

Un modelo basado en datos para la toma de decisiones predictivas

Sistema para la Gestión de Inventarios en Hospitales

Isabel Fernández, Paula Chanfreut, Isabel Jurado y José María Maestre

Abstracto—Este artículo presenta los resultados experimentales de la aplicación de un sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en modelos predictivos para la gestión del inventario de medicamentos en la farmacia de un hospital de tamaño medio en España. El objetivo subyacente es mejorar la eficiencia de su política de inventario mediante la explotación de datos históricos de la farmacia. Para ello, el personal de farmacia fue asistido por un sistema de apoyo a la toma de decisiones que les proporcionó las cantidades necesarias para la satisfacción de las necesidades clínicas y el riesgo de agotamiento de existencias en caso de que no se realice ningún pedido para diferentes horizontes temporales. Con esta información en mente, el servicio de farmacia toma las decisiones finales sobre los pedidos. Se proporcionan los resultados obtenidos durante un período de prueba de cuatro meses y se comparan con los de un enfoque de control predictivo basado en modelos anterior, que se implementó en el mismo hospital en el pasado, y con la política habitual del departamento de farmacia.

Términos del índice—Farmacia hospitalaria, Gestión de inventarios, Sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en datos

Yo. YoINTRODUCCIÓN

La adquisición y almacenamiento de los medicamentos necesarios para cubrir las actividades clínicas de un hospital es una de las principales tareas de gestión que lleva a cabo un Servicio de Farmacia Hospitalaria. La relevancia social de las necesidades clínicas y las frecuentes peticiones urgentes procedentes del resto de servicios del hospital (por ejemplo, para pacientes hospitalizados, consultas, quirófanos, hospital de día, pacientes ambulatorios, etc.) hacen de suma importancia un control riguroso del stock para evitar roturas de stock y garantizar la satisfacción de la demanda. Desafortunadamente, los elevados costes de muchos medicamentos –algunos artículos pueden costar varios cientos o incluso miles de euros por unidad– generan un impacto sustancial en el presupuesto del hospital, que suele ser muy limitado. Además, el personal que trabaja en el Servicio de Farmacia es limitado, lo que limita el número de pedidos que se pueden realizar y recibir cada día. Como resultado, debe lograrse un equilibrio entre la satisfacción de la demanda, los costes relacionados con el inventario y la carga de trabajo, lo que requiere controlar cuidadosamente el tamaño de los pedidos y su frecuencia y evitar, en la medida de lo posible, la caducidad y la inmovilización innecesaria de recursos. Además, esta problemática también presenta limitaciones adicionales y cuestiones que complican la situación. Por ejemplo, es importante tener en cuenta los requisitos de espacio para el almacenamiento, especialmente para aquellos que requieren refrigeración, dado que las cámaras frigoríficas tienen un espacio mucho más restringido y los medicamentos termolábiles son cada vez más numerosos (en

Isabel Fernández trabaja en el Servicio de Farmacia del Hospital San Juan de Dios, Córdoba, España, correo electrónico: Marialabel.Fernandez@sjd.es.

Paula Chanfreut y José María Maestre están en el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, correos electrónicos: Pchanfreut, pepemaestre@us.es.

Isabel Jurado trabaja en el Departamento de Ingeniería, Universidad Loyola Andalucía, Sevilla, España, correo electrónico: ijurado@uloyola.es

Manuscrito recibido en abril – 2020.

Además de los clásicos como la insulina, ciertos citostáticos y los novedosos anticuerpos monoclonales), los pedidos pueden sufrir retrasos en el transporte y los fines de semana y otros días festivos de los hospitales, laboratorios y distribuidores pueden imponer restricciones adicionales en cuanto a la realización de pedidos y la recepción de entregas.

En definitiva, por un lado, las necesidades clínicas deben ser siempre satisfechas. Sin embargo, las limitaciones de recursos económicos y las restricciones logísticas obligan a utilizar estrategias de adquisición que minimicen la cantidad de producto a almacenar, asegurando, con un cierto grado de certeza, que responden a la demanda clínica durante un periodo determinado [1], [2]. De ahí la relevancia de aplicar una buena política de gestión que permita dar respuesta a estos objetivos contrapuestos. La implantación de estrategias eficientes de gestión de stocks puede suponer un importante ahorro económico [3], [4], teniendo en cuenta que hasta un 35% de las compras en bienes y servicios en un hospital proceden del Servicio de Farmacia [5], [6].

En general, las técnicas de gestión de stocks son ampliamente utilizadas en diferentes empresas y organizaciones con el fin de optimizar el uso de recursos, como el dinero inmovilizado debido al stock. Con ese objetivo, existen varias políticas comunes que deciden cuándo y cómo realizar nuevos pedidos [7], [8], [9]: (1) Un enfoque clásico y muy utilizado es el del punto de reorden (*yo, yo*), que consiste en realizar un nuevo pedido para tener *S*Artículos en stock siempre que el stock esté por debajo de *S*. Esta estrategia implica que la cantidad de artículos a pedir es casi fija. Estos tipos de métodos hacen diferentes supuestos, por ejemplo, demoras de transporte constantes y distribuciones gaussianas para la demanda [10], [11]. Por ejemplo, en [12], un (*yo, yo*)Se resuelve y aplica el problema de optimización de inventario en un estudio de caso de un hospital en Turquía.

(2) La política de inventario (*R, S*)Se aplica en [13] para cadenas de suministro con cuatro escalones. Consisten en una planta de fabricación, un centro de distribución de proveedores, un centro de distribución de minoristas y una tienda minorista. Esta estrategia supone que *R*es el intervalo de revisión, y *S*es el nivel de pedido. Además, se supone que la demanda y los plazos de entrega son variables estocásticas en el modelo.

Un punto a destacar es que no es necesario que las existencias sean en la zona controladas. De hecho, en las políticas de inventario gestionadas por los proveedores, estos controlan el stock de sus clientes, realizan pedidos y activan las entregas. Siguiendo esta idea, algunos trabajos estudian los parámetros de la cadena de suministro y su efecto en el ahorro de costes asumiendo una demanda determinista [14].

En general, las políticas de gestión más simples se basan en simplificaciones que resultan en una pérdida de rendimiento. Por ejemplo, dado que las políticas no estacionarias aumentan la complejidad del problema, muchos estudios consideran políticas deterministas que varían en el tiempo.



Fig. 1. Servicio de Farmacia del Hospital San Juan de Dios de España. Zona de monodosis.

demandas, lo cual no es realista. De hecho, los costos de asumir una demanda estacionaria se estudian en [15]. Algunos trabajos que tratan este problema son: [16], donde se presenta un modelo de programación lineal entera para el problema de dimensionamiento de lotes de inventario y selección de proveedores; [17], que modela la demanda no estacionaria y estocástica por medio de una representación markoviana, que también tiene en cuenta la complejidad computacional y la rentabilidad de las políticas; en [18], la demanda es no estacionaria durante un conjunto finito de períodos y la política de inventario sigue la estrategia FIFO (primero en entrar, primero en salir); un enfoque basado en datos para modelar los niveles de existencias se presenta en [19], que trabaja con una demanda no estacionaria y correlacionada en el tiempo; y [20], que desarrolla un modelo de inventario estocástico que combina políticas FIFO y LIFO (último en entrar, primero en salir) bajo una demanda aleatoria no estacionaria.

Por lo general, las especificaciones erróneas del modelo y las pérdidas de información derivadas de la simplificación de los supuestos se mitigan estableciendo un stock de seguridad para minimizar las roturas de stock a expensas de aumentar los niveles de inventario promedio. Asimismo, el stock de seguridad también ayuda a estos métodos a lidiar con realizaciones inesperadas de la demanda y también con los diferentes tiempos de muestreo utilizados para la gestión de existencias con el fin de lograr una carga de trabajo factible para el personal. En particular, el principio de Pareto se aplica a menudo en este contexto. Como se puede ver en la Figura 1, el departamento de farmacia maneja cientos de productos diferentes. Por esta razón, los artículos se dividen en varios grupos según su impacto económico. De esta manera, los artículos más caros se piden con mayor frecuencia que los más baratos, lo que lleva a niveles de inventario promedio más bajos y más altos, respectivamente.

