

El estado del arte del mantenimiento de activos hospitalarios de Colombia - Breve revisión

State of the Art of Hospital Asset Maintenance in Colombia - A Review

Nelson Javier Escobar Mora
Universidad Pontificia Bolivariana
nelson.escobar@upb.edu.co

Juan Carlos Alvarado
Universidad Pontificia Bolivariana
jcalvaradoh@gmail.com

Andrés Felipe Hernández Marulanda
Universidad de San Buenaventura
andres.hernandez@usbmed.edu.co

Tipo de Artículo: Artículo de revisión

DOI: 10.21500/20275846.7511

Recibido: 2024-12-11

Revisado: 2025-02-16

Aceptado: 2025-09-05

Referenciar así: N.J. Escobar Mora et al , “El estado del arte del mantenimiento de activos hospitalarios de Colombia - Breve revisión,”*Ingenierías USBMed*, vol. 16, n.º2, pp.32 - 44, 2025.

Resumen. El mantenimiento o gestión de equipos o activos hospitalarios consiste en corregir fallas en activos de la industria de la salud, las cuales se presentan en equipos e instrumentos médicos de hospitales y laboratorios. En este estado del arte, se explican herramientas para abordar el mantenimiento de equipos hospitalarios, como: el internet de las cosas (IoT), el big data y la inteligencia artificial, entre otras. Con ellas, se busca ofrecer un servicio de mantenimiento a menor costo en instituciones de salud. Asimismo, se explica el aumento de confiabilidad del servicio, el manejo preventivo de fallas o conflictos y la orientación al cliente mediante el proceso de acercamiento de un *startup* para construir el modelo de negocio en el campo de la industria de la salud [1].

También se explican conceptos de calidad en el mantenimiento de equipos biomédicos (p. ej. gestión del mantenimiento de equipos médicos) y lo prioritario y fundamental que es dicho proceso para las comunidades. Esto, sobre todo, al garantizar que los dispositivos y activos médicos, y sus componentes, cumplan unos mínimos de calidad y seguridad. Además de permitir reducir el costo o valor que, en otras condiciones, demandarían dichos equipos. En otros apartados se abordan herramientas de evaluación integral. Allí se cubren aspectos referentes a la gestión del mantenimiento de equipos médicos en hospitales y la identificación de factores influyentes [2].

Por último, se relacionan la confiabilidad del equipo médico crítico (CME) y la efectividad de las estrategias de gestión de mantenimiento de CME, empleadas por los hospitales, con base en seis variables: (1) tipos de estrategias de gestión de mantenimiento, (2) servicios de mantenimiento, (3) práctica de mantenimiento, (4) confiabilidad del equipo médico, (5) costos de mantenimiento y (6) resultados de los pacientes. Los resultados de los pacientes proporcionan información de la eficacia de las estrategias de mantenimiento utilizadas. Se concluye que es importante informar para cada variable los resultados vinculados a los distintos tipos de estrategias y servicios de mantenimiento [3].

Marco de referencia. La prestación de servicios de salud, según la ley 1122 de 2007, requiere calidad y optimización de recursos. A esto se suma la urgencia de promover una atención que fomente la sostenibilidad financiera de las instituciones prestadoras de servicios de salud públicas. Para ello también se requiere atención en el manejo y toma de decisiones a tiempo y en la gerencia y gestión de activos. Por todo lo anterior, se convierte en un área de innovación y emprendimiento.

Resultados. La gestión, puesta a punto y calibración de equipos médicos, realizadas para asegurar el cumplimiento de las condiciones de calidad e higiene, deben llevar a preservar el activo médico. Con esto se logrará su eficiencia y precisión operativa. Dado que son equipos costosos y sofisticados, el mantenimiento se convierte en una necesidad primordial. Igual importancia tienen la calibración de activos y el control y reducción del riesgo de contaminación [4], [5].

Palabras Clave. Mantenimiento hospitalario, gestión de activos hospitalarios, condiciones de falla, lubricación en equipos hospitalarios.

Abstract. Maintenance or management of hospital equipment and assets involves correcting failures in healthcare industry assets, which occur in medical equipment and instruments from hospitals and laboratories. This state-of-the-art approach presents tools for addressing hospital equipment maintenance, such as the Internet of Things, big data and artificial intelligence, among others. These tools could contribute to provide lower-cost maintenance services to healthcare institutions. Topics such as Highly reliable service reliability, failure preventive management, and customer focused-service are explained by following the approach of a startup for building a business model in the healthcare industry (Nguyen, Thanh, & Le Tuan, 2019).

Quality concepts in biomedical equipment maintenance (medical equipment maintenance management) are explained,

along with the priorities and fundamental needs of communities, especially in terms of quality or safety and the value or cost required from their medical devices, assets, or components. Comprehensive assessment tools covering aspects of medical equipment maintenance management in hospitals are explained, along with the identification of influencing factors (Bahreini, Doshmangir, & Iman, 2018).

Critical medical equipment (CME) reliability and the effectiveness of CME maintenance management strategies used by hospitals are related, linking six variables: (1) Strategy types for maintenance management, (2) maintenance services, (3) maintenance practices, (4) medical equipment reliability, (5) maintenance costs, and (6) patient results. Patient results provide information on the effectiveness of the maintenance strategies used. For each of these variables, results should be reported in relation to the different types of maintenance strategies and services (Mkalaf, Gibson & Flanagan, 2013).

Reference framework. According to Law 1122 of 2007, the provision of healthcare services requires quality and optimization of resources. Added to this is the urgent need to promote care that fosters the financial sustainability of public healthcare providers. This also requires attention to timely management and decision-making, as well as asset management and administration. For all these reasons, it becomes an area of innovation and entrepreneurship.

Results. The management, tuning, and calibration of medical equipment, carried out to ensure compliance with quality and hygiene conditions, must lead to the preservation of medical assets. This will achieve operational efficiency and accuracy. Given that this equipment is expensive and sophisticated, maintenance becomes a primary necessity. Equally important are the calibration of assets and the control and reduction of the risk of contamination [4], [5].

Keywords. Hospital maintenance, hospital asset management, failure conditions, lubrication in hospital equipment.

I. Introducción

El mantenimiento de los equipos médicos es un proceso primordial, ya que permite preservar el activo y garantizar su eficiencia y precisión operativa. Los equipos o activos de atención médica son costosos y sofisticados, por lo que el mantenimiento es prioritario y urgente, además de que permite la calibración y el control del riesgo de contaminación. Estos factores, y la creciente demanda de equipos de atención médica

tecnológicamente avanzados, han impulsado el crecimiento del mercado mundial del mantenimiento de activos para la atención médica. Su mercado global crece desde el 2020 y se estima que seguirá así hasta el 2030, año en el que se estima que alcance una valoración de \$ 60.000 millones de dólares.

