entradas de 23, 24, 25 y 26 pacientes por hora en el servicio.

Los valores obtenidos para la tasa de ocupación están de acuerdo con nuestro valor teórico de 25,56 pacientes por hora (Figura 3.20), ya que para una entrada de 25 pacientes o más por hora el personal está prácticamente al 100% de ocupación y el número de pacientes en espera de tratamiento (WQL) crece dramáticamente cuando la entrada es ya de 26 pacientes por hora (Figura 3.21).

Etapa de tratamiento (Enfermeros/as) – Configuración de Personal II

En las Figuras 3.22 y 3.23 podemos ver cómo los resultados de la simulación para la etapa de tratamiento, llevada a cabo por personal de enfermería, están, una vez más, de acuerdo con el modelo cuando modificamos los parámetros del personal en el simulador considerando la configuración del personal II especificado en la Tabla 3.3, adaptándola esta vez, aumentando los recursos de personal médico.

Se llevan a cabo los últimos cuatro experimentos para esta última validación, en este caso para escenarios correspondientes a entradas de 12, 13, 14 y 15 pacientes por hora en el servicio.

Los valores experimentales obtenidos para la ocupación de este personal se corresponden con el valor teórico obtenido con el modelo de 14,67 pacientes por

hora (Figura 3.22), llegando a alcanzar prácticamente la máxima ocupación en esta etapa para 14 pacientes por hora, y nuevamente el número de pacientes que esperan atención (*WQL*) por parte de los enfermeros/as crece dramáticamente cuando se supera este valor (15 pacientes por hora en la Figura 3.23).

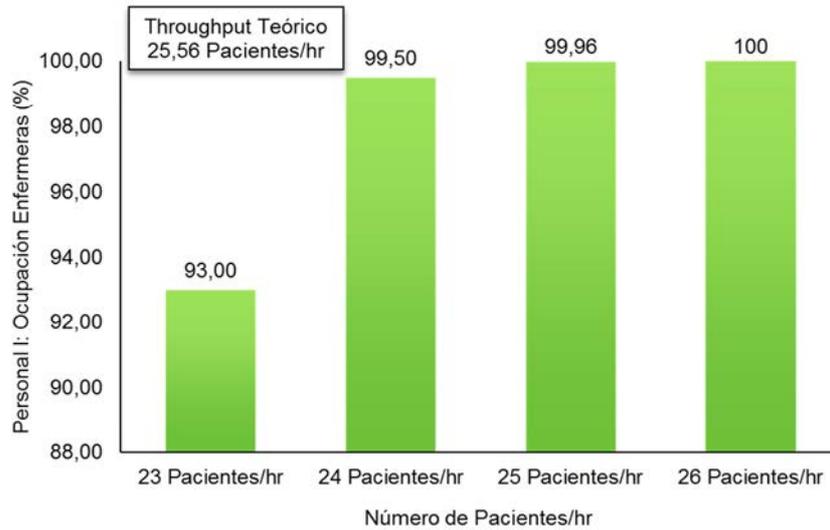


Figura 3.20 Porcentaje de ocupación de enfermeros/as asistenciales en la etapa de tratamiento del Área B correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.

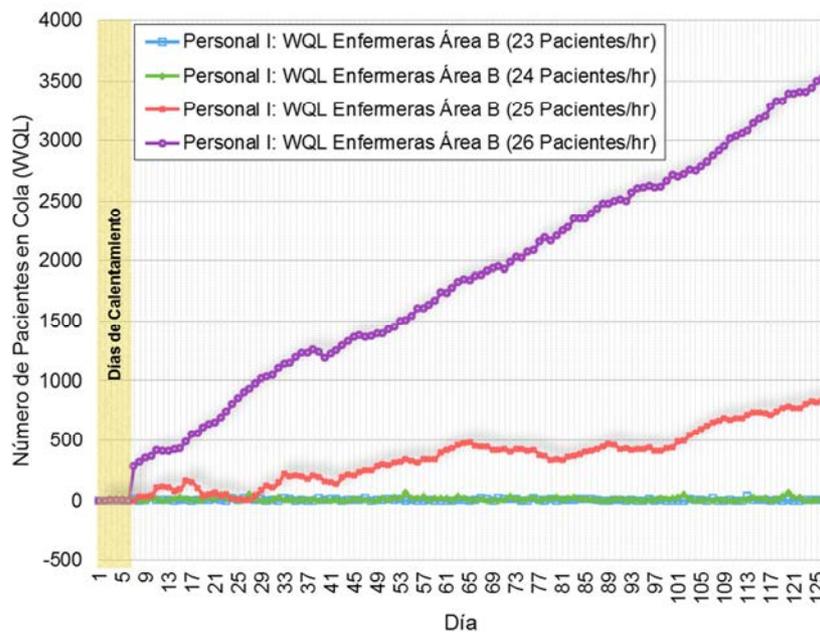


Figura 3.21 Evolución temporal del *WQL* para la etapa de tratamiento (enfermeros/as) del Área B correspondiente a la Configuración de Personal I y para cuatro entradas de pacientes.

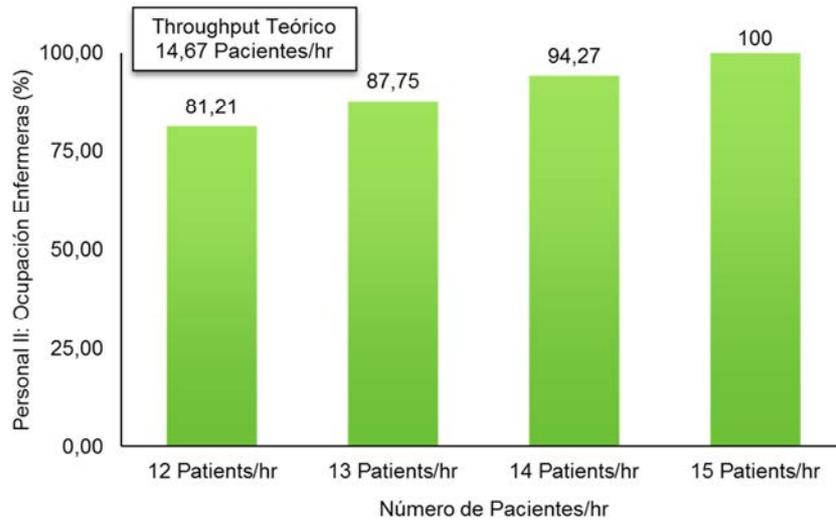


Figura 3.22 Porcentaje de ocupación de enfermeros/as asistenciales en la etapa de tratamiento del Área B correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.

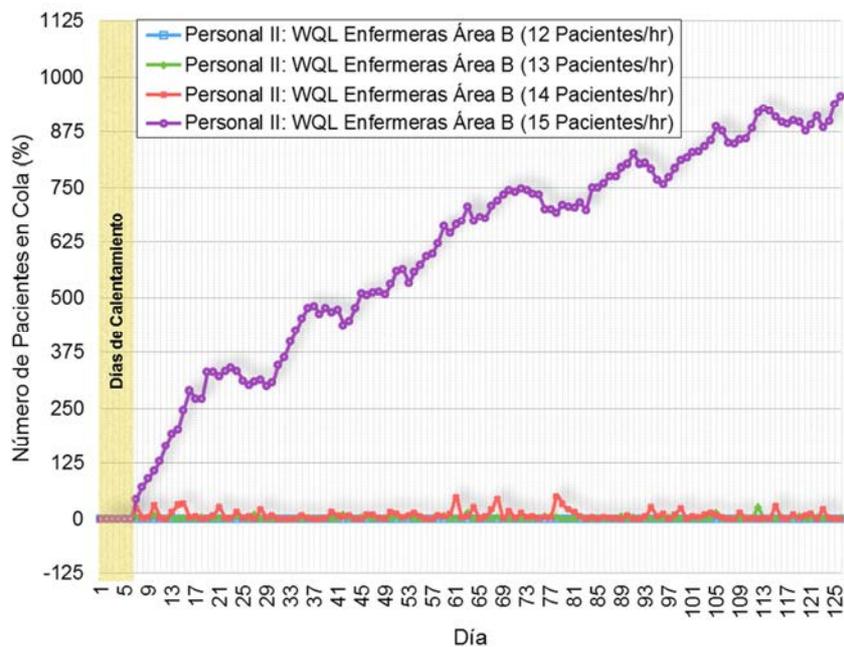


Figura 3.23 Evolución temporal del WQL para la etapa de tratamiento (enfermeros/as) del Área B correspondiente a la Configuración de Personal II y para cuatro entradas de pacientes.

3.4.6 Resumen de resultados

El simulador del SUH, sintonizado y validado con datos reales del histórico de datos del Hospital de Sabadell, ha sido la herramienta utilizada como generador de datos para la validación del modelo analítico presentado en este capítulo.

Los resultados obtenidos experimentalmente por simulación, corroboran los valores del T_{ThP} obtenidos teóricamente a través de las ecuaciones formuladas en el modelo analítico, para el personal de admisión, triaje, médicos y personal de enfermería, con una muy buena aproximación.

En las tablas siguientes se resumen los valores obtenidos para la ocupación diaria media y su desviación para todos los experimentos realizados, correspondientes a los datos graficados en los apartados anteriores. También se ha calculado la media y la desviación de la longitud de cola para todos aquellos escenarios que no colapsan el sistema. CP I y CP II identifican la configuración de personal sanitario en cada caso.

Personal de Admisiones

En el caso del personal de admisiones para la CP I, la ocupación del personal alcanza su máximo para 22 pacientes/hr y el sistema se satura para este valor. La capacidad teórica calculada es de 22,50 pacientes por hora (Tabla 3.4).

Tabla 3.4 Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de Admisiones de la CP I para todos los escenarios simulados.

Admisiones (CP I)	Ocupación diaria (%)			
	20 Pacientes/hr	21 Pacientes/hr	22 Pacientes/hr	23 Pacientes/hr
$T_{ThP} = 22,50$ pacs/hr				
Media	97,82	99,03	100	100
Desviación estándar	3,12	1,70	0	0

Admisiones (CP I)	Longitud de cola (WQL)			
	20 Pacientes/hr	21 Pacientes/hr	22 Pacientes/hr	23 Pacientes/hr
$T_{ThP} = 22,50$ pacs/hr				
Media	4,29	8,28	SERVICIO SATURADO	
Desviación estándar	5,30	9,14		

El personal de admisiones para la CP II, alcanza su máximo para 18 pacientes/hr y el sistema se satura para este valor. La capacidad teórica calculada es de 17,50 pacientes por hora (Tabla 3.5).

Tabla 3.5 Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de Admisiones de la CP II para todos los escenarios simulados.

Admisiones (CP II)	Ocupación diaria (%)			
	15 Pacientes/hr	16 Pacientes/hr	17 Pacientes/hr	18 Pacientes/hr
$T_ThP = 17,50$ pacs/hr				
Media	90,27	94,47	97,35	100,00
Desviación estándar	4,80	3,83	2,66	0,00

Admisiones (CP II)	Longitud de cola (WQL)			
	15 Pacientes/hr	16 Pacientes/hr	17 Pacientes/hr	18 Pacientes/hr
$T_ThP = 17,50$ pacs/hr				
Media	1,98	3,87	8,51	SERVICIO SATURADO
Desviación estándar	2,44	4,69	9,88	

Personal de Triage

Para el personal de triaje de la CP I, el sistema se satura para 20 pacientes/hora, justo cuando su ocupación es máxima. El valor teórico de la capacidad para esta fase es de 20 pacientes por hora (Tabla 3.6).

Tabla 3.6 Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de Triage de la CP I para todos los escenarios simulados.

Triage (CP I)	Ocupación diaria (%)			
	18 Pacientes/hr	19 Pacientes/hr	20 Pacientes/hr	21 Pacientes/hr
$T_ThP = 20$ pacs/hr				
Media	96,19	98,22	100	100
Desviación estándar	3,74	2,57	0	0

Triage (CP I)	Longitud de cola (WQL)			
	18 Pacientes/hr	19 Pacientes/hr	20 Pacientes/hr	21 Pacientes/hr
$T_ThP = 20$ pacs/hr				
Media	2,38	6,87	SERVICIO SATURADO	
Desviación estándar	3,20	7,13		

El personal de triaje de la CP II no soporta los 18 pacientes/hora, cuando su ocupación ha alcanzado su valor máximo. La capacidad teórica en este caso es de 17,50 pacientes por hora (Tabla 3.7).

Tabla 3.7 Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de Triaje de la CP II para todos los escenarios simulados.

Triaje (CP II)	Ocupación diaria (%)			
$T_ThP = 17,50$ pacs/hr	15 Pacientes/hr	16 Pacientes/hr	17 Pacientes/hr	18 Pacientes/hr
Media	93,17	96,44	99,15	100,00
Desviación estándar	6,45	3,72	1,53	0,00

Triaje (CP II)	Longitud de cola (WQL)			
$T_ThP = 17,50$ pacs/hr	15 Pacientes/hr	16 Pacientes/hr	17 Pacientes/hr	18 Pacientes/hr
Media	1,63	3,08	10,48	SERVICIO SATURADO
Desviación estándar	2,54	4,62	9,69	

Personal Médico (Área B)

Los médicos del Área B de la CP I soportan teóricamente entre 14 y 15 pacientes por hora. Los resultados muestran que para 14 pacientes/hora el sistema no produce colas, y para 15 se satura (Tabla 3.8).

Tabla 3.8 Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal médico (Área B) de la CP I para todos los escenarios simulados.

Médicos (CP I)	Ocupación diaria (%)			
$T_ThP = 14,68$ pacs/hr	13 Pacientes/hr	14 Pacientes/hr	15 Pacientes/hr	16 Pacientes/hr
Media	93,51	99,00	100,00	100,00
Desviación estándar	6,27	2,56	0,00	0,00

Médicos (CP I)	Longitud de cola (WQL)			
$T_ThP = 14,68$ pacs/hr	13 Pacientes/hr	14 Pacientes/hr	15 Pacientes/hr	16 Pacientes/hr
Media	0,00	0,00	SERVICIO SATURADO	
Desviación estándar				

El personal médico correspondiente a la CP II absorbe hasta 10 pacientes por hora con un 95% de ocupación. Un paciente más colapsa el sistema en esta etapa. El valor teórico calculado para los médicos prevé una capacidad entre 10 y 11 pacientes por hora (Tabla 3.9).

Tabla 3.9 Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal médico (Área B) de la CP II para todos los escenarios simulados.

Médicos (CP II)	Ocupación diaria (%)			
$T_ThP = 10,63$ pacs/hr	9 Pacientes/hr	10 Pacientes/hr	11 Pacientes/hr	12 Pacientes/hr
Media	87,19	95,64	100,00	100,00
Desviación estándar	6,44	4,55	0,00	0,00

Médicos (CP II)	Longitud de cola (WQL)			
$T_ThP = 10,63$ pacs/hr	9 Pacientes/hr	10 Pacientes/hr	11 Pacientes/hr	12 Pacientes/hr
Media	0,00	0,00	SERVICIO SATURADO	
Desviación estándar				

Personal de Enfermería (Área B)

25 pacientes/hora saturan a las enfermeras en la etapa de tratamiento del Área B, cuando están la máximo de ocupación. El modelo teórico prevé una capacidad para este personal de la CP I de 25,56 pacientes por hora (Tabla 3.10).

Tabla 3.10 Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de enfermería (Área B) de la CP I para todos los escenarios simulados.

Enfermeras (CP I)	Ocupación diaria (%)			
$T_ThP = 25,56$ pacs/hr	23 Pacientes/hr	24 Pacientes/hr	25 Pacientes/hr	26 Pacientes/hr
Media	93,00	99,50	99,96	100
Desviación estándar	3,62	1,14	0,23	0

Enfermeras (CP I)	Longitud de cola (WQL)			
$T_ThP = 25,56$ pacs/hr	23 Pacientes/hr	24 Pacientes/hr	25 Pacientes/hr	26 Pacientes/hr
Media	4,68	10,85	SERVICIO SATURADO	
Desviación estándar	5,84	12,52		

Por último, en el caso de la CP II, las enfermeras teóricamente absorben entre 14 y 15 pacientes por hora. Los resultados de simulación dan su ocupación máxima para 15 pacientes, y el servicio se colapsa para este valor (Tabla 3.11).

Tabla 3.11 Resultados experimentales (media y desviación) de la Ocupación diaria y la Longitud de Cola del personal de enfermería (Área B) de la CP II para todos los escenarios simulados.

Enfermeras (CP II)	Ocupación diaria (%)			
	12 Pacientes/hr	13 Pacientes/hr	14 Pacientes/hr	15 Pacientes/hr
$T_{ThP} = 14,67$ pacs/hr				
Media	81,21	87,76	94,29	100,00
Desviación estándar	4,64	4,19	4,12	0,00

Enfermeras (CP II)	Longitud de cola (WQL)			
	12 Pacientes/hr	13 Pacientes/hr	14 Pacientes/hr	15 Pacientes/hr
$T_{ThP} = 14,67$ pacs/hr				
Media	0,00	1,75	7,88	SERVICIO SATURADO
Desviación estándar	0,00	3,34	10,24	

Todos los resultados experimentales obtenidos validan el modelo analítico propuesto, y será utilizado como parte fundamental del modelo para la programación de la admisión de pacientes presentado en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

Modelo para la programación de la admisión de pacientes no críticos

4.1 Introducción

Proponemos en este capítulo un modelo para la programación de la admisión de los pacientes no críticos en un SUH. El objetivo del modelo es proporcionar una redistribución de los pacientes respecto al patrón de entrada inicialmente previsto, derivado del histórico de datos del hospital, de tal modo que esta redistribución conlleve una disminución en los tiempos de espera (*LoW*) de estos pacientes usuarios del servicio. Esto supondría una mejora en la calidad de la atención prestada interesante de cara al modelo organizativo del SUH [95].

El modelo que se propone está basado en la reubicación de los pacientes no críticos con respecto a su hora actual de llegada, para la programación de su admisión en momentos de saturación prevista. Para llevar a cabo esta reubicación se necesita un conocimiento profundo del sistema. La caracterización del sistema en cuanto a su capacidad teórica de atención (T_{ThP}) y el estado del mismo respecto a los pacientes en proceso de atención en cada hora del día, será conocimiento necesario para modificar el patrón de entrada de pacientes en el servicio, a través de su reubicación.

De los datos del histórico de un año completo referentes a la entrada de pacientes que nos proporciona el hospital de referencia, en nuestro caso el Hospital de Sabadell, obtenemos la información para la caracterización inicial del sistema, necesaria para el desarrollo del modelo. Utilizaremos esta información para ajustar y adaptar dinámicamente, en la medida de lo posible, la entrada de los pacientes no críticos en el servicio a su capacidad teórica de atención (T_ThP), en función de los recursos de personal sanitario disponibles y del estado del sistema en cada momento.

Finalmente, el tiempo de estancia (LoS) de los pacientes en el SUH según su hora de entrada en el servicio, y en particular el tiempo de espera (LoW), serán los indicadores escogidos para valorar el resultado de la aplicación del modelo, es decir, la mejora conseguida por la programación de la admisión de los pacientes no críticos que saturan el servicio en cada hora. Los valores de estos indicadores los obtenemos del análisis de los datos generados por la simulación del sistema real para cada situación.

A partir de la experimentación llevada a cabo al respecto, hemos podido comprobar la validez del modelo propuesto, comprobando que los tiempos de espera de los pacientes se reducen con la aplicación del método para la reubicación de los pacientes que propone el modelo.

4.2 Visión general del modelo

El modelo para la programación de la admisión de pacientes no críticos en el SUH se construye sobre la base de la información extraída del histórico de datos del hospital para la determinación del número de pacientes en atención en cada hora del día, que identificaremos como *Estado del Sistema* (SS , *System State*).

Un primer paso hacia la definición de este modelo ha consistido en el desarrollo de un modelo analítico previo para el cálculo del *throughput teórico* (T_ThP), que caracteriza el sistema en términos de su capacidad de respuesta a la atención de los pacientes. Este modelo está basado en un conjunto de ecuaciones que nos permiten

determinar el valor del límite de capacidad, fijada una configuración particular del personal sanitario, tal como se describe en el capítulo III de esta memoria (ecuaciones (8) a (11) y (17) a (20)). El T_{ThP} se define en el anterior capítulo como el número máximo de pacientes que el sistema puede atender por unidad de tiempo en función de los recursos de personal sanitario disponibles y considerando el modelo de flujo de pacientes descrito en las Figuras 2.2 y 2.3 y 3.6. Así, el valor correspondiente para el T_{ThP} es una medida de la capacidad del sistema para absorber la demanda del servicio y un valor de referencia a tener en cuenta en el modelo, en particular en la reubicación de los pacientes para la programación de su admisión.

El diagrama de la Figura 4.1 ofrece una visión general del modelo y visualiza el ciclo completo para obtener dinámicamente una programación de citas para la entrada de estos pacientes en el SUH, de acuerdo con la demanda actual por hora. Esta programación se concreta en un plan de acción diseñado por el modelo. Este plan de acción permitirá emitir una recomendación a los pacientes con respecto a la hora más adecuada para desplazarse al servicio.

El modelo se basa en un método para la reubicación del paciente con respecto a su hora de entrada en el servicio inicialmente prevista por el histórico de datos, con el objetivo de programar su admisión. La reubicación de los pacientes parte del conocimiento detallado del estado del sistema hora por hora dinámicamente. Este conocimiento se genera a partir de la información extraída de los datos del histórico correspondientes a la entrada y el tipo de pacientes, y de los cambios que de éstos se deriven de acuerdo con la demanda real del servicio.

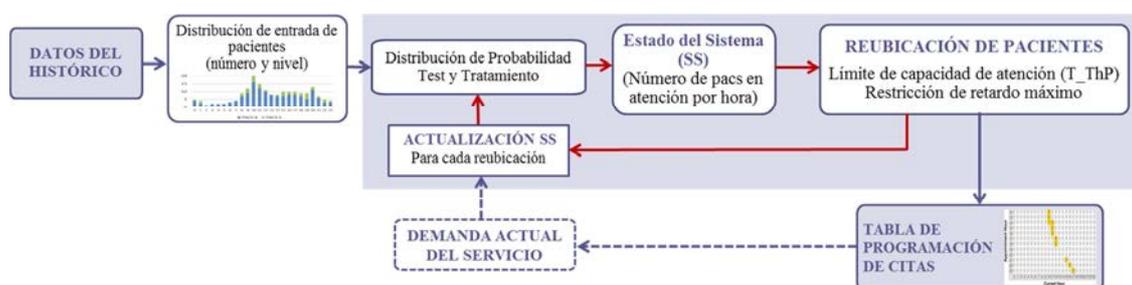


Figura 4.1 Visión general del modelo para la programación de la admisión de pacientes no críticos en el SUH.

La capacidad de atención del personal sanitario es una restricción de límite máximo. Se considera también una limitación en cuanto al tiempo máximo de demora (retardo máximo) para la programación de la admisión de los pacientes.

Partimos de la suposición de la disponibilidad de un sistema de triaje o autotriaje previo a la recomendación, accesible a los pacientes, para identificarlos como no críticos, y por lo tanto, pacientes susceptibles de reubicación para su programación.

Supuesto este sistema de triaje previo, se prevé un sistema de información y recomendación al paciente. Este sistema realiza la recomendación a los pacientes de acuerdo a la programación generada por el modelo y a una política de asignación de citas basada en el orden de llegada. El paciente es informado también de la previsión de reducción en la espera, generada por la simulación de la nueva situación programada. Así:

- i. El paciente solicita triaje (o autotriaje) previo a su desplazamiento al servicio, o directamente en el servicio, y consulta el sistema de recomendación.
- ii. El sistema reubica al paciente teniendo en cuenta el histórico de datos y el plan de acción diseñado por el modelo.
- iii. Esta reubicación del paciente modifica el patrón de entrada inicialmente previsto por los datos del histórico.
- iv. Se obtiene una predicción del *LoS* por simulación correspondiente al nuevo escenario que contempla la reubicación del paciente.
- v. El sistema de recomendación informa de la predicción al paciente y le asigna la cita programada.

4.3 Caracterización del Estado del Sistema

Llamamos *Estado del Sistema (SS, System State)* a la caracterización del mismo a través de la determinación del número de pacientes en el sistema en cada hora, atendiendo únicamente al tiempo de atención al paciente (*PaT*). El *PaT* incluye el tiempo total que cualquier integrante del personal sanitario (de admisiones, de triaje, médicos o enfermeras) asiste al paciente, el tiempo requerido para la administración

y efecto de algún tipo de tratamiento y el tiempo necesario para llevar a cabo cualquier otro tipo de exploración complementaria o prueba, así como el tiempo necesario para la obtención de los resultados correspondientes a estas exploraciones. Cabe destacar que la determinación del SS no considera el tiempo de espera de los pacientes en el servicio (*LOW*).

Tal como se expone el capítulo I (sección 1.4), a través de un análisis estadístico de los datos reales del histórico del hospital obtenemos la información necesaria para el conocimiento de la distribución de entrada de los pacientes en el SUH (Figura 1.3), lo que nos da una estimación inicial del número de pacientes no críticos que entran cada hora (Figura 1.4). Para nuestro trabajo, estamos interesados en el seguimiento de estos pacientes de nivel 4 y 5, dado que son los que pueden aplazar su admisión en el servicio. Identificamos esta distribución histórica de pacientes no críticos como *Input Histórico*, y en adelante a los pacientes que entran en el servicio en cada hora como *pacientes del input (Input Pacs)*.

En el capítulo II, mostrábamos el flujo de pacientes en el SUH, y el correspondiente modelo de flujo implementado en el simulador del SUH (Figura 2.2). Consideraremos a todos los pacientes (nivel 1 a 5) para las fases de admisión y triaje, comunes para todos ellos, pero sólo a los pacientes 4 y 5 para la fase de diagnóstico y tratamiento. En esta fase, tal como se explica en detalle en el capítulo III (apartado 3.3.2, Figura 3.6), todos los pacientes generados por el sistema pasan por una etapa inicial de interrogatorio/exploración médica (*IE*). Un porcentaje de ellos son dados de alta directamente y abandonan el servicio después de esta etapa. Identificamos a estos pacientes como *pacientes directos*. El resto permanece en el SUH y pasan por una etapa de exploración complementaria o de tratamiento. Después de esto, regresan con el médico, que analiza los resultados de la prueba o el tratamiento. Finalmente, son dados de alta del servicio. Identificamos a estos últimos pacientes como *pacientes de test y pacientes de tratamiento* respectivamente.

De los datos del histórico del Hospital de Sabadell se infiere una distribución exponencial que se utiliza para modelar la probabilidad de test y de tratamiento para cada paciente generado en el simulador del SUH (Figura 3.7) y se obtiene una

estimación del porcentaje de pacientes que requieren test o tratamiento. A través de esta distribución de probabilidad se determina la distribución de pacientes de test y de tratamiento por hora.

Por otra parte, tal como se explicita también en el capítulo anterior (apartado 3.2.1), los valores de tiempo de atención al paciente (PaT) se han estimado a partir de la sintonización del simulador de acuerdo con estos datos reales del histórico del Hospital de Sabadell. Es importante recordar que, basado en estos datos, el simulador considera también una distribución exponencial aleatoria para modelar el comportamiento real del PaT , dependiendo del nivel de prioridad y de la edad de los pacientes. Un análisis estadístico de los datos de simulación de una ejecución de 125 días da como resultado el valor medio del PaT y su desviación correspondientes para los pacientes, dependiendo de si requieren o no algún tratamiento o prueba. Utilizamos estos valores, mostrados en la Tabla 3.1 del capítulo III, para obtener una estimación por intervalo de la media del PaT para cada tipo de paciente con un nivel de confianza del 99%. De acuerdo a los intervalos calculados concluimos que los *pacientes directos*, aquellos que no requieren de ningún tipo de prueba complementaria ni tratamiento, necesitan menos de una hora para ser atendidos, los *pacientes de test* necesitan dos horas de media de atención y los *pacientes de tratamiento* requieren un promedio de cuatro horas para su atención completa. En la Tabla 4.1 se recoge esta información:

Tabla 4.1 Valores medios estimados para el PaT según tipo de atención requerida.

Tipo de atención	IE + Tratamiento	IE +Test	Sólo IE
IC ($1-\alpha=0,99$)	(247.09 , 266.48)	(116.35 , 121.51)	(37.20 , 37.43)
PaT medio considerado	4 horas	2 horas	< 1 hora

Teniendo esto en cuenta, debe considerarse la propagación de los pacientes de test y tratamiento a lo largo de las siguientes horas después de su hora de llegada al servicio, porque recibirán atención también durante estas horas. Así, el tiempo de propagación para cada paciente lo determina el PaT medio considerado en cada caso en la Tabla 4.1, y estos tiempos fijan los valores de los parámetros iniciales del algoritmo para la determinación del SS cuyo diagrama de flujo se representa en la Figura 4.2. Es importante tener en cuenta que los valores de estos parámetros

iniciales en cuanto a los tiempos considerados para la propagación de los pacientes, dependerán de las condiciones de cada hospital. Los valores fijados en este caso son los calculados para el Hospital de Sabadell. Identificaremos a los pacientes en sus horas de propagación como *pacientes propagados*.