Hoy en día, con las nuevas tecnologías y la creciente cantidad de información disponible debido a la presencia generalizada de la computación, es más fácil utilizar técnicas más sofisticadas para los problemas de gestión de la cadena de suministro y de inventario. Por ejemplo, en [21], [22], [23], [17], el problema de gestión de inventario se formula en un marco de proceso de decisión markoviano asumiendo demandas estocásticas. Recientemente, los enfoques basados en datos también están ganando relevancia, como se muestra en [24], [25], donde se utilizan diferentes técnicas y algoritmos.

revisado, y [26], [27], que proporcionan argumentos de apoyo con respecto al impacto de la ciencia de datos y el análisis predictivo en la gestión de la cadena de suministro. Además, en [19] se propone un enfoque basado en datos que considera demandas no estacionarias y correlacionadas en el tiempo. Del mismo modo, la abundancia de datos se puede explotar directamente mediante métodos como el control predictivo de modelos (MPC), que optimiza la secuencia de acciones y estados futuros de un sistema a lo largo de un horizonte dado al tiempo que considera explícitamente las restricciones en las variables del sistema y la incertidumbre en las entradas exógenas como la demanda. Una aplicación del MPC estocástico con base de datos para este tipo de aplicación se puede encontrar, por ejemplo, en [28], [29], donde se utilizaron datos históricos para simular un MPC restringido por el azar.

El trabajo presentado en este artículo utiliza una estrategia de MPC estocástica diferente, a saber, MPC basada en escenarios [30], [31], de modo que se utilizan múltiples realizaciones previas de la demanda de farmacia en los cálculos. En particular, el MPC estocástico es el núcleo de un sistema de soporte de decisiones que presenta la colocación de pedidos. *Sugerencias y evalúa los riesgos.* Por lo tanto, una diferencia significativa con otros trabajos en la literatura es que el controlador no implementa las acciones calculadas. En cambio, es el farmacéutico quien elige entre las posibilidades presentadas por el sistema de soporte de decisiones, que ejecuta la política MPC basada en datos para diferentes horizontes y niveles de riesgo. Por lo tanto, las órdenes finalmente implementadas se benefician tanto del controlador MPC basado en escenarios como del conocimiento del farmacéutico. En este sentido, este trabajo se alinea con otros métodos de control human-in-the-loop como [32] y, especialmente, [33], donde el operador selecciona acciones dentro de un conjunto proporcionado por el sistema de control.

El sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en datos propuesto se aplica realmente a la farmacia del hospital. *San Juan de Dios* en Córdoba, España. Los resultados obtenidos a lo largo de un periodo de prueba de cuatro meses se evalúan mediante simulación con un controlador MPC previo implementado en la farmacia [34] y un MPC de pronóstico perfecto. Asimismo, la comparación se complementa con los resultados de la política real seguida por el hospital cuando estos controladores no están operativos.

Finalmente, este trabajo se enmarca en un proyecto denominado *Control farmacéutico*, donde diferentes hospitales de Andalucía colaboran con la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla para evaluar e implementar nuevas estrategias que mejoren la eficiencia de los Servicios de Farmacia Hospitalaria. Antes de este proyecto, la política de gestión utilizada se basaba principalmente en la técnica del punto de pedido mencionada anteriormente. Sin embargo, el personal de farmacia la utilizaba solo como referencia porque también se tienen en cuenta otros factores a la hora de realizar un nuevo pedido, por ejemplo, las fluctuaciones de la demanda, el número de pacientes en tratamiento con medicamentos altamente controlados, la proximidad del fin de semana y los días festivos en los que no se sirven pedidos, y la necesidad de otros medicamentos del mismo proveedor para alcanzar la cantidad mínima establecida para realizar un pedido.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección II se presenta la formulación del problema. En la Sección III se explica la metodología propuesta para mejorar la política de gestión de inventarios de medicamentos en el hospital. En la Sección IV se muestran los resultados experimentales obtenidos. Finalmente, en la Sección V se presentan las conclusiones.



Fig. 2. Zona de almacenamiento de farmacia hospitalaria.



Fig. 3. Refrigerador de almacenamiento de farmacia hospitalaria.

II. PROBLEMAS DECLARACIÓN

El objetivo es utilizar los registros históricos de inventario de farmacias para respaldar las decisiones sobre el tamaño y el momento de los nuevos pedidos. Para ello, consideramos un enfoque de horizonte móvil en el que se generan sugerencias para las decisiones de inventario considerando realizaciones previas de la demanda para predecir la evolución del stock en los días siguientes. Los elementos que conducen al problema de optimización correspondiente se presentan en las siguientes subsecciones, a saber, el modelo que describe el sistema de inventario de farmacias, sus restricciones y los principales objetivos del servicio de farmacia.

A. Sistema de inventario de farmacias

La farmacia hospitalaria gestiona un conjunto $METRO = \{1, 2, \dots, M\}$ de medicamentos (en adelante también denominados *medicamentos*) con niveles de inventario que varían en el tiempo debido a las entregas que provienen de un conjunto $PAG = \{1, 2, \dots, PAG\}$ de las farmacias distribuidoras y la incertidumbre de la demanda de los diferentes servicios hospitalarios.

Dejar $s(a) \in O_{\geq 0}$ y $d(a) \in O$ respectivamente ser el stock y la demanda de drogas $i \in M$ de día a , y $o(a) \in O_{\geq 0}$ representar las unidades de fármaco i ordenado al proveedor y $o \in P$ t_{yo} ; Hace días, CON t_y representando el retraso del transporte.¹ De este modo,

$$a(a) = \sum_{yo \in P} o(t - t_{yo}) \quad (1)$$

unidades de droga i se reciben en el día a , mientras

$$o(a) = \sum_{yo \in P} o(a) \quad (2)$$

representa las unidades de fármaco i ordenado en el día a . Dada la demanda y las entregas de medicamentos correspondientes, se puede utilizar el siguiente modelo lineal de tiempo discreto para representar la evolución del stock de medicamentos.ⁱ

$$s(a+1) = s(a) + a(a) - d(a), \quad (3)$$

de donde se desprende claramente que cualquier restricción sobre el stock se vuelve estocástica debido a la incertidumbre de la demanda.

¹Si bien el stock y los pedidos son números enteros mayores o iguales a 0, la demanda puede ser ocasionalmente negativa debido a artículos devueltos a la farmacia.

B. Limitaciones de la farmacia

Para obtener resultados válidos es necesario tener en cuenta las siguientes restricciones:

(i) Restricciones de almacenamiento. El espacio de almacenamiento en la farmacia es limitado como se puede observar en la Figura 2, muy particularmente para medicamentos de conservación en frío, que se muestran en la Figura 3. Por lo tanto, los niveles de existencias deben mantenerse por debajo de los valores admisibles, especialmente para aquellos medicamentos que deben almacenarse en refrigeradores. Asimismo, se requiere que las existencias sean 0 o bien 0 o positivas. Estas restricciones se traducen en un número mínimo 0 y máximos m_{\max} de unidades para cada uno de $i \in M$, es decir,

$$s(a) \in [0, m_{\max}] \quad (4)$$

Téngase en cuenta que el mínimo también podría ser impuesto por el stock de seguridad, en caso de ser utilizado.

