

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
POSGRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA**

**“UN MODELO DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA MÉDICA BASADA EN
EVIDENCIA PARA EL HOSPITAL GENERAL DR. NICOLÁS SAN JUAN**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS (INGENIERÍA BIOMÉDICA)**

QUE PRESENTA:

I.B. DARA NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ

MATRICULA: 2213800912

CORREO: nimsi.astivia.ib@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5583-2005

ASESORA: DRA. MARTHA REFUGIO ORTIZ POSADAS

JURADO

PRESIDENTA:

M.A.S.S. JAZMIN EMMA REYES SALAS

SECRETARIA:

DRA. MARTHA REFUGIO ORTIZ POSADAS

VOCAL:

M.EN I.B. RICARDO NOE RODRIGUEZ VERA

IZTAPALAPA, CIUDAD DE MÉXICO, A 27 DE MAYO DEL 2024

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	VI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	6
1.1 METODOLOGÍA SIX SIGMA	8
1.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS.....	9
1.3 ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTICRITERIO	10
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA.....	13
2.1 MARCO TEÓRICO.....	13
2.1.1 SIX SIGMA	13
2.1.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS.....	14
2.1.3 ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTI-CRITERIO.....	15
2.2 METODOLOGÍA	16
2.2.1 DEFINICIÓN.....	16
2.2.2 ANÁLISIS Y MEDICIÓN.....	19
3.3 MEJORA	20
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	21
3.1 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	22
3.2 PROCESAMIENTO DE DATOS	23
3.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS VARIABLES	23
3.2.2 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LAS VARIABLES	24
3.2.3 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	25
CAPÍTULO 4. MODELO DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA MÉDICA.....	30
4.1 INDICADOR TÉCNICO	31
4.1.1. INDICADOR POR NIVEL DE RIESGO	32
4.1.2 INDICADOR DE MANTENIMIENTO.....	32

4.1.3 INDICADOR DE DISPONIBILIDAD DE REFACCIONES Y ACCESORIOS.....	33
4.1.4 INDICADOR DE ANTIGÜEDAD	33
4.2 INDICADOR CLÍNICO	34
4.2.1 INDICADOR DE NIVEL DE IMPACTO.....	34
4.2.2. INDICADOR DE DEMANDA.....	35
4.2.3 INDICADOR DE HORAS DISPONIBLES	35
4.3 INDICADOR ECONÓMICO.....	35
4.3.1 INDICADOR DE COSTO DE MANTENIMIENTO	36
4.3.2 INDICADOR POR COSTO DE CONSUMIBLES	37
4.4 INDICADOR GLOBAL DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA MÉDICA.....	38
<u>CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA MÉDICA</u>	<u>40</u>
5.1 EVALUACIÓN DE EQUIPO DE VENTILACIÓN MECÁNICA PARA LA PRIORIZACIÓN DE REEMPLAZO.	
.....	40
5.1.1 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA Y PERIODO DE EVALUACIÓN.	41
5.1.2 RECOLECCIÓN DE DATOS	42
5.1.3 INDICADOR TÉCNICO.	43
5.1.4 INDICADOR CLÍNICO	44
5.1.5 INDICADOR ECONÓMICO.....	46
5.1.6 ESCALA CUALITATIVA.....	47
5.1.7 EVALUACIÓN DE UN VENTILADOR MECÁNICO.....	47
5.2 EVALUACIÓN DE UN CONJUNTO DE 125 DISPOSITIVOS MÉDICOS DE MEDIANA COMPLEJIDAD	
.....	52
5.2.1 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA Y PERIODO DE EVALUACIÓN.....	52
5.2.2 RECOLECCIÓN DE DATOS	52
5.2.3 EVALUACIÓN DE UN EQUIPO MÉDICO.	53
5.2.4 EVALUACIÓN DE 125 EQUIPOS DE MEDIANA COMPLEJIDAD.....	56
5.3 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN EQUIPO DE RESONANCIA MAGNÉTICA.....	61
5.3.1 ADECUACIÓN DEL INDICADOR TÉCNICO	61
5.3.2. INDICADOR DE PRODUCTIVIDAD.....	62
5.3.3 INDICADOR DE DESEMPEÑO (I_D)	64
5.3.4 EVALUACIÓN DE LA RM	64

CAPÍTULO 6. PROGRAMA DE CAPACITACIÓN.....	68
6.1 SELECCIÓN DEL ÁREA Y EQUIPOS MÉDICOS PARA EL PROGRAMA PILOTO DE CAPACITACIÓN.....	68
6.2 DISEÑO DE LA CAPACITACIÓN	70
6.3 CARTA DESCRIPTIVA DE LA CAPACITACIÓN	70
6.4 MATERIAL DIDÁCTICO	71
6.4 PROGRAMA PILOTO DE CAPACITACIÓN.....	71
6.5 IMPARTICIÓN DE CAPACITACIÓN.....	72
6.6 RESULTADOS DE LA CAPACITACIÓN.....	73
CAPÍTULO 7. MANUALES DE PROCEDIMIENTOS.....	75
7.1 PROCEDIMIENTO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPO MÉDICO	75
7.1.1 OBJETIVO DEL PROCEDIMIENTO.....	75
7.2 PROCEDIMIENTO PARA MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE EQUIPO MÉDICO	75
7.2.1 OBJETIVO DEL PROCEDIMIENTO.....	75
7.3 PROCEDIMIENTO PARA CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO A PERSONAL USUARIO.....	75
7.3.1 OBJETIVO DEL PROCEDIMIENTO.....	75
CONCLUSIONES	82
REFERENCIAS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3.

Tabla 3.1 Variables definidas para el AED de las órdenes de trabajo del HGNSJ	18
Tabla 3.2 Descripción de las variables categóricas obtenidas con la función <i>Summary</i>	18
Tabla 3.3 Medidas de tendencia central (MTC) para valores numéricos	19
Tabla 3.4 Distribución de equipos médicos por ubicación, clasificación y tipo de mantenimiento	20
Tabla 3.5 Resumen de estadística descriptiva para variables numéricas	20
Tabla 3.6 Tabla de contingencia, antigüedad de los equipos médicos VS tipos de mantenimiento	21

CAPÍTULO 4.

Tabla 4.1 Indicaor técnico con sus indicadores parciales menores y sus respectivas variables	26
Tabla 4.2 Indicador clínico con sus indicadores parciales y sus respectivas variables	29
Tabla 4.3 Indicador económico y sus respectivas variables	31
Tabla 4.4 Valor de I_{CM} , según la inversión en mantenimiento	32
Tabla 4.5 Valores para ICONS según los costos de consumibles anuales	32
Tabla 4.6 Indicador Global de Priorización con las ponderaciones correspondientes de los indicadores parciales	33

CAPÍTULO 5

Tabla 5.1 Costos de consumibles por paciente marcas de VMI	38
Tabla 5.2 Indicador técnico con sus indicadores parciales y sus respectivas variables	39
Tabla 5.3 Indicador clínico con sus indicadores parciales y sus respectivas variables	39
Tabla 5.4 Indicador económico con sus indicadores parciales y sus respectivas variables	41
Tabla 5.5 Valores de I_{CM} según el porcentaje de inversión en mantenimiento	41
Tabla 5.6 Valores de I_{CONS} según la inversión en consumibles por paciente	41
Tabla 5.7 Escala cualitativa I_{EG} y tiempo sugerido de sustitución de equipo de VMI	42
Tabla 5.8 Valores de las variables técnicas del VMI seleccionado (V14)	42