Todo ello radica en la mayor conciencia sobre el mantenimiento preventivo de equipos médicos, el aumento de la financiación en productos innovadores y el aumento en la venta de equipos médicos reacondicionados. La creciente conciencia sobre la seguridad y la creciente demanda de equipos médicos son factores clave que impulsarán el mercado mundial del mantenimiento de equipos médicos durante la próxima década. Sin embargo, existen limitantes para el crecimiento de este mercado, como el costo inicial del activo y el alto valor de sus gastos esenciales [4], [5].

Es prioritario garantizar una relación directa entre la confiabilidad del equipo médico (CME) y la efectividad de las estrategias de gestión de mantenimiento, en la que el enfoque central deben ser los resultados de los pacientes. Para ello, es fundamental evaluar mediante auditorías la eficacia de estas estrategias en hospitales y otras instituciones de salud con base en seis variables clave: (1) los tipos de estrategias de gestión de mantenimiento implementadas, (2) los servicios de mantenimiento disponibles (interno/externo, preventivo/correctivo), (3) las prácticas de mantenimiento aplicadas (frecuencia, protocolos, documentación), (4) la confiabilidad del equipo médico (tiempo entre fallas, disponibilidad), (5) los costos de mantenimiento (inversión vs. beneficio operativo) y (6) los resultados de los pacientes (indicadores clínicos que reflejan la eficacia del mantenimiento). Estas variables permiten medir el impacto real de las estrategias de mantenimiento, a la vez que contribuyen tanto a la operatividad del CME como a la calidad de la atención médica. Como ejemplo, hay una probabilidad de 1 en 10.000 de falla en el equipo de anestesia, lo que supone un número específico de situaciones de mantenimiento (hallazgo de la subcontratación del mantenimiento). Para cada una de las variables enumeradas (ver Figura 1: Elementos orientados al ser humano), se requiere informar de los resultados en relación con los distintos tipos de estrategias y servicios de mantenimiento [3].

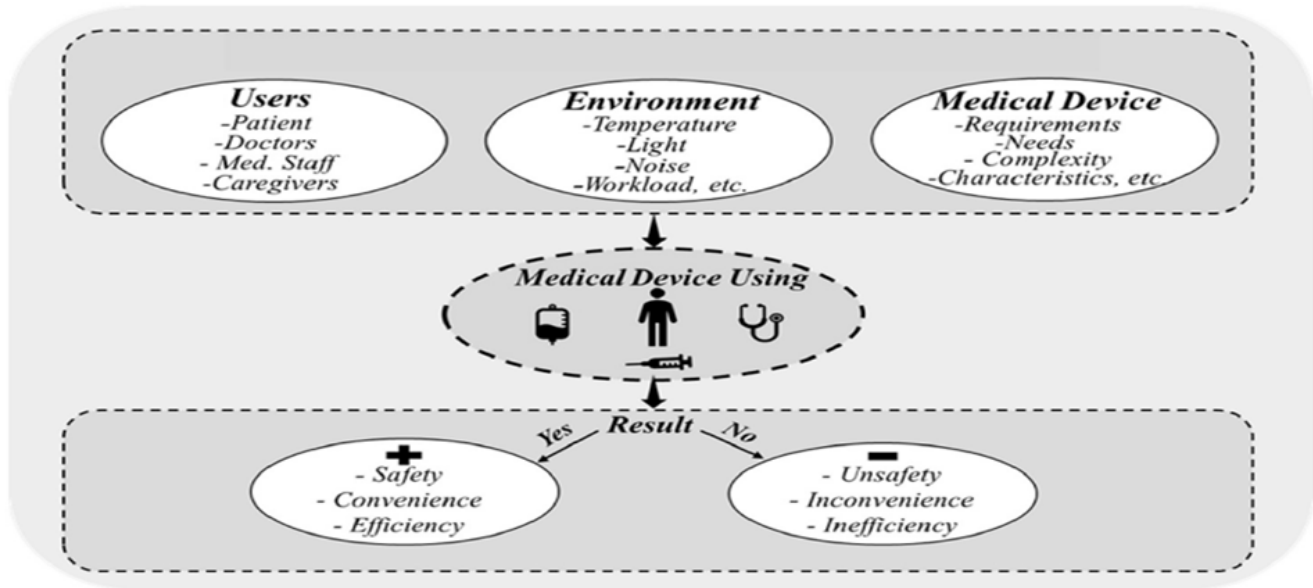


Figura 1. Elementos orientados al ser humano [6]

El mantenimiento de activos biomédicos y demás insumos de la industria de la salud es de gran importancia en todo país, puesto que influye en la calidad del bienestar social de la población. Además, con el crecimiento económico y la atención médica, generan y validan la calidad de vida de los usuarios. Las organizaciones de atención médica (HCO) operan en entornos de alta exigencia donde las fallas en el servicio son inaceptables. Un ejemplo ilustrativo es el caso del Grupo de Correos y Telecomunicaciones de Vietnam en Ciudad Ho Chi Minh, en donde se atienden aproximadamente 40 millones de pacientes —entre el 40 % y 65 % procedentes de otras provincias—. Allí, la carga laboral alcanza los 90 pacientes por médico y los tiempos de espera promedian los treinta minutos. Este contexto subraya la importancia crítica de implementar mecanismos efectivos para garantizar los niveles de calidad deseada y minimizar los fallos operativos, particularmente en el sector salud. Estudios previos demuestran que la confiabilidad en el desempeño institucional impacta directamente en la satisfacción y fidelización de los pacientes, lo que refuerza la necesidad de sistemas sólidos de gestión de calidad [1].

En Colombia, el decreto 1769 de 1994 reglamenta los componentes y criterios básicos para la asignación y uso de los recursos financieros en el mantenimiento. Dicho decreto define que el 5 % del presupuesto total de un hospital debe destinarse al mantenimiento de

infraestructura y equipamiento si la institución es un hospital público. Si se trata de un hospital privado, el valor de los contratos con la nación con entidades del Estado representa más del 30 % de sus ingresos totales.

De igual forma, en la industria se encontró un alto número de empresas que conocen el costo de mantenimiento. Sin embargo, no se tiene un conocimiento total del costo de mantenimiento de los costos de actividades detalladas como mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento sistemático, mano de obra, repuestos y proveedores de terceros. Además, las industrias no saben cuáles son los posibles métodos para reducir el valor del mantenimiento ni para designar un presupuesto.

Desde el punto de vista administrativo, se percibe — con acierto en algunos casos y de manera errada en otros — que el mantenimiento absorbe grandes sumas de dinero. Sin embargo, una fracción importante de este gasto puede reducirse significativamente (ver Figura 2: Equipos de rigurosa gestión). No obstante, con la adecuada gestión del mantenimiento, el costo puede ayudar a las empresas a ver la frontera entre ser competitivas o estar en quiebra. Se comprobó que algunas entidades de salud cuentan con equipos anacrónicos y que otras han innovado en equipos de moderna tecnología y sin prepararse en nuevos conocimientos y procesos [7].