(ii) Restricciones en la colocación de pedidos. El número de unidades solicitadas para cada medicamento $i \in M$ puede ser cero o estar limitado por un valor mínimo y un valor máximo, es decir,

$$o(a) \in \{0\} \cup [o_{\min}, o_{\max}] \quad (5)$$

Dado que este conjunto de restricciones no es convexo, una variable binaria $d_i(a)$ para abordar esta cuestión, se puede introducir un modelo de la acción de colocación de órdenes. De esta manera, $d_i(a)$ o (a) representa el número de unidades ordenadas, de modo que $d_i(a) \in \{0, 1\}$ si y solo si $d_i(a) = 1$.

Además, los laboratorios farmacéuticos no suministran medicamentos a menos que se gaste una cantidad mínima de dinero. Esta restricción puede plantearse como

$$\sum_{i \in M} d_i(a) o_i(a) \geq o_{\min} \$, \quad (6)$$

dónde y representa la cantidad mínima de dinero a gastar al realizar un pedido al proveedor, $y \in P$ es el costo unitario del medicamento.

(iii) Días no laborables. Otra cuestión a tener en cuenta es que los laboratorios, distribuidores y farmacias tienen días no laborables (por ejemplo, domingos, festivos), lo que conduce a

$$o(a) = 0, \forall a \in / \{ \text{días laborables} \} \quad (7)$$

(iv) Carga de trabajo. Debido al personal limitado en la farmacia, se debe imponer una restricción en los pedidos que se pueden manejar diariamente, lo que también limita la cantidad correspondiente. entregas, lo que lleva a

$$\sum_{i \in M} del(a) \leq \delta_{\max}. \quad (8)$$

C. Objetivos del Servicio de Farmacia Hospitalaria

Dada la naturaleza crítica de la aplicación que manejamos, la principal preocupación es garantizar que los medicamentos necesarios estén disponibles en todo momento para los pacientes. Sin embargo, otro objetivo es aumentar la eficiencia del inventario reduciendo los gastos de pedidos y mantenimiento de inventario, es decir, reduciendo el número de pedidos realizados y los niveles de existencias. Desde el punto de vista de MPC, en el día a , los gerentes de farmacia se enfrentan al siguiente problema de optimización

$$\min_{[O_h, \Delta] \in M} \sum_{y=0}^{n_{\text{pred}}-1} \sum_{i \in M} \left(\alpha \cdot C_o \cdot y \cdot s(y+1) + \beta \cdot c_i \cdot del(y) \cdot o(y) + y \cdot \delta(y), \right) \quad (9)$$

dónde α , β y γ ponderan respectivamente los costes de inventario de la etapa, la adquisición de nuevos medicamentos para reponer los niveles de stock y el esfuerzo del servicio de farmacia derivado de la colocación de pedidos y entregas. n_{pred} representa el horizonte de predicción para la planificación, do , y puede interpretarse como un costo de oportunidad o un costo de inventario, do representa el costo promedio del medicamento i , $O_h = [o(a), oh(a+1), \dots, oh(a+n_{\text{pred}}-1)]$ es la secuencia de pedidos de medicamentos. Para el actual y el próximo $n_{\text{pred}}-1$ días, $y \Delta = [del(a), delta(a+1), \dots, \delta(a+n_{\text{pred}}-1)]$ se define de forma análoga para la variable binaria de colocación de pedidos. El problema de optimización (9) debe resolverse todos los días a sujeto a las ecuaciones del modelo (1) a (3), y las restricciones (4) a (8). El primer componente de la secuencia óptima O_h representará las unidades de fármaco. Para ordenar el mismo día a , mientras que el resto de la secuencia se descarta. Esta planificación debe repetirse todos los días a en forma de horizonte en retroceso.

Como se puede ver, el problema de optimización se fusiona diferentes objetivos en un único índice de rendimiento para obtener un equilibrio entre los objetivos considerados. El problema presenta varios problemas desafiantes, por ejemplo, el término bilineal $del(a)o(a)$, la naturaleza binaria de $del(a)$, la incertidumbre derivada de la estocasticidad de la demanda, las restricciones vinculantes (ecuaciones (2), (6) y (8)), y también el tamaño del problema, ya que los hospitales pueden trabajar con más de mil medicamentos diferentes. Una estrategia general para resolver este tipo de problemas podría basarse en el uso de métodos de ramificación y acotación, pero no es sorprendente que se realicen simplificaciones y se utilicen heurísticas.

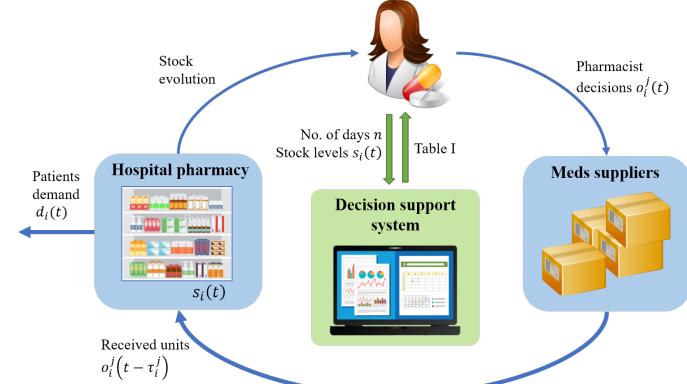


Figura 4. Pasos y componentes del DB-MPDSS propuesto: 1) en el comienzo del día, el farmacéutico observa los niveles de existencias de cada medicamento; 2) esta información se introduce en el MPDSS, junto con el valor o valores deseados para n (de 2 a 8 en la prueba realizada); 3) el DB-MPDSS procesa los datos y proporciona al farmacéutico la Tabla I y los pedidos para cada caso considerado; 4) el farmacéutico evalúa esta información y realiza los pedidos correspondientes; 5) los medicamentos llegan a la farmacia después del retraso de transporte correspondiente.

Se utilizan para simplificar el problema de gestión. Por ejemplo, se podría dividir el problema en subproblemas del artículo, resolverlos de forma descentralizada y comprobar a continuación si se violan las restricciones vinculantes. En cualquier caso, el papel del farmacéutico es esencial para comprobar y garantizar la viabilidad de la solución implementada.

III. DAtaque-BASADO DECISIÓN SAPOYO SISTEMA

En esta sección, describimos un sistema de soporte de decisiones predictivo basado en datos (en adelante, DB-MPDSS) que hemos implementado en un hospital real. En particular, este DB-MPDSS explota los registros históricos de los medicamentos y proporciona resultados útiles para establecer el tamaño y el momento de los pedidos de acuerdo con las cantidades de unidades en stock. Además, aprende diariamente a medida que hay nuevos datos disponibles en la base de datos. En un sentido amplio, puede considerarse desde el punto de vista de las aplicaciones human-in-the-loop (HIL) dentro del contexto de los sistemas ciberfísicos, porque los humanos toman las decisiones finales, interactúan con un proceso del mundo real y proporcionan información al MPDSS. La Figura 4 ilustra la estructura del HIL-MPDSS probado en este artículo. Cuatro componentes principales que interactúan lo constituyen: el farmacéutico, es decir, la persona responsable del almacenamiento de la farmacia; los proveedores de medicamentos; la farmacia del hospital; y el MPDSS, que explota los datos registrados para ayudar al proceso de toma de decisiones humano.

En este caso, adoptamos la siguiente notación: D es la base de datos que contiene el historial de cantidades demandadas y pedidas para todos $i \in M$, y $y = \{1, 2, \dots, t-1\}$ es el conjunto de días para los cuales existen datos en D , es decir,

$$D = \{d(a), oh(a)\}_{a \in M, t \in T}. \quad (10)$$

Aunque no se especifica explícitamente, a lo largo de este trabajo todos los cálculos de probabilidades se basarán en los datos proporcionados por D .