Tabla 5.9 Valores de las variables clínicas del VMI seleccionado (V14)	43
Tabla 5.10 Cálculo de Indicadores parciales para I_c (V14)	43
Tabla 5.11 Valores de las variables económicas del VMI seleccionado (V14)	44
Tabla 5.12 Valores del IEG y de los indicadores parciales ponderados para cada ventilador evaluado	45
Tabla 5.13 Variables para evaluación de una lámpara quirúrgica doble	49
Tabla 5.14 Valor promedio de los indicadores para la muestra de 125 equipos medicos	52
Tabla 5.15 Indicadores parciales de I_T para la evaluación de RM	57
Tabla 5.16 Variables para el Indicador de productividad (I_p)	58
Tabla 5.17 Interpretación de I_{TG} para evaluación de equipo de RM	59
Tabla 5.18 Valores de las variables técnicas para el equipo de RM	59
Tabla 5.19 Valores de las variables de productividad para el equipo de RM	60

CAPÍTULO 6

Tabla 6.1 Total de equipo médico evaluado en el área de Neonatología	64
--	----

CAPÍTULO 7

Tabla 7.1 Diagrama de flujo para procedimiento de capacitación	71
Tabla 7.2 Diagrama de flujo para procedimiento de mantenimiento preventivo de equipo médico	74
Tabla 7.3 Diagrama de flujo del procedimiento para mantenimiento correctivo de equipo médico	77

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 El ciclo de gestión de la tecnología médica y los niveles de toma de decisiones.....	6
---	---

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Jerarquía para la evaluación de tecnología médica	17
--	----

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 Instrumento de ETM con indicacores parciales y cantidad de variables por indicador	39
---	----

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 Comparación de indicadores para tres dispositivos medicos	71
Figura 6.2 Formato de planificación de capacitación	82
Figura 6.3 Capacitación en sitio al servicio de Neonatología	83

CAPÍTULO 6

Figura 6.1 Formato de planificación de capacitación	67
Figura 6.2 Capacitación en sitio al servicio de Neonatología	68

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPÍTULO 3

Gráfica 3.1 Distribución de equipos médicos del HGNSJ de acuerdo a su antigüedad	17
Gráfica 3.2 Distribución de OT acuerdo a tipo y antigüedad de equipo médico	34
Gráfica 3.3 Antigüedad VS densidad de mantenimiento por tipo	35
Gráfica 3.4 Dispersión del tipo de mantenimiento respecto de la cantidad de usuarios...	36

CAPÍTULO 5

Gráfica 5.1. Cantidad de equipos evaluados por áreas	49
Gráfica 5.2 I_{EG} por tipo de equipo médico	54
Gráfica 5.3 Promedio de I_{EG} por Áreas o Servicios clínicos	55

CAPÍTULO 6

Gráfica 6.1. Resultados de la evaluación de la capacitación.....	69
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Publicaciones	83
Anexo B. Resultados de los indicadores parciales (IT,IC,IE) y global (I_{EG}) de 125 equipos..	88
Anexo C. Carta descriptiva para eventos de capacitación	90
Anexo D. Evaluación de capacitación para monitor de signos vitales	92
Anexo E. Presentación para capacitación de uso y cuidado de monitores de signos vitales.....	94
Anexo F. Formato de evaluación del capacitador.....	104

RESUMEN

La incorporación de herramientas de evaluación de en las distintas etapas del Ciclo de Gestión de la tecnología médica, brinda la posibilidad de presentar evidencia objetiva para la toma de decisiones. Debido a esto, el objetivo del presente trabajo fue el diseño de un modelo de evaluación de tecnología médica aplicable a tres procesos del ciclo de gestión de la tecnología médica: el mantenimiento, la baja y sustitución de equipo médico y la capacitación, que a su vez permitiera una mejora en su ejecución.

En primer lugar, se realizó un Análisis Exploratorio de Datos (AED) para extraer información concerniente a los mantenimientos atendidos en seis áreas prioritarias de atención del Hospital Nicolas San Juan, a partir del cual se obtuvieron relaciones entre la cantidad de servicios preventivos y/o correctivos realizados por el Servicio de Ingeniería Biomédica y la antigüedad de los equipos médicos. Posteriormente mediante el método de jerarquización analítica, se diseñó un modelo para evaluar las características técnicas, clínicas y económicas de los equipos médicos, lo cual permitió establecer niveles de prioridad para la ejecución del mantenimiento preventivo y la sustitución de la tecnología médica evaluada. Además se desarrolló un programa piloto de capacitación para los equipos médicos ubicados en las áreas críticas cuya evaluación arrojó que presentaban el mayor deterioro, lo cual permitirá un mejor uso y cuidado de la tecnología, en aras de garantizar su funcionamiento hasta que ésta sea reemplazada.

La validación del modelo, se hizo en una muestra equipos médicos consistente en: 21 ventiladores mecánicos para priorizar su sustitución, un equipo de resonancia magnética para evaluar su desempeño y 125 equipos médicos diversos para priorizar su atención en los programas de mantenimiento. Para este último conjunto, a partir de los resultados de la evaluación, se diseñó y realizó un programa de capacitación, aplicándose a una muestra de 42 personas, resultando en la habilitación del 50% de personal perteneciente al área de Neonatología, una de las seis áreas prioritarias-

Finalmente como una propuesta de mejora en los proceso del ciclo de gestión de la tecnología médica se re diseñaron los procedimientos de mantenimiento, sustitución de tecnología médica y capacitación, dando lugar al uso del instrumento de evaluación tecnológica.

ABSTRACT

The incorporation of assessment tools at different stages of the Medical Technology Management Cycle provides the opportunity to present objective evidence for decision-making. Therefore, the objective of this work was to develop an evaluation model for medical technology applicable to three processes of the medical technology management cycle: maintenance, disposal and replacement of medical equipment, and training, which in turn would allow for improvement in their execution.

Firstly, an Exploratory Data Analysis (EDA) was conducted to extract information regarding the maintenance performed in six priority care areas of the Nicolas San Juan Hospital, from which relationships between the quantity of preventive and/or corrective services provided by the Biomedical Engineering Service and the age of the medical equipment were obtained.

Later, through the Analytic Hierarchy Process method, a model was designed to evaluate the technical, clinical, and economic characteristics of medical equipment, allowing for the establishment of priority levels for the execution of preventive maintenance and the replacement of evaluated medical technology. Additionally, a pilot training program was developed for the medical equipment located in critical areas, whose evaluation showed the highest deterioration, enabling better use and care of the technology, aiming to ensure its operation until it is replaced.

The model validation process involved assessing a sample of medical equipment, comprising 21 mechanical ventilators earmarked for prioritized replacement, an MRI machine for performance evaluation, and 125 diverse medical equipment pieces for maintenance

program prioritization. Subsequently, leveraging the evaluation outcomes, a tailored training initiative was conceived and executed. This program targeted a cohort of 42 individuals, ultimately facilitating the training of 50% of the Neonatology department's staff, a pivotal component within the six identified priority areas.

Finally, as an enhancement proposal for the processes within the medical technology management cycle, the maintenance procedures, medical technology replacement, and training were redesigned. This led to the adoption of the technological evaluation tool as a standard practice.