Figura 2. Equipos de rigurosa gestión [8]

II. Los equipos hospitalarios

Las tecnologías sanitarias son de suma importancia en el funcionamiento diario del sistema de salud. Hoy en día, con el avance continuo de las tecnologías de la salud, se utilizan diferentes tipos de dispositivos y equipos en la configuración de la atención médica para la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, así como para la rehabilitación del paciente. La demanda de equipos médicos y sus costos aumentan día a día [9].

El CME es vital en los hospitales para el resultado de pacientes y la disponibilidad del servicio. La gestión hospitalaria se beneficia de la ingeniería del mantenimiento de equipos biomédicos, que permite optimizar las estrategias de mantenimiento, aumentar la disponibilidad de activos y disminuir los tiempos de paradas no programadas. Se clasifican según la misión que cumplen en: crítico, importante o necesario. También se evalúan según el riesgo de falta de disponibilidad, como: alto, medio o bajo. El CME de los hospitales se clasifica en: biomédico, laboratorio, sala, servicio de apoyo, utilidades y mobiliario hospitalario. Por ello, es necesario el estudio de estrategias de mantenimiento de seis de los catorce elementos biomédicos de alto riesgo crítico como son: diálisis renal, anestesia, desfibriladores, ventiladores, bombas de infusión y máquinas de electrocardiógrafo (ECG). Según el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), se

clasifican estos activos en: biomédico, laboratorio, sala, servicios de apoyo, utilidades y mobiliario hospitalario. De acuerdo con lo establecido en [3], el RCM aplica estrategias específicas para seis de los catorce elementos biomédicos considerados de alto riesgo crítico: equipos de diálisis renal, máquinas de anestesia, desfibriladores, ventiladores mecánicos, bombas de infusión y electrocardiógrafos (ECG). En el RCM se priorizan estos sistemas por su impacto directo en la seguridad del paciente y los potenciales riesgos clínicos asociados a su mal funcionamiento.

El modelo de costeo de activos está basado en actividades que se consideran en el ciclo de vida de los activos físicos, en particular, los costos logísticos de los repuestos no reparables. Según el comportamiento de la tasa de fallas de activos biomédicos en su ciclo de vida, y con base en Weibull, es necesaria una demanda y cálculos más preciso de los costos logísticos asociados con los diferentes tipos de repuestos. Con Weibull se evalúan políticas de inventario y parámetros que aseguren eficiencia a largo plazo y permitan la toma de decisiones y la evaluación de los efectos de tasas de falla de aquellos repuestos críticos (ver Figura 3: Curva de bañera de un activo físico). Evaluando modelos como herramientas para administrar inventarios de repuestos críticos no reparables, en la gestión de mantenimiento, en la administración de inventarios de repuestos críticos no reparables [10].

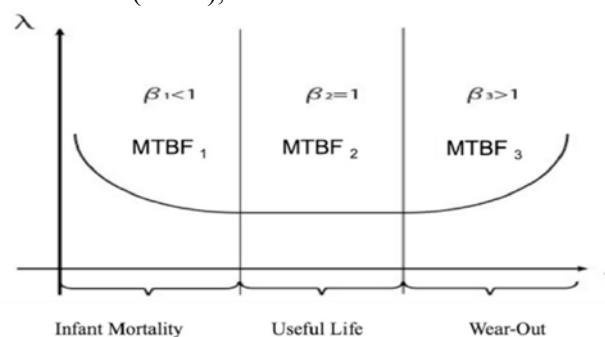


Figura 3. Curva de bañera de un activo físico [10]



Es importante un modelo de decisión de costos basados en actividades que considere el ciclo de vida de los activos físicos, en particular, los costos logísticos de los repuestos no reparables. El modelo de Weibull ofrece una representación más realista de la tasa de fallas de los activos hospitalarios a lo largo de su ciclo de vida. Esto permite estimar con mayor precisión tanto la demanda de repuestos como los costos logísticos asociados. A partir

de este análisis, se evalúan distintas políticas de inventario (junto con sus parámetros) con el fin de establecer estrategias eficientes para la gestión de repuestos a largo plazo (ver Figura 4: Diagrama del proceso de búsqueda). Además, se utiliza como una herramienta de optimización para apoyar el diseño de políticas logísticas, es decir, todo lo referente a stock y niveles de servicio y costos [10].

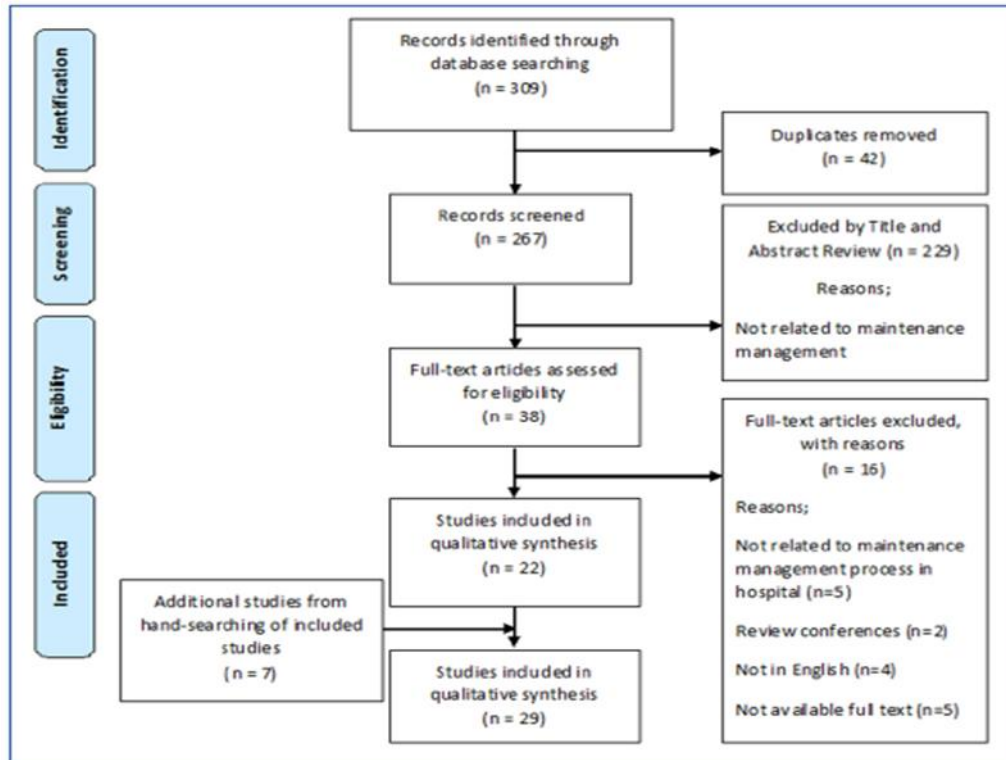


Figura 4. Diagrama del proceso de búsqueda [2]