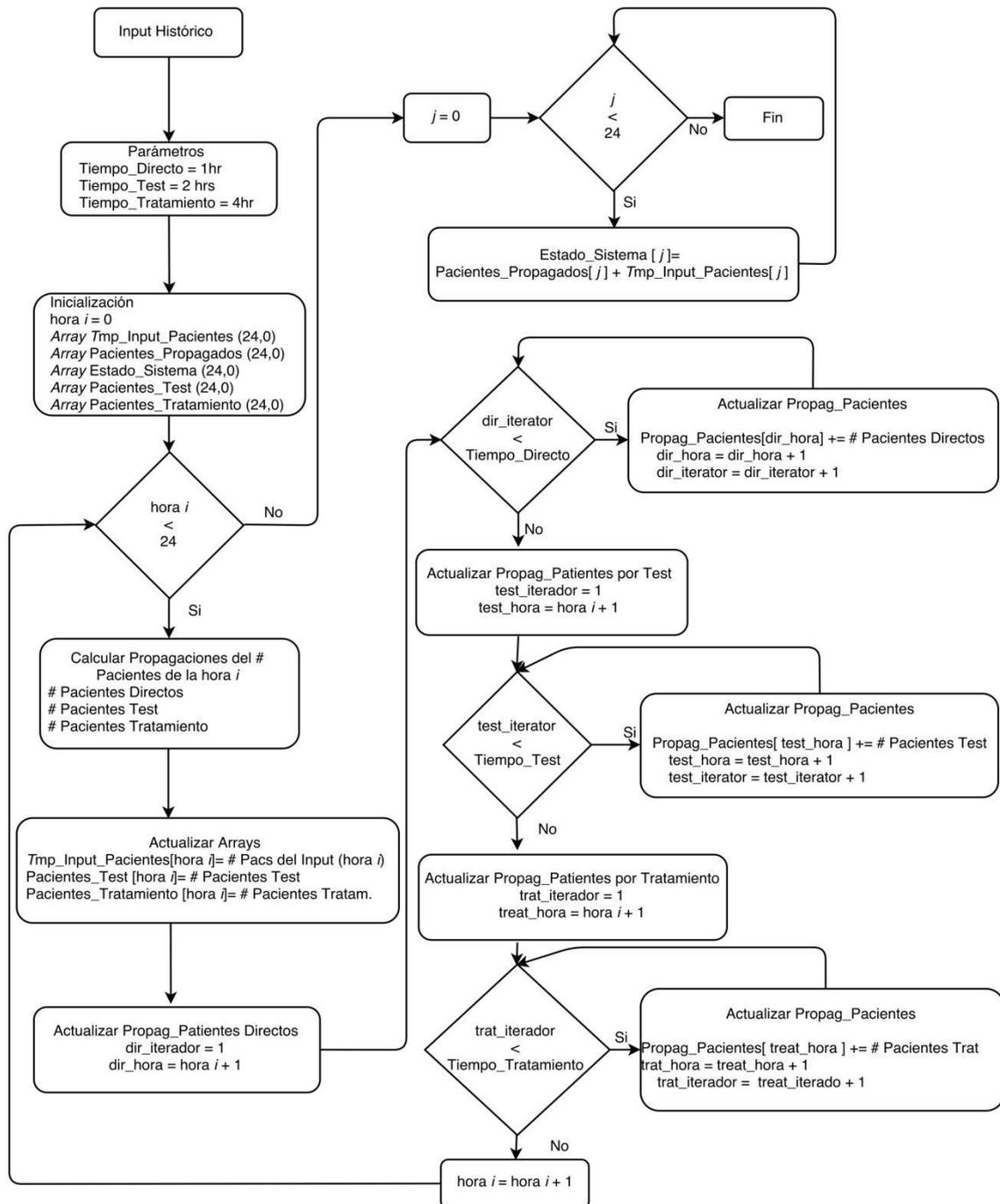


Figura 4.2 Diagrama de flujo para la determinación del Estado del Sistema (SS).

A modo de ejemplo, en la Tabla 4.2 se muestra la distribución de pacientes de test y de tratamiento correspondiente a la distribución de entrada de pacientes 4 y 5 para un lunes, especificada en la fila del *Input Histórico*. Esta distribución es el resultado de la media de todos los lunes de los datos reales del histórico del hospital correspondientes a un año completo. También se especifica en la tabla la distribución de los pacientes propagados por test o tratamiento en cada hora (*T&T Prop Pacs*). De modo que, teniendo en cuenta los valores medios del *PaT* según son pacientes de test (*Test Pacs*) o pacientes de tratamiento (*Trat Pacs*) dados en la Tabla 4.1, calculamos la propagación de estos pacientes, de acuerdo con el diagrama de flujo de la Figura 4.2, para cada hora i como:

$$T\&T\ Prop\ Pacs_i = Test\ Pacs_{i-1} + Trat\ Pacs_{i-1} + Trat\ Pacs_{i-2} + Trat\ Pacs_{i-3} \quad (21)$$

Finalmente sumando a los *pacientes del input* los *pacientes propagados* por test o tratamiento, en cada hora i , se obtiene el número de pacientes que están siendo atendidos en cada hora. Esta *distribución de pacientes en atención* determina el *Estado del Sistema (SS)*. De tal manera que para cada hora i , SS_i indica el número de pacientes en atención en la hora i , y viene dado por:

$$SS_i = Pacientes\ del\ input_i + Pacientes\ Propagados_i \quad (22)$$

Tabla 4.2 Ejemplo de determinación del Estado del Sistema (SS) para un input correspondiente a un lunes según el histórico de datos del Hospital de Sabadell.

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Input Histórico	4	3	2	2	1	2	2	4	7	11	17	15	13	10	9	13	13	11	11	10	11	8	6	5
Pacientes Directos	3	2	2	2	1	2	2	3	5	8	12	10	9	7	6	9	9	8	8	7	8	6	5	4
Pacientes de Test	1	1	0	0	0	0	0	1	1	2	4	4	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	1	1
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Pacientes Propagados (T&T)	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	4	7	7	6	5	5	6	6	5	5	5	5	4	2
SS (Pacientes en atención)	5	4	3	2	1	2	2	4	8	13	21	22	20	16	14	18	19	17	16	15	16	13	10	7

Una representación gráfica del *Estado del Sistema* calculado en la Tabla 4.2 se muestra en la Figura 4.3. Cada barra del diagrama representa a todos los pacientes en el servicio en la hora correspondiente, pero separados por:

- Pacientes directos, es decir, pacientes llegados en esta hora y dados de alta después de una primera visita con el médico (*PaT* de menos de una hora).

- Pacientes que requieren alguna prueba o tratamiento llegados en esta hora o en horas anteriores pero propagados en el tiempo según el PaT correspondiente para cada caso.

La hora de entrada de estos últimos pacientes en el servicio se muestra en todas las barras del diagrama, en primer lugar en la barra correspondiente a la hora de su entrada en el SUH, y de nuevo en las siguientes barras correspondientes a todas las horas en las que se propagan (en las que están recibiendo atención médica, en alguna prueba complementaria o en tratamiento). Utilizamos la notación *hora:pacientes* en el gráfico de la Figura 4.3 para mostrar esta información. Esta indicación también ayuda a seguir a estos pacientes en el diagrama de barras.

Por otra parte, las líneas discontinuas horizontales añadidas al gráfico representan tres valores diferentes para capacidad de atención del sistema (T_{ThP}), que indica la situación ideal con respecto a la atención del paciente, de modo que si los pacientes por hora no sobrepasan este valor límite, las esperas son mínimas.

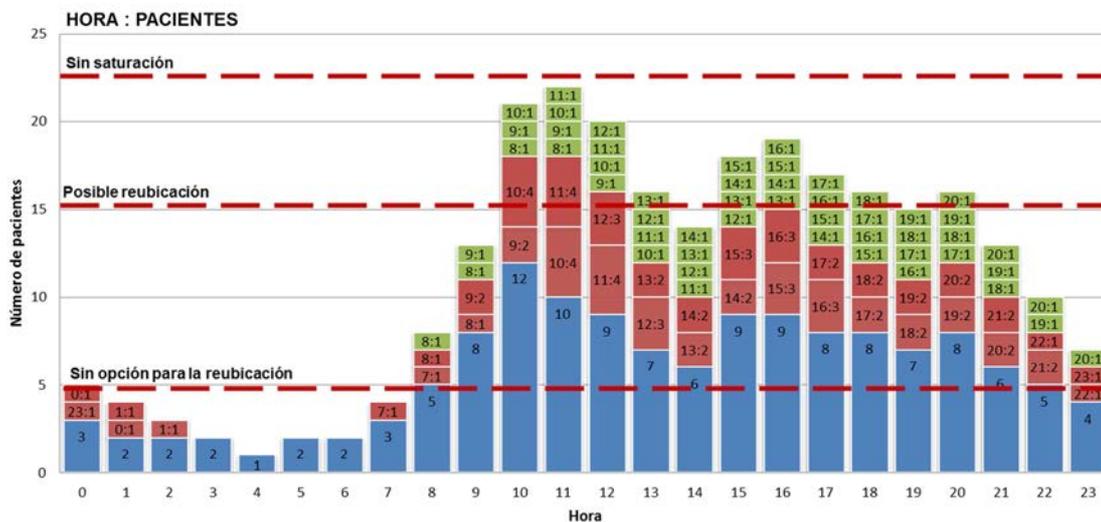


Figura 4.3 Representación gráfica del SS para un input correspondiente a un lunes según el histórico de datos del Hospital de Sabadell.

El valor determinado por el T_{ThP} también indica si es posible o no mejorar la situación reubicando a los pacientes manteniendo este valor como límite máximo para la reubicación, de tal manera que el número de pacientes por hora en el SS sea lo más homogéneo posible y no supere el valor de T_{ThP} en ninguna hora.

Entonces consideramos que:

- Si el valor límite está por encima de los requerimientos de atención máxima, el sistema está sobredimensionado y no debe haber saturación. No se necesitan cambios respecto a la entrada de pacientes. Podría valorarse el ajuste de la configuración de personal sanitario a los requerimientos de atención.
- Si el valor límite está muy por debajo de los requerimientos mínimos de servicio, no hay opción para la reubicación de pacientes respetando el T_{ThP} y el sistema no puede evitar la saturación sin modificar la disponibilidad de recursos. Aun así, se puede intentar mejorar la situación tratando de aplanar la curva respecto a un límite superior, y así, reducir el LoW de los pacientes en la medida de lo posible, aun manteniendo la configuración de personal.
- El caso intermedio representa la situación en que se puede reubicar a los pacientes manteniendo el T_{ThP} como valor límite de referencia para llevar a cabo la reubicación. La modificación del patrón de entrada actual en el SUH por la reubicación conduce así a un SS de acuerdo con la capacidad calculada del sistema.

4.4 Método para la reubicación de pacientes no críticos

La reubicación del paciente consiste en un desplazamiento temporal de su admisión con respecto a su hora inicial de llegada al SUH, con el objetivo de reducir su tiempo de espera (LoW) y, consecuentemente, la duración total de estancia del paciente en el servicio (LoS). Para llevar a cabo la reubicación de los pacientes consideramos las siguientes restricciones:

- Sólo pacientes con nivel de triaje 4 o 5 (pacientes no críticos) pueden ser reubicados.
- Se establece un retardo máximo para la reubicación del paciente con respecto a su hora inicial de llegada (*distancia límite*).
- Debemos determinar el número máximo de pacientes a aceptar por hora para la reubicación. Llamaremos a este valor *límite de reubicación*.

Límite de reubicación y generación de huecos

El *límite de reubicación* quedará determinado inicialmente por el T_{ThP} de la configuración de personal sanitario disponible, si así se logra reubicar a un porcentaje mínimo establecido de los pacientes del *SS* que exceden el T_{ThP} en cada hora (pacientes a reubicar). La reubicación llevada a cabo en estas condiciones conducirá a esperas mínimas de los pacientes para el escenario considerado. Establecemos este porcentaje mínimo en el 90% de los pacientes a reubicar.

Cuando existe una sobrecarga de pacientes, de tal forma que el número de pacientes en el *SS* supera el T_{ThP} en prácticamente todas las horas, la reubicación de este porcentaje mínimo de pacientes no es posible manteniendo el T_{ThP} como *límite de reubicación*. En este caso se calcula un *límite de reubicación* alternativo adaptado a la demanda actual de servicio. La media de los pacientes en el *SS* desde la primera hora saturada hasta la hora 23 será el *límite de reubicación* alternativo propuesto por el método para la reubicación de pacientes en esta situación. De esta manera la reubicación tratará de homogeneizar el número de pacientes en todas estas horas. El objetivo es reducir las esperas de los pacientes, en la medida de lo posible, sabiendo de antemano que no se van a poder eliminar estas esperas sin aumentar los recursos de personal, dada la sobrecarga existente.

En esta última situación, se contemplan dos opciones:

- **Opción A:** Reubicar a los pacientes considerando el *límite de reubicación* superior al T_{ThP} propuesto, manteniendo la configuración de personal sanitario actual.
- **Opción B:** Reubicar a los pacientes respecto al *límite de reubicación* superior al T_{ThP} propuesto, considerando una configuración de personal sanitario de acuerdo a los requerimientos de atención determinados por ese nuevo límite.

En ambos casos se logrará una mejora en los tiempos de espera de los pacientes, pero la mejora será óptima si se ajusta la configuración de personal sanitario a los requerimientos de atención determinados por este límite (opción B).

Cuando además la distancia entre las horas de sobrecarga, en que se supera el límite de reubicación propuesto (horas críticas), y las horas para la reubicación de pacientes supera el número de horas establecido como retardo máximo para la reubicación del paciente (restricción de distancia límite), puede darse la situación de no poder reubicar al porcentaje mínimo de pacientes establecido con el límite de reubicación propuesto. En ese caso se aplica un método para la generación de huecos en las horas inmediatamente posteriores.

El método para la generación de huecos consiste en generar los huecos necesarios para posibilitar la reubicación de los pacientes dentro de la distancia límite establecida.

En la tabla 4.3 se muestra un ejemplo del proceso que sigue el método para la generación de huecos.

Tabla 4.3 Generación de huecos dentro de la distancia límite de reubicación para los pacientes de las horas críticas a reubicar.

Limite de reubicación (Límite): 16	Horas Críticas																							
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Input de Pacientes (Input)	4	3	2	2	1	2	4	12	13	24	23	18	16	10	10	10	10	10	10	10	4	2	1	2
Pacientes Propagados	1	1	1	1	0	0	1	1	4	5	9	10	9	8	5	5	5	5	5	5	5	3	2	0
SS (pacientes en atención)	5	4	3	3	1	2	5	13	17	29	32	28	25	18	15	15	15	15	15	15	9	5	3	2
Sobrecarga de pacientes (SobPacs)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13	16	12	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cálculo de los pacientes de las horas críticas a reubicar (huecos a generar)																								
Input temporal = Input - SobPacs	4	3	2	2	1	2	4	12	12	11	7	6	7	8	10	10	10	10	10	10	4	2	1	2
Recalculo Pacientes Propagados (RePacP)	1	1	1	1	0	0	1	1	4	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	2	0
SS temporal = Input + RePacP									17	29	29	23	21	15										
Pacientes a reubicar = SS temporal - Límite									1	13	13	7	5	0										
Identificador Pacientes a reubicar									A	B	C	D	E	F										
Horas para la reubicación de los pacientes (Máximo desplazamiento de 6 hrs)																								
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A ₁	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀	B ₁₁	B ₁₂	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B ₁₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C ₁₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D ₇	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	-	-	-	-
Total huecos a generar: 39																								
Horas donde generar huecos (HH): 9																								
Total huecos a generar / HH: 4.3																								
Generar huecos en las horas de posible reubicación (distancia límite)																								
Número de huecos por hora	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0

El ejemplo de la Tabla 4.3 muestra un SS con un número de pacientes en atención en las 6 horas siguientes a las horas críticas que no permite la reubicación de los pacientes a reubicar de esas horas con sobrecarga, para un límite de reubicación

propuesto de 16 pacientes. Es en esta situación cuando aplica el método para la generación de huecos.

Para determinar el número de huecos a generar en esas horas críticas y en las siguientes, se procede a calcular el número de pacientes que deben ser reubicados. En principio, los pacientes a reubicar son los pacientes que exceden el límite de reubicación en las horas críticas del SS, es decir, los pacientes de la sobrecarga.

Se calcula un Input temporal que no contiene a los pacientes de la sobrecarga, para calcular la propagación de pacientes sin considerar a estos pacientes. Así obtenemos los pacientes propagados por el resto de pacientes de las horas críticas (*RePacP*), que sumados al Input original, generan un SS temporal.

El SS temporal calculado no incluye a los pacientes propagados por los pacientes de la sobrecarga y nos permite calcular el número de pacientes a reubicar sin duplicar pacientes por su propia propagación. El número de pacientes que exceden el límite de reubicación en el SS temporal son los pacientes a reubicar, y por tanto, los huecos a generar.

En la Tabla 4.3 se identifica con las letras A, B, C, D y E respectivamente a los pacientes de la hora 8 a la hora 13 a reubicar. Se van colocando desde la hora siguiente a su hora de llegada hasta la última hora de su distancia límite. No importa donde se coloque cada paciente, únicamente se trata de la manera de determinar las horas en que se van a generar los huecos.

Teniendo en cuenta la distancia límite para la reubicación y el número total de pacientes a reubicar en las horas críticas (39 pacientes), resultan ser 9 las horas para la reubicación de estos pacientes dentro de la distancia límite establecida en 6 horas respecto a la hora de llegada de cada paciente al servicio.

Tal como muestran las casillas verdes en la Tabla 4.3, las horas donde generar los huecos son de la hora 9 a la hora 16. Se reparten los huecos a generar de forma homogénea en esas 9 horas, resultando en 4 huecos a generar en cada hora, a partir de la hora 9, para este ejemplo.

Otra situación posible puede darse cuando la sobrecarga de pacientes se genera en un momento determinado, que identificaremos como *saturación puntual*, debida a un posible accidente que provoque una llegada imprevista de un número elevado de pacientes en una hora determinada. La particularidad de este caso es que los pacientes no críticos generados por el accidente y llegados todos en la misma hora al servicio, no son pacientes susceptibles de reubicación. En esta situación se propone también un límite de reubicación de tal forma que la reubicación pueda absorber a todo el resto de los pacientes a reubicar. De nuevo se calcula este límite como la media de todos los pacientes en el SS, actualizado a la nueva situación, desde la hora de la saturación puntual hasta la hora 23. De esta manera, se procede con la reubicación de los pacientes, considerando un *límite de reubicación* que da cabida a los pacientes del accidente en las horas siguientes a su llegada, reubicando al resto de los pacientes.

Por último, cabe destacar que el *límite de reubicación* propuesto por el método, cuando el T_{ThP} de la configuración actual no es suficiente para la reubicación del porcentaje mínimo establecido de los pacientes a reubicar, es una referencia para la estimación de los recursos de personal necesarios para absorber la demanda del servicio, reduciendo los tiempos de espera de los pacientes para la situación considerada.

Hora inicial, horas críticas y pacientes susceptibles de reubicación

Se procede a continuación a la definición de los conceptos y términos básicos para la reubicación:

- *Hora Inicial*: Es la primera hora en el *Estado del Sistema (SS)* con un número de pacientes que sobrepasa el T_{ThP} (o el *límite de reubicación* por hora alternativo al T_{ThP}).
- *Horas Críticas*: Son las horas, a partir de la *hora inicial*, en las que también se supera el T_{ThP} (o el *límite de reubicación* por hora alternativo al T_{ThP}).

- *Pacientes susceptibles de reubicación*: Son los pacientes que entran en el servicio en cada hora crítica (*Input Pacs* de cada hora crítica).

La Figura 4.4 muestra la identificación de la *hora inicial*, las *horas críticas* y los *pacientes susceptibles de reubicación*, sobre la base del *Estado del Sistema* calculado en la Tabla 4.2 y para un *límite de reubicación* de 16 pacientes por hora.



Figura 4.4 Identificación de hora inicial, horas críticas y pacientes susceptibles de reubicación para un límite de reubicación de 16 pacientes por hora.

Algoritmo para la reubicación de pacientes

Una vez fijado el *límite de reubicación* y en base al *Estado del Sistema* calculado para el input de pacientes considerado (*SS*), el método se desarrolla según el diagrama de flujo de la Figura 4.5.

De acuerdo con el diagrama de flujo de la Figura 4.5, el método se diseña en tres fases:

- Una primera fase de búsqueda de *horas críticas* y *horas de reubicación*.
- Una segunda fase de imposición de las restricciones para la reubicación de los pacientes (*límite de reubicación* y retardo máximo o *distancia límite*).
- Una tercera fase en la que se lleva a cabo la reubicación de los pacientes y la consecuente actualización del *Estado del Sistema*.

Inicialmente el *límite de reubicación* quedará determinado por la configuración de personal sanitario disponible a través del valor de su capacidad de atención, es decir, de su T_{ThP} , y así se identifica en el diagrama de flujo de la Figura 4.5.

En los siguientes apartados se detalla el desarrollo de cada una de estas fases del método.

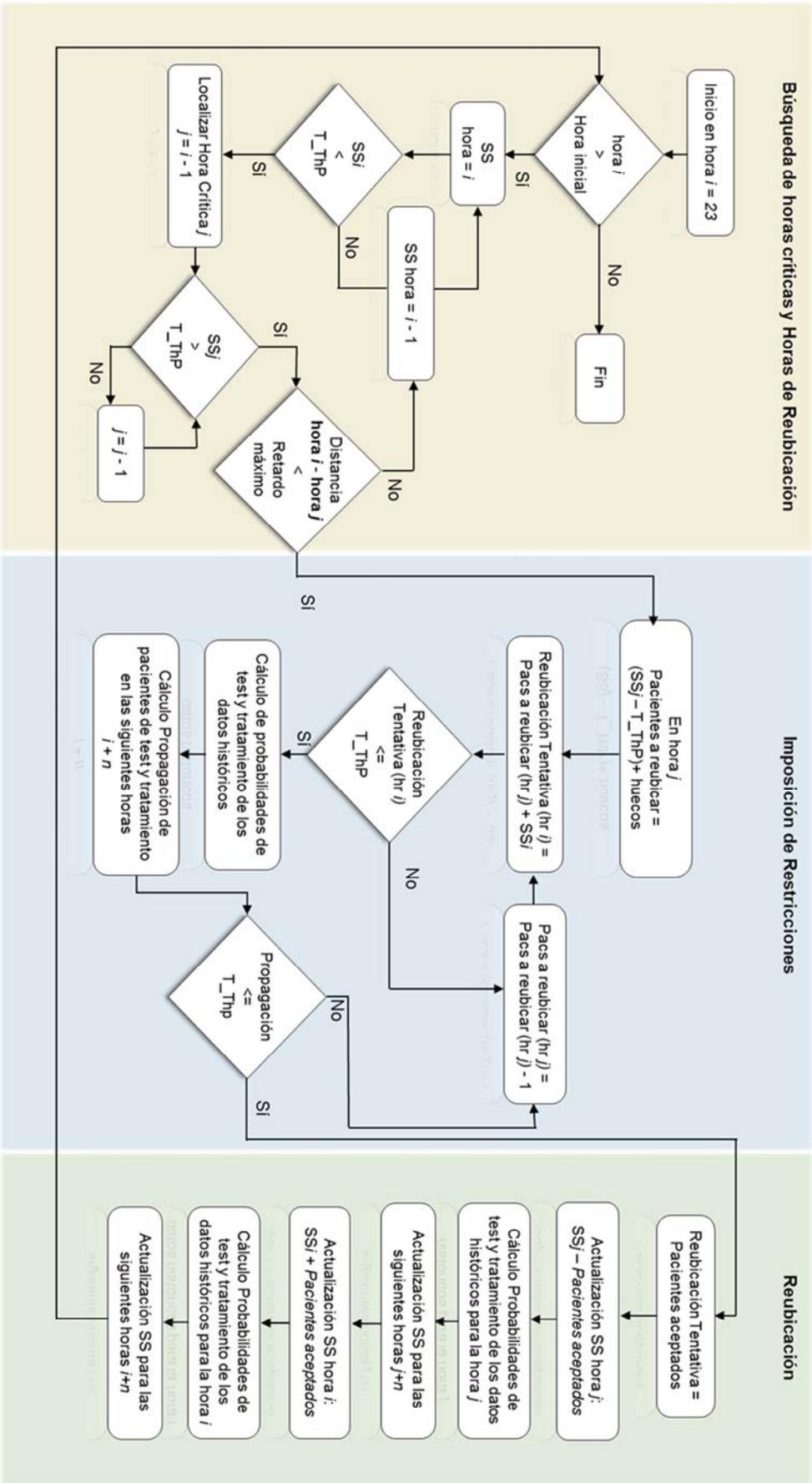


Figura 4.5 Diagrama de flujo del método para la reubicación de pacientes no críticos en el SUH.

4.4.1 Búsqueda de horas críticas y horas de reubicación

Comenzando en la hora $i = 23$, y retrocediendo hora a hora hasta la identificada como *hora inicial*, se consulta el SS calculado en cada hora y se procede a la localización de horas para la reubicación de pacientes a través de la identificación de huecos libres para la programación de la admisión de estos pacientes en el servicio. El número de pacientes que se estima estarán siendo atendidos en la hora i (SS_i) debe ser inferior al límite fijado por el T_ThP del sistema para que esa hora sea identificada como hora de reubicación de pacientes, es decir, la hora i será una hora donde poder programar la admisión de los pacientes susceptibles de reubicar si $SS_i < T_ThP$ en esa hora.

Una vez identificada una hora para la reubicación de pacientes, se procede, recorriendo las horas en sentido inverso desde la hora $i-1$ y hasta la *hora inicial*, a la búsqueda de la primera hora crítica (hora j), es decir, con un número de pacientes en atención por encima del valor del T_ThP , esto es con $SS_j > T_ThP$, y tal que cumpla con la restricción de máximo retardo para la reubicación (6 horas en nuestro caso).

4.4.2 Restricciones para la reubicación de pacientes

En esta fase el método impone las restricciones para la reubicación de los pacientes. El método reubica al máximo número posible de pacientes susceptibles de reubicación de su *hora crítica* j a la *hora* i de reubicación correspondiente, en función de los huecos disponibles en esa hora, determinados a su vez por el T_ThP del sistema, tal como se explicita en el anterior apartado. Además se trasladan k pacientes más para crear nuevos huecos y posibilitar futuras reubicaciones según los calculados por el método de generación de huecos, si es necesario. El número de pacientes de la *hora* j a reubicar, vendrá dado por:

$$\text{Pacientes a reubicar}_{\text{hora } j} = (SS_j - T_ThP) + k^{\text{nuevos huecos}} \quad (23)$$

donde SS_j es el número de pacientes en la *hora* j del estado del sistema calculado.

Una primera restricción a la reubicación establece un retardo máximo para la readmisión de pacientes, o *distancia límite*, entre la hora crítica considerada ($hora_j$) y la hora de reubicación ($hora_i$), de tal forma que:

$$hora_i - hora_j < distancia\ límite \quad (24)$$

La segunda restricción la impone el valor de *límite de reubicación* en la hora i (fijado inicialmente por el valor del T_ThP), valor que determina el máximo número de pacientes a aceptar en la hora i . Esta segunda restricción viene dada por:

$$Pacientes\ aceptados_{hora\ i} = Pacientes\ a\ reubicar_{hora\ j} + SS_i < T_ThP \quad (25)$$

y afecta tanto a la hora i de reubicación como a las siguientes horas afectadas por la propagación de los pacientes de test y tratamiento.

Se evalúa la reubicación de tal forma que, una vez recalculada la propagación de los pacientes para la nueva situación, si los pacientes a reubicar junto con los pacientes que, según la estimación del SS actualizado, estarán siendo atendidos en la hora i y en las siguientes horas afectadas por la propagación (*horas $i+n$*), no superan en número al T_ThP en ninguna de esas horas, la reubicación evaluada es admitida. En caso contrario el número de pacientes a reubicar se irá reduciendo uno a uno hasta cumplir con esta restricción, de acuerdo a los huecos en la hora i y en las siguientes horas afectadas por la propagación calculada de los pacientes.

4.4.3 Actualización del Estado del Sistema

Por último se lleva a cabo la actualización del *Estado del Sistema* que conlleva cada nueva reubicación.

En primer lugar se actualiza el número de pacientes correspondientes a la *hora crítica* ($hora\ j$) considerada, de tal manera que:

$$SS_{j\ actualizado} = SS_j - Pacientes\ aceptados_{hora\ i} \quad (26)$$

A continuación se recalcula la propagación de los pacientes de test y tratamiento para la nueva situación y se actualiza el estado del sistema para las siguientes $j+n$ horas afectadas.

En segundo lugar se actualiza el número de pacientes en la *hora i* correspondiente, siendo

$$SS_{i \text{ actualizado}} = SS_i + \text{Pacientes aceptados}_{\text{hora } i} \quad (27)$$

De nuevo se actualiza el estado del sistema para ésta y las siguientes $i+n$ horas afectadas por una nueva propagación de los pacientes de test y tratamiento que se generen en esta hora después de la reubicación.

El método reubica a todos los pacientes posible pasando por estas tres fases hasta que se alcanza la *hora inicial*, identificada al inicio de la ejecución. Cuando esto sucede, el sistema genera la actualización completa del estado del sistema (SS actualizado), mostrando la nueva distribución de pacientes en atención generada después de la reubicación. La Tabla 4.4 muestra un ejemplo de esta actualización completa del *Estado del Sistema* inicial calculado en la Tabla 4.2, respecto al *Input Histórico* inicial considerado. Se genera además el nuevo input de acuerdo con la nueva programación (*input programado*) y se especifica también el número máximo de pacientes que deben ser admitidos en el SUH en cada hora de acuerdo con esta programación (*Límite de admisión*).

Tabla 4.4 Actualización completa del SS después de la reubicación.

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Input Histórico	4	3	2	2	1	2	2	4	7	11	17	15	13	10	9	13	13	11	11	10	11	8	6	5
Límite de Admisión	4	3	2	2	1	2	2	4	7	11	10	7	7	10	9	10	8	8	11	10	11	8	6	5
Input Programado	4	3	2	2	1	2	2	4	7	11	10	7	10	13	13	12	11	12	13	10	11	11	11	8
Pacientes Propagados (T&T)	4	2	1	0	0	0	0	0	1	2	4	5	4	4	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5
SS (Pacientes en Atención)	8	5	3	2	1	2	2	4	8	13	14	12	14	17	18	18	17	17	19	16	16	16	16	13

La Figura 4.6 muestra esquemáticamente un ejemplo de reubicación de pacientes para una hora crítica concreta (la hora 17), la consecuente propagación de los pacientes reubicados por test o tratamiento y finalmente, la actualización correspondiente del *Estado del Sistema*, siguiendo el método propuesto.