INTRODUCCIÓN

El Instituto de Salud del Estado de México (ISEM), es una institución pública para población que no cuenta con afiliación a ningún programa de Seguridad Social de los que operan en México (IMSS, ISSSTE, PEMEX, SEDENA, SEMAR, entre otros). El ISEM es financiado con recursos del gobierno federal y con recursos del gobierno estatal [1]. A partir de enero de 2020, se encuentra adherido al Instituto de Salud para el Bienestar (INSABI) con la finalidad de prestar servicios de salud en forma gratuita, recibiendo financiamiento de dicha Institución para tal efecto [2]. Sin embargo, aunque el ISEM cuenta con diversas fuentes de financiamiento, los recursos son limitados, lo que da como resultado múltiples carencias en cuanto a la infraestructura y la tecnología médica disponible en las unidades que proporcionan atención a la salud.

Actualmente el ISEM cuenta con un total de 1367 unidades de atención de primer nivel, 63 de segundo nivel y once unidades de tercer nivel; dando lugar a un total de 6,548 camas censables [3], mismas que dentro de su capacidad instalada, cuentan con un universo de más de 23,000 dispositivos médicos propios de la Institución, sin contar equipos en comodato o subrogados, para los cuales no existen programas de gestión tecnológica; lo que deriva en una subutilización o sobreutilización de dispositivos médicos, averías tempranas, fallas ocasionadas por mal uso y obsolescencia, entre otras.

El Hospital General Doctor Nicolás San Juan, pertenece al ISEM y es un hospital de segundo nivel con 35 años de antigüedad, ubicado en la ciudad de Toluca, México. Funge como hospital de referencia para más de 85 unidades médicas de primer nivel de atención, y su región de alcance abarca más de 30 municipios del Estado de México [3,4]. Actualmente cuenta con un total de 144 camas censables y una capacidad tecnológica de aproximadamente 529 dispositivos médicos, , de los cuales el 69% sobrepasan el tiempo de vida útil estimada en el Diario Oficial de la Federación, de cinco años para Equipo Médico y de Laboratorio [6] y se tienen equipos con una antigüedad hasta de 35 años. Por otro lado, la distribución de

mantenimientos durante el año 2021 fue del 94% de mantenimientos internos, de los cuales 96% correspondió a mantenimiento correctivo, y únicamente el 4% correspondió a mantenimientos preventivos. Con relación al mantenimiento preventivo por contrato o pólizas de mantenimiento para los diversos equipos médicos del HGNSJ, se estima que solamente el 20% del universo se toma en cuenta para los contratos de servicio externo.

Por otro lado, al ser uno de los hospitales con mayor demanda del ISEM, la condición del HGNSJ resalta que la falta de equilibrio entre recursos humanos, recursos financieros y capacidad instalada, en lo que a equipo médico se refiere, da lugar a un proceso de gestión tecnológica basado mayormente en la experiencia empírica que el personal técnico tiene que en procesos, instrumentos o políticas de calidad e ingeniería adecuados para el manejo de la tecnología médica. De tal manera que, se vuelve necesario el establecimiento de un Modelo Operativo que permita la ejecución y seguimiento objetivo de los diferentes procesos de la Gestión Tecnológica basado en evidencia, a través de instrumentos de evaluación y procesos documentados que contribuyan al buen ejercicio de los recursos económicos disponibles, y el óptimo desempeño de la tecnología, lo cual coadyuva directamente a mejorar la calidad de atención de los pacientes. Finalmente, toda vez que el HGNSJ es un hospital de referencia, permitiría la aplicación de estas estrategias de mejora en otras Unidades Médicas del ISEM.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo de evaluación para la tecnología médica aplicable en diversas fases del ciclo de GTM en el Hospital General Dr. Nicolás San Juan del Instituto de Salud del Estado de México. El logro de este, se alcanzó mediante tres objetivos específicos, que se desarrollan a lo largo de los siete capítulos que incorpora esta tesis.

- Analizar procedimientos de Gestión de Tecnología Médica (GTM), tales como el mantenimiento preventivo/correctivo, baja y sustitución de equipo médico, y capacitación del personal usuario. En este caso se hizo uso de herramientas estadísticas mediante un análisis exploratorio de datos, el cual permitió establecer las

primeras relaciones entre el estado actual de la tecnología y los procedimientos de gestión que se encontraban implementados en el SIB. En esta etapa, además se definieron conjuntos específicos de equipos para evaluar de acuerdo con el área en la cual se ubicaban. El desarrollo de este objetivo se aborda detalladamente en el capítulo tres.

- Diseñar un modelo de evaluación tecnológica aplicable a los procedimientos analizados. Mediante un análisis detallado de las características técnicas, clínicas y económicas de la tecnología médica, y basado en el método de jerarquización analítica se agruparon 17 variables cualitativas que describían los aspectos mencionados, éstas a su vez se mapearon cuantitativamente a fin de obtener valores numéricos de evaluación. Las variables se incorporaron en un conjunto de tres indicadores que dan lugar a un instrumento de evaluación tecnológica global. El diseño del modelo con cada uno de los indicadores, así como su incorporación en el instrumento de evaluación se describen en el capítulo cuatro.
- Aplicar el modelo de evaluación a un conjunto de equipos médicos de diversas áreas y complejidad, lo cual permitió la validación del instrumento diseñado. Para tal efecto, se evaluó un conjunto de ventiladores cuya demanda y averías incrementaron durante el periodo de pandemia durante los años 2020 a 2022. Adicionalmente, con la finalidad de conocer el desempeño de un equipo de alta complejidad, se evaluó un equipo de resonancia magnética. Finalmente, el modelo se aplicó a un conjunto de 125 equipos localizados en las seis áreas de mayor demanda de atención hospitalaria. La aplicación del modelo en cada uno de los conjuntos de equipo médico y los resultados se abordan en el capítulo cinco de esta tesis.

- Proponer procedimientos que incorporen los resultados de la aplicación de la evaluación de tecnología médica, mediante la priorización de la tecnología médica en cada uno de los procedimientos con base en una escala cuantitativa. Dentro de las propuestas, a partir de la priorización del equipo médico, se implementó un programa de capacitación piloto en una de las áreas con mayor demanda de servicios, el cual se detalla en el capítulo seis. Adicionalmente, el capítulo siete abarca tres procedimientos de gestión de la tecnología médica que fueron mejorados a partir de una evaluación previa de la tecnología, buscando un mejor aprovechamiento de los recursos humanos, materiales y financieros.

Finalmente se observó que una evaluación de tecnología en las fases intermedias del ciclo de GTM favorece la participación de los ingenieros clínicos en las instituciones de salud, permitiendo una planificación adecuada en cuanto a los programas de mantenimiento, capacitación, sustitución tecnológica y previendo los recursos y acciones que deben seguirse a fin de garantizar que los equipos médicos se encuentren siempre en las condiciones de seguridad y funcionalidad para la atención a pacientes.

Por último, durante el desarrollo de esta investigación se publicaron los siguientes cuatro trabajos (Anexo A):

1. Astivia-Chávez, D.N., Ortiz-Posadas, M.R. (2022). Exploratory Data Analysis for Preventive and Corrective Maintenance for Medical Equipment in a General Hospital from the Health Institute of the State of Mexico. In: *et al.* XLV Mexican Conference on Biomedical Engineering. CNIB 2022. IFMBE Proceedings, 86 (2): 805-815, 2022. Springer, Cham.
2. Astivia-Chávez D. N., Ortiz-Posadas MR. An Indicator to Prioritize the Mechanical Ventilators Replacement in a Secondary Care Hospital in Mexico. 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE-EMBC Proceedings, 2023.