III. El mercado

El tamaño del mercado mundial de mantenimiento de activos médicos se valoró en USD 35.300 millones en 2020, con una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR, por sus siglas en inglés) del 7.9 % entre 2021 y 2027. Se prevé que habrá enfermedades que llevarán a tasas de diagnóstico más altas, con creciente demanda de equipos médicos. Esto incrementará la necesidad de un mantenimiento eficiente en activos hospitalarios críticos, tales como bombas de jeringa, electrocardiógrafos, unidades de rayos X, centrífugas, ventiladores, equipos de ultrasonido y autoclaves. Estos dispositivos, fundamentales para el diagnóstico, tratamiento, análisis e incluso la formación médica, son altamente sofisticados, costosos y requieren un mantenimiento riguroso.

En dicho mantenimiento, se deberá garantizar: un funcionamiento preciso y libre de errores; la calibración

adecuada y la minimización de riesgos de contaminación, y la existencia de personal especializado en soporte técnico y gestión remota de dispositivos. En últimas, una gestión óptima de estos activos no solo asegura su operatividad, sino que también respalda la toma de decisiones estratégicas en el ámbito hospitalario (ver Tabla 1: Mercado de mantenimiento de equipos médicos [11]).

Según la encuesta de la Oficina de Referencia de Población, realizada en 2019, existen más de 52 millones de personas en los EE. UU. mayores de 65 años, con una previsión de 61 millones para 2027. Esto demuestra la existencia de una población geriátrica con mayor exposición a enfermedades crónicas: diabetes, cáncer y trastornos crónicos como consecuencia de estilos de vida poco saludables. Por ello, los hospitales y las instalaciones de atención médica deben invertir significativamente en los ingresos por mantenimiento de equipos médicos [10].

Tabla 1. Mercado de mantenimiento de equipos médicos [11]

Atributo de informe	Detalles
Valor del tamaño del mercado en 2021	USD 39 mil millones
Tasa de crecimiento	CAGR de 7.9 % de 2021 a 2027
Año base para la estimación	2020
Información histórica	2016 - 2019
Período de pronóstico	2021 - 2027
Unidades cuantitativas	Ingresos en USD millones/billones y CAGR de 2021 a 2027
Informe de cobertura	Pronóstico de ingresos, ranking de empresas, panorama competitivo, factores de crecimiento y tendencias
Segmentos cubiertos	Equipo, servicio, región
Ámbito regional	Norteamérica, Europa, Asia Pacífico, América Latina, MEA
Ámbito del país	Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Alemania, Francia, Italia, España, Dinamarca, India, Japón, Australia, Corea del Sur, Brasil, México, Argentina, Sudáfrica, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos
Empresas clave perfiladas	Atención médica de GE, Siemens Healthineers, Koninklijke Philips NV, Drägerwerk AG & Co. KGaA, Medtronic, B. Braun Melsungen AG, Aramark, BC Técnico, Inc., Grupo Médico de la Alianza, Grupo Althea
Ámbito de personalización	Personalización gratuita de informes (equivalente a hasta 8 días laborables de analistas) con la compra. Adición o alteración del alcance del país y del segmento
Precios y opciones de compra	Aproveche las opciones de compra personalizadas para satisfacer sus necesidades de investigación exactas. Explore opciones de compra

Se estima que el mercado de mantenimiento de equipos médicos alcance los 74.200 millones de USD en 2026 desde los 45.200 millones de USD en 2021, a un crecimiento del 10.4 % para este período. Los programas de mantenimiento para dispositivos médicos permiten a los proveedores de atención médica rastrear y monitorear su condición, lo que garantiza un uso eficiente en el máximo tiempo de actividad.

Con el enfoque actual en el mantenimiento preventivo y las presiones de los costos, destinados a controlar el gasto total en un contexto de medidas de austeridad, se ha incluido en los programas un despliegue de soluciones

de gestión de activos, las cuales utilizan tecnologías avanzadas (ver Figura 5: Mercado de mantenimiento). Estas soluciones generan altos costos iniciales de instalación y un importante gasto de mantenimiento, a la vez que la instalación de equipos médicos avanzados genera un costo anual de contrato de servicio (~12 % del costo del equipo médico). El costo del servicio, pagado durante la vida útil del equipo, suele ser mayor que el costo del equipo. Por ende, el alto costo asociado con la compra y el mantenimiento de equipos médicos avanzados impide que los usuarios finales los adopten [4], [5].

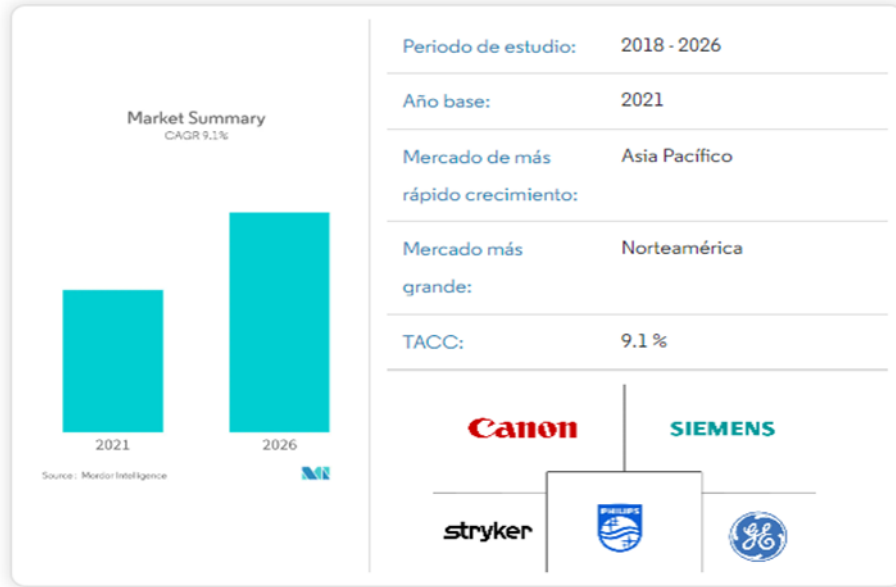


Figura 5. Mercado de mantenimiento [4]; [5]

El mantenimiento preventivo impulsa el mercado, ya que extiende la vida útil de los activos médicos utilizados en la atención sanitaria. A ello, se suman los rápidos avances tecnológicos en activos médicos y la necesidad de capacitación y mantenimiento, que condicionan el incremento del mercado. También se suma el aumento de compras de activos médicos reacondicionados para reducir los costos en hospitales y demás espacios de atención médica. Con las innovaciones en el sector de servicios de salud, por ejemplo, la prestación de servicios a través de dispositivos como el internet de las cosas (IoT) y la orientación remota, se mejora la demanda de mantenimiento de equipos médicos.