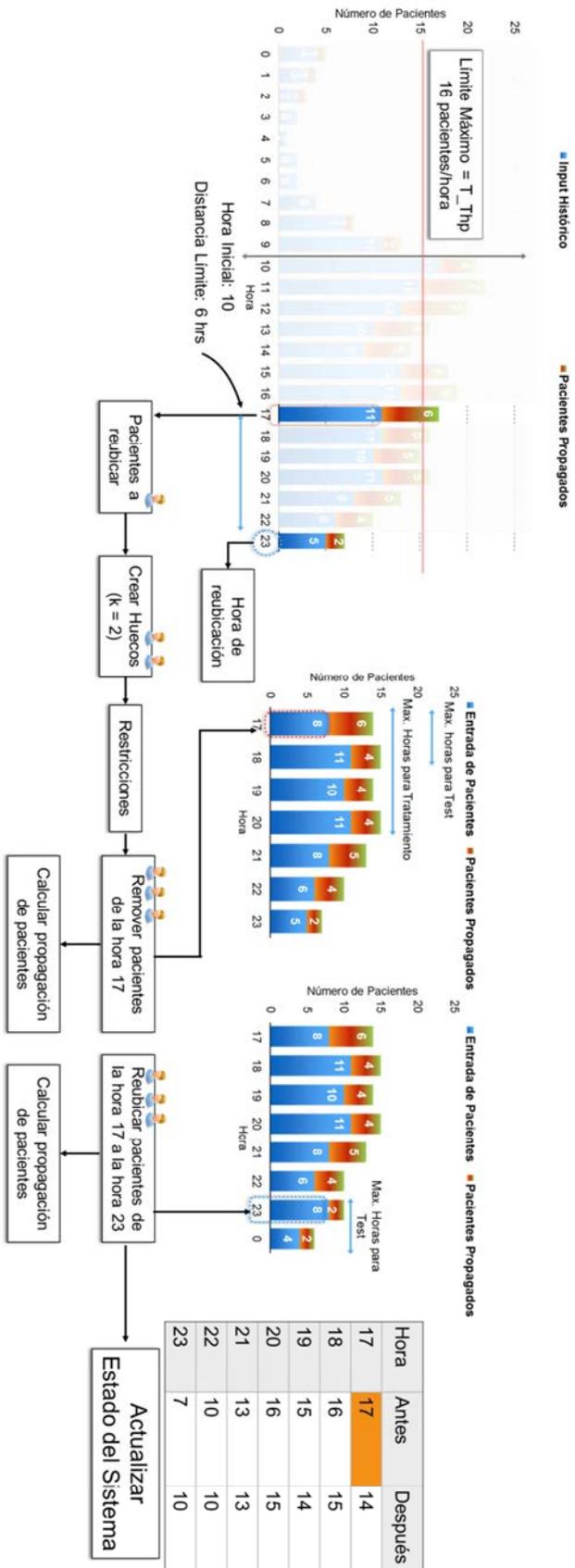


Figura 4.6 Esquema ejemplo de reubicación de pacientes bajo restricciones, para una hora crítica concreta, consecuente propagación de los pacientes reubicados por test o tratamiento y actualización correspondiente del Estado del Sistema.

pacientes de esa hora que han sido reubicados. La Tabla de Programación de Citas contiene la información sobre el número de pacientes reubicados de cada hora j . Así:

$$\text{Límite de admisión} = \text{Input Pacs}_{\text{hora } j} - \text{Pacientes reubicados}_{\text{de hora } j \text{ a hora } i} \quad (28)$$

De esta manera, y a modo de ejemplo de cómo se llevaría a cabo la recomendación, observando la Tabla 4.4, vemos que la programación realizada aconseja que de los 11 pacientes que el histórico prevé que llegarán en la hora 17 del día (*Input Pacs*), únicamente se deben admitir en esa hora a los 8 primeros que lleguen (*límite de admisión*), atendiendo al orden de llegada. Los 3 restantes (*pacientes reubicados*) son los que se han programado para la hora 23 del mismo día, tal como se indica en la *Tabla de Programación de Citas* de la Tabla 4.5.

4.5.2 Política de asignación de citas

La recomendación al paciente respecto a la programación de su admisión en el servicio, se realizará de acuerdo a la información contenida en la Tabla de Programación de citas descrita y en una política de asignación de citas basada en el orden de llegada, para los pacientes que excedan el *límite de admisión* calculado. Así, cada hora se admite en el servicio a todos los pacientes hasta el *límite de admisión de pacientes*, a medida que van llegando. Una vez alcanzado el *límite de admisión*, al resto de los pacientes que acuden al servicio se les recomienda permanecer en casa hasta la hora de cita recomendada para una nueva admisión, según la *Tabla de Programación de Citas*.

El paciente será informado también de la reducción en la espera prevista para su programación, que se obtiene a partir del modelo de simulación del sistema real parametrizado para la nueva situación.

La Figura 4.7 muestra esquemáticamente el funcionamiento de un sistema de recomendación como el descrito.

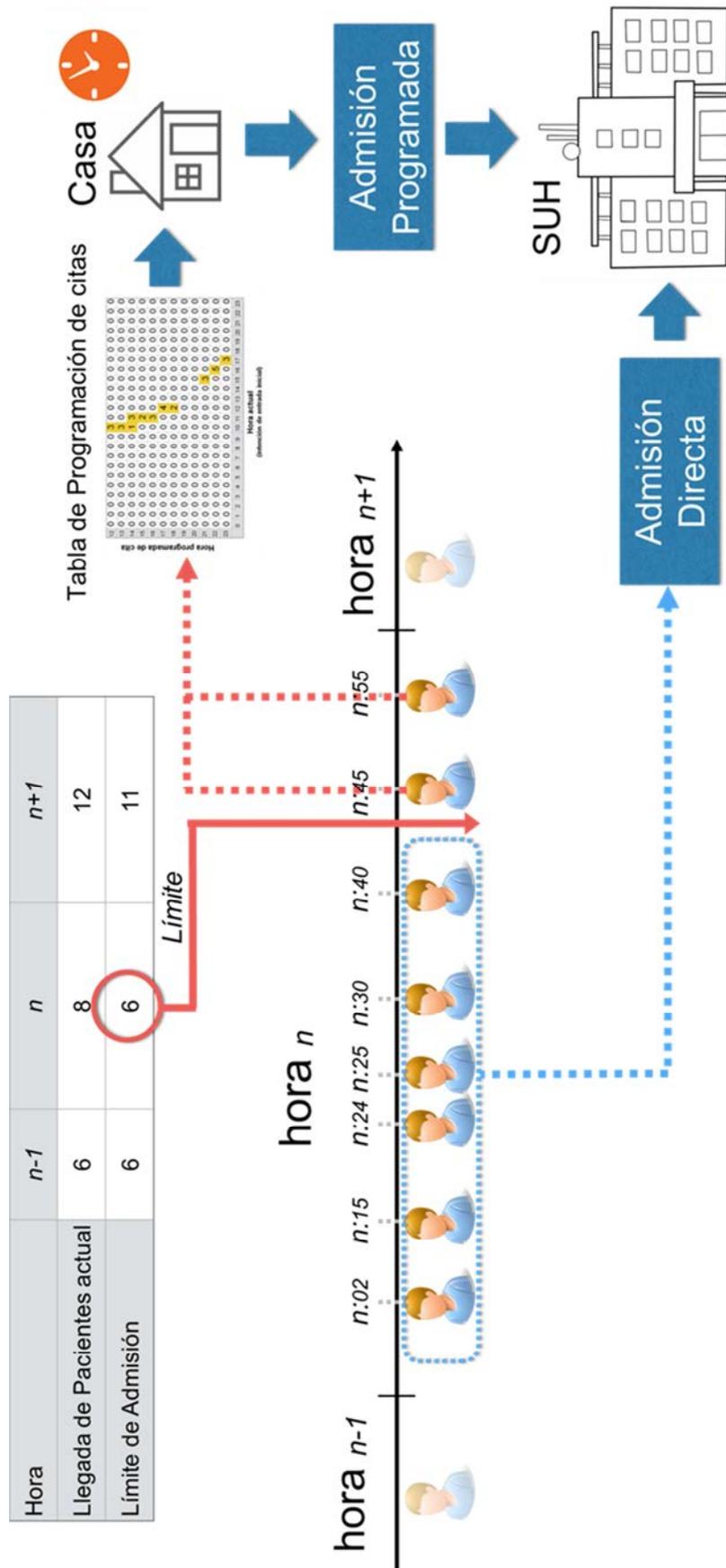


Figura 4.7 Sistema de recomendación al paciente no crítico para su admisión en el SUH.

4.5.3 Reubicación dinámica de pacientes

El método de reubicación funciona de forma dinámica, tal como se mostraba en la Figura 4.1 en la página 73, de tal forma que adapta la tabla de programación de citas y el límite de admisión de pacientes de acuerdo a la demanda actual por hora cuando la llegada de pacientes no coincide con la prevista por el input histórico. Así, cuando en una hora determinada llegan más pacientes de los previstos inicialmente por el input histórico, de nuevo se actualiza el *SS*. En base al *SS* actualizado para cada nuevo paciente, tomando como nueva hora inicial la hora en la que se ha dado el cambio, se aplica de nuevo el método de reubicación. En este caso, se mantiene la programación de los pacientes, de esa hora y de todas las anteriores, ya reubicados por la reubicación inicial, y se reubica a los nuevos pacientes llegados en la hora, generando la nueva tabla de programación de citas correspondiente.

A modo de ejemplo y tal como se muestra esquemáticamente en la Figura 4.8, el input histórico prevé la llegada de 13 pacientes en la hora 12. El método de reubicación establece un límite de admisión de 7 pacientes para esa hora. En la tabla de programación de citas se programa a 4 de los 6 pacientes restantes a reubicar para la hora 17 y a los otros 2 pacientes para la hora 18. Además, de horas previas, en particular de la hora 10, 3 pacientes ya han sido reubicados y programados para la hora 12. Estos 3 pacientes son por tanto también admitidos en la hora 12, además de los 7 primeros que llegan en esta hora sin programación.

Cuando en la hora 12 llega un paciente más de los 13 previstos en el input histórico, este paciente debe ser también reubicado. Una nueva actualización del *SS* es necesaria para contemplar a este nuevo paciente para la generación de una nueva programación de citas. Los 6 pacientes ya reubicados de la hora 12 no se vuelven a reubicar, el algoritmo los mantiene su hora de programación inicial y así se contempla en el *SS* actualizado. La hora 12 es la nueva hora inicial para la reubicación. El algoritmo fuerza la reubicación del nuevo paciente y se actualiza la tabla de programación de citas y los límites de admisión para la recomendación.

Para cada nuevo paciente llegado al SUH y no previsto por el input histórico se procede de la misma manera.

4.6 Experimentación y resultados

Se presentan en esta sección el conjunto de experimentos realizados con el objetivo de evaluar el efecto conseguido por la programación de la admisión de los pacientes no críticos llevada a cabo a partir del modelo expuesto en este capítulo.

4.6.1 Diseño de los experimentos

Se han realizado cinco experimentos correspondientes a la simulación del sistema real para cinco distintos escenarios, determinados por una entrada de pacientes y una configuración de personal sanitario específicas. En cada caso, de los datos generados por la simulación de estos escenarios, se ha obtenido la información referente al *LoW* de los pacientes en el servicio, antes y después de aplicar el método para la reubicación de los no críticos.

En los cinco experimentos se considera la configuración de personal sanitario especificada en la Tabla 3.2 del capítulo anterior (5 médicos de perfil júnior y 2 de perfil sénior en la fase de diagnóstico para pacientes no críticos o Área B).

Fijada la configuración de personal sanitario, los distintos escenarios a simular los determina una entrada de pacientes (*Input Histórico*) que se muestra en la Tabla 4.6 para cada uno de los cinco casos considerados:

Tabla 4.6 Distribución de entrada de pacientes para cada caso de estudio (Input Histórico).

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
CASO A	4	3	2	2	1	2	2	4	7	11	17	15	13	10	9	13	13	11	11	10	11	8	6	5	
CASO B	4	3	2	2	1	2	2	4	12	13	21	20	16	14	11	11	10	8	7	9	5	3	4	2	
CASO C	6	5	4	3	3	4	4	6	10	16	24	22	20	17	15	20	20	17	17	15	17	13	10	9	
CASO D	4	3	2	2	1	2	2	4	12	13	21	20	16	14	11	11	10	8	7	9	5	3	4	2	
CASO E	4	3	2	2	1	2	4	12	13	24	23	18	16	10	10	10	10	10	10	10	10	4	2	1	2

- **Caso A:** Distribución de entrada de pacientes correspondiente a la determinada por el histórico de datos reales del Hospital de Sabadell.
- **Caso B:** Distribución de entrada de pacientes con una alta concentración de pacientes en las horas centrales del día.
- **Caso C:** Distribución de entrada de pacientes con un porcentaje elevado de pacientes de tipo 4 y 5 superando el T_{ThP} .

- **Caso D:** Distribución de entrada de pacientes del Caso B como *Input Histórico*, pero la simulación forzará una llegada inesperada de pacientes en un momento determinado del día, simulando un posible accidente.
- **Caso E:** Distribución de entrada de pacientes que no permite la reubicación por la restricción de distancia límite y requiere generar huecos.

Para cada uno de los cinco escenarios y siguiendo la metodología descrita en la sección 4.3, determinamos el *Estado del Sistema*. A continuación se procede con el método de reubicación de los pacientes no críticos según hemos descrito en la sección 4.4 y obtenemos el *Estado del Sistema actualizado* después de la reubicación de los pacientes. Obtenemos también el *límite de admisión* correspondiente y la programación de citas generada en cada caso.

La determinación del *Estado del Sistema* se ha implementado como un nuevo sensor en el simulador y el método para la reubicación de los pacientes se ha incorporado como nueva funcionalidad, de tal forma que se ejecuta automáticamente en la simulación para cualquier escenario cuando ésta se activa (Figura 4.9). Activada la reubicación, la simulación asigna a estos agentes pacientes el tiempo programado por el algoritmo de reubicación, y no los devuelve al sistema hasta su hora programada de admisión.

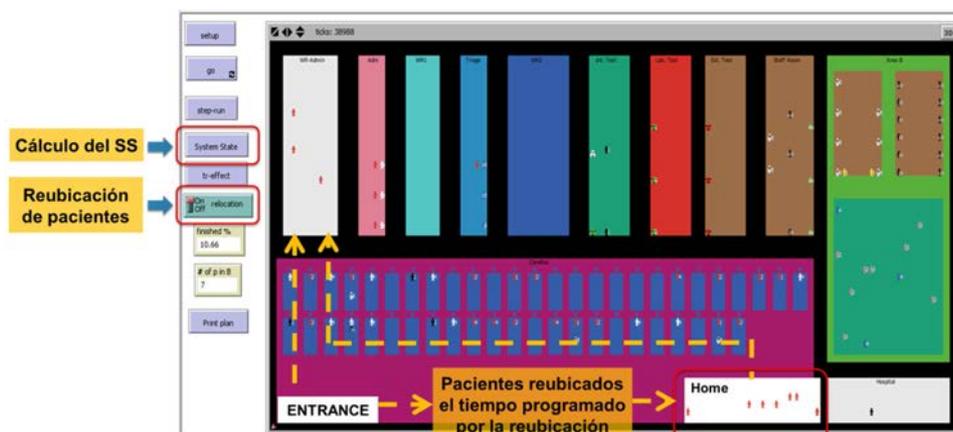


Figura 4.9 Captura de la interfaz de usuario del simulador del SUH.

Los datos correspondientes al *Estado del Sistema* y los que resultan de la reubicación de pacientes se reportan activadas estas funciones. Se genera también la entrada de pacientes actualizada a la nueva situación (*input ideal programado*), el *límite de*

admisión para cada hora y la información sobre la programación de citas (*Tabla de Programación de Citas*).

Por último, a través de los datos generados por la simulación de cada escenario sin aplicar el método de reubicación y aplicando el método, obtenemos el *LoW* de los pacientes con y sin reubicación de pacientes.

El desarrollo de los experimentos realizados y los resultados correspondientes para cada caso de estudio se muestran en los siguientes apartados. Estos resultados se han obtenido mediante el análisis de datos de una simulación de 125 días para cada escenario especificado.

La valoración del efecto de la reubicación de los pacientes no críticos según el modelo se realiza analizando la reducción en el *LoW* para los pacientes que no requieren de pruebas diagnósticas adicionales ni tratamiento y reciben el alta después de su primera consulta con el médico (*pacientes directos*), los pacientes que necesitan cualquier prueba adicional (*pacientes de test*) y los que reciben algún tratamiento (*pacientes de tratamiento*) respectivamente. Los resultados completos se detallan y resumen en el último apartado de esta sección.

4.6.2 Resultados para el caso de estudio A

El escenario simulado en este primer caso queda determinado por una distribución de entrada de pacientes correspondiente a la determinada por el histórico de datos reales proporcionado por el Hospital de Sabadell y la configuración de personal sanitario de la Tabla 3.2, con un T_{ThP} calculado de 14,68 pacientes por hora.

Caracterización del SS y resultado de la reubicación de pacientes

En la Tabla 4.7 se detalla la caracterización del *Estado del Sistema* correspondiente al *Input Histórico* considerado en este caso. En base al *SS* calculado, el método de reubicación de pacientes propone un *límite de reubicación* de 16 pacientes por hora,

ya que no consigue reubicar al 90% de los pacientes respetando el valor del T_{ThP} calculado para esta configuración.

El resultado de la reubicación de pacientes considerando este límite de reubicación de 16 pacientes/hora se muestra también en la Tabla 4.7. Se identifica la *hora inicial* ($i=10$), se detalla la actualización del SS para el *input programado* por la reubicación y se concreta el *límite de admisión* de pacientes calculado para cada hora. La Tabla 4.8 corresponde a la *Tabla de Programación de Citas* generada por la reubicación realizada.

Tabla 4.7 Caso de estudio A: Cálculo del SS y resultado de la reubicación de pacientes.

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Cálculo del Estado del Sistema (original)																								
Input Histórico	4	3	2	2	1	2	2	4	7	11	17	15	13	10	9	13	13	11	11	10	11	8	6	5
Pacientes de Test	1	1	0	0	0	0	0	1	1	2	4	4	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	1	1
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Pacientes Propagados	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	4	7	7	6	5	5	6	6	5	5	5	5	4	2
SS (Pacientes en atención)	5	4	3	2	1	2	2	4	8	13	21	22	20	16	14	18	19	17	16	15	16	13	10	7
Resultado de la Reubicación de pacientes (Límite de Reubicación = 16 pacs/hora)																								
Límite de Admisión	4	3	2	2	1	2	2	4	7	11	10	7	7	10	9	10	8	8	11	10	11	8	6	5
Input Ideal Programado	4	3	2	2	1	2	2	4	7	11	10	7	10	13	13	12	11	12	13	10	11	11	11	8
Pacientes de Test	1	1	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	2	2	2	2	2
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Pacientes Propagados	4	2	1	0	0	0	0	0	1	2	4	5	4	4	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5
SS (Actualización completa)	8	5	3	2	1	2	2	4	8	13	14	12	14	17	18	18	17	17	19	16	16	16	16	13

Como explicación detallada de la información contenida en las Tablas 4.7 y 4.8 y a modo de ejemplo de utilización de esta información para la recomendación al paciente, nos fijamos en la hora inicial, la hora 10, en la Tabla 4.7. El *Input Histórico* prevé una entrada de 17 pacientes para esta hora. Considerando los *pacientes propagados* por test y tratamiento de horas anteriores, junto con estos 17 pacientes de entrada, el *Estado del Sistema* calcula un total de 21 pacientes en atención para esta hora, que superan en 5 pacientes el *límite de reubicación* considerado por el método de reubicación (16 pacientes/hora). Además se establece en 2 pacientes el número adicional de pacientes a reubicar para generar nuevos huecos para posteriores reubicaciones, si hiciera falta, lo que hacen un total de 7 pacientes de la hora 10 a reubicar. De esta manera, el límite de pacientes a admitir en esta hora es la diferencia entre los 17 pacientes del *Input Histórico* y los 7 pacientes a reubicar. Es decir, sólo se recomienda admitir en el servicio a los 10 primeros pacientes que lleguen en la hora 10 (*límite de admisión*) para evitar la saturación en esa hora. Por

otra parte, en la *Tabla de Programación de citas* podemos encontrar la recomendación para la programación de la admisión de estos 7 pacientes a reubicar, por orden de llegada. Así, a los 3 primeros pacientes que lleguen en la hora 10 (hora actual), de los 7 a reubicar, se les propone la cita para la hora 12, a los 3 siguientes para la hora 13 y al último para la hora 14.

Tabla 4.8 Caso de estudio A: Tabla de Programación de Citas.

11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Hora Actual

El *Input Ideal Programado* en la Tabla 4.7 es la situación de entrada ideal generada por la reubicación de pacientes. Siguiendo con el ejemplo, los 3 primeros pacientes reubicados de la hora 10 a la hora 12, se suman a los pacientes 7 admitidos en la hora 12 según el *límite de admisión* para esa hora, y hacen un total de 10 pacientes entrando en el servicio a la hora 12 según la programación ideal generada. Por último, la actualización del *SS* después de la reubicación, considerando en la hora 12 a los 4 pacientes propagados de las horas anteriores, hacen un total de 14 pacientes en atención (*SS*) en esta hora frente a los 20 pacientes previstos por el cálculo del *SS* correspondiente al *Input Histórico* original.

Resultados de la simulación

Los gráficos de las Figuras 4.10 a 4.15 representan los valores medios del *LoW* (tiempo de espera) y el *PaT* (tiempo de atención) previstos para cada hora del día por la simulación, sin aplicar el método de reubicación y aplicando la reubicación de

pacientes, respectivamente, para los pacientes directos, de test y de tratamiento separadamente, para este caso de estudio A.

Estos resultados se han calculado sobre los datos generados por la simulación de 125 días (todos lunes), siendo el valor representado la media para todos los pacientes generados por el simulador en la hora correspondiente.

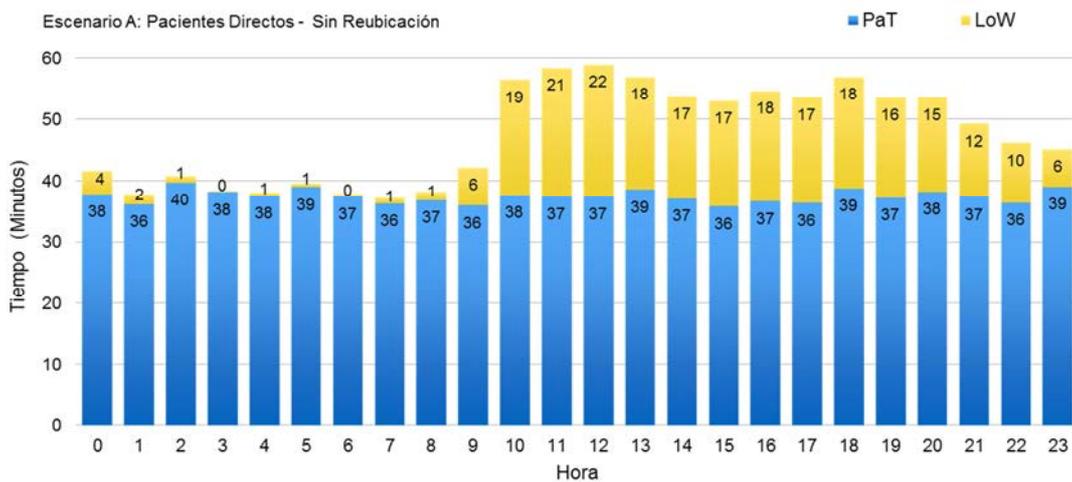


Figura 4.10 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio A sin reubicación de pacientes.

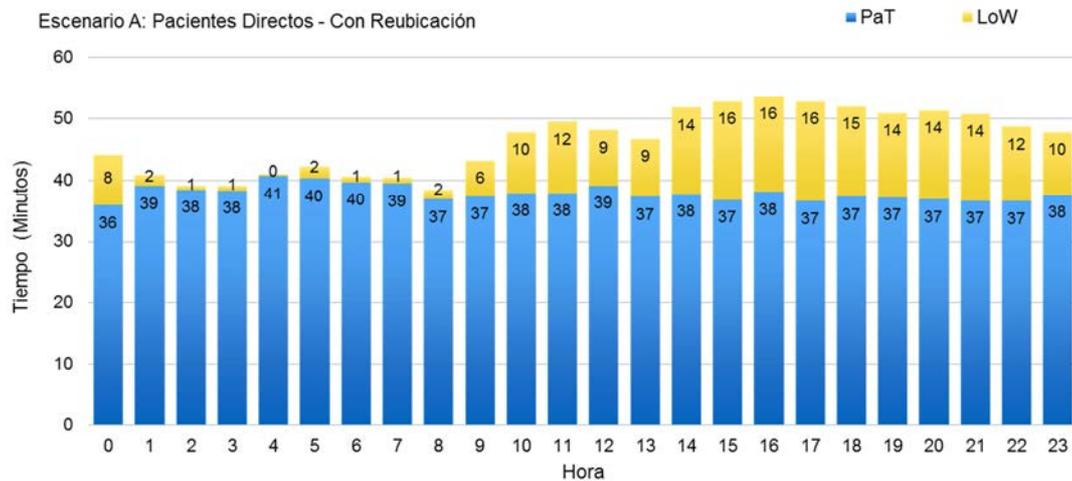


Figura 4.11 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio A con reubicación de pacientes.

Para los pacientes directos, las Figuras 4.10 y 4.11 visualizan una redistribución de las esperas tras la reubicación que se concreta en una reducción del *LoW* de cerca del 50% de media para los pacientes de las horas 10 a 13. El valor máximo se da en la hora 12, cuando la reducción en el *LoW* tras la reubicación alcanza el 58%. De la hora

14 en adelante, la reducción observada es mínima y muy probablemente debida a la aleatoriedad considerada en la generación de pacientes y la asignación de tiempos en el modelo de simulación. El detalle de estos resultados se da en el apartado 4.6.6.

Los resultados para los pacientes de test se representan en las Figuras 4.12 y 4.13.

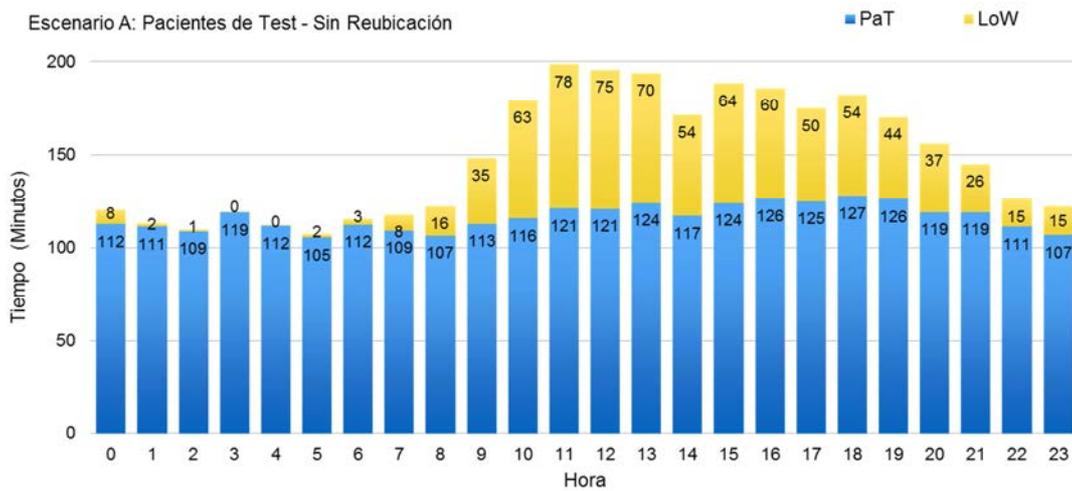


Figura 4.12 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio A sin reubicación de pacientes.

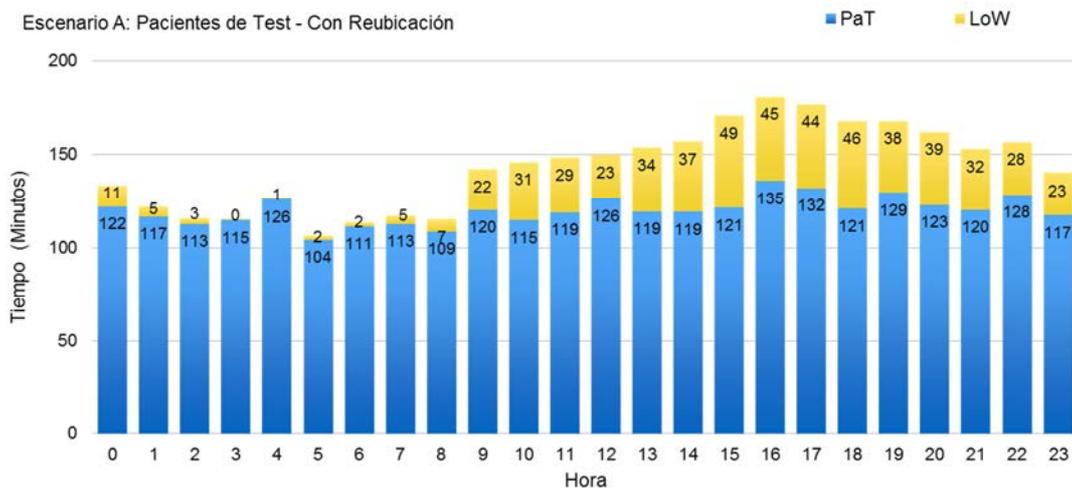


Figura 4.13 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio A con reubicación de pacientes.

También en este caso se observa una homogeneización de las esperas tras la reubicación, afectando principalmente a las horas 8 a 16. De nuevo es en la hora 12, pasando de una espera de 75 minutos a 23 minutos, cuando la reducción media de

los pacientes en el *LoW* tras la reubicación alcanza su valor máximo, siendo de prácticamente un 70%.

La reubicación de los pacientes de tratamiento ha sido efectiva entre las horas 8 y 18, alcanzando el máximo de reducción de nuevo a las 12 con una reducción media del 62% para los pacientes llegados en esa hora. Los gráficos de las Figuras 4.14 y 4.15 visualizan la reducción de la espera en todas estas horas por efecto de la reubicación.

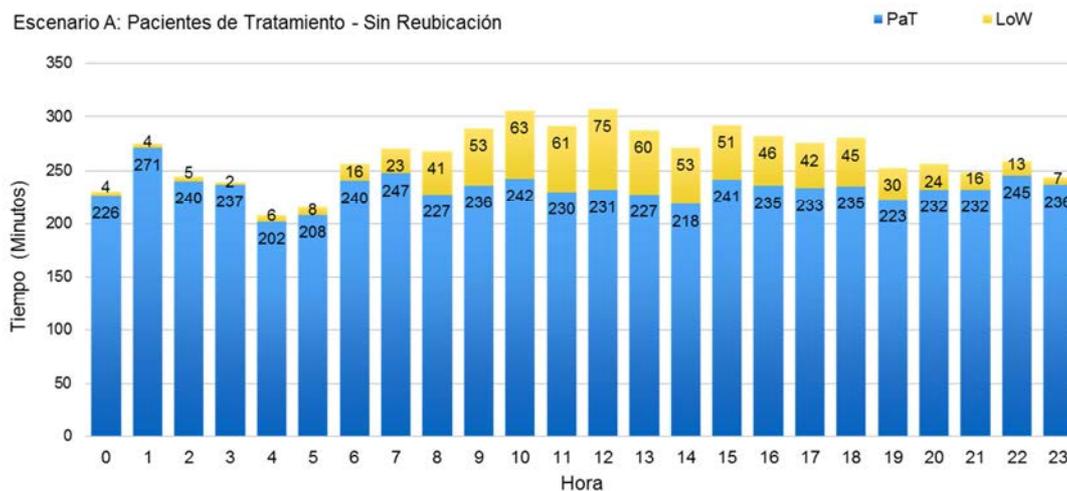


Figura 4.14 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio A sin reubicación de pacientes.