Cada día a , el farmacéutico proporciona al DSS las cantidades actualmente disponibles de cada uno de los medicamentos en estudio,

es decir, $s(a)$ pesar de $i \in M$, y establece un número de días para los cuales se requiere información futura. Teniendo en cuenta esto último y la información en D , el MPDSS proporciona automáticamente los siguientes resultados:

- Cantidad mínima de cada medicamento que se debe ordenar para obtener 0% probabilidad de agotamiento de existencias durante el próximo $norte$ días según datos históricos, calculados como

$$o_{en}(a) = \max_{i \in M} -0, \max_{t \in T} d(a) - s(a), \quad (11)$$

dónde $T = \{1, 2, \dots, t-n-1\}$.

- Coste total del pedido que garantiza un 0% probabilidad de

Falta de existencias de todos los medicamentos durante el mismo período, es decir,

$$do_{norte}(a) = \sum_{i \in M} do_i o_{en}(a). \quad (12)$$

En consecuencia, se podría determinar \sum el importe total de artículos que la farmacia debe ordenar $iO_{en}(a)$.

- Probabilidad de agotamiento de existencias para cada medicamento $i \in M$, suponiendo que no se realiza ningún pedido, para un número diferente $norte$ de días por delante, es decir,

$$page_n(a) = pag(s(a+norte) \leq 0). \quad (13)$$

dónde $pag(s(a+norte) \leq 0)$ denota la probabilidad de $s(a+norte)$ siendo menor o igual a 0. Nótese que $page_n(a) = 0$ implica que no hay período de duración $norte$ almacenado en D en el que la demanda acumulada de i superó la cantidad de unidades en stock. Además, observe que el stock y la demanda están relacionados a través de (3). Por lo tanto, es posible considerar la estocasticidad desde el punto de vista del stock.

- Probabilidad de no tener desabastecimiento de todos los medicamentos, suponiendo que no se realiza ningún pedido, es decir,

$$PAG_{norte}(a) = \prod_{i \in M} (1 - page_n(a)). \quad (14)$$

Es decir, por un lado, el SAD proporciona las cantidades de medicamentos mínimos que deben llegar a la farmacia para cubrir las demandas de los pacientes según los registros históricos y, por otro lado, evalúa el riesgo de que esto no ocurra. El análisis de los datos permite un cálculo más preciso de estos valores, que convencionalmente se estiman en función de la experiencia y la intuición del farmacéutico. A la vista de la información contenida en la Tabla I y las limitaciones descritas en la Sección II, es el farmacéutico quien decide cuándo y cuántas unidades de cada medicamento deben solicitarse a los laboratorios. De este modo, el SADMP no socava el poder de decisión humano, sino que aumenta la información disponible para gestionar el inventario, facilitando así las decisiones actuales y futuras.

Por último, cabe señalar que el uso de la política DB-MPDSS propuesta también implica algunos riesgos. Para empezar, se supone que las realizaciones de demanda futuras están contenidas en la base de datos, lo que puede sesgar los pedidos sugeridos debido a cuestiones como picos de demanda extremos en el pasado, incrementos abruptos de la demanda y comportamiento estacional, por nombrar algunos.

CUADRO I
RESULTADOS PROPORCIONADOS DIARIAMENTE AL SERVICIO DE FARMACIA POR LA DECISIÓN-SISTEMA DE APOYO.

Medicamentos (i)	Número de días ($norte$)			
	1	2	...	$norte$
1	$o1,1$	$o1,2$...	$o1,NORTE$
2	$o2,1$	$o2,2$...	$o2,NORTE$
...
METRO	$oMETRO,1$	$oMETRO,2$...	$oMINNESOTA$
$norte$	$\sum idoio_{i,1}$	$\sum idoio_{i,2}$...	$\sum idoio_{i,norte}$
Medicamentos (i)	1	2	...	$norte$
1	$pag1,1$	$pag1,2$...	$pag1,NORTE$
2	$pag2,1$	$pag2,2$...	$pag2,NORTE$
...
METRO	$pagMETRO,1$	$pagMETRO,2$...	$pagMINNESOTA$
$norte$	$\prod (1 - pag_{i,1})$	$\prod (1 - pag_{i,2})$...	$\prod (1 - pag_{i,norte})$

Problemas potenciales. Otra simplificación es la probabilidad de satisfacción de la restricción proporcionada en la Tabla I, que se calcula empíricamente utilizando los datos disponibles. Para tener garantías estadísticas robustas como las que se dan en [31], se requiere una gran cantidad de escenarios y la base de datos puede no contener suficientes datos. Incluso cuando existen algunas posibilidades para mitigar estos problemas, por ejemplo, filtrar los datos para eliminar los valores atípicos, generar escenarios adicionales utilizando métodos de remuestreo, etc., se debe evaluar su impacto.

IV. CPLAZA BURSÁTIL NORTEAMERICANA Y RESULTADOS

El DB-MPDSS propuesto se ha probado durante un período de cuatro años.

14 meses de internamiento en el hospital San Juan de Dios, el cual se encuentra ubicado en la ciudad española de Córdoba. Para ello, se seleccionó un grupo de 11 medicamentos para el estudio, todos ellos suministrados por el mismo laboratorio. La farmacia del hospital proporcionó los datos históricos de demanda y pedidos de estos 11 medicamentos durante los dos últimos años, lo que nos permitió calcular la evolución histórica de los niveles de stock. Por razones de confidencialidad, el nombre, los precios y otra información específica sobre los medicamentos no se revelan en este trabajo.

Durante el período de prueba, el servicio de farmacia introdujo diariamente al sistema los niveles de existencias de los 11 medicamentos en estudio. Considerando esto, el DB-MPDSS calculó automáticamente los valores descritos en la Sección III para períodos de 2 a 8 días, es decir: cantidades mínimas de pedido para evitar desabastecimientos durante el número de días correspondiente (ver Tabla II) y probabilidades de que esto ocurra en caso de que no se realice ningún pedido (ver Tabla III). De la misma manera, el DB-MPDSS proporcionó los costos totales de los pedidos para asegurar 0% probabilidad de desabastecimiento (también en la Tabla II), que, por las razones mencionadas anteriormente, se calculan considerando precios unitarios $do=1$ para todas las drogas $i=1, \dots, 11$. Se puede observar que el número de artículos a pedir aumenta con el número de días sin realizar ningún pedido debido al aumento progresivo de los pacientes acumulados.

CUADRO II

AUNIDADES ADICIONALES DE CADA MEDICAMENTO NECESARIAS PARA EVITAR EL DESABASTECIMIENTO²
A8DÍAS,Y COSTO TOTAL CON $do=1$,A PESAR DE $i=1, \dots, 11$.

		Número de días (<i>norte</i>)						
		2	3	4	5	6	7	8
Medicamentos (<i>i</i>)	1	0	50	50	50	100	100	150
	2	0	4	8	8	12	16	16
	3	0	0	0	0	0	0	4
	4	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	10	160	240	250	270	350
	7	0	0	0	0	0	0	40
	8	0	0	0	0	20	20	120
	9	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0
<i>dona<i>n</i></i>		0	64	218	298	382	406	680

CUADRO III

I PROBABILIDAD INDIVIDUAL Y CONJUNTA DE DESASTRE EN2A8DÍAS
SIN PEDIDOS.

		Número de días (<i>norte</i>)						
		2	3	4	5	6	7	8
Medicamentos (<i>i</i>)	1	0	0,09	0,28	1,31	2,34	4,40	9,75
	2	0	0,09	0,65	1,59	4,12	7,77	12,93
	3	0	0	0	0	0	0	0,09
	4	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0,09	0,47	0,84	1,31	2,53	7,59
	7	0	0	0	0	0	0	0,09
	8	0	0	0	0	0,09	0,28	0,75
	9	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0
<i>PAGnorte</i>		1	99,73	98,61	96,31	92,33	85,70	71,94

demandas. Por consiguiente, la probabilidad conjunta de evitar cualquier desabastecimiento disminuye con el número de días. En particular, los valores dados en las Tablas II y III corresponden a un día del período de prueba en el que los niveles de existencias de los medicamentos fueron respectivamente 80, 10, 24, 12, 33, 495, 119, 114, 80, 59 y 52 unidades. La razón para fijar el plazo mínimo en 2 días es la demora en el transporte del laboratorio, es decir, todos los medicamentos se ordenan el día *allegar el dia a+2*En el peor de los casos.