Según un informe publicado por el Population Reference Bureau en 2019, alrededor de 52 millones de personas en los Estados Unidos tienen 65 años o más. Se

estima que este número alcance los 61 millones para 2027, por lo que existirá una población considerable de adultos mayores con un alto grado de exposición a enfermedades crónicas (cáncer, diabetes y trastornos crónicos según estilo de vida). En consecuencia, las instalaciones de atención médica y hospitales deben contribuir al ingreso por mantenimiento de activos médicos (ver Figura 6: Clasificación de entidades hospitalarias). Como limitante a tal iniciativa, se encuentran el alto costo del mantenimiento de equipos médicos y la falta de profesionales calificados, por lo que se espera que no frenen el crecimiento del mercado. También influyen las estrictas políticas regulatorias en muchos países alrededor del mundo, que han exigido el mantenimiento de equipos médicos como un requisito obligatorio para los usuarios finales [4], [5].



Figura 6. Clasificación de entidades hospitalarias [7]

En el caso de los parques industriales y científicos, los campus universitarios y los complejos turísticos, surgen en gran medida en los países en desarrollo. El mantenimiento de estos activos del área de la salud presenta dos características: 1) necesita una repetición y actualización periódicas porque los reemplazos de equipos, los cambios en sus condiciones y las renovaciones de las instalaciones a menudo ocurren durante la fase de operación; 2) los datos de mantenimiento acumulados en estas áreas son lo suficientemente grandes como para ser utilizados para la toma de decisiones. En el mantenimiento de equipos, se utilizan enfoques de toma de decisiones sin considerar estas condiciones, únicamente con base en datos para la toma de decisiones sobre el mantenimiento de ellos. Para ello se emplean el RCM, el modelado de información de construcción (BIM) y el sistema de información geográfica (GIS). Mediante modelos cuantitativos para la toma de decisiones y la simulación Monte Carlo, se propone un proceso de RCM basado en datos. Para respaldar este enfoque, se integran sistemas de Building BIM y GIS, que facilitan la adquisición y actualización de datos críticos para el RCM. Esto permite la reducción de costos de mano de obra y una mayor agilidad en la toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento. Por su parte, la implementación de tecnologías IoT

optimizará la recopilación de datos y mejorará la eficiencia y precisión en la gestión predictiva y la toma de decisiones [12].

IV. Importancia del mantenimiento de equipos hospitalarios

Para el sistema de gestión de equipos médicos (MEMS), se utilizan el inventario de equipos, un sistema de órdenes de trabajo, los programas/procedimientos de mantenimiento preventivo, la gestión de contratos de subcontratación y todos los registros del historial de servicios. Actualmente, la ingeniería clínica y biomédica (CE/BME) es responsable de la gestión de activos sanitarios y la evaluación de tecnologías sanitarias, la seguridad del personal clínico, la reparación y el mantenimiento y la gestión de riesgos y seguridad. También es el área encargada de la monitorización del contraste y la mejora de la calidad de los sistemas de gestión de mantenimiento computarizados (CMMS). Estos son recursos de información prioritarios en los sistemas de atención médica, ya que permiten rastrear los equipo y mantener registros precisos de inventario y datos de cada uno de ellos (ver Tabla 2: Cuestionario [2]).

Tabla 2. Cuestionario [2]

Componente	Factores
Mano de obra	Capacitación de mano de obra, cómo usar el equipo correctamente, cómo hacer coincidir la cantidad de equipos con la cantidad de pacientes y el compromiso con el dispositivo.
Espacio físico	Ubicación de almacenamiento del equipo, distribución del equipo, carros adecuados para el transporte del equipo, existencia de instalaciones físicas e infraestructura adecuadas, mantenimiento y limpieza del dispositivo.



Administración	Gestión de suministro o compra, gestión de precios, gestión de distribución de recursos y pasivos y gestión de productores.
Equipo	Equipo de alta precisión (calibrado), equipo estándar.
Instrucciones	Tipos de instrucciones y protocolos, método de notificación, hora de notificación, autoridad notificante y unidad de instrucciones.
Tecnologías de la información	Sistemas integrados de comunicación, sistema de registro de equipos en línea, información.

La prestación de servicios de calidad en centros de salud depende directamente de que los activos médicos mantengan condiciones óptimas de confiabilidad y seguridad. Sin embargo, la gran cantidad y diversidad de estos equipos representa un desafío estratégico para la gestión hospitalaria al establecer prioridades de mantenimiento. Para optimizar este proceso, es esencial implementar un sistema de priorización basado en puntajes de criticidad. Este enfoque metodológico permite maximizar la disponibilidad de los equipos críticos mientras se controlan los costos operativos, lo que permite equilibrar las necesidades asistenciales con la sostenibilidad financiera de la institución. Dichos puntajes de criticidad se plantean con base en la evaluación de criterios, subcriterios y calificación. Para hacerlo, se utiliza el método de proceso de jerarquía analítica (AHP). Los dispositivos con mayor peso crítico

tienen mayor prioridad para el mantenimiento respecto a otros con menor peso crítico.

Para describir cómo priorizar el mantenimiento de los dispositivos médicos, se utiliza un modelo de toma de decisiones de criterios múltiples, a través del cual se priorizan los activos médicos, se definen las pautas para elegir la estrategia de mantenimiento adecuada y se implementa el método de AHP. Este último ha sido implementado en diversas industrias y la calidad son evidentes en la determinación de la prioridad de selección que incluye la evaluación de los expertos tanto en los criterios propuestos (ver Tabla 3: Intensidad o grado de complejidad). Es importante, para tomar decisiones referentes al mantenimiento, determinar los criterios de activos médicos y los puntajes de criticidad de cada uno según la escala de prioridad [13].

Tabla 3. Intensidad o grado de complejidad [13]

Grado	Descripción	Intensidad
Alto	Equipo que en su mayoría es mecánico, neumático, fluido y necesita mantenimiento especial.	1
Medio	Equipo que se considera que requiere un mantenimiento medio y solo necesita probar el rendimiento de la herramienta	0.05
Bajo	Equipo que solo requiere inspección visual. Comprobaciones básicas y seguridad mínima	0.015

La industria de la salud se considera una de las más grandes del mundo, ya que cuenta con gran cantidad de gastos en la economía de los países y con suministros de activos o equipos médicos, productos farmacéuticos, servicios de salud y biotecnología. Los activos médicos influyen directamente en vidas humanas y, por ello, requieren de grandes y cuantiosas inversiones y costos altos en mantenimiento. De ahí la necesidad de planificar y administrar programas y protocolos de mantenimiento. Así se preservarán los activos médicos en un estado confiable, seguro y accesible para utilizar en cualquier situación o procedimiento de diagnóstico, terapia o seguimiento a los pacientes. En últimas, un

mantenimiento adecuado permite prolongar la vida útil del activo y reducir posibles inversiones futuras.