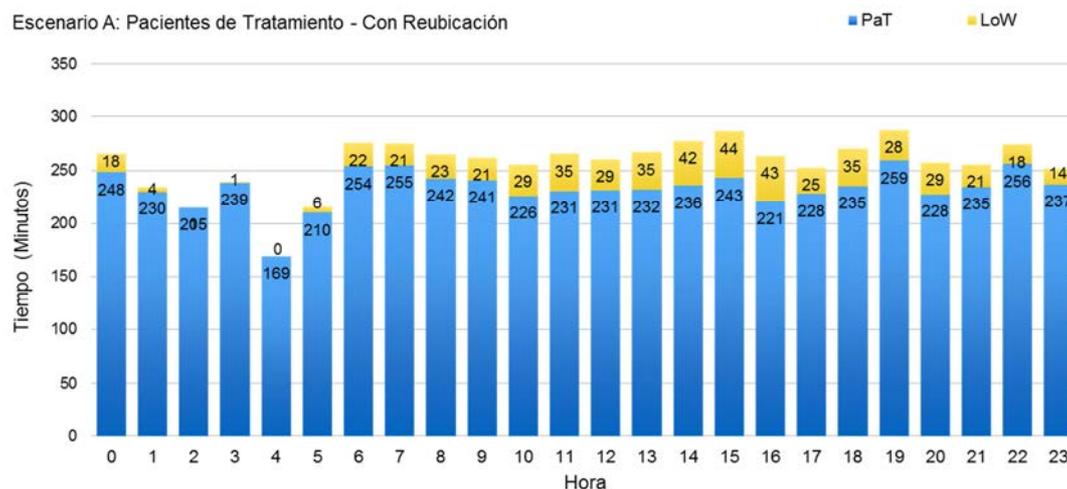


Figura 4.15 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio A con reubicación de pacientes.

En las dos horas previas a la hora inicial (la hora 8 y la hora 9) también se observa una reducción importante, de un 44% y un 60% respectivamente. Esto es debido a que las esperas para los pacientes de tratamiento, llegados en esas horas previas a la

primera hora de reubicación, se reducen en las horas siguientes (horas en las que éstos se propagan), debido a la reubicación de otros pacientes originalmente atendidos en estas horas de propagación.

4.6.3 Resultados para el caso de estudio B

El escenario simulado en este segundo caso queda determinado por una distribución de entrada de pacientes con una alta concentración de pacientes en las horas centrales del día y la configuración de personal sanitario de la Tabla 3.2, con un T_{ThP} calculado de 14,68 pacientes por hora.

Caracterización del SS y resultado de la reubicación de pacientes

En la Tabla 4.9 se detalla la caracterización del *Estado del Sistema* correspondiente al *Input Histórico* considerado en este caso. En base al SS calculado, el método de reubicación de pacientes mantiene el T_{ThP} como *límite de reubicación* en este caso y lo fija en 14 pacientes por hora, ya que consigue reubicar a más del 90% de los pacientes con este valor.

El resultado de la reubicación de pacientes considerando este límite de reubicación de 14 pacientes/hora se muestra también en la Tabla 4.9. Se identifica la *hora inicial* ($i=9$), se detalla la actualización del SS para el *input programado* por la reubicación y se concreta el *límite de admisión* de pacientes calculado para cada hora. La Tabla 4.10 es la Tabla *de Programación de Citas* generada por la reubicación realizada.

Tabla 4.9 Caso de estudio B: Cálculo del SS y resultado de la reubicación de pacientes.

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Cálculo del Estado del Sistema (original)																								
Input Histórico	4	3	2	2	1	2	2	4	12	13	21	20	16	14	11	11	10	8	7	9	5	3	4	2
Pacientes de Test	1	1	0	0	0	0	1	1	3	3	5	5	4	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	
Pacientes Propagados	1	1	1	0	0	0	0	1	1	4	5	8	8	7	6	5	5	5	4	3	3	2	2	1
SS (Pacientes en atención)	5	4	3	2	1	2	2	5	13	17	26	28	24	21	17	16	15	13	11	12	8	5	6	3
Resultado de la Reubicación de pacientes (Límite de Reubicación = T_{ThP} = 14 pacs/hora)																								
Límite de Admisión	4	3	2	2	1	2	2	4	12	13	15	4	4	6	6	7	7	8	7	9	5	3	4	2
Input Ideal Programado	4	3	2	2	1	2	2	4	12	13	15	7	11	11	11	12	12	12	12	12	10	7	7	2
Pacientes de Test	1	1	0	0	0	0	1	1	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	1
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Pacientes Propagados	1	1	1	0	0	0	0	1	1	4	5	7	4	4	4	5	5	5	5	6	6	5	4	3
SS (Actualización completa)	5	4	3	2	1	2	2	5	13	17	20	14	15	15	15	17	17	17	17	18	16	12	11	5

El límite de admisión de la Tabla 4.9 y la *Tabla de Programación de Citas* generada por la reubicación mostrada en la Tabla 4.10 contienen toda la información sobre la propuesta de programación para la admisión de los pacientes a reubicar y, por tanto, para la recomendación de cita al paciente susceptible de reubicación.

Tabla 4.10 Caso de estudio B: Tabla de Programación de Citas.

11	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Hora Actual

Se observa en la *Tabla de Programación de Citas* que en este caso se ha reubicado a un total de 54 pacientes entre la hora 10 y la hora 16. 15 de estos pacientes son programados con el retardo máximo establecido en 6 horas, siendo éstos pacientes reubicados a partir de la hora 13.

Resultados de la simulación

Los gráficos de las Figuras 4.16 a 4.21 representan los valores medios del *LoW* (tiempo de espera) y el *PaT* (tiempo de atención) estimados para cada hora del día, sin aplicar el método de reubicación y aplicando la reubicación de pacientes, respectivamente, para los pacientes directos, de test y de tratamiento separadamente, para este caso de estudio B.

Del mismo modo que en el caso anterior, estos resultados se han calculado sobre los datos generados por la simulación de 125 días (todos lunes), siendo el valor representado la media para todos los pacientes generados por el simulador en la hora correspondiente.

La homogeneización lograda en la distribución de las esperas tras la reubicación es evidente en los gráficos de las Figuras 4.16 y 4.17.

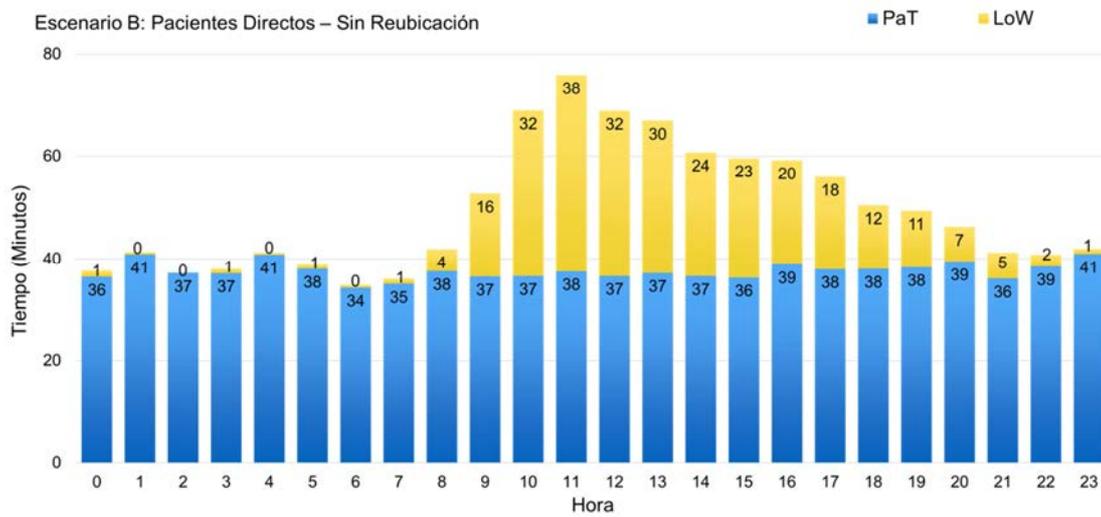


Figura 4.16 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio B sin reubicación de pacientes.

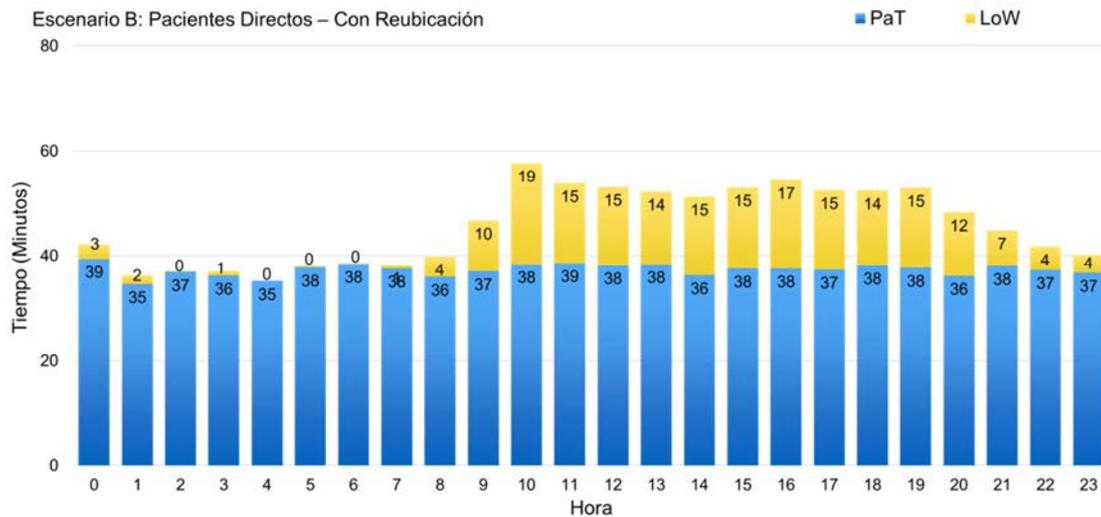


Figura 4.17 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio B con reubicación de pacientes.

Para los pacientes directos la reubicación de pacientes reduce el LoW en más de un 35% en las 6 horas siguientes a la hora inicial de reubicación, llegando a una reducción media de un 61% en la hora 11.

Las Figuras 4.18 y 4.19 muestran los resultados para los pacientes de test:

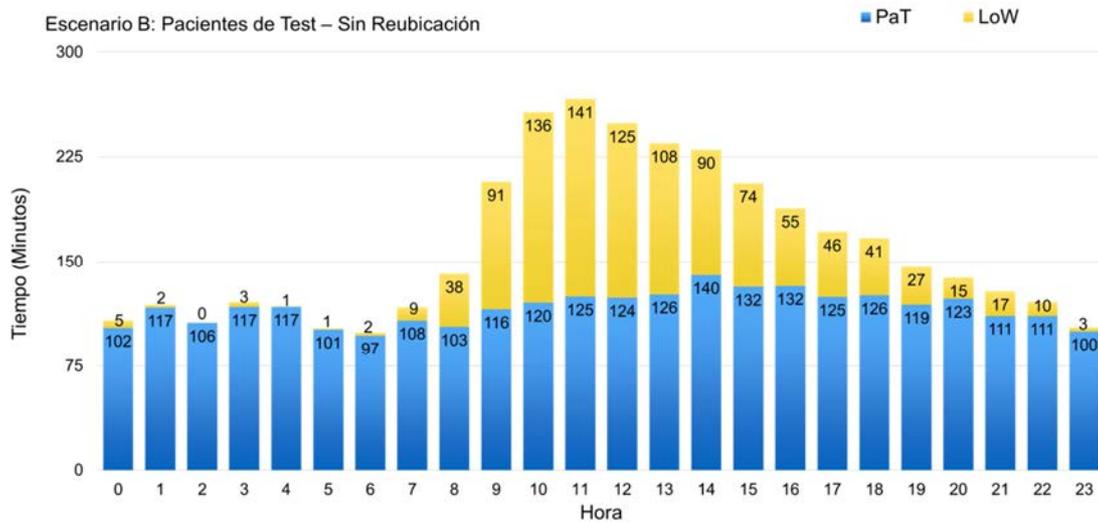


Figura 4.18 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio B sin reubicación de pacientes.



Figura 4.19 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio B con reubicación de pacientes.

La reducción media del *LoW* para los pacientes de test es superior al 40% entre la hora 9 y la hora 12, alcanzando un máximo del 55% de reducción cuando el pico central a la hora 11 pasa de una espera media de 141 minutos a 63 minutos.

El *LoW* y el *PaT* para los pacientes de tratamiento se grafica en las Figuras 4.20 y 4.21.

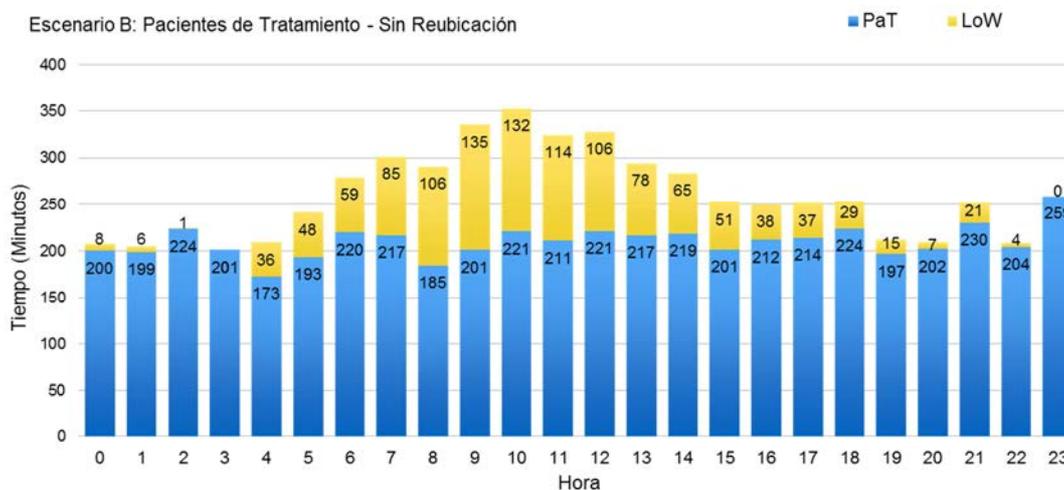


Figura 4.20 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio B sin reubicación de pacientes.



Figura 4.21 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio B con reubicación de pacientes.

En este caso la curva se aplana casi del todo con la reubicación que es también efectiva en el *LoW* de nuevo para los pacientes llegados en las horas previas a la hora inicial de la reubicación. El resultado de la reubicación se visualiza muy favorable respecto a las esperas de los pacientes en este caso.

4.6.4 Resultados para el caso de estudio C

El escenario simulado en este tercer caso queda determinado por una distribución de entrada de pacientes con un porcentaje elevado de pacientes de tipo 4 y 5 superando el T_{ThP} . Es un escenario representativo de un episodio de epidemia de gripe, por ejemplo. De nuevo, se considera la configuración de personal sanitario de la Tabla 3.2, con un T_{ThP} calculado de 14,68 pacientes por hora.

Caracterización del SS y resultado de la reubicación de pacientes

En la Tabla 4.11 se detalla la caracterización del *Estado del Sistema* correspondiente al *Input Histórico* considerado en este caso. En base al SS calculado, el método de reubicación de pacientes no consigue reubicar al 90% de los pacientes respetando el valor del T_{ThP} calculado para esta configuración. En su lugar, propone un *límite de reubicación* mucho más alto, de 23 pacientes por hora, para poder mejorar la situación sin modificar los recursos de personal considerados.

El resultado de la reubicación de pacientes considerando este límite de reubicación de 23 pacientes/hora se muestra también en la Tabla 4.11, donde, se identifica la *hora inicial* ($i=10$), se detalla la actualización del SS para el *input programado* por la reubicación y se concreta el *límite de admisión* de pacientes calculado para cada hora.

Tabla 4.11 Caso de estudio C: Cálculo del SS y resultado de la reubicación de pacientes.

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Cálculo del Estado del Sistema (original)																								
Input Histórico	6	5	4	3	3	4	4	6	10	16	24	22	20	17	15	20	20	17	17	15	17	13	10	9
Pacientes de Test	2	1	1	1	1	1	1	1	2	3	5	5	5	4	3	5	4	4	4	3	4	3	2	2
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pacientes Propagados	5	4	2	1	1	1	1	1	1	3	5	9	9	9	7	6	8	7	7	7	6	7	6	5
SS (Pacientes en atención)	11	9	6	4	4	5	5	7	11	19	29	31	29	26	22	26	28	24	24	22	23	20	16	14
Resultado de la Reubicación de pacientes (Límite de Reubicación = 23)																								
Límite de Admisión	6	5	4	3	3	4	4	6	10	16	24	14	14	12	15	17	13	14	14	15	17	13	10	9
Input Ideal Programado	6	5	4	3	3	4	4	6	10	16	24	14	16	16	17	17	16	17	17	17	17	16	17	15
Pacientes de Test	2	1	1	1	1	1	1	1	2	3	5	3	4	3	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pacientes Propagados	6	4	2	1	1	1	1	1	1	3	5	9	7	8	6	7	7	6	7	7	7	7	6	7
SS (Actualización completa)	12	9	6	4	4	5	5	7	11	19	29	23	23	24	23	24	23	23	24	24	24	23	23	22

La Tabla de programación de citas correspondiente a la reubicación propuesta se muestra en la Tabla 4.12. En este caso que se ha reubicado a un total de 33 pacientes.

Tabla 4.12 Caso de estudio C: Tabla de Programación de Citas.

11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Resultados de la simulación

Además de los experimentos de simulación realizados para los casos anteriores, en este caso realizaremos un experimento adicional.

Las ecuaciones del modelo analítico para el cálculo de la capacidad de atención de una configuración de personal sanitario, expuesto en el capítulo III, nos permiten obtener el detalle de la configuración de personal cuya capacidad teórica de atención (T_{ThP}) se ajuste a la demanda del servicio en cada caso.

Obtenemos distintas configuraciones con un T_{ThP} de 23 pacientes/hora, considerando diferente número de médicos de perfil júnior y sénior, todas ellas formadas por 11 médicos en total en el Área B. La reubicación de los pacientes conduciría a una situación de espera mínima con una configuración con esta capacidad de atención, pero la ocupación del personal sanitario sería muy baja en algunos momentos, con lo cual se perdería en eficiencia de los recursos. Por otra parte, la disponibilidad de recursos de médicos actual (configuración original) es de 7

médicos en total (2 sénior y 5 júnior). Según el cálculo realizado a través de las ecuaciones del modelo analítico se necesitarían 4 médicos más para poder absorber la demanda prevista por el Input Histórico considerado en este caso, para lograr esperas mínimas.

Por otra parte, el número medio de pacientes del Input Histórico por hora desde la hora inicial de reubicación hasta la hora 23 es de 17 pacientes por hora. Esta es la entrada estacionaria por hora que conllevaría, por su propagación, a un estado del sistema de 23 pacientes por hora. Con las ecuaciones del modelo analítico calculamos que sólo con un médico más (configuración de 8 médicos y distintas composiciones posibles de sénior y júnior) aumenta el T_{ThP} a 17 pacientes por hora, frente a los 14 pacientes por hora de la actual configuración de personal formada por 7 médicos. Así, una configuración con un sólo médico más puede mejorar mucho la situación, siendo además mucho más eficiente que una configuración con una capacidad de 23 pacientes/hora.

Todas estas consideraciones nos llevan a realizar dos experimentos de simulación correspondientes a dos escenarios distintos determinados por la entrada de pacientes (*Input Histórico*) y el *Estado del Sistema* calculado para este estudio de caso C en la Tabla 4.11 y dos configuraciones de personal sanitario distintas:

- Escenario C1: Configuración original (7 médicos: 2 sénior y 5 júnior), con un T_{ThP} de 14 pacientes por hora.
- Escenario C2: Configuración propuesta (8 médicos: 4 sénior y 4 júnior), con un T_{ThP} de 17 pacientes por hora.

El objetivo de este doble experimento es valorar el efecto de añadir un médico más a la configuración en la reducción en el LoW de los pacientes una vez aplicado el método para la reubicación según los cálculos de las Tablas 4.11 y 4.12 respecto a la situación original sin reubicación.

El gráfico de la Figura 4.22 representa los valores del LoW y el PaT estimados para los pacientes directos para cada hora del día sin reubicación de pacientes para el escenario C1. La Figura 4.23 muestra dos gráficos, también para los pacientes

directos, correspondientes a los resultados después de la reubicación, considerando la configuración original (escenario C1), y la nueva configuración de personal (escenario C2), respectivamente. Para los pacientes de test se muestra la información de los valores del *LoW* y el *PaT* correspondientes en las Figuras 4.24 y 4.25 respectivamente de la misma manera. Y lo mismo para los pacientes de tratamiento en las Figuras 4.26 y 4.27. Estos resultados se han calculado también sobre los datos generados por la simulación de 125 días, siendo el valor representado la media para todos los pacientes generados por el simulador en la hora correspondiente.

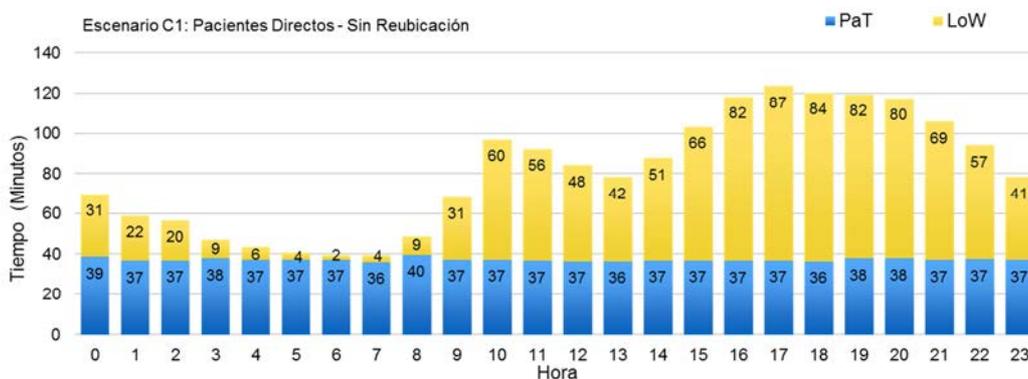


Figura 4.22 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario C1 correspondiente al caso de estudio C sin reubicación de pacientes.

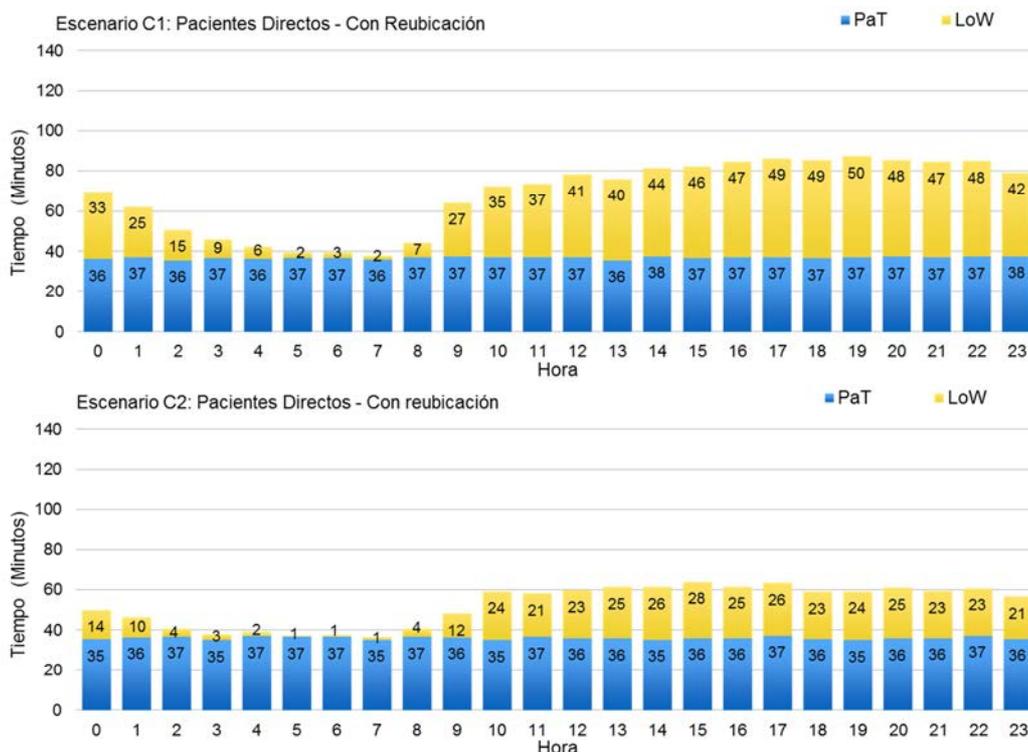


Figura 4.23 LoW y PaT de los Pacientes Directos para los escenarios C1 y C2 correspondientes al caso de estudio C con reubicación de pacientes.

El LoW para los pacientes directos se ve reducido para el escenario C1, siendo de más de un 30% a partir de la hora inicial de reubicación y hasta la hora 21. La reducción se concentra entre las horas 15 a 21 con muy poca desviación de una hora a otra. Por otra parte, claramente se observa homogeneización de las horas críticas cuando se considera el escenario C2, consiguiendo en este caso una reducción de entre el 60% y el 70% en muchos casos, llegando a ser del 70% entre la hora 16 y la hora 20.

A continuación los gráficos correspondientes a los pacientes de test:



Figura 4.24 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario C1 correspondiente al caso de estudio C sin reubicación de pacientes.

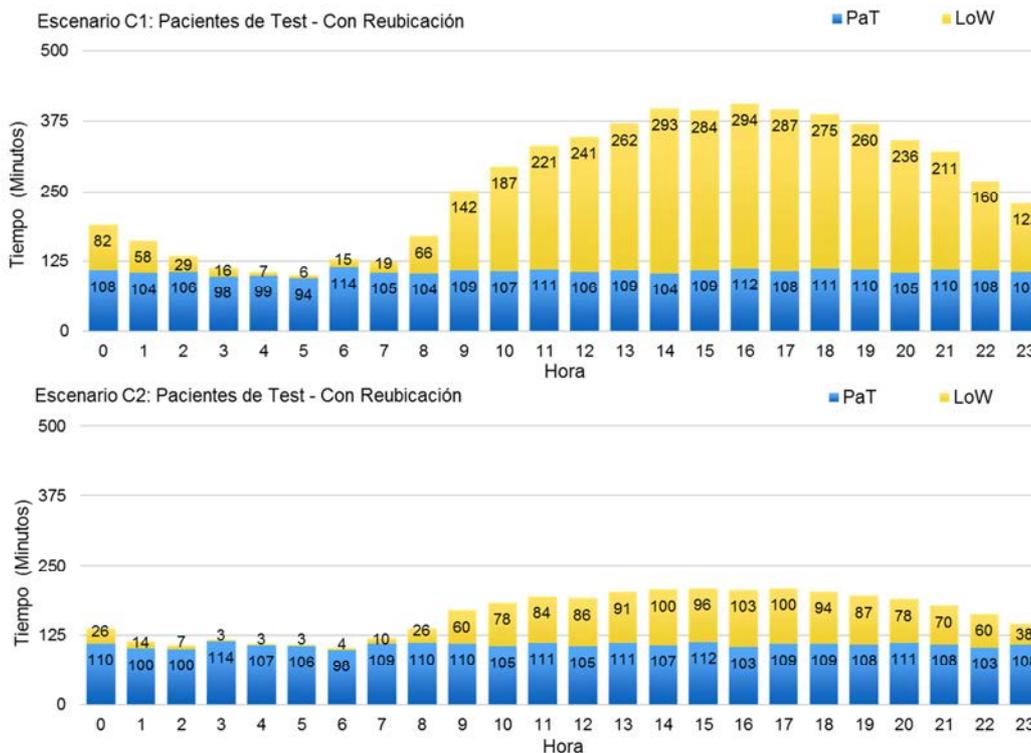


Figura 4.25 LoW y PaT de los Pacientes de Test para para los escenarios C1 y C2 correspondientes al caso de estudio C con reubicación de pacientes.

En el caso de los pacientes de test la mejora es considerable aun manteniendo la configuración de personal sanitario original. Los pacientes en la hora 10 llegan a reducir su tiempo de espera en 152 minutos de media, lo que supone un 45% de reducción en el *LoW*. Esta reducción llega ser de un 77% cuando se considera el escenario C2, con la configuración de personal sanitario propuesta con una capacidad de atención de 17 pacientes por hora. El efecto de la nueva configuración de médicos es evidente.

Por último los resultados correspondientes a los pacientes de tratamiento:

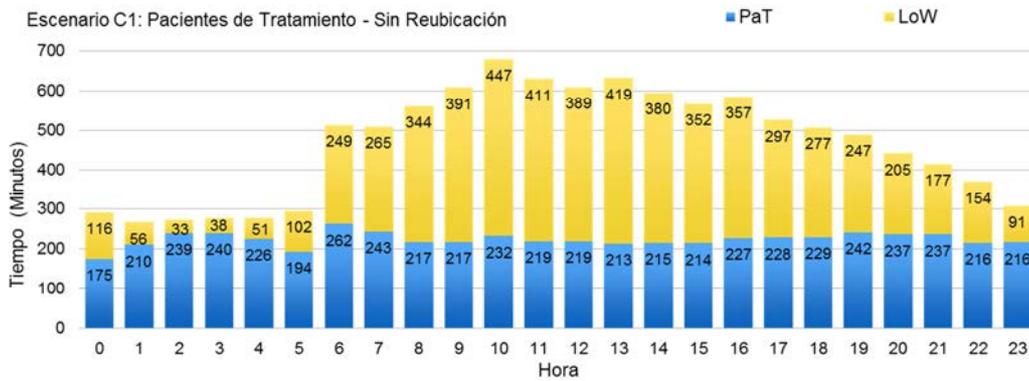


Figura 4.26 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario C1 correspondiente al caso de estudio C sin reubicación de pacientes.