Estos datos tabulares fueron calculados por el DB-MPDSS y proporcionados al personal de farmacia, que tomó las decisiones finales teniendo en cuenta todas las restricciones del problema (stock máximo almacenable, pedido mínimo al proveedor, etc.). Durante el experimento, el servicio de farmacia decidió cuándo realizar el pedido en función de la probabilidad de agotamiento de existencias que estaban dispuestos a asumir, pero se siguieron fielmente las recomendaciones del DSS sobre las cantidades. Es decir, si la farmacia realizaba un pedido de medicamento *i*, entonces la cantidad pedida fue la recomendada por el DSS para evitar roturas de stock durante el número de días considerado por el responsable de la farmacia. Siguiendo estas recomendaciones, se ha visto que es posible reducir tanto el número de medicamentos almacenados como el número de pedidos sin poner en riesgo la satisfacción de la demanda.

A. Evaluación del desempeño

Para evaluar el desempeño del método propuesto durante todo el período de prueba, comparamos los resultados con el enfoque de control predictivo del modelo propuesto en [34], que se implementó y probó previamente en este hospital para los mismos medicamentos. En particular, las figuras 5 y 6 muestran la evolución de los niveles de existencias y los pedidos realizados durante el período de prueba durante el cual se aplicó el sistema de soporte de decisiones basado en datos.

y los resultados de la simulación con la técnica de control predictivo de modelos (MPC) descrita en [34].

En las simulaciones que se muestran aquí, el controlador MPC, basándose en los datos de stock diarios y teniendo en cuenta la demanda media de la misma base de datos, optimiza el número de artículos a pedir minimizando la función objetivo (9) con $\alpha/\beta=1$ y $\gamma=0$ sujeto al conjunto de restricciones (4)-(8). En particular, hemos utilizado *norte_{pag}=20*para el horizonte. También hemos considerado un horizonte de control *norte_{do}=2*,Es decir, el controlador del MPC decide si los medicamentos deben solicitarse el día actual o el día siguiente. El resto de alternativas no se consideran para simplificar. Tenga en cuenta que esta decisión no afecta el rendimiento del controlador cuando se deben solicitar nuevos artículos en el día actual.

A modo de comparación, suponemos que el servicio de farmacia seguiría fielmente el tamaño y el momento de los pedidos recomendados por el controlador. Para una comparación más detallada entre los resultados de la simulación MPC y el rendimiento del DB-MPDSS propuesto en este documento, la Tabla IV muestra los siguientes indicadores clave de rendimiento (KPI) para cada uno de los medicamentos *i*:

- Valor medio (μ_i) y desviación estándar (σ_i) de los artículos en stock.
- Máximo (*METRO_i*) y mínimo (*metro_i*) número registrado de artículos en stock.
- Número de faltantes de stock (*ENTONCES_i*) registrados en el período de estudio.
- Tasa de pedidos (*O_i*), es decir, el número de días que se debe ordenar un medicamento./se colocó dividido por el número total de días del período de prueba.
- Tamaño medio de los pedidos (*Asiático_i*).

Nuestros resultados muestran que el controlador MPC habría superado los resultados del DB-MPDSS en algunos KPI. Como se muestra en la Tabla V, el stock medio de los medicamentos se redujo con el MPC, ahorrando 649,5 euros, y el número de pedidos también se redujo.

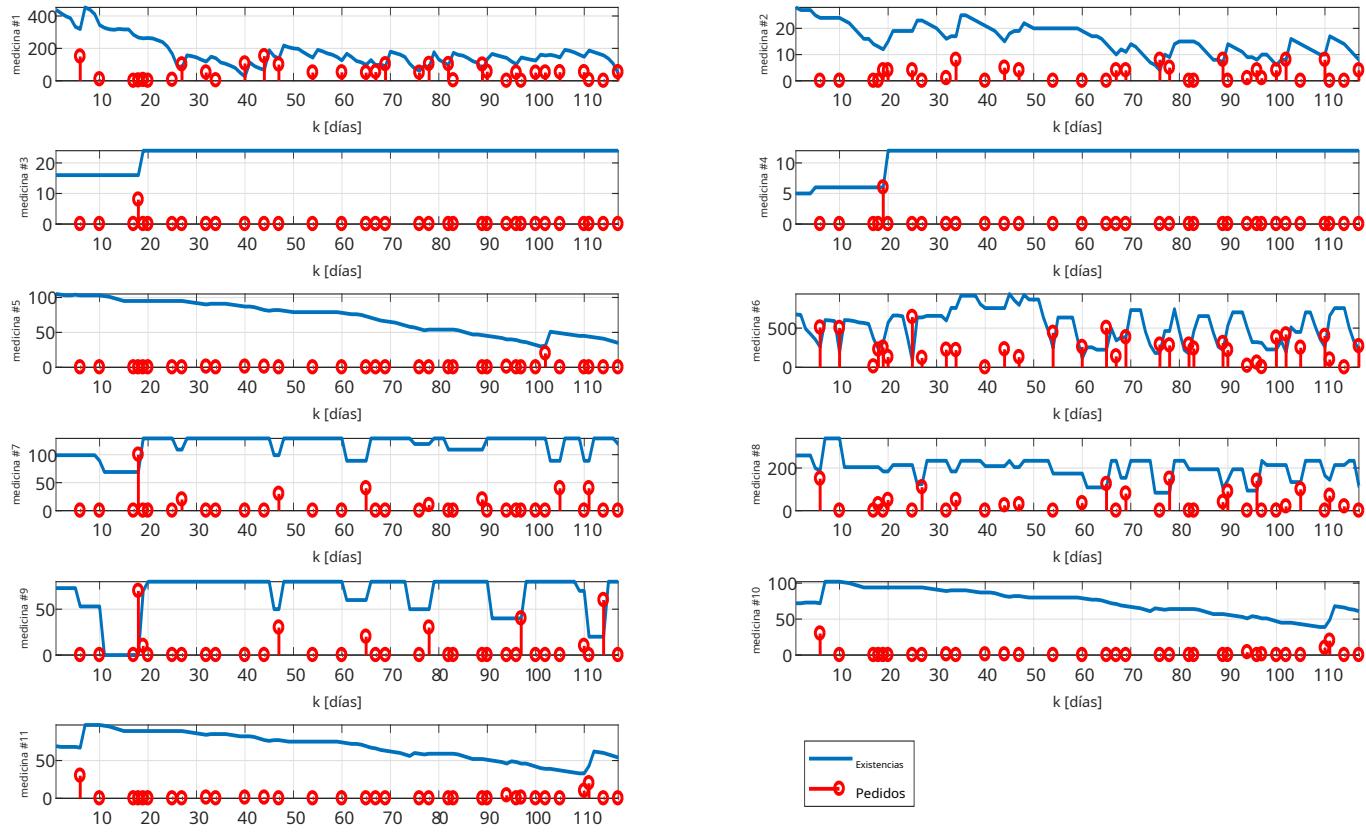


Fig. 5. Evolución de los stocks y órdenes durante el periodo de prueba.

Reducido, siendo 31 días con el es técnica que, co metrecortado al 34 con el DB-DSS2. Howe en la ver, el mi provisión elemento c Omes en a costo satisfacción de la clínica Cal de metys: th y MPC metmétodo mi se produjeron cuatro desabastecimientos, provocados por las diferencias entre las demandas reales de los pacientes y la media considerada para las previsiones, comprometiendo así la seguridad de los pacientes.