3. Astivia-Chávez D. N., Rodríguez-González A.O., Ortiz-Posadas MR. Performance Evaluation of a Magnetic Resonance Imager with Evidence-Based Decision Making Tools. 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE-EMBC Proceedings, 2023.
4. Astivia-Chávez D. N., Ortiz-Posadas MR. Health Technology Assessment at a Second Care Hospital in Mexico using Analytic Hierarchy Process. 1ª Conferencia Latinoamericana de la Sociedad de Ingeniería en Medicina y Biología (IEEE EMBS R9 2023).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el ciclo de Gestión de Tecnología Médica (GTM) incorpora procesos que permiten la planeación, evaluación y selección de equipo médico, así como su adquisición, utilización, mantenimiento, control de inventarios, planeación de sustitución y aseguramiento de calidad (Figura 1.1). Este último toma en cuenta varios elementos estratégicos, tácticos y operativos; que permiten instrumentar el seguimiento de la tecnología médica y asegurar la calidad en la prestación de los servicios de salud en el menor costo posible [7, 8]. El profesional encargado de llevar a cabo las múltiples tareas que conlleva la GTM, es el ingeniero biomédico, denominado Ingeniero Clínico, debido a su desempeño en el entorno hospitalario para la resolución de problemas relacionados con las tecnologías en salud [7].

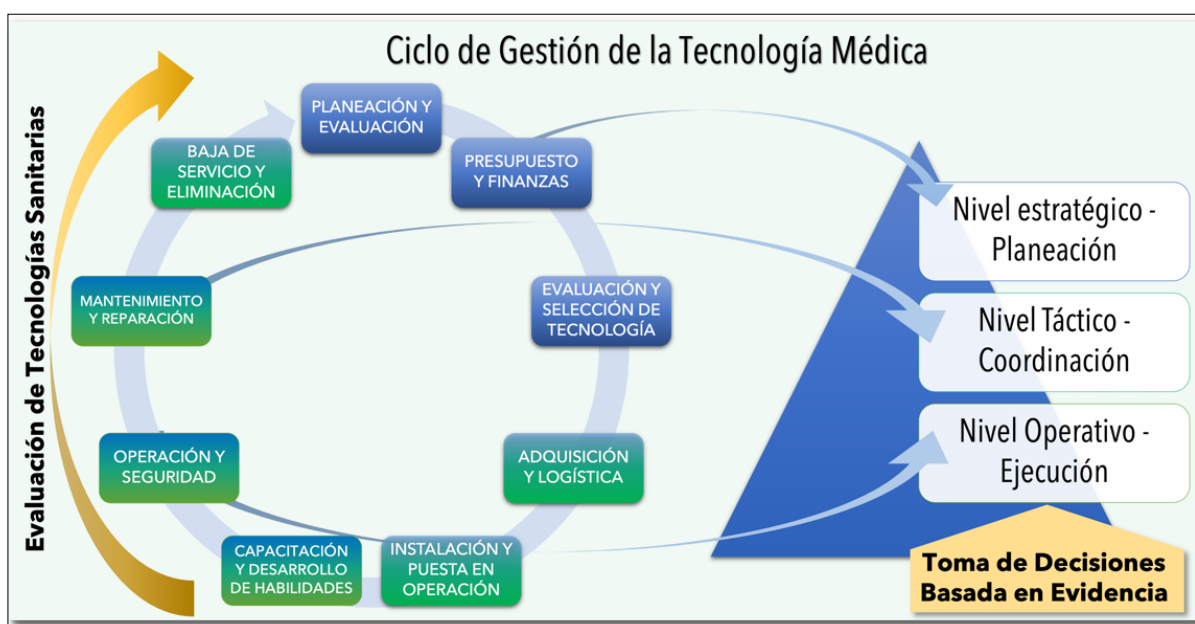


Figura 1.1 El ciclo de gestión de la tecnología médica relacionado con los niveles organizacionales de toma de decisiones, adaptado de la OMS [9].

Por otro lado, el ciclo de GTM incorpora la aplicación de conocimientos teóricos y prácticos estructurados en procedimientos, que continuamente deben ser evaluados para su mejora. Por su parte la Evaluación de la Tecnología Médica (ETM), se refiere a la evaluación sistemática de propiedades, efectos y/o impactos de la tecnología medica, cuyo propósito es

informar sobre la toma de decisiones. La ETM se encuentra implementada a nivel internacional desde 1970, con mayor aplicación para el desarrollo de políticas públicas para el aprovechamiento y evaluación de tecnología médica; de tal manera que la OMS propone en 2011, la formulación de estrategias y planes apropiados para el establecimiento de sistemas para la evaluación, planificación, adquisición y gestión de tecnologías sanitarias, en particular dispositivos médicos, en colaboración con el personal involucrado en la evaluación de tecnologías sanitarias e ingeniería biomédica [10].

Posteriormente, un revisión publicada en 2019, identificó seis niveles de aplicación de la ETM los primeros cuatro (N1 a N4) enfocados en aspectos regulatorios, de políticas en salud y procesos de incorporación, mientras que los últimos dos niveles (N5, N6) se refieren a diversos métodos de evaluación a lo largo del ciclo de vida de la tecnología con el propósito de analizar su funcionalidad y seguridad después de determinado tiempo de uso, con mayor enfoque en las características técnicas de equipos médicos específicos [11].

Por otro lado, se analizaron distintos trabajos que permiten formalizar el manejo de información para la toma de decisiones en cuanto a la instalación e implementación de tecnología médica en los diferentes establecimientos de salud, los cuales emplean herramientas como la metodología six sigma, para la sistematización de la ETM[11]. Así mismo, la aplicación de herramientas estadísticas como el análisis exploratorio de datos (AED); o el uso de herramientas de modelado, como el análisis de decisión multicriterio, los cuales han sido de gran utilidad para el desarrollo de instrumentos que brinden evidencia para la toma de decisiones en cuanto a la GTM.

A continuación, se describen diferentes trabajos que abordan problemas de gestión de tecnología médica, y otros campos de atención a la salud.

1.1 METODOLOGÍA SIX SIGMA

En 2012 el Departamento de Ingeniería Clínica del Hospital Albert Einstein en Sao Paolo, Brasil; implementó un conjunto de mejoras al proceso de gestión de inventarios de equipo médico, a partir de la incorporación de la filosofía Lean, que comprende la identificación de cuellos de botella, tareas que no agregan valor, o que suman pérdidas. Dentro de las herramientas integradas en dicha propuesta, se definieron indicadores y metas, se realizaron mediciones mediante un mapeo detallado de procesos, diagramas de Ishikawa, diagramas causa y efecto, entre otros. En cuanto al análisis, se emplearon gráficas de Pareto, gráficas de caja, así como análisis de regresión lineal y pruebas de hipótesis. Así mismo, se realizaron mejoras a través de un análisis de flujo de valor, entrenamiento al personal y 5S. Finalmente, para la etapa de control se implementaron normas y procedimientos, planes de control, auditoría y procesos de control estadístico. Como resultados, se mejoraron los flujos en los procesos de los departamentos de compra de dispositivos médicos, el proceso de registro de bienes del hospital, se centralizaron las actividades administrativas en cuanto al registro de los dispositivos médicos y se estandarizaron los términos para dichos procesos. Una vez implementadas las mejoras en el proceso mencionado, el nivel sigma incrementó de $\sigma_1 = 1.82$ a $\sigma_2 = 3.99$ con una reducción de la cantidad de defectos por millón de 37, 4472.22 a 6,476.68 [12].