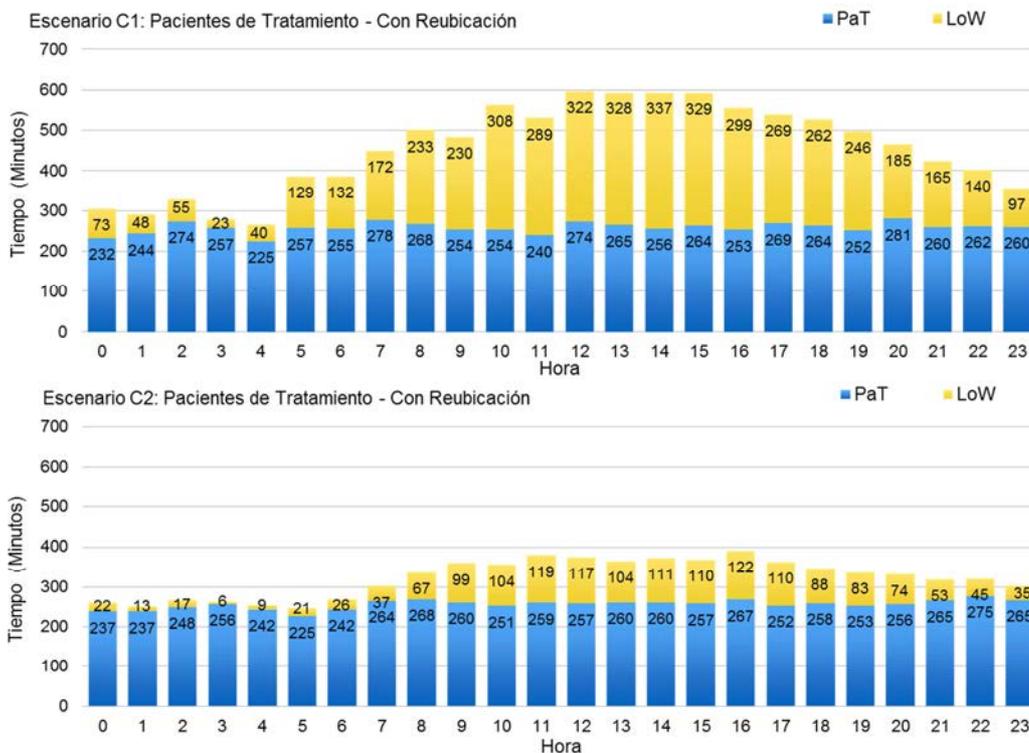


Figura 4.27 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para para los escenarios C1 y C2 correspondientes al caso de estudio C con reubicación de pacientes.

Para los pacientes de tratamiento la mejora también es muy importante en ambos casos. Manteniendo la configuración inicial (escenario C1), entre la hora 6 y la hora 13 el tiempo de espera de los pacientes se reduce en más de una hora y media, casi para todas las horas. Cuando la configuración se modifica considerando el escenario C2, la reducción va desde 224 minutos (casi 4 horas) hasta 343 minutos (casi 6 horas) entre la hora 6 y la hora 16.

Para el escenario C2, la mejora conseguida por la reubicación de pacientes y considerando la nueva configuración de personal sanitario, compuesta por 4 médicos sénior y 4 júnior, es destacable para todos los pacientes. Pero incluso conservando la configuración original, y siendo el escenario C1 un escenario sin opción a la reubicación respetando su T_{ThP} , la reubicación propuesta para un límite de reubicación de 23 pacientes por hora mejora considerablemente el *LoW* en todos los casos.

4.6.5 Resultados para el caso de estudio D

En este cuarto caso de estudio se simulan dos escenarios determinados por una distribución de entrada de pacientes con una llegada inesperada de pacientes en un momento determinado del día, simulando un posible accidente. En ambos escenarios la distribución de entrada de pacientes considerada como *Input Histórico* es la especificada en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13 Caso de Estudio D: Distribución de entrada de pacientes (Input Histórico).

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Input Histórico	4	3	2	2	1	2	2	4	12	13	21	20	16	14	11	11	10	8	7	9	5	3	4	2

Dado el *Input Histórico* considerado, se realizan dos experimentos correspondientes a dos escenarios distintos para ver el efecto de un accidente en dos horas diferentes:

- Escenario D1: Se considera un accidente que provoca una entrada de 17 pacientes más en la hora 9.
- Escenario D2: Se considera un accidente que provoca una entrada de 17 pacientes más en la hora 13.

Consideramos que los nuevos pacientes llegados por el accidente, aun tratándose de pacientes no críticos, no son pacientes susceptibles de reubicación y deben ser atendidos, dada su situación de shock. La reubicación, en este caso, no mueve a estos pacientes, y trata de mejorar la situación, por reubicación del resto de pacientes llegados en la hora en que se ha producido el accidente y después de éste, y de los que llegan en las horas posteriores. El objetivo es reducir la saturación puntual generada por el aumento repentino de pacientes en una hora determinada y generar huecos para estos pacientes del accidente en esa hora y en las horas inmediatas, desplazando al resto de pacientes que llegan después, atendiendo al SS actualizado.

En base al SS actualizado con la entrada de pacientes por el accidente mostrado en la Tabla 4.15 y considerando las restricciones de límite de reubicación y de retardo máximo, se programa la reubicación de nuevo a partir de la hora en que se ha producido el accidente, que se identifica como *hora inicial* para la reubicación ($i=9$). El método de reubicación de pacientes propone un *límite de reubicación* en este caso de 16 pacientes por hora para llevar a cabo la reubicación del resto de pacientes, ya que no consigue reubicar al 90% de estos pacientes respetando el valor del T_{ThP} calculado para esta configuración. Finalmente se genera la nueva *Tabla de Programación de Citas* y la correspondiente entrada de pacientes, que respeta la programación de los pacientes ya reubicados hasta el momento (Tabla 4.16).

Tabla 4.16 Escenario D1: Tabla de Programación de Citas después del accidente y correspondiente entrada de pacientes programada.

Hora programada de cita	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23											

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Entrada Programada	4	3	2	2	1	2	2	4	12	29	7	7	8	9	4	13	14	15	15	14	12	9	9	6

Resultados de la simulación para el escenario D1

Las Figuras 4.28 y 4.29 presentan los valores medios del *LoW* y el *PaT* para los pacientes directos generados en cada hora del día por la simulación de 125 días, sin reubicación y con reubicación de pacientes respectivamente para el escenario D1.

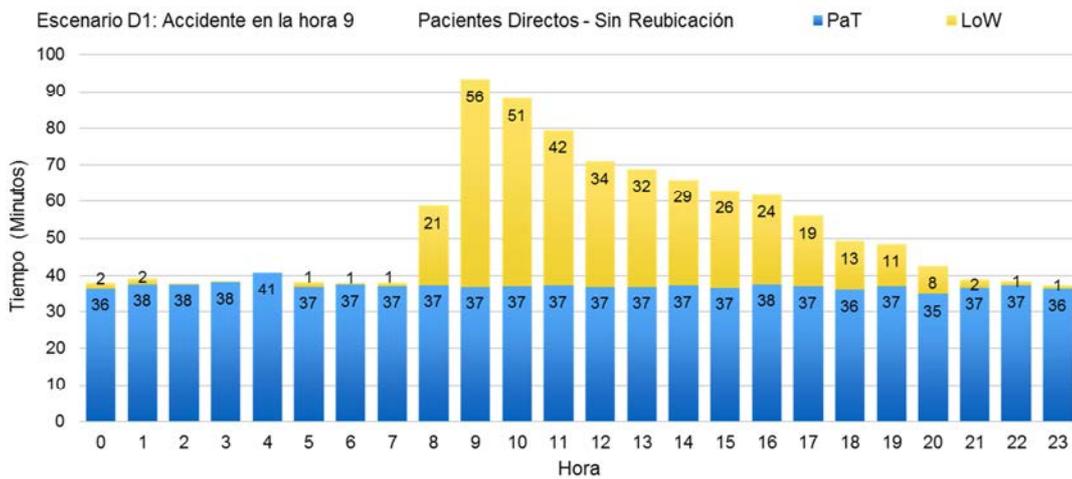


Figura 4.28 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 sin reubicación de pacientes.

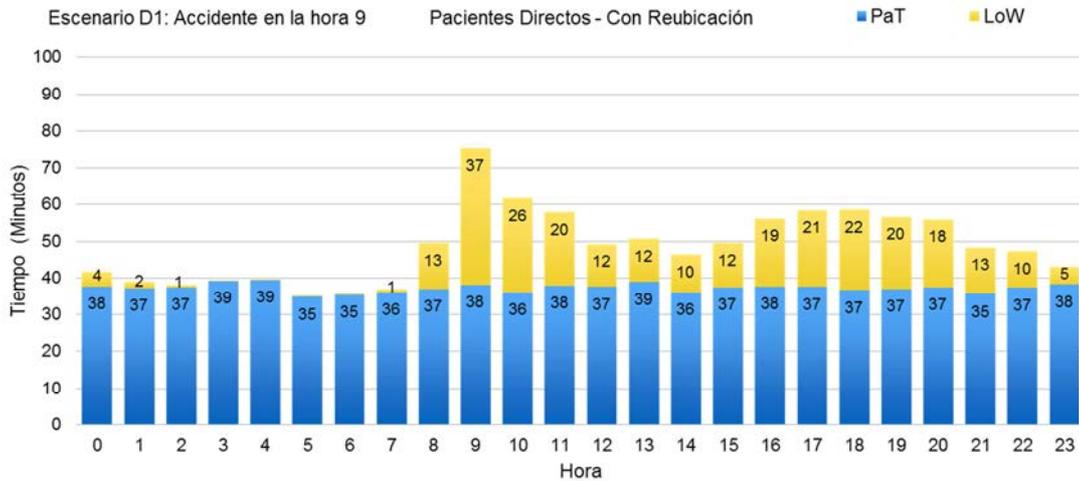


Figura 4.29 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 con reubicación de pacientes.

Sin reubicación de pacientes, después del accidente, se prevé una espera de alrededor de una hora desde las 9 hasta las 11 para los pacientes directos. La reubicación logra reducir la espera en estas horas casi a la mitad, debido a que libera la carga del servicio en esas horas para poder atender a los pacientes del accidente sin saturar el sistema.

A continuación se muestra el efecto en los pacientes de test en los gráficos de las Figuras 4.30 y 4.31:

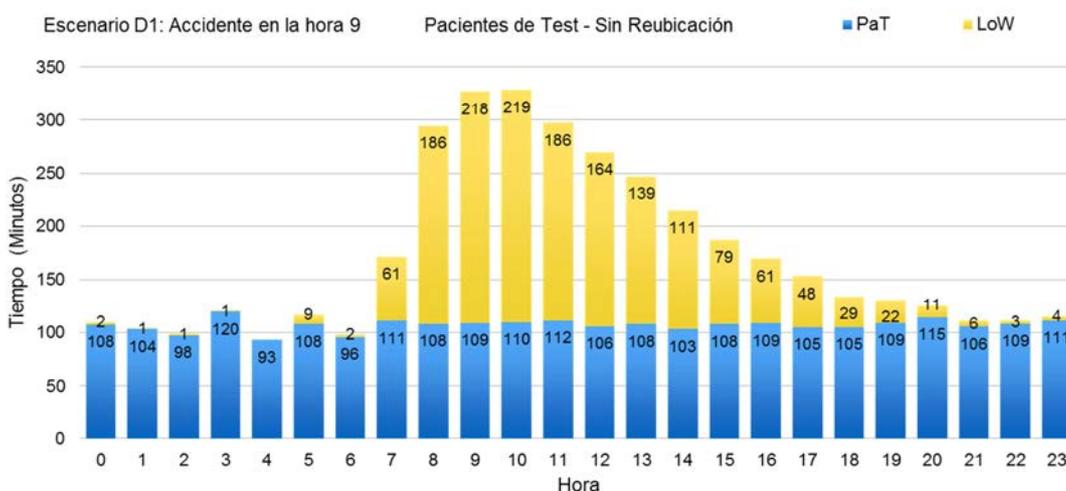


Figura 4.30 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 sin reubicación de pacientes.

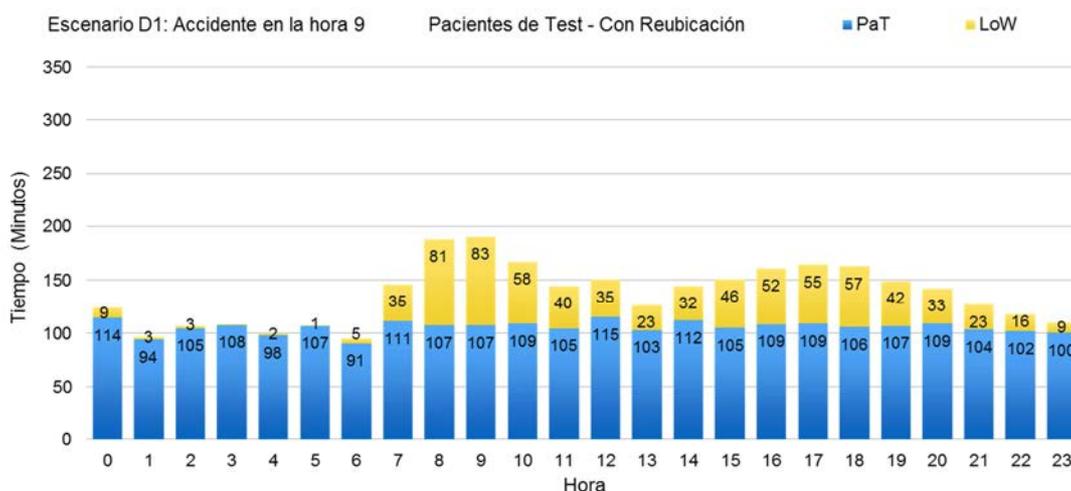


Figura 4.31 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 con reubicación de pacientes.

Los pacientes de test llegados en la hora previa al accidente son también afectados por la llegada de los pacientes del accidente, ya que su atención se alarga hasta la hora del accidente. El efecto del accidente provoca esperas para estos pacientes, entre la hora 8 y la hora 11, de entre 3 horas y 3 horas y media. Realizada la reubicación, las esperas de estos pacientes se reducen de forma considerable, siendo estas reducciones de entre el 50% y el 80% en estas horas.

Los valores para los pacientes de tratamiento se muestran en las Figuras 4.32 y 4.33:

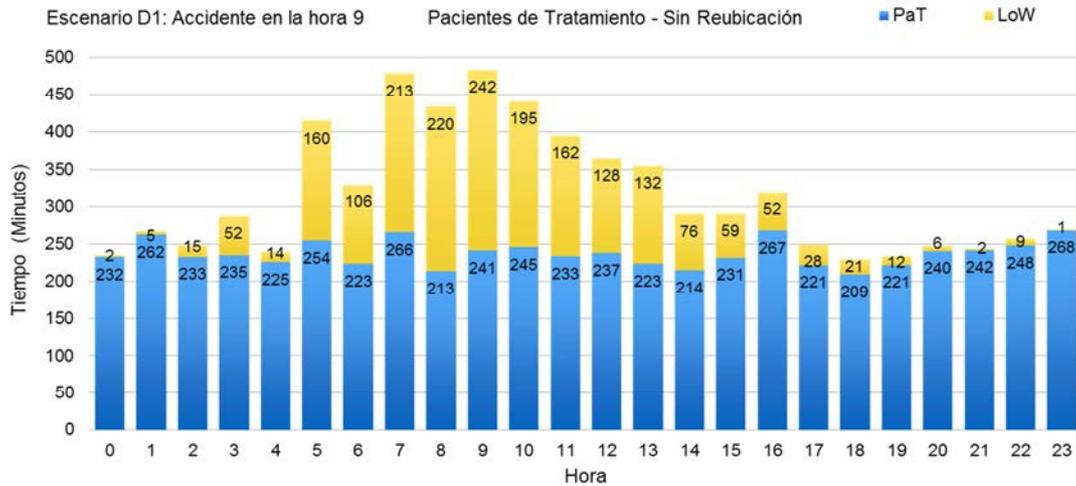


Figura 4.32 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 sin reubicación de pacientes.

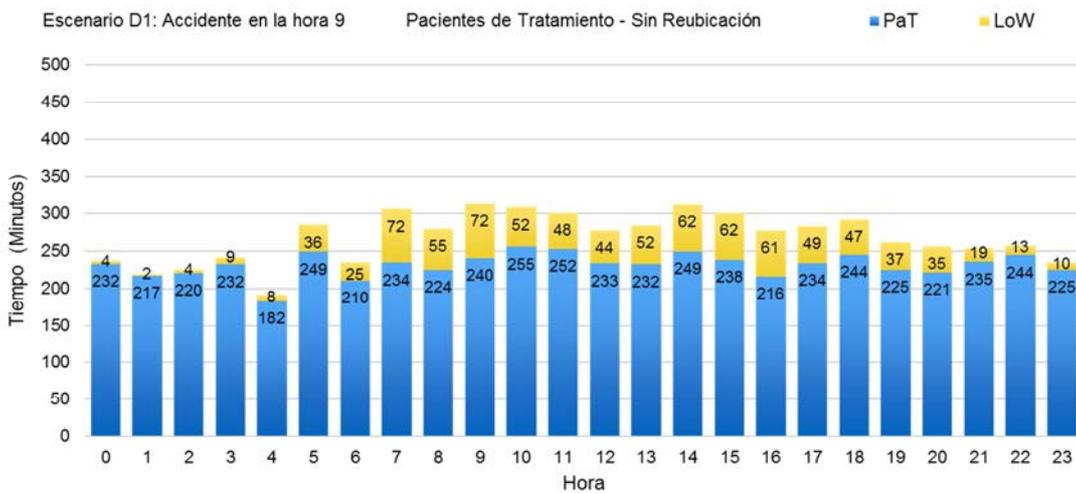


Figura 4.33 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario D1 correspondiente a un accidente en la hora 9 con reubicación de pacientes.

Los pacientes de tratamiento llegados en las horas previas del accidente están también claramente afectados por la llegada de los pacientes del accidente al SUH, ya que, igual que los de test, su atención se alarga hasta la hora del accidente. También en este caso la reubicación de pacientes afecta positivamente y mejora los tiempos de espera de los pacientes en esas horas.

Actualización del SS y de la programación de pacientes para el escenario D2

La reubicación basada en el SS que se calcula para el *Input Histórico* de la Tabla 4.13, sin contemplar el accidente genera, en este experimento, la tabla de programación de citas de la Tabla 4.17.

Tabla 4.17 Escenario D2: Tabla de Programación de Citas antes del accidente.

Hora programada de cita	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23											

En el simulador se activa una entrada de 17 pacientes más en la hora 13. El método de reubicación detecta esta entrada de pacientes no prevista por el *Input Histórico*. En la Tabla 4.18 se detalla la actualización del SS contemplando esta nueva situación.

Tabla 4.18 Escenario D2: Actualización del SS contemplando el accidente.

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Entrada de Pacientes	4	3	2	2	1	2	2	4	12	11	10	7	9	28	19	16	17	14	12	14	5	3	4	2
Pacientes de Test	1	1	0	1	0	1	1	1	3	2	2	2	2	5	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
Pacientes Propagados	1	1	1	0	1	0	1	1	1	4	4	5	4	4	8	6	6	5	4	3	3	2	2	1
SS (Pacientes en atención)	5	4	3	2	2	2	3	5	13	15	14	12	13	32	27	22	23	19	16	17	8	5	6	3

Los 28 pacientes llegados en la hora 13 son los 14 del *Input Histórico* de la Tabla 4.13, menos 6 que han sido programados antes del accidente (uno a la hora 18 y los otros 5 a la hora 19), más los 3 pacientes reubicados de la hora 10 a la hora 13 (Tabla 4.17), más los 17 nuevos pacientes llegados por el accidente simulado.

En base al SS actualizado con la entrada de pacientes por el accidente mostrado en la Tabla 4.18, teniendo en cuenta que los pacientes ya programados únicamente se consideran para calcular el SS y no pueden ser reubicados de nuevo, y considerando

En los gráficos de las Figuras 4.34 y 4.35 se observa la homogeneización conseguida por la reubicación de pacientes tras el accidente para los pacientes directos. Aunque de la hora 20 a la hora 23 aumenta tiempo de espera por el desplazamiento de los pacientes para liberar las horas posteriores al accidente, este desplazamiento ha evitado la saturación en esas horas.

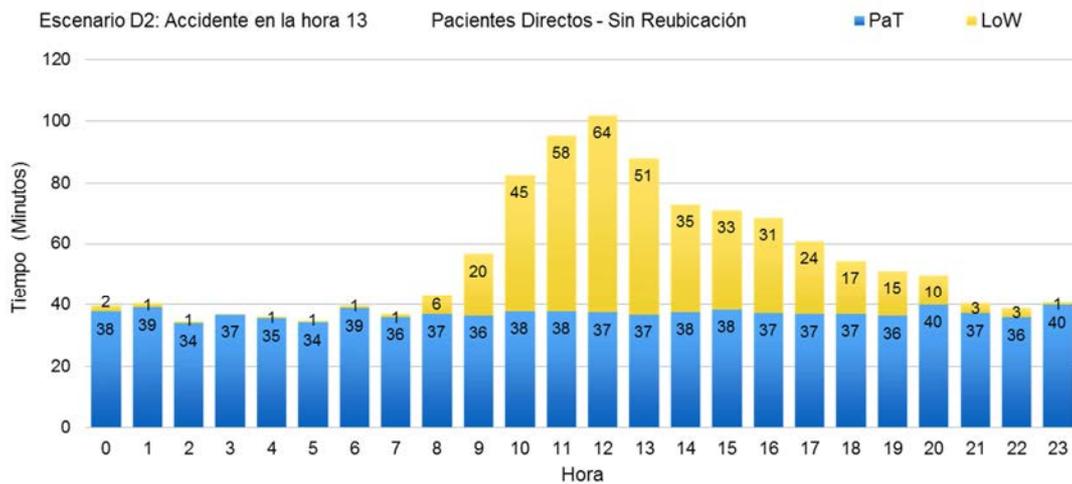


Figura 4.34 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 sin reubicación de pacientes.

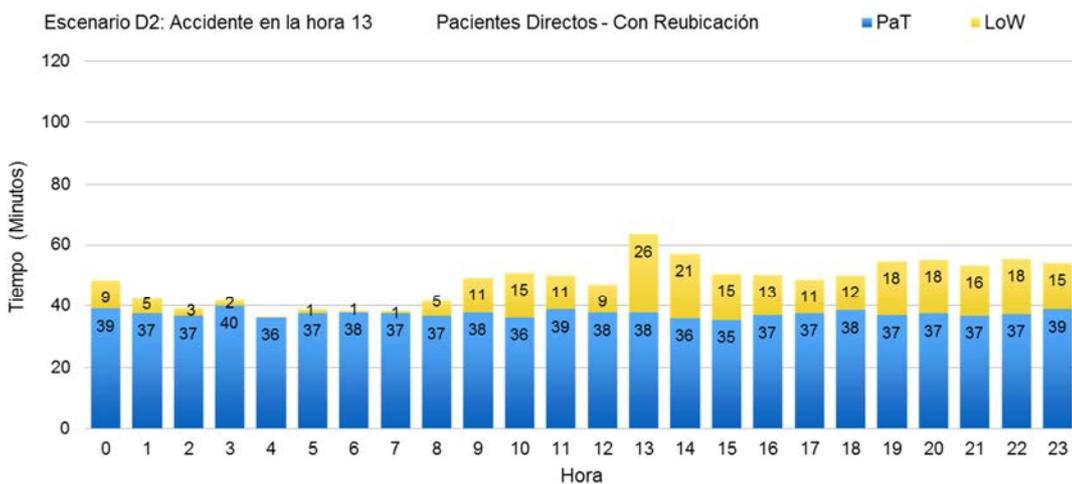


Figura 4.35 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 con reubicación de pacientes.

Para los pacientes de test el efecto es el mismo, se homogeneizan las esperas y se consigue así evitar la saturación en las horas afectadas por la llegada de los pacientes del accidente. Los gráficos de las Figuras 4.36 y 4.37 visualizan esta situación. La reducción aquí llega a ser del 80% entre la hora 12 y la hora 14. Igual que ocurría en el caso del escenario D1, los pacientes llegados en las horas previas al accidente también ven afectado su tiempo de espera por el aumento de pacientes en la hora del accidente.

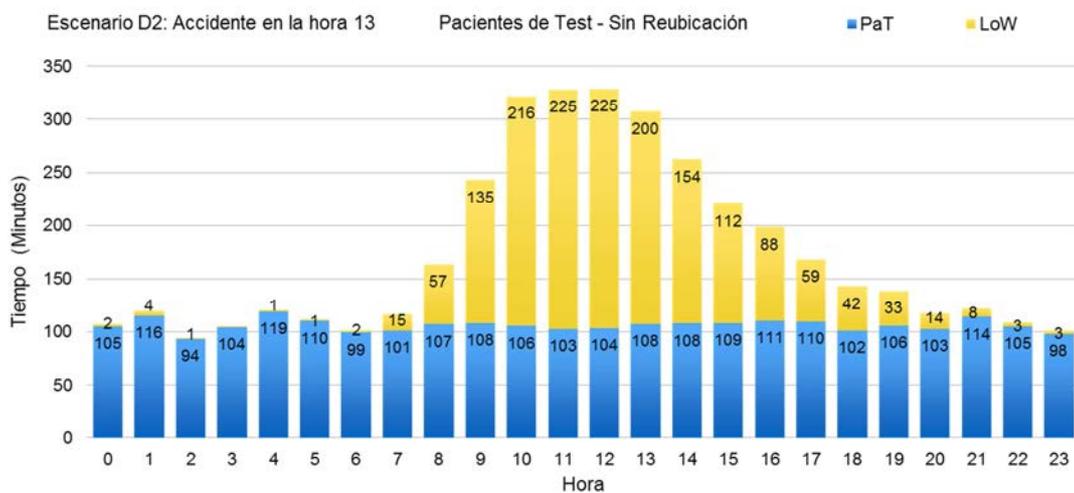


Figura 4.36 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 sin reubicación de pacientes.

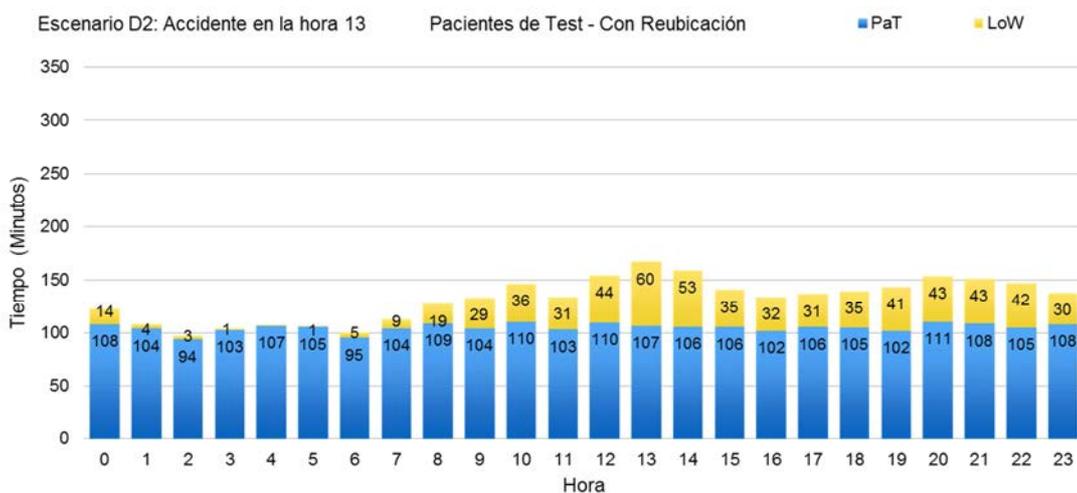


Figura 4.37 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 con reubicación de pacientes.

Por último, los tiempos para los pacientes de tratamiento para este escenario D2 se presentan en los gráficos de las Figuras 4.38 y 4.39.

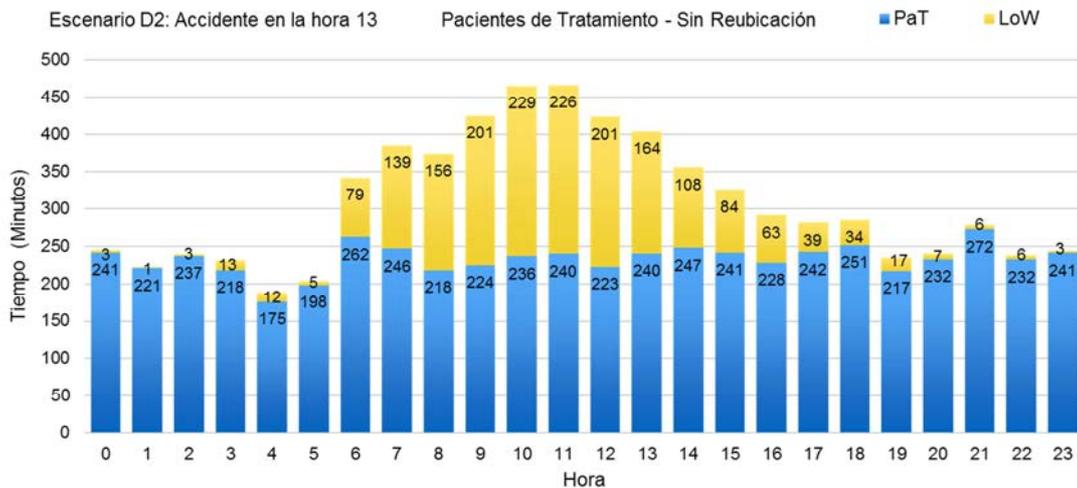


Figura 4.38 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 sin reubicación de pacientes.