Por su parte, el programa de mantenimiento a hospitales e instituciones de salud les permite acreditar, apoyar y ayudar al departamento de ingeniería clínica (CE). Además, gracias al programa de gestión de mantenimiento efectivo, se logran priorizar los activos médicos según riesgo, rendimiento y costo. Por eso es importante el personal de ingeniería clínica, pues son ellos quienes establecen la frecuencia apropiada de inspección y mantenimiento preventivo (ver Tabla 4: Criterios y subcriterios [14]).

Tabla 4. Criterios y subcriterios [14]

No.	Criterios	Subcriterios	Fuentes
1	Grado de complejidad del mantenimiento (A)		Directrices para la Gestión de activos de Salud 2015.
2	Función (B)		

3	Riesgo (C)	Detectabilidad (C1)	Taghipour et al. (2017)
		Frecuencia (C2)	Taghipour et al. (2017)
		Tiempo de inactividad (C3)	Taghipour et al. (2017)
		Seguridad / Seguridad (C4)	Taghipour et al. (2011)
		Costos de reparación (C5)	La política del hospital oftalmológico
4	Grado de importancia de la misión (D)	Tasa de utilización (D1)	Taghipour et al. (2011)
5	Edad (E)	Disponibilidad de la alternativa (D2)	Taghipour et al. (2011)
6	Errores de recuperación y de usuario (F)		Directrices para la gestión de activos de salud (2015)
7	Clase de equipo médico (G)		Directrices para la clasificación de dispositivos de salud del Ministerio de Salud de Indonesia 2016.

V. El funcionamiento de los equipos hospitalarios

Dentro de los equipos, dispositivos y activos médicos se consideran aquellos aparatos, máquinas, equipos de implantes, entre otros, que no contienen elementos de medicamentos y se utilizan para prevenir, diagnosticar, curar y aliviar enfermedades. Estos se emplean en el tratamiento de los pacientes enfermos y permiten restaurar su bienestar en términos de salud (ya que forman estructuras y reparan el funcionamiento del cuerpo). Los activos médicos constan de tres tipos: dispositivos electromédicos, no electromédicos y de diagnóstico *in vitro*. Los activos médicos forman parte del equipo multidisciplinario de salud, integrado por médicos, enfermeras, auxiliares de enfermería, especialistas y los propios activos. En conjunto, dicho equipo es el encargado de realizar terapias, rehabilitación y cirugías (sea de forma directa o indirecta). Los activos médicos abarcan instrumentos, equipos, máquinas e implantes (sin contar los productos farmacéuticos), diseñados para prevenir, diagnosticar, tratar y aliviar enfermedades, así como facilitar la recuperación y rehabilitación de los pacientes. La calidad de los servicios de salud depende, en gran medida, de que estos dispositivos operen de manera confiable y segura (ver Tabla 5: Intensidad de frecuencia de falla [15]).

Actualmente, se presentan problemas significativos con los sistemas de notificación de incidentes locales y nacionales. Estos incluyen miedo a la acción punitiva, mala cultura de seguridad en una organización, falta de comprensión entre los médicos sobre lo que se debe

informar, falta de conocimiento respecto a cómo se analizarán los incidentes informados y cómo los informes conducirán, en última instancia, a cambios que mejorarán la atención de los pacientes y su seguridad. En particular, la falta de un análisis sistemático de informes y la retroalimentación directa a los médicos se consideran las principales barreras para el compromiso clínico. Se requiere implementar una metodología sistemática y robusta para el análisis de incidentes, cuyos fundamentos sean el modelo de factores humanos y el paradigma de aprendizaje organizacional. Este enfoque propone superar la perspectiva judicial tradicional al identificar y comprender los “errores latentes” que, dentro de una cadena de eventos, pueden contribuir a la materialización de fallas en los activos médicos. La metodología debe enfocarse más en el aprendizaje continuo y la mejora de procesos que en la asignación de culpas individuales. Con ello, se podrán realizar intervenciones preventivas de mayor efectividad en la gestión de activos hospitalarios. Con una retroalimentación directa a médicos, se logrará mantenerlos al tanto de su compromiso, aunque esta debe enfocarse en diferentes niveles de análisis. Además de información de alto nivel sobre los tipos de incidentes, la retroalimentación debe incorporar los resultados de los análisis de factores activos y latentes (ver Figura 7: Diagrama de lluvia de ideas.). Finalmente, se debe informar qué acciones y en qué nivel/etapa se ha brindado respuesta a los incidentes reportados (ver Figura 7). Para ello, se requerirá que los sistemas locales y nacionales trabajen en estrecha cooperación, de modo que se puedan aprender lecciones y tomar medidas al interior de las organizaciones y entre ellas (interorganizacional) [14].

Tabla 5. Intensidad de frecuencia de falla [12]

Grado	Descripción	Intensidad
A menudo	A menudo (varios eventos en 1 año)	1
Algunas veces	A veces (algunos eventos en 1 a 2 años)	0.384
Poco frecuentemente	Raramente (un evento en 2 a 5 años)	0.130
Casi no	Casi nunca (un incidente en 5 - 20 años)	0.057



Figura 7. Diagrama de lluvia de ideas [16]

La gestión de activos hospitalarios, relacionada con el control de operaciones en el departamento de mantenimiento del centro hospitalario, se lleva a cabo a través de auditorías de gestión y su implementación. El desempeño de la función de mantenimiento y la realización de auditorías demuestran que la gestión más delicada es el recurso humano. Para solucionarlo, se utilizan herramientas de seguimiento, como el diagrama de Ishikawa y el *brainstorming*. Con ellas, se halló que

los problemas tecnológicos, como la disponibilidad de activos, suelen estar asociados a la escasez de recursos; sin embargo, su causa raíz es una mala gestión por parte del personal encargado de esta actividad en los departamentos de mantenimiento (ver Figura 8: Diagrama Ishikawa). Aplicando el método de Ishikawa, se evidenció que el componente más crítico en los resultados de una auditoría de gestión es el recurso humano [16].