En 2014 se utilizó la metodología Six-Sigma Lean con el propósito de hacer más eficientes los procesos del Centro de Bioquímica Médica (CBM) del Centro Clínico de Niš, Serbia; para lo cual se hizo especial énfasis en los tiempos de atención a los pacientes y en actividades que representaban consumo excesivo de tiempo. Así mismo, se realizó un análisis de Pareto que permitió identificar la minoría vital del 20% de las causas de los problemas en el que todos los recursos disponibles deben ser enfocados para eliminar el 80% de los conflictos surgidos en el proceso. Posteriormente se realizó el mapeo del flujo de valor, que incorporó los plazos necesarios para la realización de las actividades en el CBM; adicionalmente se incorporó la filosofía 5S, que está enfocada a la mejora continua. El análisis realizado permitió la reducción

de las congestiones de pacientes, a través del establecimiento de mejoras en la captura de datos de pacientes, en la apertura de las listas de los mismos, así como en el plazo de entrega de las muestras clínicas a las unidades de laboratorio [13].

En México, en el año 2019, se llevó a cabo la evaluación de cuatro procesos del Departamento de Imagenología en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, en la ciudad de México; lo cual permitió establecer estrategias de innovación a nivel de procesos de atención hacia los pacientes, flujos de trabajo del personal, incorporación de nuevas tecnologías, entre otros; y que a su vez permitió mejorar el rendimiento del Departamento, mejorando el nivel sigma de $\sigma_1 = 2.0$, que representa una proporción de errores en la atención de 36 por cada 117 pacientes por día; a $\sigma_3 = 2.3$ lo cual implicó una mejora en el error en la atención de 24 de 117 pacientes por día [14].

1.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Sobre el análisis exploratorio de datos (AED) aplicado en la atención a problemas de salud pública, recientemente fue publicado un estudio que muestra el panorama mundial del progreso de la vacunación contra la COVID-19, dicho análisis primeramente requirió la preparación de los datos mediante el uso del lenguaje de programación Python, con funciones de descripción de set de datos tales como *fillna()* y *backfill()*, así mismo se emplearon diversos paquetes para la visualización de los conjuntos de datos y posteriormente se buscaron los datos referentes al avance de la vacunación como son: países que iniciaron tempranamente la vacunación, países que cuentan con la mayor cantidad de población vacunada, las distintas categorías de vacunas ofrecidas, la tasa de vacunación diaria en los países con mayor avance de vacunación y el impacto de la vacunación en casos nuevos o muertes confirmadas. De manera general, el estudio mostró la efectividad de la vacunación contra la COVID-19, de tal modo que hasta el 25 de noviembre de 2021, 2233 países alrededor del mundo habían adoptado 75 diferentes combinaciones de vacunas para sus poblaciones [15].

Por otro lado, en 2020 se aplicó el análisis exploratorio de datos como una forma alternativa para la detección de complejos QRS, con la mínima carga de datos, dicho análisis permitió conglomerar cinco conjuntos de datos distintos, mediante la implementación de algoritmos de identificación del segmento ST y la onda T. Una vez implementada la clasificación de los conjuntos de datos, se evaluó el desempeño de esta técnica considerando variables de sensibilidad, predictividad positiva, tasa de detección de error y precisión. Los conjuntos de datos para la clasificación se segmentaron de la siguiente manera *a). Base de datos fantasía*: que comprende registros de pacientes jóvenes sanos de entre 21-34 años y adultos de entre 68 y 85 años; cada registro contiene además del ECG, registros de respiración y presión sanguínea. *b) Base de datos MIT-BIH*, que consiste en registros de ECG de 48 horas de duración para pacientes ambulatorios del Hospital Israel de Boston (BIH); *c) Base de datos europea de segmento ST-T*, este conjunto fue empleado para evaluar los algoritmos de detección para los segmentos ST y la onda T, contiene 90 registros de ECG ambulatorios de una duración de 2 horas y para 2 canales; *d) conjunto de datos autograbados* consistente en 10 registros de 10 minutos de duración, en 10 sujetos sanos entre 20 y 30 años; *e) base de datos de ECG fetal*, consistente en registros multicanal de ECG fetal adquiridos a 5 mujeres durante las semanas 38 -41 de gestación. De manera general la técnica de detección de QRS se aplicó a 193 registros de ECG, con una sensibilidad de detección $Se=99.65\%$, *positividad predictiva* $+P= 99.784\%$ [16] de este modo se puede observar que el análisis exploratorio de datos, permite visualizar anticipadamente patrones en distintos conjuntos de datos.

1.3 ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTICRITERIO

Con relación al análisis de decisión multicriterio (ADMC), aplicado en la gestión de tecnología médica, una revisión realizada en 2014, mostró la diversidad de abordajes a través de métodos como son el método de jerarquización analítica (MJA), la teoría de la utilidad de atributos múltiples y la eliminación-elección, entre otros; y que pueden aplicarse a la inversión racional de recursos para la adquisición de equipo médico. Dentro de las aplicaciones en la gestión de tecnología médica, se encontraron tres estratos distintos: selección de proyectos

y equipamiento, evaluación de proyectos y equipamiento, desarrollo de dispositivos médicos, en total se analizaron 21 documentos, para los cuales el método más utilizado (en 14 de 21 artículos) fue el análisis jerárquico de procesos, mismo para el que se reportan múltiples ventajas de su empleo, tales como: fácil implementación, la sencillez de la realización de comparaciones pareadas, está dirigido a comparación de opciones reales, la posibilidad de traer homogeneidad a la evaluación a través de la descomposición jerárquica, permite determinar cuantitativamente el índice de calidad, prevé la verificación de la información por parte de expertos, y no requiere el uso de modelos matemáticos. El objetivo principal del MJA, es seleccionar la mejor opción que muestre los valores más altos de la función objetivo [17].

Ejemplo del análisis de decisión multicriterio, para la fase correspondiente a la evaluación para sustitución de la tecnología médica, es un estudio realizado en México en 2019, en el Instituto Nacional de Pediatría, que consistió en el desarrollo de un indicador global, a partir de 17 variables correspondientes a la caracterización de los dispositivos a través de tres perspectivas: técnica, clínica y económica; para el reemplazo de dispositivos médicos. Dicho indicador permitió clasificar a los dispositivos de acuerdo a su prioridad de reemplazo en términos de corto plazo (3 años), mediano plazo (6 años) y largo plazo (10 años). Así mismo, permitió establecer indicadores parciales ponderados de acuerdo a cada perspectiva, lo cual serviría como un auxiliar a los tomadores de decisiones [18].

Actualmente, los modelos empleados para la evaluación de equipamiento reconocidas internacionalmente se enfocan únicamente en las características propias de hardware y software del equipo, lo cual brinda la apertura para proponer nuevos instrumentos que además incorporen el entorno clínico y las implicaciones económicas de la tecnología médica in situ.

Por lo anterior, el diseño de un instrumento de evaluación mediante la utilización de más de una herramienta de análisis estadístico y la integración múltiples enfoques de evaluación,

permitió presentar una evidencia cuantitativa sólida que coadyuve a la toma de decisiones, en los distintos niveles de aplicación de la ETM.

Adicionalmente se consideró necesario que el modelo diseñado incorporara no solo los distintos enfoques de la implementación de la tecnología (técnico, clínico y económico), sino que permitiera su reproducibilidad mediante la selección de variables cuya medición o cuantificación fuese siempre objetiva y accesible en otras instituciones de salud de similar o mayor complejidad, sin dejar de lado la posibilidad de una aplicación homogénea a distintos tipos de equipos médicos.