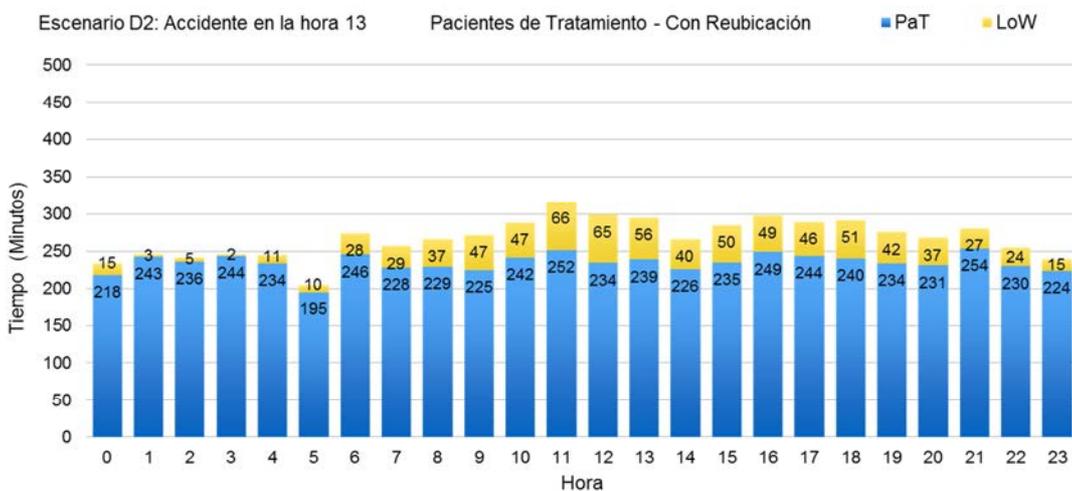


Figura 4.39 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario D2 correspondiente a un accidente en la hora 13 con reubicación de pacientes.

El efecto de la reubicación de pacientes es de nuevo el mismo, la homogeneización de los tiempos de espera en todas las horas, con reducciones de entre un 40 y un 80% entre la hora 6 y la hora 15.

4.6.6 Resultados para el caso de estudio E

El objetivo de este caso de estudio es validar el efecto del método para la generación de huecos descrito en la Tabla 4.3. Para ello, el escenario simulado en este último caso queda determinado por una distribución de entrada de pacientes que no permite la reubicación de pacientes por la restricción de distancia límite sin generar huecos, y la configuración de personal sanitario de la Tabla 3.2, con un T_{ThP} calculado de 14,68 pacientes por hora.

Esta situación se da cuando no se logra reubicar al 90% de los pacientes con el límite de reubicación establecido, debido a que la distancia entre las horas del SS en que se supera el límite de reubicación y las horas con huecos para la reubicación supera el retardo máximo de 6 horas establecido como restricción de distancia límite.

Para observar y validar el efecto del método para la generación de huecos en esta situación, realizamos tres experimentos de simulación:

- Simulación sin reubicación de pacientes.
- Simulación con reubicación de pacientes sin generación de huecos.
- Simulación con reubicación de pacientes con generación de huecos.

Caracterización del SS y resultado de la reubicación de pacientes

En la Tabla 4.20 se detalla la caracterización del *Estado del Sistema* correspondiente al *Input Histórico* considerado en este caso. En base al SS calculado, el método de reubicación de pacientes propone un *límite de reubicación* de 16 pacientes por hora, ya que no consigue reubicar al 90% de los pacientes respetando el valor del T_{ThP} calculado para esta configuración.

El resultado de la reubicación de pacientes considerando este límite de reubicación de 16 pacientes/hora sin generación de huecos y con generación de huecos se muestra también en la Tabla 4.20. Se identifica la *hora inicial* ($i=8$), se detalla la actualización del SS para el *input programado* por la reubicación y se concreta el *límite de admisión* de pacientes calculado para cada hora para ambos casos.

Tabla 4.20 Caso de estudio E: Cálculo del SS y resultado de la reubicación de pacientes.

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Cálculo del Estado del Sistema (original)																								
Input Histórico	4	3	2	2	1	2	4	12	13	24	23	18	16	10	10	10	10	10	10	10	4	2	1	2
Pacientes de Test	1	1	0	0	0	1	1	3	3	5	5	4	4	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0	1
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Pacientes Propagados	1	1	1	0	0	0	1	1	4	5	9	9	8	7	5	5	5	5	5	5	5	3	1	0
SS (Pacientes en atención)	5	4	3	2	1	2	5	13	17	29	32	27	24	17	15	15	15	15	15	15	9	5	2	2
Resultado de la Reubicación de pacientes (Límite de Reubicación = T_ThP = 16 pacs/hora)																								
Límite de Admisión	4	3	2	2	1	2	4	12	13	24	23	18	9	9	10	10	10	10	10	10	4	2	1	2
Input Ideal Programado	4	3	2	2	1	2	4	12	13	24	23	18	9	11	11	11	11	11	11	11	4	2	1	2
Pacientes de Test	1	1	0	0	0	1	1	3	3	5	5	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0	1
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Pacientes Propagados	1	1	1	0	0	0	1	1	4	5	9	9	8	5	5	5	5	5	5	5	5	3	1	0
SS (Actualización completa)	5	4	3	2	1	2	5	13	17	29	32	27	17	16	16	16	16	16	16	16	9	5	2	2
Resultado de la Reubicación de pacientes con generación de huecos																								
Límite de Admisión	4	3	2	2	1	2	4	12	12	14	7	6	7	7	7	7	7	7	10	10	4	2	1	2
Input Ideal Programado	4	3	2	2	1	2	4	12	12	14	9	12	13	13	13	14	12	14	13	7	5	4	5	
Pacientes de Test	1	1	1	0	0	1	1	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1	1
Pacientes de Tratamiento	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Pacientes Propagados	1	1	1	1	0	0	1	1	4	5	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	2	1
SS (Actualización completa)	5	4	3	3	1	2	5	13	16	19	15	17	19	19	19	19	20	18	20	19	13	9	6	6

La Tabla 4.21 muestra la *Tabla de Programación de Citas* generada por la reubicación sin generación de huecos y la Tabla 4.22 la correspondiente a la reubicación con generación de huecos.

Tabla 4.21 Caso de estudio E: Tabla de Programación de Citas (Reubicación sin generación de huecos)

10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23									

De la hora 8 hasta la hora 13 el número de pacientes en atención (SS) supera el límite de reubicación, y por tanto son horas críticas. El SS calculado para las 6 horas siguientes y la restricción de retardo máximo de 6 horas para la reubicación de pacientes únicamente permite la programación de 7 pacientes de la hora 12 y un

paciente de la hora 13 tal como se indica en la Tabla de Programación de Citas mostrada en la Tabla 4.21.

Esta situación mejora generando los huecos necesarios para permitir la reubicación de los pacientes susceptibles de reubicación de las horas críticas en las 6 horas siguientes a su hora inicial de llegada al servicio aplicando el método de generación de huecos como paso previo a la reubicación, tal como muestra la Tabla de Programación de Citas de la Tabla 4.22.

Tabla 4.22 Caso de estudio E: Tabla de Programación de Citas
(Reubicación con generación de huecos)

10	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Con la aplicación del método para la generación de huecos se consigue reubicar a 51 pacientes de las horas críticas. Se ha reubicado también a 12 pacientes de las horas 14 a 17 para generar los huecos necesarios para la reubicación de los pacientes a reubicar de las horas críticas.

Resultados de la simulación

Los gráficos de las Figuras 4.40 a 4.48 representan los valores medios del *LoW* (tiempo de espera) y el *PaT* (tiempo de atención) previstos para cada hora del día por la simulación, sin aplicar el método de reubicación y aplicando la reubicación de pacientes sin generación de huecos y con generación de huecos, para los pacientes directos, de test y de tratamiento, para este caso de estudio E.

Del mismo modo que en los casos anteriores, estos resultados se han calculado sobre los datos generados por la simulación de 125 días (todos lunes), siendo el valor representado la media para todos los pacientes generados por el simulador en la hora correspondiente.

Los resultados para los pacientes directos se representan en los gráficos de las figuras 4.40 a 4.42.

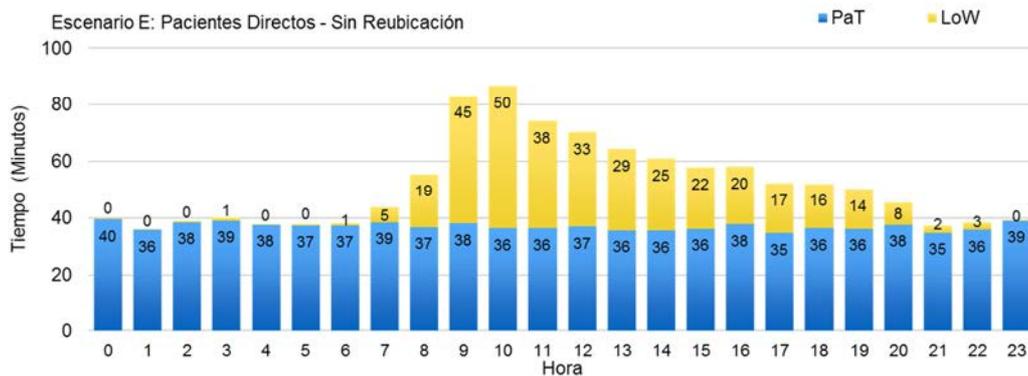


Figura 4.40 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio E sin reubicación de pacientes.

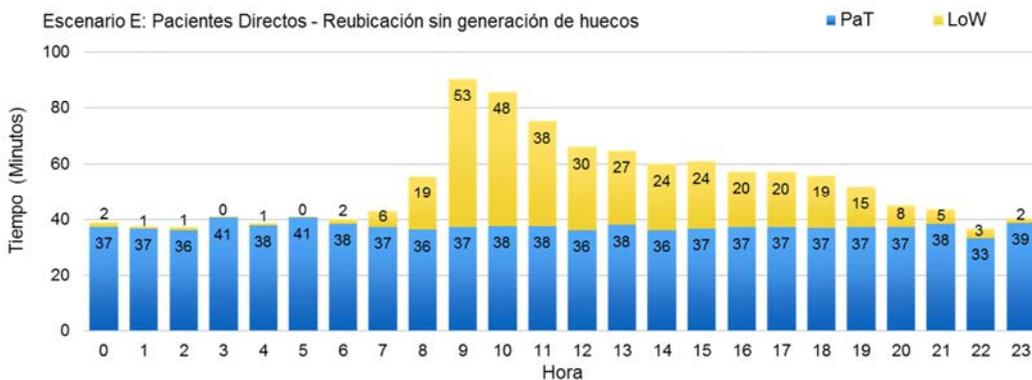


Figura 4.41 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio E con reubicación de pacientes (sin generación de huecos).

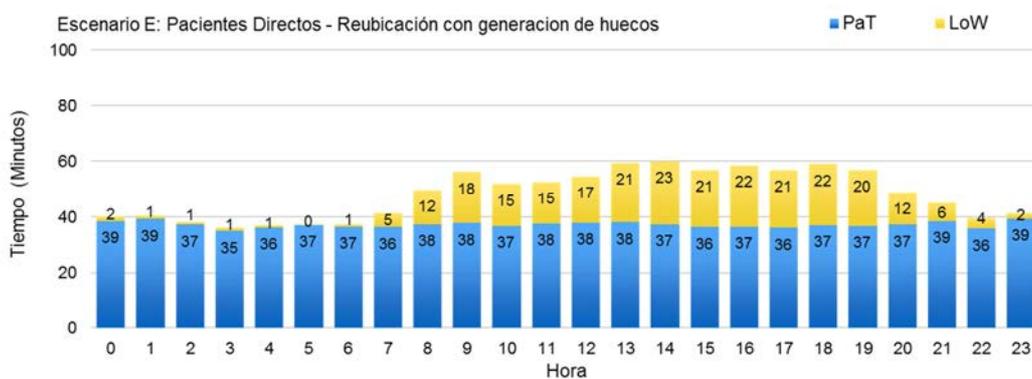


Figura 4.42 LoW y PaT de los Pacientes Directos para el escenario correspondiente al caso de estudio E con generación de huecos para la reubicación.

Las Figuras 4.43 a 4.45 muestran los resultados de los experimentos de simulación para los pacientes de test.

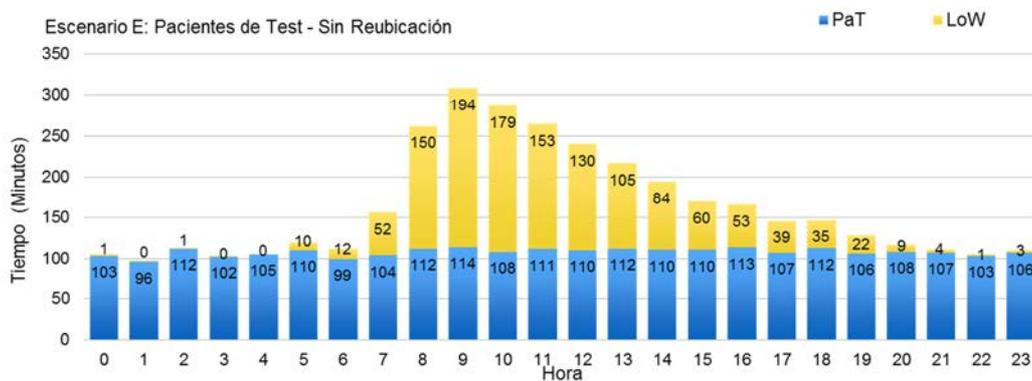


Figura 4.43 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio E sin reubicación de pacientes.

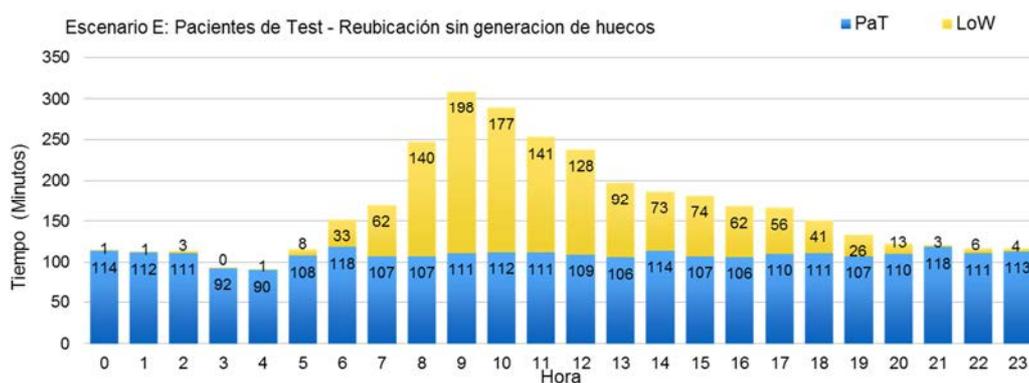


Figura 4.44 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio E con reubicación de pacientes (sin generación de huecos).

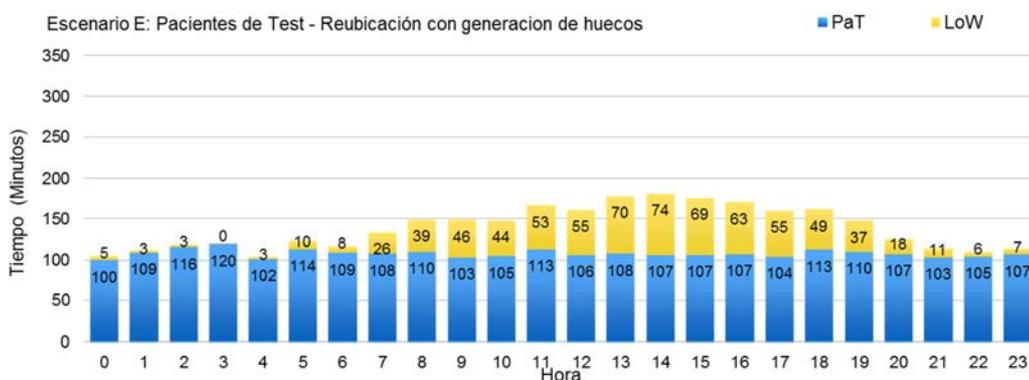


Figura 4.45 LoW y PaT de los Pacientes de Test para el escenario correspondiente al caso de estudio E con generación de huecos para la reubicación.

Por último, las Figuras 4.46 a 4.48 muestran los resultados de los experimentos de simulación para los pacientes de tratamiento.

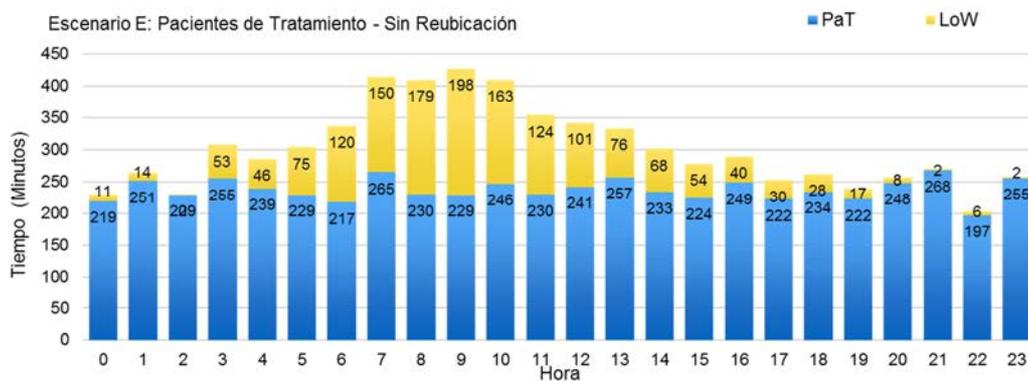


Figura 4.46 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio E sin reubicación de pacientes.

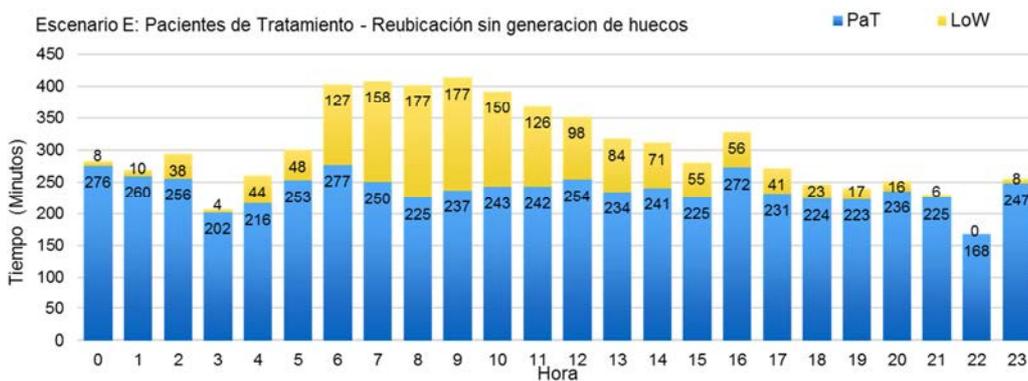


Figura 4.47 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio E con reubicación de pacientes (sin generación de huecos).

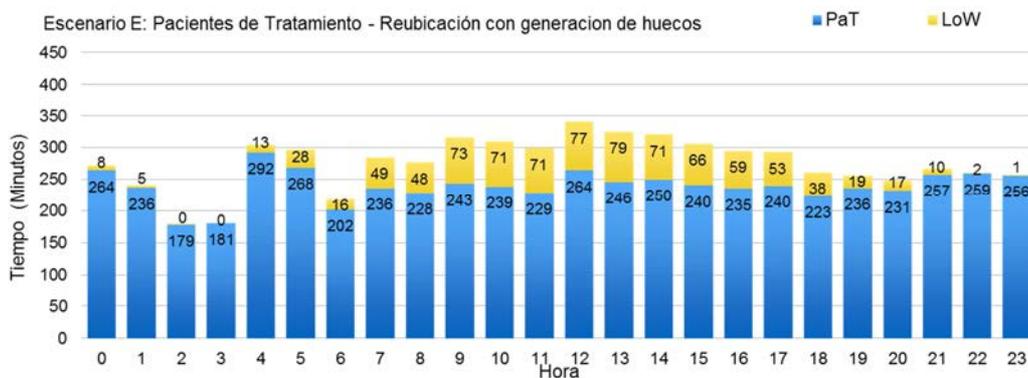


Figura 4.48 LoW y PaT de los Pacientes de Tratamiento para el escenario correspondiente al caso de estudio E con generación de huecos para la reubicación.

La reubicación de los pacientes en este caso no aporta ninguna mejora respecto a la situación original (sin reubicación), si no se generan los huecos necesarios para reubicar a los pacientes de las horas críticas. En cambio, tal como se observa en los gráficos de las figuras 4.42, 4.45 y 4.48, la reubicación con generación de huecos es muy efectiva para todos los pacientes en la reducción del *LoW* en las horas críticas.

4.6.7 Resumen de resultados y discusión

En este apartado recopilamos los resultados de los experimentos de simulación realizados para los todos los casos de estudio, y resumimos la información obtenida de estos resultados. Para cada caso, se calculan los valores de la reducción media del *LoW* para los pacientes llegados en cada hora, llevada a cabo la intervención según el modelo de programación para la admisión, esto es, a través de reubicación de los pacientes en base al *SS* calculado en cada caso. Las Tablas 4.23 a 4.28 recogen estos valores de reducción del *LoW*. Se muestran por separado los valores de reducción del *LoW* para los pacientes directos, los pacientes de test y los de tratamiento.

Se especifica la reducción media en minutos (tiempo) y el porcentaje de reducción correspondiente previsto por los datos de simulación, respecto al *LoW* original sin reubicación, para todas las horas que han sido afectadas por la reubicación en las que se ha obtenido una reducción mínima de un 10%, siendo ésta de más de 10 minutos (ventana de efecto de la reubicación).

La *hora inicial* de reubicación aparece marcada en ocre en cada tabla. Además de las horas siguientes a esta hora, la ventana de efecto de la reubicación puede ampliarse a las horas previas. La reubicación puede afectar a los tiempos de espera de los pacientes de test y de tratamiento llegados en las horas anteriores a la *hora inicial*, por su propagación, si esta propagación llega hasta las horas en las que se ha llevado a cabo reubicación de otros pacientes.

Se han desestimado los resultados con una reducción en el *LoW* debida a valores atípicos en el *LoW* de los pacientes generados. Ha sido para para pacientes de tratamiento para los que se han detectado horas con valores atípicos en el *LoW*.

Por último, se muestra también gráficamente para cada caso (Figuras 4.40 a 4.44), la entrada de pacientes original (input histórico) y la entrada programada por la reubicación (input ideal programado) para su comparación. Sobre los mismos gráficos se representa los correspondientes valores del *LoS* medio de los pacientes en el servicio en cada hora (directos, de test y de tratamiento), sin reubicación y realizada la reubicación de pacientes, respectivamente.

Caso de estudio A

Este caso está caracterizado por una distribución de entrada de pacientes correspondiente a la determinada por los datos reales del histórico de datos del Hospital de Sabadell.

La Tabla 4.23 contiene el detalle de la reducción en el *LoW* por hora para los pacientes por efecto de la reubicación propuesta por el modelo en este caso, detallada en las Tablas 4.7 y 4.8 del apartado 4.6.2. Los datos analizados para la obtención de estos valores son los representados en las Figuras 4.10 a 4.15 del mismo apartado.

Tabla 4.23 Caso de estudio A: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el *LoW* por reubicación de pacientes.

Hora		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Pacientes Directos	minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	13	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47%	45%	58%	49%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pacientes de Test	minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	32	49	52	36	17	15	15	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39%	51%	62%	69%	51%	31%	24%	25%	-	-	-	-	-	-	-
Pacientes de Trat	minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	18	32	34	27	46	25	11	-	-	17	10	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	44%	60%	53%	44%	62%	41%	20%	-	-	41%	23%	-	-	-	-	-

La hora inicial para la reubicación en este caso es la hora 10 y la ventana de efecto de la reubicación va de la hora 8 a la hora 18. La efectividad de la reubicación es clara en todas estas horas, dándose el valor de máxima reducción en la hora 12 para todos los pacientes.

La reducción en el caso de los pacientes directos únicamente supera los 10 minutos, fijados como mínimo a considerar, en la hora 12. Aún así, se muestra también aquellas horas con una reducción de 9 minutos, siendo estas reducciones en todos los casos muy cercanas al 50% respecto al *LoW* original.

En el caso de los pacientes de test la reubicación de pacientes tiene efecto en el *LoW* hasta la hora 16 y para los pacientes de tratamiento el efecto se alarga hasta la hora 18. En ambos casos se muestra también el efecto de la reubicación en las horas previas a la hora inicial. Estos pacientes de test o tratamiento que llegan en esas horas previas podrían ver reducido el tiempo de espera por el hecho de que se hayan modificado las horas posteriores por la reubicación, ya que posiblemente se propaguen en el sistema durante dos, tres o cuatro horas. Este efecto se observa en la tabla para las horas 8 y 9.

Finalmente los gráficos de la Figura 4.49 permiten la comparación visual del efecto de la reubicación en la entrada de pacientes y en el tiempo total de estancia de éstos en el servicio (*LoS*).

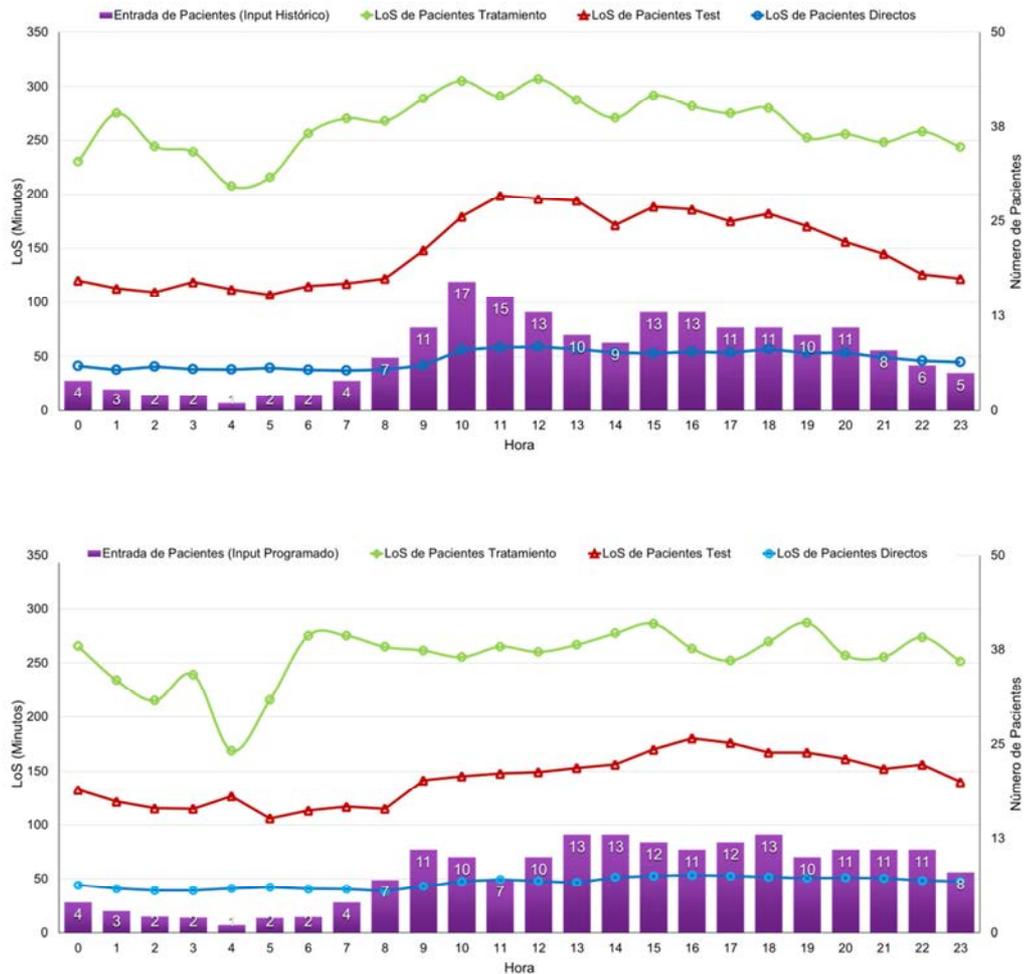


Figura 4.49 Caso de estudio A: Entrada de pacientes sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes.

La reubicación de pacientes y la consecuente programación de su admisión se traduce en una redistribución en la llegada de estos pacientes al servicio más adecuada a la capacidad de atención del sistema. Esta nueva situación conlleva una mejora en los tiempos de estancia de los pacientes en el servicio tal como se observa en las curvas del *LoS* representadas en los gráficos de la Figura 4.49.

Caso de estudio B

El caso de estudio B está caracterizado por una distribución de entrada de pacientes con una alta concentración de pacientes en las horas centrales del día.

La Tabla 4.24 contiene el detalle de la reducción en el *LoW* por hora para los pacientes por efecto de la reubicación propuesta por el modelo en este caso detallada en las Tablas 4.9 y 4.10 del apartado 4.6.3. Los datos analizados para la obtención de estos valores son los representados en las Figuras 4.16 a 4.21 del mismo apartado.

Tabla 4.24 Caso de estudio B: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el *LoW* por reubicación de pacientes.

Hora		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Pacientes Directos	minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	23	17	16	9	8	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41%	61%	53%	53%	38%	35%	-	-	-	-	-	-	-	-
Pacientes de Test	minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	14	44	76	78	70	42	18	15	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	37%	48%	56%	55%	56%	39%	20%	20%	-	-	-	-	-	-	-	-
Pacientes de Trat	minutos	-	-	-	-	-	-	50	58	52	91	86	64	60	26	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	85%	68%	49%	68%	65%	56%	56%	34%	22%	-	-	-	-	-	-	-	-	-

El efecto de la reubicación se concentra en las 6 horas siguientes a la hora inicial de reubicación, afectando también a las horas previas para los pacientes de tratamiento admitidos en el sistema en esas horas. Como ya se ha comentado, el efecto en estas horas previas a la hora inicial de reubicación para los pacientes de tratamiento es debido a que estos pacientes siguen en el servicio en las horas en que ya se ha intervenido con la reubicación de pacientes y eso reduce su espera.

Se consigue una reducción media de más del 50% en todas las horas entre la hora 9 y la hora 12 para los tres tipos de pacientes. De nuevo se confirma el efecto positivo de la reubicación de pacientes en este caso de estudio precisamente en las horas centrales del día para las que la entrada de pacientes se ha considerado mayor.

De nuevo para este caso, los gráficos de la Figura 4.50 muestran visualmente el efecto de la reubicación en la entrada de pacientes y en el tiempo total de estancia de éstos en el servicio (LoS). En este caso el efecto de la reubicación es más notable que en el caso anterior, dada la mayor saturación del servicio en las horas centrales del día sin reubicación.

En el caso de los pacientes directos la curva del LoS se aplana prácticamente del todo. Para los pacientes de test el LoS con reubicación de pacientes se mantiene entre los 150 y los 200 minutos a partir de la hora 9 (hora inicial de la reubicación), y para los pacientes de tratamiento el LoS con reubicación de pacientes se mantiene por debajo de los 300 minutos.