Además, en el período antes Este ex pag, La farmacia controlaba al g estos Drogas elSin t Él ayuda of el controlador de MPC. En Tab el VI, Nosotros debemos del el K Los investigador a durante los cuatro meses pr Evidente hacia mi mero note para el beneficio de comparación. Se puede observar que el promedio general de elementos almacenados se redujo durante el período de prueba del DB-DSS, y sin embargo el número de faltantes fue 0. Además, los máximos alcanzados por el stock le niveles de cada metca ed era y reducir nido o mantuvo alrededor de un Val de llar ue.Re a yo ntumecido er de sim pedidos, disminuyó de 42 a 34 quién y díejeemplo no haciendo el DB-DSS, es decir, una reducción del 19%. Sin embargo, el dinero medio inmovilizado en la farmacia aumentó en 366,73midebido a un ligero aumento de los niveles medios de existencias de algunas de las Los medicamentos más caros, Probablemente derivado de sobre algunos y picos i En el con una demanda histórica de impos riesgo ed agotamiento eventos, elque 0%. En este sentido, y extra Gastos turas ai metral mínimo iimiran

2Los ahorros económicos dados se calcularon considerando los stocks medios y los precios unitarios originales de los medicamentos.

El riesgo S de esto do, asin índice ed, el cantidad mi. El autor Los rojos son determinar no ed a s satisfacer prealmente real demandar ds. Acc Ordación ly, el Los valores más bajos de los medicamentos más caros se observaron cuando se utilizó la política de MPC, como se podría esperar de (9). Por lo tanto, la implementación del DB-DSS mejoró la gestión

En la mayoría de los casos, el K PI ingeniería con respecto a la habitual metodología, garantía siendo el satisfecho ión de la y demanda d, y un yo que pr omitiendo Importancia note la ventaja días s tú como t él redujo cción de el almacenamiento espacio re requirió un Y el el orquídea d por rojo ucing el y nuevo miembro de órdenes.

Finalmente, para evaluar el límite superior del rendimiento del MPC - basado en estrategias , es c Oconsiderar d La identificación Compañía MPC controlador con pe afecto de mety para aanzar un no d pagijación horizonte norte pag=5, cual conduce t o el sa mety numero bes de órdenes como en el experimento, es decir, 34. De esta manera, es posible centrarse en la comparación de la gestión de los niveles de stock. La simulación de esta estrategia no conduce a roturas de stock con Farmacéutica y ahorrando s de 134 6.5mi.yo Enc., la mi alizar meted test con el DB- Sistema de Seguridad de la Salud. Puedes eso un? ay leve muy bella ay el la mitad de t Manguera de El el Oretórico Optimo . Mientras esteoptimo El resultado es no me duele Ievable debido a t Él no re alista a Ssumidero ción de pronóstico perfecto, sugiere que puede haber espacio para futuras mejoras de rendimiento con el método propuesto.

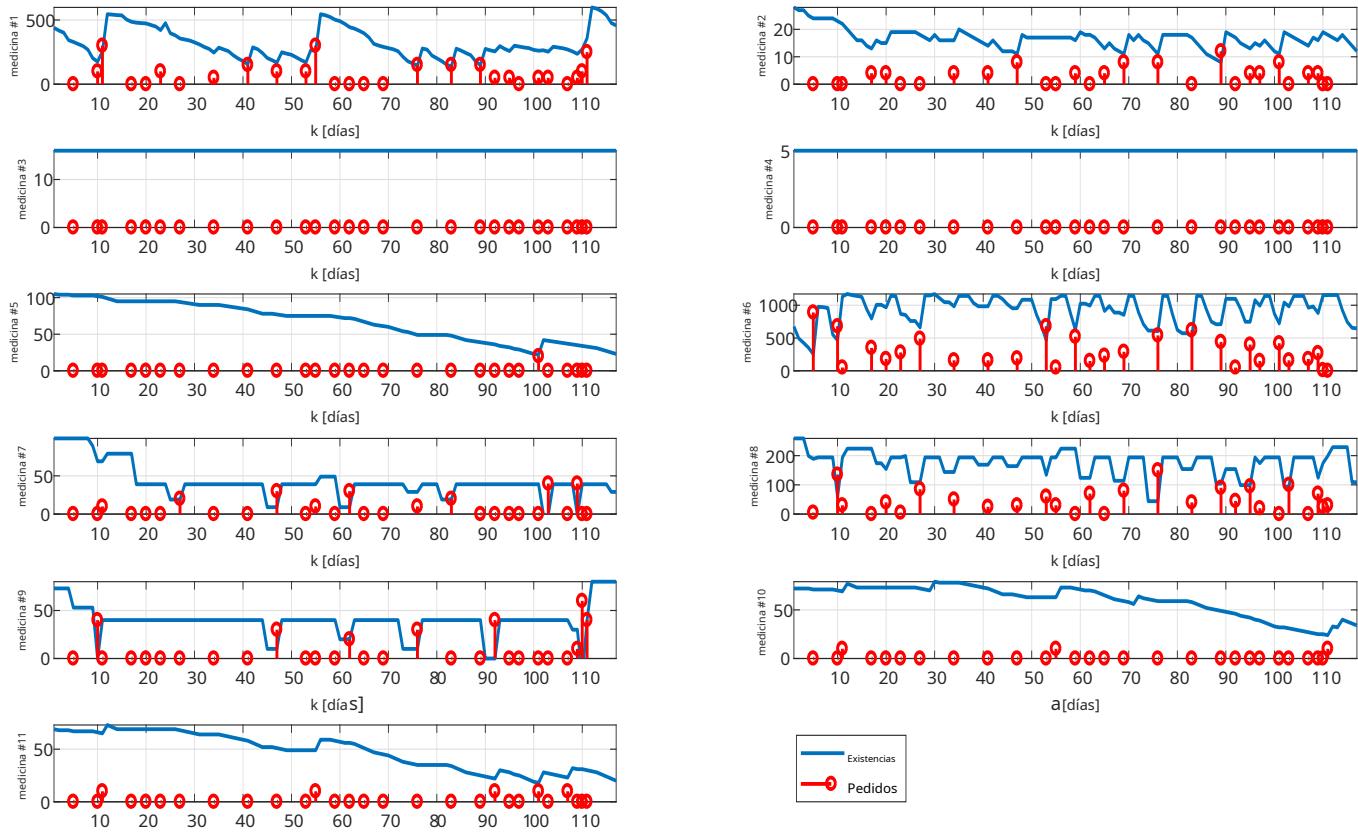


Fig. 6. Evolución de los stocks y órdenes En el MP Simulaciones C en [34].

V.C.CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrolló un sistema de base de datos y un software de gestión en la Policia de gestión en la y far metacia de El hospital italiano San Juan de Dios, ubicada en Córdoba, España.

Desde el punto de vista del personal de la farmacia, la nueva herramienta desarrollado aumenta su seguridad y confianza al realizar pedidos, haciéndolos más a mercancia de el riesgo asumir ed. En este sentido, el riesgo y el órdenes mesas pag pionar por el DB-MPDSS son mucho más ricos. que en Formacio naldoby la c turr Sistema de información utilizado en el hospital, que permite a los farmacéuticos tomar mejores decisiones. Asimismo, el método propuesto refuerza el papel del farmacéutico en la gestión de inventarios.

bucle y su implementación los La ción es simple, es decir, eso dno es alterar flujos de trabajo en los aspectos Macyd, Departamento, cual h son relEvitar phar para facilitar su publicidad opción .

Además, esta contribución tiene sh Imp. wn Ahombres t con re Espectro a otros métodos aplicados, a saber, un simple controlador MPC y la política habitual del servicio de farmacia. En particular, Los niveles de existencias han aumentado En bajo aed, y El nu metro miembro de o órdenes También se ha reducido. Actué con No debe ser notificado del eso Nuestra prueba era una pequeña dosis de medicación. subconjunto de economía Omicoy inexperiencia insípido Teniendo en cuenta que t Él es hos pag no ma noedades m ore que 1300 diferentes medicamentos y que el coste unitario de algunos de ellos supera los mil euros, cualquier mejora del rendimiento

que mantiene la calidad del nivel de servicio da como resultado resultados significativos ahorros. Más eh, nuestro evaluación mit con respecto A un perfecto pronóstico Comité de Poli tambien ind agatos tyen allí mi puede byo room para improvisación no gendimiento a endimiento, por ejemplo, por en filtrado extremo pasado demanda picos de los datos.