2.1 MARCO TEÓRICO

Derivado de los antecedentes mencionados, para el presente proyecto, se considerarán herramientas de análisis y procesamiento de datos que se describen a continuación.

2.1.1 SIX SIGMA

La metodología Six Sigma o Seis Sigma es una filosofía que apareció en los años ochenta gracias al ingeniero Mikel Harry, a través de la evaluación y análisis de la variación de los procesos en la empresa Motorola, empresa que fue la primera empresa en implantar esta metodología como estrategia de mercado y de mejoramiento de la calidad. Esta metodología también se enfoca en la mejora continua [19]. Representa el número el número de desviaciones estándar obtenidas a la salida del proceso, con el objetivo de aumentar la capacidad de los procesos, de tal forma que estos generen los mínimos defectos por millón de unidades producidas [19].

La metodología six sigma está compuesta por cinco fases:

1. Definición: el proyecto o problema de calidad, tomando la información suficiente que permita obtener las necesidades del cliente.
2. Medición: las condiciones del problema, evaluando la capacidad según la información suministrada por el proceso
3. Análisis: las causas del problema, aplicando técnicas estadísticas consistentes, tales como el diseño experimental, contrastes de hipótesis, modelos lineales, entre otros
4. Mejora: las condiciones del proceso, identificando y cuantificando las variables críticas del proceso. Implementando soluciones adecuadas a cada una de las causas encontradas y valorando los resultados
5. Control: las variables críticas del proceso, para que el problema de calidad no sea recurrente [20].

Actualmente muchas de las organizaciones cuentan con este sistema como estrategia de negocio para aumentar su rentabilidad y mejorar la calidad de sus productos y servicios.

Por otro lado, la metodología Seis Sigma, se encuentra basada en cinco principios [20]:

- ☐ El enfoque centrado en las necesidades y los requerimientos de los clientes
- ☐ La identificación de las causas de los problemas que atentan contra la calidad del producto final o del servicio prestado.
- ☐ La realización de las mediciones de las variables críticas del proceso, lo cual implica el conocimiento detallado de cada una de las etapas o fases que conforman las actividades de la organización.
- ☐ El uso de herramientas estadísticas apropiadas que conduzcan a soluciones válidas y efectivas.
- ☐ El control mediante un seguimiento constante que evalúe las actividades que encaminen a la solución del problema.

2.1.2 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Dentro de las actividades que permiten definir el problema a resolver, se puede echar mano de diversas herramientas estadísticas, como lo es el Análisis Exploratorio de Datos (EDA) por sus siglas en inglés), el cual se refiere al proceso de utilizar resúmenes numéricos y visualizaciones para explorar sus datos e identificar posibles relaciones entre y su objetivo principal es presentar una descripción de los mismos que faciliten su análisis mediante procedimientos que permitan [21]:

- ☐ Organizar los datos
- ☐ Resumirlos
- ☐ Representarlos gráficamente
- ☐ Analizar la información

Para realizar un A.E.D. conviene seguir las siguientes etapas:

1. Preparar los datos para hacerlos accesibles a cualquier técnica estadística.
2. Realizar un examen gráfico de la naturaleza de las variables individuales a analizar y un análisis descriptivo numérico que permita cuantificar algunos aspectos gráficos de los datos.
3. Realizar un examen gráfico de las relaciones entre las variables analizadas y un análisis descriptivo numérico que cuantifique el grado de interrelación existente entre ellas.
4. Evaluar, si fuera necesario, algunos supuestos básicos subyacentes a muchas técnicas estadísticas como, por ejemplo, la normalidad, linealidad y *homocedasticidad*, que es una característica empleada en los modelos de regresión lineal, y que implica varianzas constantes a lo largo del tiempo.
5. Identificar los posibles casos atípicos (*outliers*) y evaluar el impacto potencial que puedan ejercer en análisis estadísticos posteriores.
6. Evaluar, si fuera necesario, el impacto potencial que pueden tener los datos ausentes (sobre la representatividad de los datos analizados [21]).

2.1.3 ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTI-CRITERIO

El Análisis de Decisión Multi-criterio (ADMC o MCDA por sus siglas en inglés para *MultiCriteria Decision Analysis*) es un conjunto de métodos que, de manera explícita y sistemática, permite tener en cuenta diferentes criterios que permitan priorizar la toma de decisiones referentes a problemáticas específicas, permitiendo que las decisiones se hagan desde una perspectiva global, pero considerando los valores, dimensiones e importancia relativa de cada criterio [22].

Por otro lado, en cuanto a su aplicación en la gestión de tecnología médica, el ADCMC brinda la posibilidad de contar con dos condiciones que son relevantes para estos fines: la replicabilidad y la transparencia de decisiones, de tal manera que cualquier aplicación del ADCMC debe incluir las siguientes fases: identificación de alternativas y de criterios de decisión (estructuración del problema), construcción y utilización del modelo, y el desarrollo y planes de acción [23].

Dentro de los modelos de ADMC se pueden identificar tres tipos:

- a. *Modelos de medida del valor.* Calculan y comparan puntuaciones numéricas que sintetizan el valor global de cada alternativa como expresión del grado en el que una de ellas es preferida a otra. Las puntuaciones de cada uno de los criterios individuales se agregan en una cifra que representa el valor global de la alternativa. Este es el método más empleado en la evaluación de tecnología médica [23], y el que se emplea como referencia para fines de este trabajo, mediante la obtención de un indicador global de evaluación tecnológica.
- b. *Modelos de outranking.* En este método inicialmente se comparan las alternativas por pares en términos de cada criterio con el fin de confirmar el grado de preferencia (dominancia) de una relación con la otra para cada criterio concreto [23].
- c. *Modelos de objetivos o niveles de referencia.* Se basa en determinar cuál es la alternativa que se acerca más a niveles predeterminados de resultados de cada criterio [23].

2.2 METODOLOGÍA

Con la metodología Six Sigma como enfoque global de abordaje de la problemática planteada, se llevarán a cabo las acciones siguientes para las fases de definición, análisis, medición y mejora.

2.2.1 DEFINICIÓN.

Se tomaron en cuenta tres etapas del ciclo de la gestión de tecnología médica:

- ☐ Mantenimiento a equipo médico
- ☐ Sustitución de equipo médico
- ☐ Capacitación

Estas actividades de GTM llevadas a cabo por el personal de Ingeniería Biomédica del HGNSJ en los niveles táctico, operativo y de ejecución, de manera cotidiana; sin embargo, aunque se genera información documental como son órdenes y bitácoras de servicio, dictámenes de

baja y listas que avalan la impartición de capacitaciones, no hay un proceso por escrito en cada uno de los casos.

2.2.1.1 Selección de áreas

Debido a la condición de alto riesgo de los pacientes que son tratados en las áreas críticas, así como la importancia de un correcto desempeño de los equipos médicos del HGNSJ, se seleccionaron las siguientes áreas clínicas para su análisis:

- ☐ Unidad quirúrgica, la cual cuenta con tres salas de operaciones y seis camas de recuperación no censables.
- ☐ Unidad de Cuidados Intensivos, con cuatro camas no censables.
- ☐ Neonatología, con 16 camas no censables.
- ☐ Urgencias adultas, con nueve camas no censables
- ☐ Urgencias pediátricas, con cinco camas no censables
- ☐ Central de Esterilización y equipos.