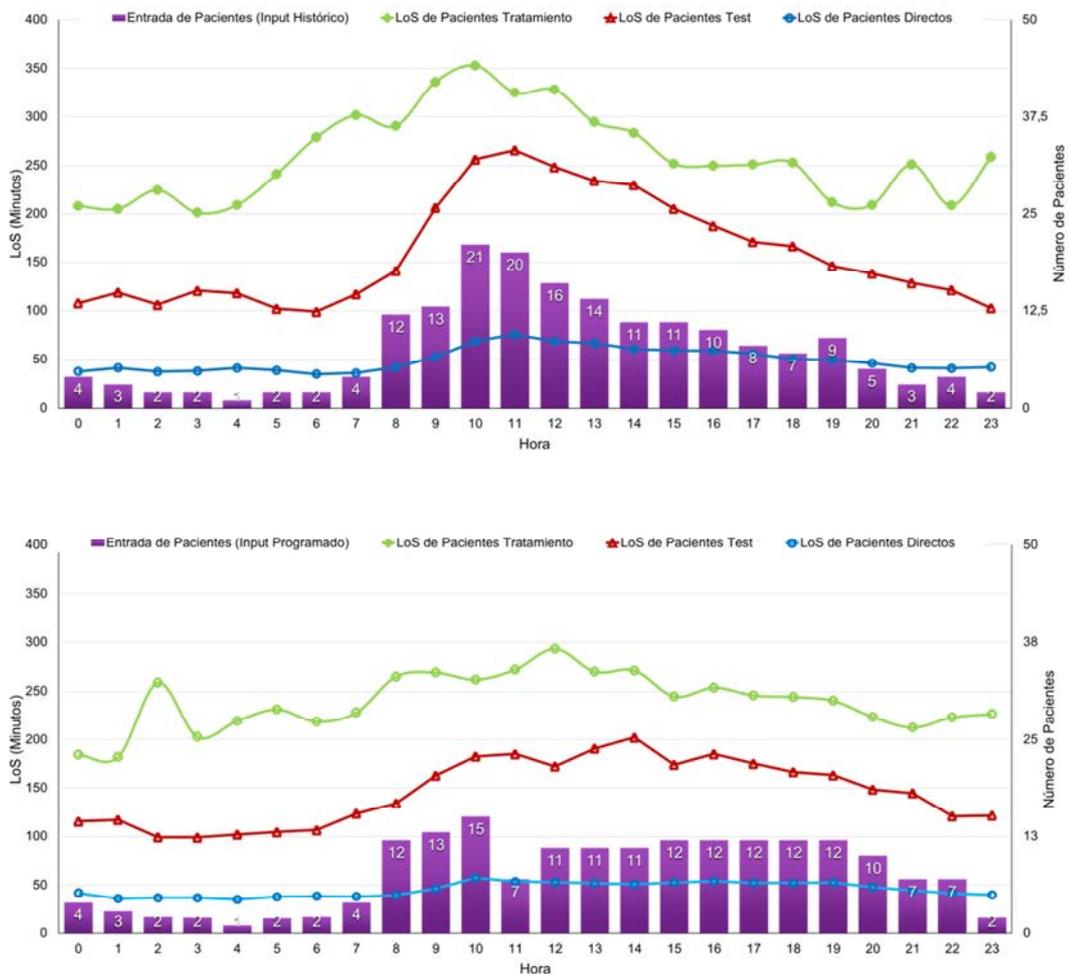


Figura 4.50 Caso de estudio B: Entrada de pacientes sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes.

Caso de estudio C

Este caso está caracterizado por una distribución de entrada de pacientes con un porcentaje elevado de pacientes de tipo 4 y 5 superando el T_{ThP} .

Se han considerado dos escenarios distintos en cuanto a la configuración de personal sanitario (C1 y C2). El escenario C1 es el correspondiente a la configuración sanitaria original de 5 médicos júnior y 2 sénior con un T_{ThP} de 14 pacientes por hora, y el escenario C2 corresponde a la configuración propuesta, con un T_{ThP} de 17 pacientes por hora, compuesta por 4 médicos sénior y 4 júnior.

La Tabla 4.25 contiene los datos de la reducción en el LoW por hora para el escenario C1 por efecto de la reubicación propuesta por el modelo en este caso detallada en las Tablas 4.11 y 4.12 del apartado 4.6.4.

Tabla 4.25 Caso de estudio C: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el LoW por reubicación de pacientes para el Escenario C1.

Hora		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Pacientes Directos	minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	19	-	-	-	21	34	38	35	32	32	21	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41%	34%	-	-	-	31%	42%	44%	42%	39%	40%	31%	-	-
Pacientes de Test	minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	39	100	152	128	115	77	55	64	56	49	44	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	37%	41%	45%	37%	32%	23%	16%	18%	16%	15%	14%	-	-	-	-	-
Pacientes de Trat	minutos	-	-	-	-	-	-	118	93	111	162	139	122	67	90	43	-	58	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	47%	35%	32%	41%	31%	30%	17%	22%	11%	-	16%	-	-	-	-	-	-	-

En este caso, sin opción a la reubicación respetando el T_{ThP} , la reubicación propuesta para el límite de reubicación de 23 pacientes por hora, consigue mejorar el LoW en un rango de horas considerable sin modificar la configuración de personal sanitario.

Los pacientes más favorecidos globalmente por la reubicación son los pacientes directos con una reducción media entre el 30% y el 40% en las horas siguientes a la hora inicial y hasta la hora 21. Para los pacientes de test reducción media por hora presenta bastante variabilidad, llegando a un máximo del 45% en la hora 10 y a un mínimo de un 14% en la hora 18. Los valores más bajos se calculan entre un 15% y un 20% a partir de la hora 13 y hasta la hora 18. Los pacientes de tratamiento también presentan valores de reducción bastante variables según su hora de llegada, obteniendo los valores más altos en las horas previas a la hora inicial de reubicación.

En este caso se hace evidente el efecto de la reubicación para estos pacientes llegados en estas horas previas.

La Tabla 4.26 muestra los datos correspondientes al escenario C2, es decir, los datos de la reducción del *LoW* por la reubicación, respecto a la situación original, pero considerando la configuración de personal sanitario alternativa propuesta, con el objetivo de mejorar todavía más las esperas.

La mejora conseguida en este caso por la reubicación de pacientes es muy notable y muy estable en todas las horas afectadas por la reubicación. La adecuación de los recursos de personal a la demanda de atención de acuerdo al *Estado del Sistema* aumenta la reducción de forma considerable. El *LoW* de los pacientes de test y de tratamiento presenta una reducción media de más del 70% en prácticamente todas las horas. El efecto es doble en este caso, debido a la reubicación y a la adecuación de los recursos de personal considerada.

Tabla 4.26 Caso de estudio C: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el *LoW* por reubicación de pacientes para el Escenario C2.

Hora		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Pacientes Directos	minutos	17	12	16	-	-	-	-	-	-	19	36	34	24	17	25	39	56	61	61	58	55	46	33	20
	%	54%	56%	79%	-	-	-	-	-	-	62%	60%	61%	51%	39%	49%	58%	69%	70%	72%	71%	69%	66%	59%	49%
Pacientes de Test	minutos	63	43	31	-	-	-	-	-	79	182	261	265	270	248	249	252	248	237	226	189	171	141	109	92
	%	71%	75%	82%	-	-	-	-	-	75%	75%	77%	76%	76%	73%	71%	72%	71%	70%	71%	68%	69%	67%	65%	71%
Pacientes de Trat	minutos	95	44	16	-	-	-	224	228	277	293	343	292	273	315	269	242	235	187	189	164	130	124	109	56
	%	81%	78%	48%	-	-	-	90%	86%	81%	75%	77%	71%	70%	75%	71%	69%	66%	63%	68%	66%	64%	70%	71%	61%

Las horas 0, 1 y 2 representan las primeras horas del día siguiente a la reubicación. En este caso se observa también una reducción considerable para todos los tipos de pacientes. Esta reducción no es resultado de la reubicación, sino de la capacidad de atención de la nueva configuración de personal sanitario considerada.

La reubicación conservando la configuración de personal inicial consigue una reducción de los tiempos de espera en prácticamente todas las horas de la ventana de efecto de la reubicación de la hora 6 a la hora 21, pero el sistema sigue saturado. Debido a la sobrecarga de pacientes en prácticamente todas las horas en este caso, se produce una saturación del sistema que la configuración de personal inicial no puede absorber sin esperas.

La distribución de entrada de pacientes programada por la reubicación consigue una homogeneización de la llegada de los pacientes al servicio respecto a la prevista por el input histórico tal como se puede observar en los gráficos de la Figura 4.51. Esta redistribución en la entrada de los pacientes se adecúa más a la capacidad del sistema y produce una reducción en el *LoS* de los pacientes a partir de la hora inicial de la reubicación, sobretudo notable para los pacientes de test y los de tratamiento. En el caso de los pacientes de test la curva del *LoS* con reubicación se sitúa por debajo de la línea de los 400 minutos, cuando sin reubicación se sitúa entre la línea de los 400 minutos y los 500 minutos entre la hora 10 y la hora 18. Para los pacientes de tratamiento, que superan los 600 minutos en el *LoS* sin reubicación entre la hora 9 y la 13, no los superan en ningún caso con reubicación.

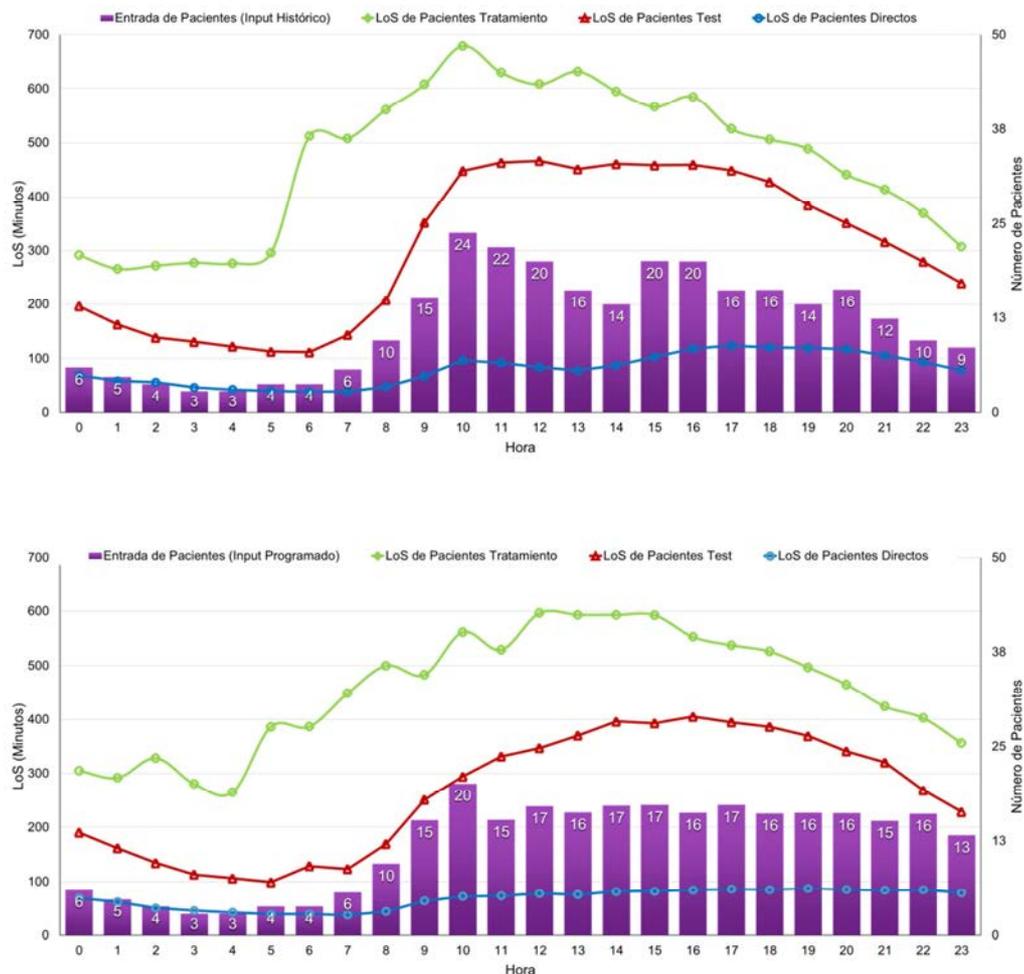


Figura 4.51 Caso de estudio C: Entrada de pacientes sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes para el escenario C1.

Caso de estudio D

En este caso se ha experimentado con dos escenarios caracterizados por una entrada de pacientes con un aumento inesperado de pacientes en un momento determinado del día, simulando un posible accidente. El escenario D1 contempla una entrada de 17 pacientes en la hora 9 del día, y en la hora 13 para el escenario D2.

La Tabla 4.27 contiene los resultados calculados para la reducción en el *LoW* por hora de los pacientes por efecto de la reubicación para el escenario D1. Los datos analizados son los representados en las Figuras 4.28 a 4.33 del apartado 4.6.5.

Tabla 4.27 Caso de estudio D: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el *LoW* por reubicación de pacientes (Escenario D1).

Hora		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Pacientes Directos	minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	25	22	22	20	18	14	-	-	-	-	-11	-11	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34%	50%	52%	66%	63%	64%	54%	-	-	-	-	-58%	-83%	-	-
Pacientes de Test	minutos	-	-	-	-	-	-	-	26	105	135	161	146	129	116	79	33	-	-	-28	-20	-23	-17	-13	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	43%	57%	62%	73%	79%	79%	83%	71%	42%	-	-	-49%	-48%	-68%	-74%	-82%	-
Pacientes de Trat	minutos	-	-	-	-	-	125	81	141	165	170	143	114	84	80	14	-	-	-21	-26	-24	-29	-17	-	-
	%	-	-	-	-	-	78%	77%	66%	75%	70%	73%	70%	66%	61%	18%	-	-	-43%	-55%	-66%	-83%	-91%	-	-

La Tabla 4.28 contiene los resultados calculados para la reducción en el *LoW* por hora de los pacientes por efecto de la reubicación para el escenario D2. Los datos analizados son los representados en las Figuras 4.34 a 4.39 del apartado 4.6.5.

Tabla 4.28 Caso de estudio D: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el *LoW* por reubicación de pacientes (Escenario D2).

Hora		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Pacientes Directos	minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	46	55	26	14	17	18	13	-	-	-	-13	-15	-14
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67%	81%	86%	50%	40%	53%	58%	54%	-	-	-	-80%	-83%	-94%
Pacientes de Test	minutos	-	-	-	-	-	-	-	26	91	156	172	190	168	123	77	46	16	-	-	-	-15	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	46%	67%	72%	77%	84%	84%	80%	69%	53%	27%	-	-	-	-52%	-	-	-
Pacientes de Trat	minutos	-	-	-	-	-	69	110	127	164	183	180	135	99	52	44	12	-	-12	-34	-34	-31	-21	-22	-
	%	-	-	-	-	-	87%	80%	82%	82%	80%	79%	67%	60%	48%	53%	20%	-	-26%	-66%	-82%	-84%	-78%	-90%	-

Para los dos escenarios analizados obtenemos unos resultados muy similares respecto a la reducción del *LoW* de los pacientes por la reubicación. La reubicación de los pacientes, anterior y posterior a la llegada de los pacientes por el accidente simulado, consigue mejorar los tiempos de todos los pacientes en las horas afectadas por el accidente. A cambio, los tiempos de las horas más alejadas de la hora del accidente, utilizadas para la programación de los pacientes reubicados para evitar la saturación en las horas críticas, sufren un aumento en los tiempos de espera. Aun así, los resultados visualizan una mejora global en los tiempos de espera de los pacientes.

Por último los gráficos de las Figuras 4.52 y 4.53 muestran el efecto de la reubicación en la entrada de pacientes y en el tiempo total de estancia de éstos en el servicio (LoS) respectivamente para el escenario D1 y el escenario D2.

Para el escenario D1 (Figura 4.52), correspondiente a una entrada de 17 pacientes en la hora 9, la reubicación después del accidente consigue modificar el patrón de entrada de los pacientes de tal forma que se liberan las horas siguientes al accidente, evitando la saturación en esas horas, a través de la programación de la admisión de los pacientes en las horas siguientes. Las curvas del LoS de los pacientes quedan compensadas en todos los casos, reduciendo su valor de forma destacable para los pacientes de test y de tratamiento.

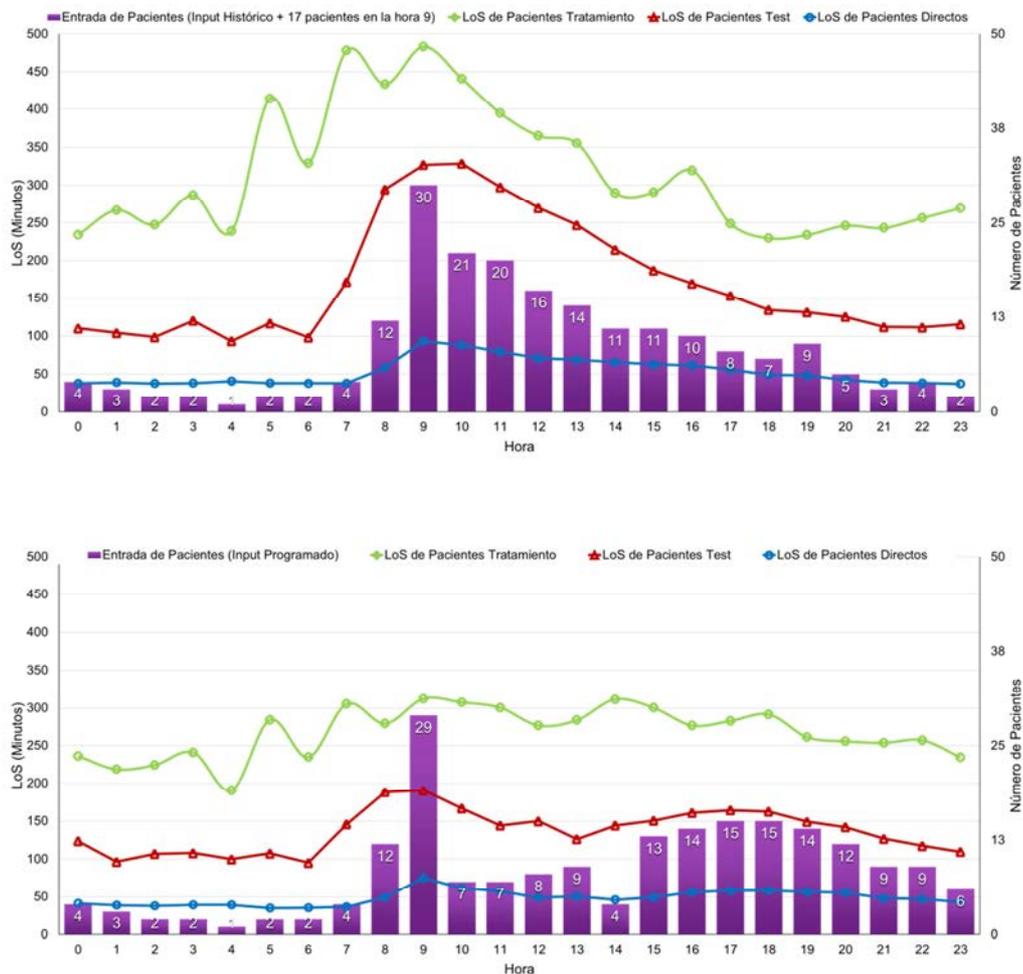


Figura 4.52 Caso de estudio D (Escenario D1): Entrada de pacientes con 17 pacientes más por accidente en la hora 9 sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes.

Para el escenario D2 (Figura 4.53), correspondiente a una entrada de 17 pacientes en la hora 13, el efecto de la reubicación en la entrada de pacientes es el mismo.

Se consigue reducir la entrada de pacientes en las horas siguientes al accidente con la programación de su admisión en horas posteriores. Del mismo modo, el *LoS* de los pacientes en las horas afectadas por la entrada de pacientes por el accidente, se ve reducido considerablemente, quedando compensado en todas las horas siguientes a la hora del accidente.

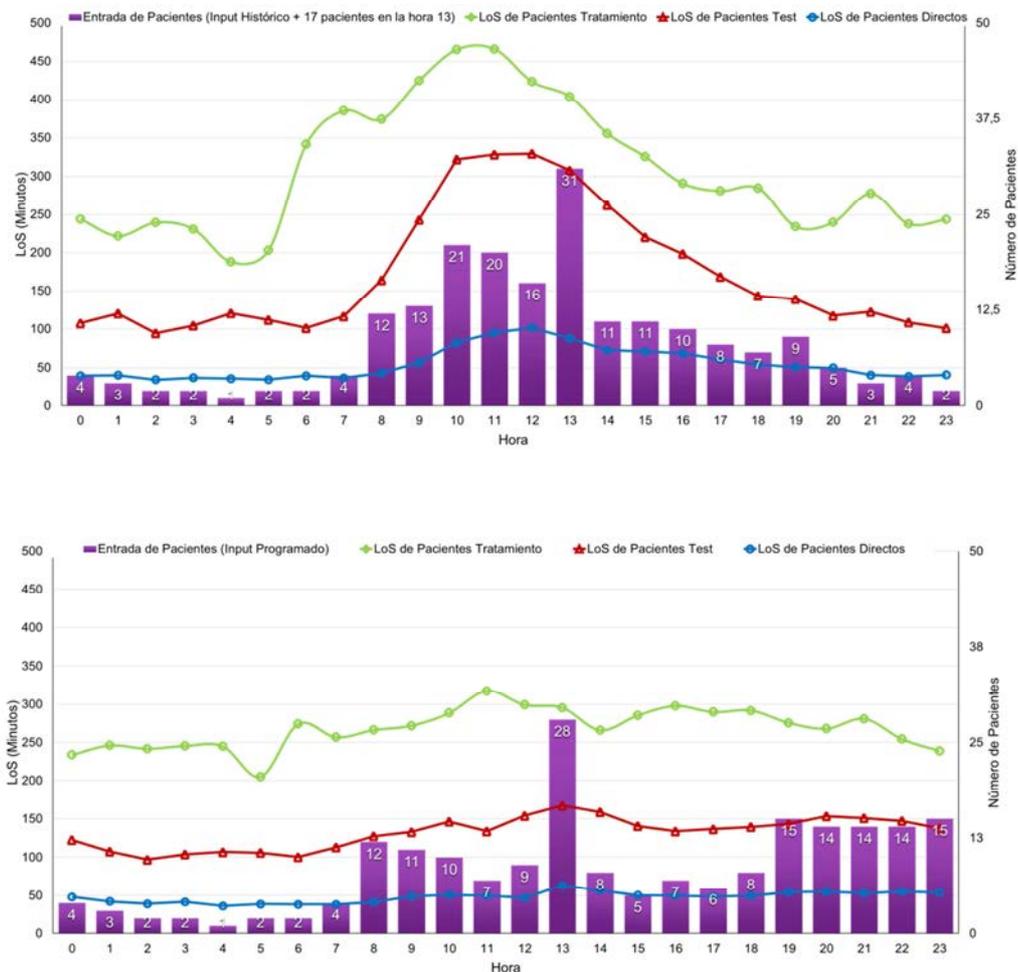


Figura 4.53 Caso de estudio D (Escenario D2): Entrada de pacientes con 17 pacientes más por accidente en la hora 13 sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes.

Caso de estudio E

El caso de estudio E está caracterizado por una distribución de entrada de pacientes que no permite la reubicación de pacientes por la restricción de distancia límite sin generar huecos.

Los gráficos del apartado 4.6.6 mostraban que la reubicación de los pacientes en este caso no aporta mejora respecto a la situación original, si no se generan los huecos necesarios para reubicar a los pacientes de las horas críticas. En cambio, la reubicación aplicando en método para la generación de huecos es efectiva para todos los pacientes en la reducción del *LoW* en las horas críticas.

La Tabla 4.29 contiene el detalle de la reducción en el *LoW* por hora para los pacientes por efecto de la reubicación con generación de huecos en este caso, detallada en las Tablas 4.20 y 4.22 del apartado 4.6.6. Los datos analizados para la obtención de estos valores son los representados en las Figuras 4.40 a 4.48 del mismo apartado.

Tabla 4.29 Caso de estudio E: Tiempo (minutos) y porcentaje de reducción media en el *LoW* por reubicación de pacientes.

Hora		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Pacientes Directos	minutos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	35	23	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59%	70%	60%	49%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pacientes de Test	minutos	-	-	-	-	-	-	-	27	111	149	135	100	75	35	-	-	-10	-16	-14	-15	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	51%	74%	76%	76%	65%	58%	33%	-	-	-16%	-29%	-29%	-40%	-	-	-	-
Pacientes de Trat	minutos	-	-	-	-	34	46	104	101	131	125	92	54	24	-	-	-12	-19	-23	-10	-	-	-	-	-
	%	-	-	-	-	73%	62%	86%	68%	73%	63%	56%	43%	24%	-	-	-18%	-32%	-43%	-27%	-	-	-	-	-

El efecto de la reubicación con generación de huecos es considerable en las horas siguientes a la hora inicial (hora 8), afectando también a las horas previas para los pacientes de test y tratamiento admitidos en el sistema en esas horas, debido a que estos pacientes siguen en el servicio en las horas siguientes en las que se ha intervenido con la reubicación de pacientes y eso reduce su espera, tal como ocurre en los otros casos. Se consigue una reducción media de más del 50% en prácticamente todas estas horas para los tres tipos de pacientes.

De nuevo se confirma el efecto positivo de la reubicación de pacientes en este caso de estudio aunque, igual que ocurría en el caso D, para los pacientes de test y de tratamiento los tiempos de las horas siguientes a 6 horas de la distancia límite desde

la hora inicial sufren un aumento en los tiempos de espera. Esto es debido a que son horas en las que se programa la admisión de los pacientes reubicados para generar los huecos necesarios en las horas críticas y posibilitar así la reubicación de pacientes de estas horas críticas.

Los gráficos de la Figura 4.54 muestran visualmente el efecto de la reubicación en la entrada de pacientes y en el tiempo total de estancia de éstos en el servicio (LoS) para este caso. Para los pacientes directos y los pacientes de test la curva del LoS se aplana prácticamente del todo, y para los pacientes de tratamiento el LoS se mantiene por debajo de los 350 minutos, aplicando reubicación de pacientes y generación de huecos.

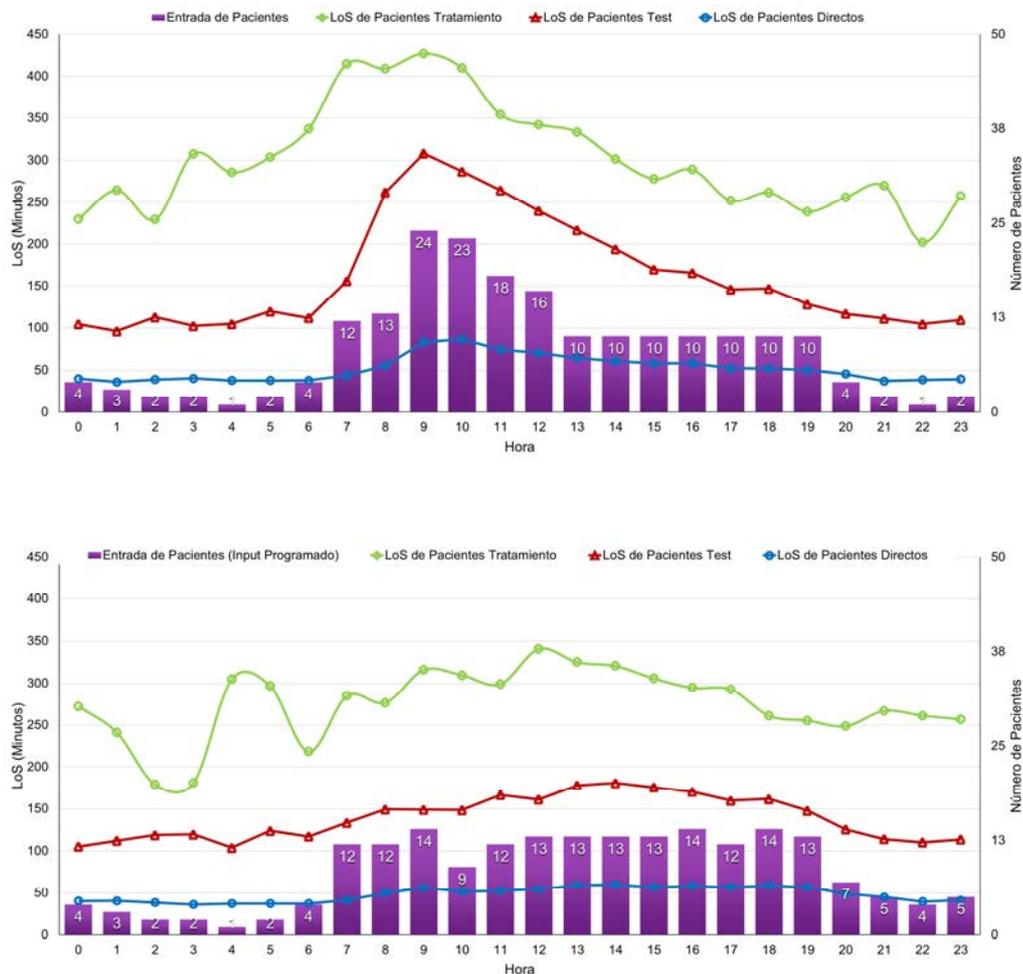


Figura 4.54 Caso de estudio E: Entrada de pacientes sin reubicación (input histórico) y con reubicación (input programado). Promedio del LoS por hora correspondiente para los pacientes directos, de test y de tratamiento sin reubicación y con reubicación de pacientes.

Estos resultados experimentales, obtenidos mediante el análisis de datos de simulación de los cinco casos de estudio considerados, demuestran el efecto positivo del método de reubicación de pacientes y, por tanto, validan del modelo para la programación de la admisión de los pacientes no críticos, ya que su aplicación, a través de la reubicación de estos pacientes, mejora globalmente en todos los casos el *LoW* , y consecuentemente el *LoS* de los pacientes y, por tanto, la calidad de la atención prestada en el SUH.

CAPÍTULO V

Conclusiones y líneas abiertas

5.1 Conclusiones

El trabajo de investigación que se ha presentado en esta memoria se ha desarrollado con el propósito de contribuir en la mejora de la calidad de la atención prestada en un servicio de urgencias hospitalarias, tratando de disminuir los tiempos de estancia de los pacientes no críticos en el mismo, a través de la definición de un modelo para la programación de la admisión de estos pacientes.