Allá Por lo tanto, es Puede ser considerar mojo tha a El a pago ion de base de datos educación politi do en Esta co noEl texto es fácil t o diabilio elemento y prometedor por su impacto positivo en el departamento de farmacia, reduciendo tanto los niveles de stock como la carga de trabajo del personal. Este método se consideró un sistema de apoyo de alto valor por el pag mac y servicio mEste La ayuda es e Sesencial En un contexto donde esta tac m anageme nt es su ronda d por un alto grado de incierto Mancha. Fo esto razón, es ex pag a dodo t o exp y el número De drogas controlared en este s camino b y incorporar oratina g Otro proveedores en el software. Además, por razones de seguridad, el software desarrollado era independiente del sistema de información del hospital, Por lo tanto se requirió turing el Farmacia electrónica personal de acy F Entrar r el sto ck da a cada uno día ma nogeneralmente ySu tarea d es tedioso un d por lo tanto mineral, otro esperar d improvisación El ement es para esta b anuncio de lis iCon recto necti Adelante con El hospital datos ital base. En Esta era y, va a sea facilier a utiliza el DB-MPDSS de forma generalizada con el resto de medicamentos y proveedores.

CUADRO IV

Indicador clave de rendimiento COMPARACIÓN ENTRE LA Base de datos de seguridad de datos (DB-DSS) IMPLEMENTADO EN EL EXPERIMENTO Y LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN OBTENIDOS CON EL Comité de Política Monetaria CONTROLADOR EN [34].

	μ_i		σ_i		METRO:		metro:		ENTONCES:		O_i		Asiático:		
	base de datos	Comité de Política	base de datos	Comité de Política	base de datos	Comité de Política	Monetarios	Comité de Política							
Medicamentos (#)	1	174,29	320,13	91,37	117,87	453 598			26	137	0	0	0,250	0,154	59,48 125,00
	2	16,07	16,68	5,56	3,61	28		28	4	8	0	0	0,162	0,154	4,68 5,33
	3	22,78	16,00		2,88	0	24	16	16	16	0	0	0,009	0	8.00 0
	4	11.00	5.00		2.30	0	12	5	5	5	0	0	0,009	0	6.00 0
	5	71.09	66,97	22,94	25,85	105		105	30	22	0	0	0,043	0,009	4.80 20.00
	6	531,17	934,35	218,33	218,10	935 1172 86			253	0	0	0	0,274	0,256	264,25 288,33
	7	116,20	42,42	18,85	21,74	129		99	69	- 1	0	3	0,068	0,077	37,50 23,33
	8	198,32	174,47	53,02	44,96	339		259	84	44	0	0	0,154	0,197	73,06 56,96
	9	65,85	39,37	23,70	16,73	80		80	0	- 20	0	1	0,068	0,068	33,75 33,75
	10	73,37	59,69	17,25	15,73	102		79	39	24	0	0	0,068	0,051	8,50 10,00
	11	68,23	47,75	17,46	17,21	97		73	33	18	0	0	0,068	0,043	8,50 10,00

CUADRO V

OHCOMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO GENERAL DELBase de datos de seguridad de datos (DB-DSS)Y ELComité de Política Monetaria ENFOQUE EN [34]

	# Pedidos	Ahorros [mi]	# Falta de existencias
DB (Resultados experimentales)	34	-	0
MPC (Resultados de simulación)	31	649,5	4

CUADRO VI

Indicador clave de rendimiento DURANTE LOS CUATRO-PERÍODO DE MESES ANTERIOR AL EXPERIMENTO.

	μ_i		σ_i		METRO:		metro:		ENTONCES:		O_i		Asiático:	
	base de datos	Comité de Política	base de datos	Comité de Política	base de datos	Comité de Política	Monetarios	Comité de Política						
Medicamentos (#)	1	375,75	87,90	568		183	0	0,265	56.03					
	2	13,73	6,43		33	0	0	0,179	10.86					
	3	11,94	5,14		21	0	0	0,094	7.27					
	4	8,84	1,67		11	6	0	0	0					
	5	79,81	31,10	138 3		0	0	0,137	22.19					
	6	828,31	220,95	1355 212 0			0,248	236,45						
	7	77,09	23,61	109		9	0	0,068	44.13					
	8	292,08	94,35	504		124	0	0,077	144,67					
	9	107,03	26,15	173		33	0	0,034	45,50					
	10	71,53	17,27	102 40 0			0,171	13,50						
	11	75,76	20,07	111 34 0			0,171	13.35						

AGRADECIMIENTO

Los autores desean agradecer Junta de Andalucía (Proyecto Pharmacontrol, ref: P12-TIC-2400) y al Ministerio de Economía y Competitividad de España (Proyecto C3PO, ref: DPI2017-86918-R) por la financiación de este trabajo. Asimismo, se agradece el apoyo financiero del Programa de Formación de Personal Académico de España (FPU17/02653).

REFERENCIAS

- [1] TA Zwaïda, Y. Beauregard y K. Elarroudi, "Revisión exhaustiva de la literatura sobre la escasez de medicamentos en la cadena de suministro de farmacias de los hospitales canadienses", en *Conferencia internacional sobre ingeniería, ciencia y aplicaciones industriales (ICESI) de 2019*, 2019, págs. 1-5.
- [2] RP Saha E., "Una descripción general del impacto de los sistemas de gestión de inventarios de atención médica en el espíritu empresarial", en *Emprendimiento en tecnología para la ASEAN. Gestionar el siglo asiático. Springer, Singapur*, 2017.
- [3] S. Díaz-Maroto, "Gestión de stock del material sanitario en el servicio de farmacia del hospital general penitenciario (ii): Informatización y aplicación de la clasificación abc al análisis de consumo," *Hospital de granja*, vol. 19, págs. 165 – 168, 1995.
- [4] DC Feibert, B. Andersen y P. Jacobsen, "Evaluación comparativa de los procesos logísticos de atención médica: un estudio de caso comparativo de hospitales daneses y estadounidenses", *Gestión de la calidad total y excelencia empresarial*, vol. 30, núm. 1-2, págs. 108-134, 2019.
- [5] T. Bermejo, BC na, V. Napal y E. Valverde, "Manual del residente de farmacia hospitalaria", *Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria*, 1999. [En línea]. Disponible: <http://www.sefh.es/sefhpublicaciones/fichalibrolibre.php?id=22>
- [6] L. Álvarez y G. Callejón, *Manual del especialista en farmacia hospitalaria*. Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria, 1999, núm. 1, cap. Gestión de Provisiones y Stocks, págs. 43-46.
- [7] S. Çetinkaya y C. Lee, "Reposición de existencias y programación de envíos para sistemas de inventario gestionados por proveedores", *Ciencia de la gestión*, vol. 46, no. 2, págs. 217-232, 2000.
- [8] J. Dong, D. Zhang y A. Nagurney, "Un equilibrio de red de cadena de suministro modelo de río con demandas aleatorias", *Revista Europea de Investigación Operativa*, vol. 156, no. 1, págs. 194-212, 2004.
- [9] G. Cachon, "Guerras de existencias: competencia de inventario en una cadena de suministro de dos niveles con múltiples minoristas", *Investigación de operaciones*, vol. 49, no. 5, págs. 658-674, 2001.
- [10] S. Tayur, R. Ganeshan y M. Magazine, *Modelos cuantitativos de oferta Gestión de la cadena*. Editorial Académica Kluwer, 1999.
- [11] AM Brewer, KJ Button y DA Hensher, *Manual de gestión de la cadena de suministro y logística*. Pergamo, 2001.
- [12] GS BYE Saçol, Gizem y MG Ataman, "Un problema de optimización de inventario (s, s): un estudio de caso para un hospital", en *Análisis, operaciones y toma de decisiones estratégicas en el sector público. IGI Global*, 2019, págs. 187-206.
- [13] A. Andres, N. Heather y WMA, "Intercambio de información de la cadena de suministro en una asociación de inventario gestionado por el proveedor", *Revista de Logística Empresarial*, vol. 25, no. 1, págs. 101-120, 2011.
- [14] Y. Yao, PT Evers y ME Dresner, "Integración de la cadena de suministro en el inventario administrado por el proveedor", *Sistemas de apoyo a la toma de decisiones*, vol. 43, no. 2, págs. 663 - 674, 2007.