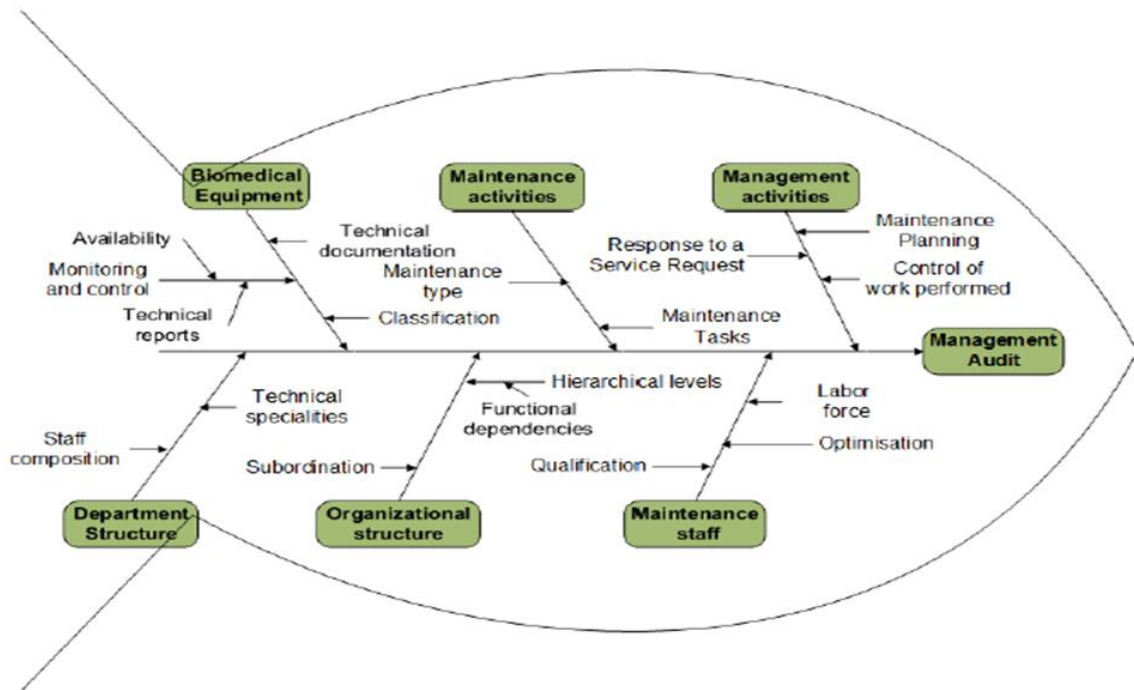


Figura 8. Diagrama Ishikawa [16]

VI. Discusión



La atención a pacientes afectados por diferentes enfermedades y su rápida recuperación están directamente relacionadas con el mantenimiento de activos hospitalarios y, por ende, con la eficacia, efectividad y eficiencia de la forma en la que se realiza este mantenimiento.

Según se plantea [17], por su característica como organización y el servicio que aportan a la salud en el mantenimiento y la promoción de la salud pública, los hospitales requieren una gran cantidad sus recursos. Esto implica la necesidad de una gestión óptima en asuntos hospitalarios y de la formación de gestores eficientes. Por tanto, la eficiencia y la eficacia de los hospitales dependen de la gestión y uso adecuado de sus recursos. En consecuencia, sus gerentes, a través de funciones de gestión, deben realizar: planificar, organizar y dirigir, en donde ellos necesitan varias competencias para realizar estas funciones de manera eficiente y eficaz; o sea conjunto de conocimientos, habilidades, comportamientos y actitudes que se utilizan de manera efectiva en diversos puestos gerenciales. La gestión eficaz de los hospitales puede conducir al desarrollo de cultura organizacional, al empoderamiento y a mejoras en el desempeño del personal, en la calidad y seguridad de los servicios y en la promoción de la eficiencia y eficacia de los hospitales. Una gestión eficaz de los procesos conducirá a una mejor gestión del hospital y de sus recursos y personal.

Los programas de mantenimiento o gestión de activos hospitalarios deben seguir unos estándares que permitan cumplir con normas de calidad, trazabilidad, eficacia, eficiencia e higiene al prestar servicio. La calidad de vida y la recuperación de los pacientes dependen del buen estado y correcto funcionamiento de todos los dispositivos e insumos hospitalarios. Por ello, es necesario el apoyo en criterios ingenieriles, como lo son el caso de la curva de la bañera, el diagrama causa/efecto, la lluvia de ideas, los diagramas de Pareto, entre otros.

Según plantean [18], “los resultados de las pruebas de usabilidad confirman que los datos de mantenimiento de equipos médicos pueden usarse para identificar dispositivos que contienen fallas de diseño latentes relacionadas con la usabilidad”. Por lo tanto, es necesario:

- Garantizar que los principios de factores humanos se consideren dentro del proceso de adquisición de equipos (adquirir dispositivos que sean intuitivos de usar y que se integren fácilmente en el flujo de trabajo actual de los usuarios, los cuales deberían reducir los errores de uso del dispositivo y, por extensión, la frecuencia de informes).

- Analizar los datos de mantenimiento de equipos médicos para dispositivos asociados con una alta tasa de informes de fallas (con el fin de ahorrar recursos, se recomienda que las organizaciones analicen los datos de mantenimiento de equipos médicos e identifiquen los dispositivos implicados para una investigación detallada de las fallas).
- Validar los resultados del análisis de la base de datos, las condiciones de funcionamiento y los reportes de mantenimiento.
- Realizar evaluaciones heurísticas de dispositivos asociados con tasas altas de fallas para determinar la causa más probable del reporte de falla.
- Con los recursos disponibles, se deben realizar pruebas que permitan validar los datos y resultados recogidos.
- Es importante que la capacitación del manejo de equipos y dispositivos cubra las funciones asociadas con los informes de análisis de fallas.
- Es importante y necesario que los procesos de reinducción estén direccionados hacia la capacitación permanente de los usuarios activos.
- Realizar procesos de retroalimentación al fabricante para informar del diseño de futuras versiones de los dispositivos, según necesidades o requerimientos propios.

VII. Conclusiones

Los conceptos de mantenimiento son de vital importancia, sobre todo cuando se trata de equipos y, en general, activos hospitalarios. Como todo activo, los equipos hospitalarios deben estar enmarcados en un programa de mantenimiento basado en lineamientos de TPM o RCM. En últimas, la razón de ser es la salud, que debe atenderse con alta calidad y con controles de higiene de tolerancia cero.

La gestión de activos hospitalarios debe ser abordada por profesionales capacitados y comprometidos, ya que constituye un campo con potencial para impulsar empresas especializadas y modelos de negocio innovadores. Este enfoque debe alinearse con los principios establecidos en la ley 1122 de 2007 (calidad en la atención, optimización de recursos y sostenibilidad financiera), la cual es la base para la administración estratégica de estos activos. Por estas características, el sector se posiciona como un área propicia para la innovación y el emprendimiento en el ámbito de la salud.