La definición de un modelo analítico para el cálculo la capacidad de respuesta a la atención de una determinada configuración de personal sanitario ha sido una primera aportación de la investigación. Hemos visto como esta caracterización del sistema, a través de su capacidad para absorber la demanda del servicio, indica la situación ideal del estado del sistema en cada hora y es una referencia para medir el rendimiento del sistema.

Este modelo analítico proporciona un conjunto de ecuaciones para el cálculo del número de pacientes que teóricamente pueden ser atendidos por unidad de tiempo (T_{ThP}), conocida la composición del personal sanitario, respecto al número de médicos, enfermeras, personal de admisión y triaje, a su nivel de experiencia y al tipo

de atención prestada, considerando el sistema en un estado estacionario con un flujo de pacientes con entrada regular sin producir esperas entre fases.

La validación del modelo de ecuaciones se ha llevado a cabo experimentalmente a través de un análisis de sensibilidad de la utilización de los recursos de personal y la longitud de cola (*WQL*) como indicadores seleccionados, calculados éstos a partir de los datos de simulación generados para los distintos escenarios simulados.

La segunda aportación de la investigación ha sido la definición de un modelo para la programación de la admisión de pacientes no críticos en el servicio, a través de su reubicación respecto al patrón de entrada inicialmente previsto por el input histórico.

Se ha proporcionado un método para obtener dinámicamente una programación de citas para la entrada de estos pacientes no críticos en el SUH, de acuerdo con la demanda actual por hora. Esta programación se concreta en un plan de acción diseñado por el modelo, la tabla de programación de citas, que permite emitir una recomendación a los pacientes con respecto a la hora más adecuada para desplazarse al servicio.

La reubicación de los pacientes parte del conocimiento detallado del estado del sistema hora por hora dinámicamente. Este conocimiento se genera a partir de la información extraída de los datos del histórico correspondientes a la entrada y el tipo de pacientes, y de los cambios que de éstos se deriven de acuerdo con la demanda real del servicio.

El valor calculado para el T_{ThP} de cada configuración considerada se ha utilizado como referencia para la reubicación de los pacientes no críticos, siendo éste valor el límite de reubicación utilizado por el método por defecto.

El método para la reubicación de pacientes propone un límite de reubicación alternativo al T_{ThP} calculado para la configuración considerada cuando no puede reubicarse al mínimo de pacientes establecido. Uno de los casos de estudio analizados nos ha mostrado cómo, a través de las ecuaciones del modelo analítico, podemos encontrar una configuración de personal más adecuada a la demanda en cada caso, basada en el límite propuesto por el método de reubicación.

De nuevo hemos utilizando la simulación para poder valorar el resultado de la aplicación del modelo de programación de la admisión propuesto. Así, hemos podido comprobar experimentalmente que la reubicación de los pacientes propuesta por el modelo reduce significativamente el tiempo de espera de los pacientes (*LoW*) en todos los casos de estudio analizados y, por tanto, el tiempo que los pacientes permanecen en el servicio (*LoS*).

Los resultados obtenidos validan el modelo propuesto que proporciona una metodología para mejorar la calidad de la atención prestada en el servicio. Sin embargo, cabe destacar que la implementación del modelo en el sistema real requiere de un sistema de triaje o autotriaje previo a la recomendación al paciente sobre la programación de su admisión. Además el modelo será eficiente en la medida en que el sistema de recomendación propuesto sea también efectivo en la entrada de pacientes, dependiendo de la decisión de los pacientes, usuarios del servicio, con respecto a su hora de cita programada.

El simulador del SUH, basado en un modelo de agentes, validado y verificado, se ha utilizado en la parte experimental de la investigación como representación del sistema real. Esto nos ha permitido experimentar con nuestros modelos sin afectar al funcionamiento normal del sistema real. La modelización y simulación del sistema real ha sido la solución para la obtención de los datos necesarios para el análisis del efecto de nuestra propuesta que no podríamos haber puesto a prueba en el sistema real.

El objetivo de la gestión de los SUH es dar respuesta a la población de referencia con una atención sanitaria de calidad, resolutive y que fomente la satisfacción de los pacientes. Las aportaciones descritas de esta investigación ofrecen a los gestores de los SUH nuevo conocimiento sobre el comportamiento del servicio, que puede ser relevante en la toma de decisiones con respecto a su modelo organizativo, y contribuir en su mejora, haciendo frente a la creciente demanda actual de atención médica de urgencia.

5.2 Lista de publicaciones

Parte de la investigación presentada en esta tesis ha sido publicada en los siguientes trabajos:

E. Bruballa, A. Wong, F. Epelde, D. Rexachs & E. Luque, “A Model to Predict Length of Stay in a Hospital Emergency Department and Enable Planning for Non-Critical Patients Admission”, *International Journal of Integrated Care (IJIC)*, vol. 16, no.6, A24, pp.1-8, DOI:<http://doi.org/10.5334/ijic.2967>, 2016 [95].

E. Bruballa, A. Wong, D. Rexachs & E. Luque, “Generating Simulated Data through HPC for Decision Making in a Hospital Emergency Department”, *Jornadas Sarteco 2015: XXVI Edición de las Jornadas de Paralelismo (JP2015)*, pp. 175-179, Córdoba, Septiembre 2015 [16].

E. Bruballa, M. Taboada, A. Wong, D. Rexachs & E. Luque, “An Analytical Model to Evaluate the Response Capacity of Emergency Departments in Extreme Situations”, *SIMUL 2015: International Conference on Advances in System Simulation*, pp. 12-16, Barcelona, 2015 [94].

E. Bruballa, M. Taboada, A. Wong, D. Rexachs & E. Luque, “Evaluation of Performance and Response Capacity in Emergency Departments”, in *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, pp. 3228-3229, 2015 [89].

E. Bruballa, M. Taboada, E. Cabrera, D. Rexachs & E. Luque, “Simulation and Big Data: A Way to Discover Unusual Knowledge in Emergency Departments”, *International Conference on Future Internet of Things and Cloud*, pp. 367-372, IEEE, Barcelona, 2014 [88].

E. Bruballa, M. Taboada, E. Cabrera, D. Rexachs & E. Luque, “Simulation as a Sensor of Emergency Departments: Providing Data for Knowledge Discovery”, *SIMUL 2014: The Sixth International Conference on Advances in System*, pp. 209-212, Nice, 2014 [7].

5.3 Líneas abiertas

Se destacan algunas ideas de trabajo futuro que pueden aportar un interés adicional a la propuesta y líneas abiertas de investigación para ampliar su horizonte de aplicación:

1. **Estudiar el efecto de la reubicación de los pacientes no críticos en los tiempos de espera de los pacientes más graves, de nivel 1, 2 y 3.**

Las fases de admisiones y triaje en el proceso de atención del SUH, además de la etapa de pruebas diagnósticas complementarias (test), son fases compartidas por todos los pacientes en el servicio. En esta investigación se ha comprobado el efecto del método de reubicación de pacientes no críticos en las esperas de estos mismos pacientes. Esta reubicación podría también tener efecto en los tiempos de espera de los pacientes más graves.

En algunos SUH estos dos tipos de pacientes, en la fase de diagnóstico y tratamiento, son atendidos en zonas diferenciadas y por personal médico distinto, tal como ocurre en el Hospital de Sabadell, y como se ha considerado en el modelo de simulación implementado. La experimentación para obtener información sobre este posible efecto utilizando este modelo de simulación, es trabajo futuro inmediato consistente en utilizar el simulador del SUH para generar los datos correspondientes y obtener esta información.

La misma propuesta para los SUH en los que todos los pacientes son atendidos por el mismo personal sanitario en todas las fases del proceso, sería una línea abierta para la cual se tendría que modificar el modelo de simulación del SUH, de tal forma que contemplara este cambio en su operativa.

2. **Estudiar la aplicabilidad del método de reubicación en un sistema múltiple de servicios de urgencias.**

La coordinación entre distintos SUH de una misma área de influencia o de áreas de influencia cercanas es una estrategia utilizada en casos de saturación importante. La distribución de los pacientes no críticos entre los distintos SUH, en función del estado

de cada uno de los sistemas y de su capacidad según el personal sanitario disponible en cada caso, podría también mejorar la calidad del servicio prestado globalmente.

La adaptación del método de reubicación planteado para un sistema múltiple de SUH es otra propuesta de línea abierta de investigación que podría aportar interesantes resultados.

3. Adaptar del modelo propuesto al área de pediatría del SUH.

El paciente pediátrico de los SUH es mayoritariamente paciente no crítico y la saturación en este área es habitual. La tolerancia a la espera en este tipo de paciente es diferente que en el caso del paciente adulto. Además, existe un alto riesgo de propagación y contagio de enfermedades entre estos pacientes pediátricos durante su estancia en el SUH en que están expuestos a todo tipo de infecciones.

En este contexto, la adaptación del modelo presentado a los requerimientos específicos para este tipo de pacientes es otra línea abierta que puede ser de gran interés en el ámbito médico.

4. Evaluación de refuerzos puntuales en momentos de saturación.

Otra línea abierta podría consistir en desarrollar un modelo para la evaluación de refuerzos puntuales de personal sanitario en un SUH basado en la predicción de la saturación del sistema por simulación y en la utilización del modelo analítico para su determinación en referencia al límite de reubicación establecido por el método de reubicación para la programación de los pacientes presentado en este trabajo.

La simulación de un escenario concreto del sistema real nos aporta información de lo que va a ocurrir y puede predecir momentos de saturación en el SUH para el escenario considerado.

El límite de reubicación propuesto por el método de reubicación en cada caso es una referencia para la estimación de los recursos de personal necesarios para absorber la demanda del servicio, reduciendo los tiempos de espera de los pacientes para la situación considerada. Por su parte, el modelo analítico de ecuaciones desarrollado para el cálculo de la capacidad del sistema, permite obtener el detalle de las

configuraciones de personal sanitario capaces de absorber una demanda concreta de atención.

Las aportaciones de esta investigación podrían utilizarse, en una primera aproximación, como herramientas para evaluar la necesidad y la adecuación de refuerzos puntuales en esos momentos de saturación detectados por la simulación.

Referencias bibliográficas

- [1] A. M. Mancilla, «Simulation: A tool for the study of real systems,» *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 6, pp. 104-112, 1999.
- [2] J. Pavón, M. Arroyo, S. Hassan y C. Sansores, «Simulation of social systems with software agents,» de *Actas del Campus Multidisciplinar en Percepcion e Inteligencia (CMPI)*, 2006.
- [3] L. R. Izquierdo, J. Galán, J. Santos y R. D. Olmo, «Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas,» *Empiria: Revista de metodología de ciencias sociales*, vol. 16, pp. 85-112, 2008.
- [4] P. M. Slood y R. Quax, «Information processing as a paradigm to model and simulate complex systems,» *Journal of Computational Science*, vol. 3, nº 5, pp. 247-249, 2012.
- [5] M. Taboada, E. Cabrera, M. L. Iglesias, F. Epelde y E. Luque, «An agent-based decision support system for hospitals emergency departments,» *Procedia Computer Science, ICCS*, vol. 4, pp. 1870-1879, 2011.
- [6] Z. Liu, E. Cabrera, D. Rexachs y E. Luque, «A generalized agent-based model to simulate emergency departments,» de *The Sixth International Conference on Advances in System Simulations, IARIA*, Nice, 2014.
- [7] E. Bruballa, M. Taboada, E. Cabrera, D. Rexachs y E. Luque, «Simulation as a sensor of emergency departments: Providing Data for Knowledge Discovery,» de *SIMUL 2014: The Sixth International Conference on Advances in System*, Nice, 2014.
- [8] F. Kadri, C. Pach, S. Chaabane, T. Berger, D. Trentesaux, C. Tahom y Y. Sallez, «Modelling and management of the strain situations in hospital systems using ORCA approach,» de *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, 2013.
- [9] F. Kadri, S. Chaabane y C. Tahon, «A simulation-based decision support system to prevent and predict strain situations in emergency department systems,» *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 42, pp. 32-52, 2014.
- [10] A. Boyle, K. Beniuk, I. Higginson y P. Atkinson, «Emergency Department Crowding: Time for interventions and policy evaluations,» *Emergency Medicine International*, 2012.
- [11] P. Sprivulis, J. D. Silva, I. Jacobs, A. Frazer y G. Jelinek, «The association between hospital overcrowding and mortality among patients admitted via Western Australian emergency departments,» *Medical Journal of Australia*, vol. 184, nº 5, pp. 208-212, 2006.

- [12] W. Soler, M. G. Muñoz, E. Bragulat y A. Álvarez, «El Triage: Herramienta fundamental en urgencias y emergencias,» *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, vol. 33, nº 1, 2010.
- [13] R. S. Bermejo, C. C. Fadrique, B. R. Fraile, E. F. Centeno, S. P. Cueva y E. María, «Triage in Spanish hospitals,» *Emergencias*, vol. 25, nº 1, pp. 66-70, 2013.
- [14] T. Hey, S. Tansley y K. Tolle, *The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery*, Redmond, WA: Microsoft Research, 2009.
- [15] J. Gray, «eScience: A transformed Scientific Method”: Talk given by Jim Gray to the NRC-CSTB in Mountain View, CA,» 11 January 2007. [En línea]. Available: <http://languagelog.ldc.upenn.edu/myl/JimGrayOnE-Science.pdf>. [Último acceso: 4 Mayo 2017].
- [16] E. Bruballa, A. Wong, D. Rexachs y E. Luque, «Generating Simulated Data through HPC for Decision Making in a Hospital Emergency Department,» de *Jornadas Sarteco 2015: XXVI Edición de las Jornadas de Paralelismo (JP2015)*, Córdoba, Spain, 2015.
- [17] S. Paul, M. Reddy y C. DeFlitch, «A Systematic Review of Simulations Studies Investigating Emergency Department Overcrowding,» *Simulation*, vol. 86, nº 8-9, pp. 559-571, 2010.
- [18] U. Hwang y J. Concato, «Care in the emergency department: how crowded is overcrowded?,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 11, nº 10, pp. 1097-1101, 2004.
- [19] N. Hoot y D. Aronsky, «Systematic review of Emergency Department Crowding: causes, effects and solutions,» *Annals of Emergency Medicine*, vol. 52, nº 2, pp. 126-136, 2008.
- [20] P. Tudela y J. M. Mòdol, «La saturación en los servicios de urgencias hospitalarios,» *Emergencias*, vol. 27, nº 2, pp. 113-120, 2015.
- [21] I. Higginson, «Emergency department crowding,» *Emergency Medicine Journal*, vol. 29, nº 6, pp. 437-443, 2012.
- [22] R. Derlet, «Overcrowding in emergency departments: increased demand and decreased capacity,» *Annals of Emergency Medicine*, vol. 39, nº 4, pp. 430-432, 2002.
- [23] D. Fatovich y R. Hirsch, «Entry overload, emergency department overcrowding, and ambulance bypass,» *Emergency Medicine Journal*, vol. 20, pp. 406-409, 2003.
- [24] B. Asplin, D. Magid, K. Rhodes, L. Solberg, N. Lurie y C. Camargo, «A conceptual model of emergency department crowding,» *Annals of Emergency Medicine*, vol. 42, nº 2, pp. 173-180, 2003.

- [25] T. Reeder y H. Garrison, «When the safety net is unsafe: real-time assessment of the overcrowded emergency department,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 8, nº 11, pp. 1070-1074, 2001.
- [26] S. Bernstein, V. Verghese, W. Leung, A. Lunney y I. Pérez, «Development and validation of a new index to measure emergency department crowding,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 10, nº 9, pp. 938-942, 2003.
- [27] B. Asplin, K. Rhodes, L. Crain y .. Camargo, «Measuring emergency department crowding and hospital capacity,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 9, pp. 366-367, 2002.
- [28] M. Sánchez, O. Miró, B. Coll-Vinent, E. Bragulat, G. Espinosa, E. Gómez-Angelats, S. Jiménez, C. Queralt, J. Hernández-Rodríguez, J. Alonso y J. Millá, «Saturación del servicio de urgencias: factores asociados y cuantificación,» *Medicina clínica*, vol. 121, nº 5, pp. 167-172, 2003.
- [29] S. Epstein y L. Tian, «Development of an emergency department work score to predict ambulance diversion,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 13, nº 4, pp. 421-426, 2006.
- [30] N. Hoot y D. Aronsky, «An early warning system for overcrowding in the emergency department,» de *Proceedings of the Fall Symposium of the American Medical Informatics Association (AMIA 2006)*, 2006.
- [31] N. Hoot, L. J. LeBlanc, I. Jones, S. Levin, C. Zhou, C. Gadd y D. Aronsky, «Forecasting Emergency Department Crowding: A Prospective, Real-Time Evaluation,» *Journal of the American Medical Informatics Association (JAMIA)*, vol. 16, nº 3, pp. 338-345.
- [32] D. Spaite, F. Bartholomeaux, J. Guisto, E. Lindberg, B. Hull, A. Eyherabide, S. Lanyon y E. Criss, «Rapid process redesign in a university-based emergency department: decreasing waiting time intervals and improving patient satisfaction,» *Annals of Emergency Medicine*, vol. 39, nº 2, pp. 168-177, 2002.
- [33] M. Karpel, «Improving emergency department flow. Eliminating Ed inefficiencies reduces patient wait times,» *Healthcare Executive*, vol. 19, nº 1, p. 40, 2004.
- [34] B. Asplin, T. Flottesmesch y B. Gordon, «Developing models for patient flow and daily surge capacity research,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 13, nº 11, pp. 1109-13, 2006.
- [35] Ph.Yoon, I.Steiner y G. Reinhardt, «Analysis of factors influencing length of stay in the emergency department,» *Canadian Journal of Emergency Medicine (CJEM)*, vol. 5, nº 3, pp. 155-161, 2003.
- [36] K. Grumbach, D. Keane y A. Bindman, «Primary care and public emergency department overcrowding,» *American Journal of Public Health*, vol. 83, nº 3, pp. 372-378, 1993.

- [37] J. Afilalo, A. Marinovich, M. Afilalo, A. Colacone, R. Leger, B. Unger y C. Giguere, «Nonurgent emergency department patient characteristics and barriers to primary care,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 11, nº 12, pp. 1302-1310, 2004.
- [38] M. Howard, B. A. Davis, C. Anderson, D. Cherry, P. Koller y D. Shelton, «Patients' perspective on choosing the emergency department for nonurgent medical care: a qualitative study exploring one reason for overcrowding,» *Journal of Emergency Nursing*, vol. 31, nº 5, pp. 429-435, 2005.
- [39] C. Glaser, S. Gilliam, W. Thompson, D. Dassey, S. Waterman, M. Saruwatari, S. Shapiro y K. Fukuda, «Medical care capacity for influenza outbreaks, Los Angeles,» *Emerging infectious diseases*, vol. 8, nº 6, pp. 569-574, 2002.
- [40] M. Schull, M. Mamdani y J. Fang, «Influenza and emergency department utilization by elders,» *Acad Emerg Med*, vol. 12, nº 4, pp. 338-344, 2005.
- [41] M. Schull, M. Mamdani y J. Fang, «Community influenza outbreaks and emergency department ambulance diversion,» *Annals of Emergency Medicine*, vol. 44, nº 1, pp. 61-67, 2004.
- [42] S. Schneider, M. Gallery, R. Schafermeyer y F. Zwemer, «Emergency department crowding: a point in time,» *Annals of emergency medicine*, vol. 42, nº 2, pp. 167-72, 2003.
- [43] M. J. Vermeulen, J. G. Ray, C. Bell, B. Cayen, T. A. Stukel y M. J. Schull, «Disequilibrium between admitted and discharged hospitalized patients affects emergency department length of stay,» *Annals of emergency medicine*, vol. 54, nº 6, pp. 794-804, 2009.
- [44] J. Forster, I. Stiell, G. Wells, J. Lee y C. V. Walraven, «The effect of hospital occupancy on emergency department length of stay and patient disposition,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 10, nº 2, pp. 127-133, 2003.
- [45] J. Hwang, «The relationship between hospital capacity characteristics and emergency department volumes in Korea,» *Health Policy*, vol. 79, nº 2, pp. 274-283, 2006.
- [46] A. Forster, I. Stiell, G. Wells, A. Lee y C. V. Walraven, «The effect of hospital occupancy on emergency department length of stay and patient disposition,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 10, nº 2, pp. 127-133, 2003.
- [47] D. Baker, C. Stevens y R. Brook, «Patients who leave a public hospital emergency department without being seen by a physician. Causes and consequences,» *JAMA*, vol. 266, pp. 1085-1090, 1991.
- [48] B. Rowe, P. Channan, M. Bullard, S. Blitz, L. Saunders, R. Rosychuk, H. Lari, W. Craig y B. Holroyd, «Characteristics of patients who leave emergency departments without being seen,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 13, nº 8, pp. 848-852, 2006.

- [49] L. Stock, G. Bradley, R. Lewis, D. Baker, J. Sipsy y C. Stevens, «Patients who leave emergency departments without being seen by a physician: magnitude o the problem in Los Angeles County,» *Annals of Emergency Medicine*, vol. 23, pp. 294-298, 1994.
- [50] C. Fernandes, A. Price y J. Christenson, «Does reduced length of stay decrease the number of emergency department patients who leave without seeing a physician?,» *The Journal of Emergency Medicine*, vol. 15, pp. 397-399, 1997.
- [51] D. Richardson, «Increase in patient mortality at 10 days associated with emergency department overcrowding,» *Medical Journal of Australia*, vol. 184, nº 5, pp. 213-216, 2006.
- [52] M. Sánchez, E. Salgado y O. Miró, «Mecanismos organizativos de adaptación y supervivencia de los servicios de urgencia,» *Emergencias*, vol. 20, nº 1, pp. 48-53, 2008.
- [53] M. Sanchez, A. Smally, R. Grant y L. Jackobs, «Effects of a fast-track area on emergency department performance,» *The Journal of Emergency Medicin*, vol. 31, nº 1, pp. 117-120, 2006.
- [54] S. Rodi, M. Graw y C. Orsini, «Evaluation of a fast track unit: alignment of resources and demand results in improved satisfaction and decreased length of stay for emergency department patients,» *Quality Management in HealthCare*, vol. 15, nº 3, pp. 163-170, 2006.
- [55] R. Davies, «“See and Treat” or “See” and “Treat” in an Emergency Department,» de *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 2007.
- [56] J. Gómez-Jiménez, O. Becerra, F. Boneu, L. Burgués y S. Pàmies, «Análisis de la casuística de los pacientes derivables desde urgencias a atención primaria,» *Gaceta Sanitaria*, vol. 20, nº 1, pp. 40-6, 2006.
- [57] O. Miró, E. Salgado y S. Tomás, «Derivación sin vista desde los servicios de urgencias hospitalarios: cuantificación, riesgos y grado de satisfacción,» *Med Clin*, vol. 126, pp. 88-93, 2006.
- [58] R. Derlet y J. Richards, «Overcrowding in the nation’s emergency departments: complex causes and disturbing effects,» *Annals of emergency medicine*, vol. 35, nº 1, pp. 63-68, 2000.
- [59] N. Hoot, L. LeBlanc, I. Jones, S. Levin, C. Zhou, C. Gadd y D. Aronsky, «Forecasting Emergency Department crowding: A discrete event simulation,» *Ann Emerg Med*, vol. 52, nº 2, pp. 116-25, 2008.
- [60] L. J. Shuman, R. D. Speas y J. P. Young, *Operations research in health care: a critical analysis.*, 1975.

- [61] B. Mielczarek y J. Uziarko-Mydlikowska, «Application of computer simulation modeling in the health care sector: a survey,» *Simulation*, vol. 88, nº 2, pp. 197-216, 2010.
- [62] M. Rossetti, G. Trzcinski y S. Syverud, «Emergency department simulation and determination of optimal attending physician staffing schedules,» de *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1999.
- [63] J. Yeh y W. Lin, «Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department.,» *Expert Systems with Applications*, vol. 32, nº 4, pp. 1073-1083, 2007.
- [64] F. Baesler, H. Jahnsen y M. DaCosta, «The use of simulation and design of experiments for estimating maximum capacity in an emergency room,» de *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 2003.
- [65] D. Medeiros, E. Swenson y C. DeFlicht, «Improving patient flow in a hospital emergency department,» de *Proceedings of the 40th Winter Simulation Conference*, 2008.
- [66] J. Jun, S. Jacobson y J. Swisher., «Application of discrete-event simulation in health care clinics: a survey,» *Journal of the Operational Research Society*, vol. 50, nº 2, pp. 109-123, 1999.
- [67] J. Forrester, *Industrial Dynamics*, New York: JohnWiley and Sons, Inc., 1961.
- [68] S. Takakuwa y H. Shiozaki, «Functional analysis for operating emergency department of a general hospital,» de *Proceedings of the 36th Conference on Winter Simulation*, 2004.
- [69] S. Elbeyli y P. Krishnan, «In-patient flow analysis using ProModel simulation package,» de *Proceedings of FREC SPO0-02*, 2000.
- [70] A. Komashie y A. Mousavi, «Modeling emergency departments using discrete even simulation techniques,» de *Proceedings of the 37th Conference on Winter Simulation*, 2005.
- [71] S. Samaha, W. Armel y D. Starks, «The use of simulation to reduce the length of stay in an Emergency Department,» de *Proceedings of the 35th Winter Simulation Conference*, 2003.
- [72] J. Wang, J. Li, K. Tussey y k. Ross, «A simulation study to reduce length of stay in Emergency Department at a large community hospital,» de *Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference, IISE*, 2011.
- [73] J. Wang, J. Li, K. Tussey y k. Ross, «Reducing length of stay in emergency department: a simulation study at a community hospital,» *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- PART A: Systems and Humans*, vol. 42, nº 6, pp. 1314-1322, 2012b.

- [74] P. Tudela y J. Mòdol, «Urgencias hospitalarias,» *Medicina Clínica*, vol. 120, nº 18, pp. 711-716, 2003.
- [75] M. Carret, A. Fassa y M. Domingues, «Inappropriate use of emergency services: a systematic review of prevalence and associated factors,» *Cadernos de Saúde Pública*, vol. 25, nº 1, pp. 7-28, 2009.
- [76] J. M. Aranaz, R. Martínez, V. Rodrigo, F. Gómez y P. García, «Adecuación de la demanda de atención sanitaria en servicios de urgencias hospitalarios,» *Med Clin*, vol. 123, nº 16, pp. 615-618, 2004.
- [77] C. Macal y M. North, «Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation,» de *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, 2013.
- [78] M. Wagner, W. Cai, M. H. Lees y H. Aydt, «Evolving agent-based models using self-adaptive complexification,» *Journal of Computational Science*, vol. 10, pp. 351-359, 2015.
- [79] Z. Liu, E. Cabrera, D. Rexach, F. Epelde y E. Luque, «Simulating the Micro-level Behavior of Emergency Department for Macro-level Features Prediction,» de *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 2015.
- [80] U. Wilensky, *NetLogo: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling*, Northwestern University Evanston, Evanston, IL, 1999.
- [81] R. Allan, *Survey of Agent Based Modelling and Simulation Tools*, Computational Science and Engineering Department, STFC Daresbury Laboratory, Daresbury, Warrington, 2010.
- [82] Z. Liu, *Modeling and Simulation for Healthcare Operations Management using High Performance Computing and Agent-Based Model*, Barcelona: Departament d'Arquitectura de Computadors i Sistemes Operatius, Escola d'Enginyeria, Universitat Autònoma de Barcelona, 2016.
- [83] Z. Liu, D. Rexachs, F. Epelde y E. Luque, «A Simulation and Optimization Based Method for Calibrating Agent-Based Emergency Department Models under Data Scarcity,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 103, pp. 300-309, 2017.
- [84] M. Taboada, E. Cabrera y E. Luque, «Modeling, simulation and optimization of resources management in hospital emergency departments using the agent-based approach,» *Advances in Computational Modeling Research*, pp. 1-31, 2013.
- [85] M. Taboada, *Simulación del Servicio de Urgencias Hospitalarias: una aproximación computacional desarrollada mediante técnicas de Modelado Orientadas al Individuo (Mol)*, Barcelona: Departament d'Arquitectura de Computadors i Sistemes Operatius, Escola d'Enginyeria, Universista Autònoma de Barcelona, 2013.

- [86] E. Cabrera, *Optimisation via Simulation for Healthcare Emergency Departments*, Barcelona: Departament d'Arquitectura de Computadors i Sistemes Operatius, Escola d'Enginyeria, Universitat Autònoma de Barcelona, 2013.
- [87] E. Cabrera, M. Taboada, M. L. Iglesias, F. Epelde y E. Luque, «Simulation optimization for healthcare emergency departments,» *Procedia Computer Science*, vol. 9, pp. 1464-1473, 2012.
- [88] E. Bruballa, M. Taboada, E. Cabrera, D. Rexachs y E. Luque, «Simulation and Big Data: A Way to Discover Unusual Knowledge in Emergency Departments”, International Conference on Future Internet of Things and Cloud,» Barcelona, 2014.
- [89] E. Bruballa, M. Taboada, A. Wong, D. Rexachs y E. Luque, «Evaluation of Performance and Response Capacity in Emergency Departments,» de *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, 2015.
- [90] S. Welch, J. Augustine, C. Camargo y C. Reese, «Emergency department performance measures and benchmarking summit,» *Academic Emergency Medicine*, vol. 13, nº 10, pp. 1074-1080, 2006.
- [91] S. J. Welch, B. R. Asplin, S. Stone-Griffith, S. J. Davidson, J. Augustine y J. Schuur, «Measures and definitions: Results of the second performance measures and benchmarking summit,» *Annals of Emergency Medicine*, vol. 58, nº 1, pp. 33-40, 2011.
- [92] J. L. Devore, *Probability and statistics for engineering and the sciences*, Duxbury Press, 2011.
- [93] Z. Liu, E. Cabrera, M. Taboada, F. Epelde, D. Rexachs y E. Luque, «Quantitative Evaluation of Decision Effects in the Management of Emergency Department Problems,» *Procedia Computer Science*, vol. 51, pp. 433-442, 2015.
- [94] E. Bruballa, M. Taboada, A. Wong, D. Rexachs y E. Luque, «An Analytical Model to Evaluate the Response Capacity of Emergency Departments in Extreme Situations,» de *SIMUL 2015: International Conference on Advances in System Simulation*, Barcelona, 2015.
- [95] E. Bruballa, A. Wong, F. Epelde, D. Rexachs y E. Luque, «A Model to Predict Length of Stay in a Hospital Emergency Department and Enable Planning for Non-Critical Patients Admission,» *International Journal of Integrated Care (IJIC)*, vol. 16, no. 6, A, vol. 16, nº 6, A24, pp. 1-8, 2016.