2.2.1.2 Recolección de datos

Se recabaron datos a partir de las órdenes de trabajo ejecutadas durante el año 2021. por el servicio de ingeniería biomédica (SIB) del HGNSJ, las cuales proveen la siguiente información acerca de los equipos médicos:

- a. Descripción del equipo: se refiere a la descripción genérica del dispositivo o equipo médico.
- b. Ubicación: el área médica donde se encuentra el equipo.
- c. Marca: el fabricante del equipo médico.
- d. Modelo: el modelo de acuerdo con el fabricante
- e. Número de serie: que se refiere al número de identificación único del equipo médico, asignado por el fabricante.
- f. Número de inventario: número de identificación único asignado por la institución.
- g. Tipo de mantenimiento: que considera dos tipos de mantenimiento; preventivo (MP) y correctivo (MC), así como una actividad técnica/asistencial que se refiere al reemplazo de accesorios o suministro de consumibles (ACO) a un equipo médico.

Adicionalmente se agregaron los siguientes datos, extraídos de las bases de datos del SIB.

- h. Antigüedad: los años del dispositivo médico desde su instalación en el HGNSJ (para equipo nuevo) o en otro hospital (para equipo que fue transferido o donado desde otro hospital)
- i. Clasificación del dispositivo médico: la cual describe la especialidad o fin del equipo, o el riesgo que representa al contacto con el paciente. Se consideraron dos tipos de clasificaciones a lo largo de este trabajo
 - a. Consejo General de Salubridad General: con base en su aplicación clínica se distinguen once tipos de dispositivos médicos: electrónica médica (ELM), imagenología médica (IM), dispositivos implantables (DI), mecánica y fluidos (MF), medicina física y rehabilitación (MFR), medicina nuclear (MN), oftalmología (OF), óptica (OP), prótesis (PR), uso quirúrgico (QX) y radioterapia (RXT) [24].
 - b. La administración para fármacos y alimentos (FDA por sus siglas en inglés): sitúa a todos los EM en una de tres categorías (Clase I, II y III) basadas en el nivel de control necesario para garantizar la seguridad y la efectividad del dispositivo médico. Esta clasificación es con base al riesgo, es decir, el riesgo que el dispositivo médico representa para el paciente y/o el usuario, se distinguen tres clases
 - i. Clase I. Presentan el potencial más bajo de daño y son más simples en diseño.
 - ii. Clase II. Requieren controles de fabricación que garanticen su seguridad y efectividad, y están sujetos a controles la notificación de pre-mercado 510-k de la FDA.
 - iii. Clase III. Son dispositivos cuya información de seguridad y eficacia no es insuficiente.

La FDA posee una base de datos con la clasificación por riesgo de más de 6800 dispositivos médicos, que fue consultada para clasificar los equipos que se incluyen en este trabajo [25].

2.2.2 ANÁLISIS Y MEDICIÓN

Mediante un análisis exploratorio de datos (AED) que se describe en el capítulo 3, se visualizarán los conjuntos de datos obtenidos para establecer relaciones entre las variables de los mismos. De manera preliminar se realizó una homologación de variables a través de una tabla de Excel® con los datos obtenidos y posteriormente se realizó el AED a través del Software R estudio, considerando tres perspectivas de análisis de las variables:

- Características generales, obtenidas a partir de la función *summary*, la cual permite explorar dichas características.
- Características particulares: a partir de la función *describe*, la cual provee información detallada sobre datos que requieren estadística descriptiva
- Estadística descriptiva: Se obtuvieron datos de estadística descriptiva como media, mediana, desviación estándar y rango. Posteriormente se crearon histogramas de frecuencia para determinadas variables numéricas como la edad y el número de usuarios. Finalmente se realizaron diagramas de dispersión para variables cualitativas como ubicación, tipo de mantenimiento y clasificación.

Considerando que el problema a resolver toma en cuenta múltiples atributos, tales como evaluación, priorización y selección, se empleó el Método de Jerarquización analítica para la organización de la información de manera estructurada, donde el primer nivel indica el objetivo del problema de decisión específico; en el segundo nivel, la meta se descompone en varios aspectos conocidos como dimensiones [21], las cuales describen tres aspectos que evalúan la tecnología médica: técnico, clínico y económico. Finalmente, en el nivel 3 se detallan nivel las variables asociadas en cada caso. Para cada aspecto se definió un indicador: Técnico (I_T), Clínico (I_C) y Económico (I_E) los cuales se incorporaron en un Indicador Global (I_G)

que arroja un nivel de priorización para cada equipo médico que fue evaluado. La descripción completa del modelo se presenta en el capítulo 5.

Los indicadores diseñados, se aplicaron como un instrumento de evaluación a un conjunto de equipos de mediana y alta complejidad tales como: ventiladores mecánicos, un conjunto de equipo médicos diversos ubicados en áreas críticas del HNSJ, un equipo de resonancia magnética, dicha aplicación se describe detalladamente en el capítulo 5.

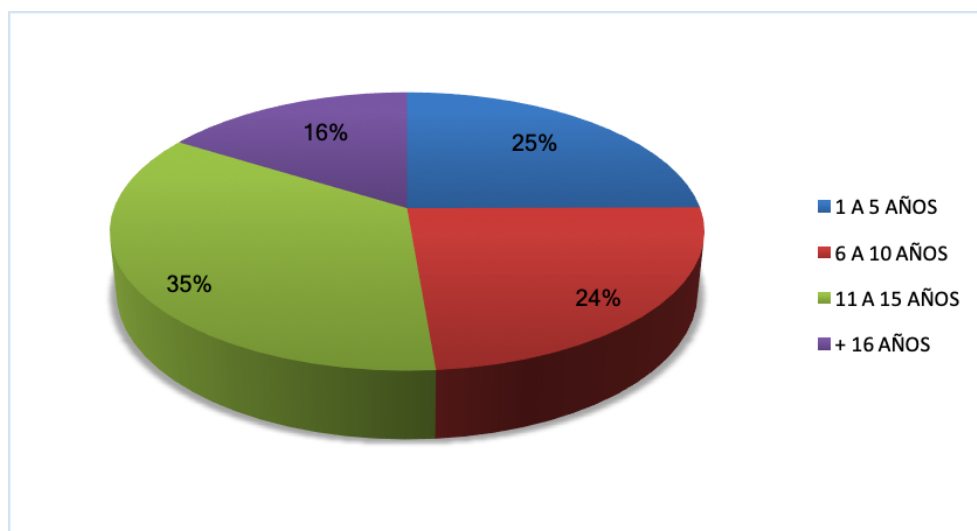
3.3 MEJORA

Paralelamente se diseñaron tres procedimientos para el trabajo cotidiano referente a las fases del ciclo de la GTM, los cuales se describen en el capítulo 7.

- ☐ Procedimiento para mantenimiento preventivo de equipo médico.
- ☐ Procedimiento para mantenimiento correctivo de equipo médico.
- ☐ Procedimiento para capacitación y entrenamiento al personal usuario.

La Gestión de Tecnología Médica (GTM) comprende un conjunto de procedimientos sistemáticos para evaluar y proporcionar tecnología eficaz, segura y rentable en instalaciones sanitarias [26]. Además, dentro del ciclo de GTM y específicamente en lo que respecta a los procedimientos de mantenimiento, se deben tomar en consideración múltiples elementos para evaluar su efectividad, identificar áreas de oportunidad y aplicar nuevas estrategias para la conservación y seguridad de la tecnología médica. Además, se debe considerar una adecuada gestión financiera y operativa, así como el seguimiento y mejora del desempeño de la tecnología médica y del personal técnico y de servicios [27].