Referencias



- [1] M. N. D. Tuan, N. N. Thanh, y L. L. Tuan, "Applying a mindfulness-based reliability strategy to the Internet of Things in healthcare - A business model in the Vietnamese market," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 140, págs. 54-68, 2019, doi: 10.1016/j.techfore.2018.10.024.
- [2] R. Bahreini, L. Doshmangir y A. Imani, "Affecting medical equipment maintenance management: A systematic review," *J. Clin. Diagn. Res.*, vol. 12, no. 4, 2018, doi: 10.7860/JCDR/2018/31646.11375.
- [3] K. A. Mkalaf, P. Gibson, y J. Flanagan, "A Study of Current Maintenance Strategies and the Reliability of Critical Medical Equipment in Hospitals in Relation to Patient Outcomes," en *International Conference of the Management Engineering*, vol. 7, no. 10, 2015, págs. 77-84. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317970858_A_Study_of_Current_Maintenance_Strategies_and_the_Reliability_of_Critical_Medical_Equipment_in_Hospitals_in_Relation_to_Patient_Outcomes.
- [4] Medical Equipment Maintenance Market, *Markets and Markets*. Obtenido de Medical Equipment Maintenance Market, 2021: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/medical-equipment-maintenance-market-69695102.html?gclid=EAIaIqobChMIImfSF-St9wIVAAaGzCh0LLA0aEAAAYASAAEgKKEvD_BwE.
- [5] Medical Equipment Maintenance Market, *Medical Equipment Maintenance Market: About the Report*. Obtenido de Medical Equipment Maintenance Market, 2021: <https://www.factmr.com/report/5401/medical-equipment-maintenance-market>.
- [6] O. V. Bitkina, H. K. Kim, y J. Park, "Usability and user experience of medical devices: An overview of the current state, analysis methodologies y future challenges," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 76, 2020, doi: 10.1016/j.ergon.2020.102932.
- [7] M. E. Andrade, J. G. Barreneche, y M. Trujillo, "Maintenance Cost Control Model of Clinical Engineering Departments in Colombia Healthcare Centers," *Rev. Ing. Bioméd.*, vol. 9, no.18, págs. 27-32, 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622015000200005&lang=pt.
- [8] Valuekeep. "FASTER. INTELLIGENT. INNOVATIVE. MAINTENANCE SOFTWARE,". [En línea]. Disponible en: <https://valuekeep.com/>.
- [9] S. De Alwis y P. Koggalage, "A Project to Improve Management of Biomedical Equipment in Selected Units of District General Hospital, Gampaha, Sri Lanka," *Int. J. Res. Found. Hosp. Healthc. Adm.*, vol. 7, no. 2, págs. 67-74, 2020, doi: 10.5005/jp-journals-10035-1109.
- [10] O. Duran y P. S. L. P. Afonso, "An activity based costing decision model for life cycle economic assessment in spare parts logistic management," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 222, 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.09.020.
- [11] Grand View Research, "Medical Equipment Maintenance Market - Industry Report, 2030." [En línea]. Disponible en: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/medical-equipment-maintenance-market>
- [12] Z. Ma, Y. Ren, X. Xiang, y Z. Turk, "Data-driven decision-making for equipment maintenance," *Autom. Constr.*, vol. 112, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103103.
- [13] A. O. Hutagalung y S. Hasibuan, "Determining the priority of medical equipment maintenance with analytical hierarchy process," *Int. J. Online Biomed. Eng.*, vol. 15, no. 10, págs. 107-120, 2019, doi: 10.3991/ijoe.v15i10.10920.
- [14] M. A. Abdelhakim y A. A. Sharawi, "Development of a Decision Support Model for Establishment a Medical Equipment Maintenance Program," *IJSER.*, vol. 11, no. 11, págs. 27-35, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.ijser.org>.
- [15] R. P. Mahajan, "Critical incident reporting and learning," *Br. J. Anaesth.*, vol. 105, no. 1, págs. 69-75, 2010, doi: 10.1093/bja/aeq133.
- [16] M. Herrera y E. Martínez, "Management audit applied to the maintenance department in hospital facilities," *Ingeniería Mecánica*, vol. 20, no. 3, págs. 152-159, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v20n3/im07317.pdf>.
- [17] P. Bastani, M. Mohammadpour, J. Bahmaei, R. Ravangard, y G. Mehralian, "Hospital management by health services management graduates: the change paradigm in Iran," *Heliyon*, vol. 7, no. 11, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08414.
- [18] C. J. Flewwelling, A. C. Easty, K. J. Vicente, y J. A. Cafazzo, "The use of fault reporting of medical equipment to identify latent design flaws," *J. Biomed. Inform.*, vol. 51, págs. 80-85, 2014, doi: 10.1016/j.jbi.2014.04.009.
- Z. Ben Houria, M. Masmoudi, A. Al Hanbali, I. Khatrouch, y F. Masmoudi, "Quantitative techniques for medical equipment maintenance management," *European Journal of Industrial Engineering*, vol. 10, no. 6, págs. 703-723, 2016, doi: 10.1504/EJIE.2016.081017.
- A. Fotovatfard y G. Heravi, "Identifying key performance indicators for healthcare facilities maintenance," *Journal of Building Engineering*, vol. 42, 2021, doi: 10.1016/j.job.2021.102838.
- M. H. Galán, E. Adan, y M. Gómez, "A Review of Maintenance Management Models: Application For The Clinic And Hospital Environment," *The International Journal of Engineering and Science*, vol. 7, no. 9, págs. 1-17, 2018, doi: 10.9790/1813-0709040117.
- V. Hodadadi, A. Bakrani, y M. H. Vafaie, "Factors Affecting Medical Equipment Management in the COVID-19 Pandemic Crisis: A Mixed Qualitative and Quantitative Study," *Hospital Practices and Research*, vol. 6, no. 1, págs. 23-28, 2021, doi: 10.34172/hpr.2021.05.
- N. J. Escobar Mora, B. J. Galeano Upegui, D. Cuartas, M. Madroñal-Ortiz, y J. D. Fernandez-Ledesma, "Performance indicators of Facility Management to create a temporary line in hospital in hospital maintenance in Colombia", en *Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management*. Catabria, España: REHABEND, 2018, pp. 2523-2530.
- A. Karasan, M. Erdogan, y M. Cinar, "Healthcare service quality evaluation: An integrated decision-making methodology and a case study," *Socio-Economic Planning Sciences*, 2022, doi: 10.1016/j.seps.2022.101234.
- N. A. A. Rani, M. R. Baharum, A. R. N. Akbar, y A. H. Nawawi, "Perception of Maintenance Management Strategy on Healthcare Facilities," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 170, págs. 272-281, 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.01.037.
- F. Valent, E. Sincig, G. L. Gigli, y P. Dolso, "Maintenance of Wakefulness and Occupational Injuries among Workers of an Italian Teaching Hospital," *Safety and Health at Work*, vol. 7, no. 2, págs. 120-123, 2016, doi: 10.1016/j.shaw.2015.10.002.