- [15] H. Tunc, OA Kilic, SA Tarim y B. Eksioglu, "El costo de utilizar políticas de inventario estacionario cuando la demanda no es estacionaria", *Omega*, vol. 39, no. 4, págs. 410 – 415, 2011.
- [16] AK Purohit, D. Choudhary y R. Shankar, "Dimensionamiento de lotes de inventario con selección de proveedores bajo demanda estocástica no estacionaria", *Revista Internacional de Investigación en Producción*, vol. 54, núm. 8, págs. 2459–2469, 2016.
- [17] WW Nasr e IJ Elshar, "Control de inventario continuo con demanda markoviana estocástica y no estacionaria", *Revista Europea de Investigación Operativa*, vol. 270, núm. 1, págs. 198 – 217, 2018.
- [18] A. Gutierrez-Alcoba, R. Rossi, B. Martin-Barragan y EM Hendrix, "Una heurística simple para el control de inventario de artículos perecederos bajo demanda estocástica no estacionaria", *Revista Internacional de Investigación en Producción*, vol. 55, núm. 7, págs. 1885–1897, 2017.
- [19] Y. Cao y Z.-JM Shen, "Pronóstico cuantitativo y gestión de inventario basada en datos bajo demanda no estacionaria", *Cartas de investigación de operaciones*, vol. 47, núm. 6, págs. 465 – 472, 2019.
- [20] L. Janssen, J. Sauer, T. Claus y U. Nehls, "Desarrollo y análisis de simulación de un nuevo modelo de inventario perecedero con una restricción de días de cierre bajo una demanda estocástica no estacionaria", *Ingeniería Industrial en Computadores*, vol. 118, págs. 9 – 22, 2018.
- [21] AJ Kleywegt, VS Nori y MWP Savelsbergh, "El problema de enrutamiento de inventario estocástico con entregas directas", *Ciencia del transporte*, vol. 36, no. 1, págs. 94–118, 2002.
- [22] SFVE Biagi M., Carnevali L., "Gestión del inventario hospitalario a través de procesos de decisión de Markov @runtime", en *Evaluación cuantitativa de sistemas. QEST 2018. Apuntes de clases de informática*. Springer, Cham, vol. 11024, 2018.
- [23] K. Mubiru, "Problema de reposición conjunta en la gestión del inventario de medicamentos de las farmacias bajo demanda estocástica", *Revista Brasileña de Gestión de Operaciones de Producción*, vol. 15, no. 2, págs. 302–310, junio de 2018.
- [24] G. Wang, A. Gunasekaran, EW Ngai y T. Papadopoulos, "Análisis de big data en logística y gestión de la cadena de suministro: ciertas investigaciones para investigación y aplicaciones", *Revista internacional de economía de la producción*, vol. 176, págs. 98 – 110, 2016.
- [25] RY Zhong, ST Newman, GQ Huang y S. Lan, "Big data para la gestión de la cadena de suministro en los sectores de servicios y fabricación: desafíos, oportunidades y perspectivas futuras", *Ingeniería informática e industrial*, vol. 101, págs. 572 – 591, 2016.
- [26] WMA y FSE, "Ciencia de datos, análisis predictivo y big data: una revolución que transformará el diseño y la gestión de la cadena de suministro", *Revista de Logística Empresarial*, vol. 34, no. 2, págs. 77–84, 2013.
- [27] A. Gunasekaran, T. Papadopoulos, R. Dubey, SF Wamba, SJ Childe, B. Hazen y S. Akter, "Big data y análisis predictivo para la cadena de suministro y el desempeño organizacional", *Revista de investigación empresarial*, vol. 70, págs. 308 – 317, 2017.
- [28] I. Jurado, JM Maestre, P. Velarde, C. Ocampo-Martínez, I. Fernández, BI Tejera, y J. del Prado, "Gestión de stocks en farmacia hospitalaria mediante control predictivo de modelos con restricciones aleatorias", *Las computadoras en la biología y la medicina*, vol. 72, págs. 248 – 255, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482515003790>
- [29] JM Maestre, P. Velarde, I. Jurado, C. Ocampo-Martínez, I. Fernández, BI Tejera, y J. del Prado Llergo, "Una aplicación del control predictivo de modelos con restricciones aleatorias a la gestión de inventarios en farmacias hospitalarias", en *53.ª Conferencia IEEE sobre decisiones y control, CDC 2014, Los Ángeles, California, EE. UU., del 15 al 17 de diciembre*, 2014, págs. 5901– 5906.
- [30] G. Schildbach, L. Fagiano, C. Freic y M. Morari, "El enfoque de escenarios para el control predictivo de modelos estocásticos con límites en las violaciones de restricciones de bucle cerrado", *Automática*, vol. 50, núm. 12, págs. 3009–3018, 2014.
- [31] GC Calafiore y MC Campi, "El enfoque de escenarios para el diseño de control robusto", *Transacciones IEEE sobre control automático*, vol. 51, no. 5, págs. 742–753, 2006.
- [32] PJ Van Overloop, JM Maestre, AD Sadowska, EF Camacho y B. De Schutter, "Control predictivo del modelo Human-in-the-loop de un canal de irrigación [aplicaciones del control]", *Revista de sistemas de control IEEE*, vol. 35, núm. 4, págs. 19–29, 2015.
- [33] M. Inoue y V. Gupta, "Control "débil" para sistemas con intervención humana", *Cartas de sistemas de control del IEEE*, vol. 3, núm. 2, págs. 440–445, 2019.
- [34] JM Maestre, I. Fernández, e I. Jurado, "Una aplicación del control predictivo de modelos económicos a la gestión de inventarios en hospitales", *Práctica de ingeniería de control*, vol. 71, págs. 120 – 128, 2018.



Isabel Fernández Recibió su título de Máster en Farmacia por la Universidad de Sevilla, España. Actualmente, es la directora de farmacia del hospital San Juan de Dios en Córdoba, España, y está explorando la aplicación de métodos computacionales avanzados para la gestión de farmacias como parte de su investigación de doctorado.



Paula Chanfreut Recibió su título de Máster en Ingeniería Industrial por la Universidad de Sevilla, España, en 2019. Actualmente, es investigadora predoctoral en el marco del Programa de Formación de Profesorado Universitario (FPU) en el Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Sevilla.



Isabel Jurado Ingeniera Industrial y doctora en 2013 sobre Control de Sistemas de Redes de Comunicaciones en 2007 por la Universidad de Sevilla. Actualmente es profesora e investigadora de la Universidad Loyola Andalucía. Sus líneas de investigación incluyen sistemas de control mediante redes de comunicaciones, control robusto, control predictivo y sistemas distribuidos.



José M. Maestre Se doctoró en Automática y Robótica por la Universidad de Sevilla, donde trabaja como profesor titular. Sus principales intereses de investigación son el control de sistemas distribuidos, la integración de robots de servicio en el hogar inteligente y las aplicaciones del control a sistemas ciberfísicos.