En cuanto a capacidad instalada, el HGNSJ cuenta con 144 camas hospitalarias de larga estancia [28], y una capacidad tecnológica en salud de 529 dispositivos médicos, de los cuales el 70% supera la vida útil establecida (cinco años) para equipos médicos y de laboratorio en México [6] algunos incluso mayores de 35 años (Gráfica 3.1).



Gráfica 3.1 Distribución de equipos médicos del HGNSJ de acuerdo con su antigüedad

En cuanto a las intervenciones de mantenimiento, en 2021 hubo 596 órdenes de trabajo (OT) atendidas por el personal técnico del Servicio de Ingeniería Biomédica. 349 OT (63%) fueron de dispositivos médicos ubicados en áreas críticas. De estos, 176 (50%) correspondieron a

mantenimiento correctivo (MC), 52 (15%) a mantenimiento preventivo (MC), y 121 (35%) a algún reemplazo de accesorio o consumible (ACO).

Debido a la alta demanda de MC, el SIB tiene gran interés en identificar algunas posibles causas de fallas en los dispositivos médicos ubicados en áreas críticas. Al respecto, para obtener una aproximación se consideró útil un Análisis Exploratorio de Datos (AED), que es una herramienta estadística que permite describir, resumir y visualizar la naturaleza de la información recolectada para una determinada investigación [29] de cualquier relación entre las diferentes variables relacionadas con el uso y funcionamiento de los dispositivos médicos y descubrir patrones o anomalías, que proporcionen criterios auxiliares para la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento preventivo y correctivo.

3.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Se recabaron 349 órdenes de trabajo de dispositivos médicos ubicados en seis áreas críticas seleccionadas: Neonatología, Quirófano, Urgencias Adultos, Urgencias Pediátricas, Unidad de Cuidados Intensivos, Central de esterilización y equipos. Se observó que, si bien cada OT corresponde a un dispositivo médico individual, en ocasiones un mismo dispositivo puede tener más de una OT. Esto implica más de una intervención de mantenimiento para un dispositivo en particular.

Se definieron un total de diez variables. Ocho categóricas, cuya descripción se realiza cualitativamente con la información de los dispositivos médicos, y dos numéricas que describen la antigüedad en años, y la cantidad de usuarios diarios de un solo equipo médico (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Variables definidas para el AED de las órdenes de trabajo del HGNSJ

Tipo	Variable	Dominio	
Categorías	x ₁ . Descripción del equipo		
	x ₂ . Marca		
	x ₃ . Modelo		
	x ₄ . Número de serie		
	x ₅ . Número de inventario		
	x ₆ . Ubicación	CEyE Quirófano Neonatología	Terapia Intensiva Urgencias Adultos Urgencias Pediátricas
	x ₇ . Clasificación	Quirófano (QX) Electrónica médica (ELM),	Mecánica y Fluidos (MF), Óptica (OP)
	x ₈ . Tipo de mantenimiento	Mantenimiento Preventivo (MP) Mantenimiento Correctivo (MC) Accesorios o consumibles (ACO).	
Numéricas	x ₉ . No. de usuarios	Enteros	
	x ₁₀ . Antigüedad	Enteros	

3.2 PROCESAMIENTO DE DATOS

Se consideraron tres perspectivas de análisis estadístico para los datos obtenidos de las OT.

3.2.1 Características Generales De Las Variables

A partir de la función *Summary* en R Studio, las descripciones obtenidas para las variables categóricas se muestran en la Tabla 3.2. Nótese que no se proporciona ningún valor estadísticamente significativo. Sin embargo, el valor llamado longitud (*length*) nos permite confirmar la muestra para cada variable seleccionada. Por otro lado, los valores correspondientes x₄ y x₅ fueron descartados del análisis porque presentaban valores faltantes y al relacionarse con números únicos, se consideraron irrelevantes para este análisis.

Tabla 3.2 Descripción de las variables categóricas obtenidas con la función *Summary*

Variable	Longitud	Clase	Variable	Longitud	Clase
x ₁ . Descripción del equipo medico	349	character (char)	x ₆ . Ubicación	349	character (char)
x ₂ . Marca	349	character (char)	x ₇ . Clasificación	349	character (char)
x ₃ . Modelo	349	character (char)	x ₈ . Tipo de mantenimiento	349	character (char)

Respecto a las variables numéricas, se obtuvieron las medidas de tendencia central (Tabla 3.3); este resultado permite una aproximación de las características generales de los

dispositivos médicos, así como de los posibles factores asociados a su deterioro. Por ejemplo, la edad promedio de los dispositivos médicos es de 11.05 años, equivalente a más del doble de la vida útil (cinco años) estimada para los equipos médicos y de laboratorio en México [6].

Por otro lado, el rango intercuartil muestra que la mayoría de los dispositivos médicos tienen entre 7 y 15 años; esto confirma que la tecnología médica se está utilizando más allá de la vida útil recomendada. Adicionalmente, en cuanto a usuarios, el promedio ronda las 8 personas; sin embargo, en casos particulares, como algunos monitores de signos vitales, así como algunos esterilizadores; un solo dispositivo médico podría ser utilizado por hasta 30 personas.

Tabla 3.3 Medidas de tendencia central (MTC) para valores numéricos

Variable	Antigüedad (años)	Usuarios
Medida de Tendencia central		
Mean	11.05	7.845
Median	13	6
Min	1	3
Max	17	30
1 ^{er} cuartil	7	6
3 ^{er} cuartil	15	9

3.2.2 Características Particulares De Las Variables

En relación a las variables x_6 Ubicación, x_7 Clasificación y x_8 Tipo de mantenimiento, se obtuvo la distribución de las 349 órdenes de trabajo (OT), misma que se muestra en la Tabla 3.4. En el caso de la ubicación, se observa que Neonatología fue el área con mayor demanda de servicio técnico con 162 OT, lo que representa el 46% del total. En segundo lugar se encuentra el Quirófano con 79 OR (22.6%). Por el contrario, el servicio con menor demanda fue la Unidad Central de Esterilización con 7 OT (2%).

En cuanto a la clasificación de dispositivos médicos (x_8), destaca la prevalencia de ELM con un total de 276 WO, lo que representa el 79.1% del total. Respecto al tipo de mantenimiento (x_8), se presentaron 176 órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo, que representan más de la mitad del total, seguido del reemplazo de consumibles o accesorios (ACO) con 121 OT

(34.7%). En este nivel de análisis se omitieron las variables con datos omitidos, como marca, modelo o número de inventario.

Tabla 3.4 Distribución de equipos médicos por ubicación, clasificación y tipo de mantenimiento.

Ubicación	Clasificación del Equipo Médico	Tipo de Mantenimiento
Neonatología (162, 0.46)	Electrónica médica (276, 0.791)	MC (176, 0.504)
Quirófano (79, 0.226)	Quirófano (30, 0.086)	ACO (121, 0.347)
Urgencias Adultos (44, 0.126)	Mecánica y fluidos (27, 0.077)	MP (52, 0.149)
Terapia Intensiva (36, 0.103)	Óptica (16, 0.046)	
CEyE (7, 0.02)		
Urgencias Pediátricas (21, 0.06)		

3.2.3 Estadística Descriptiva.

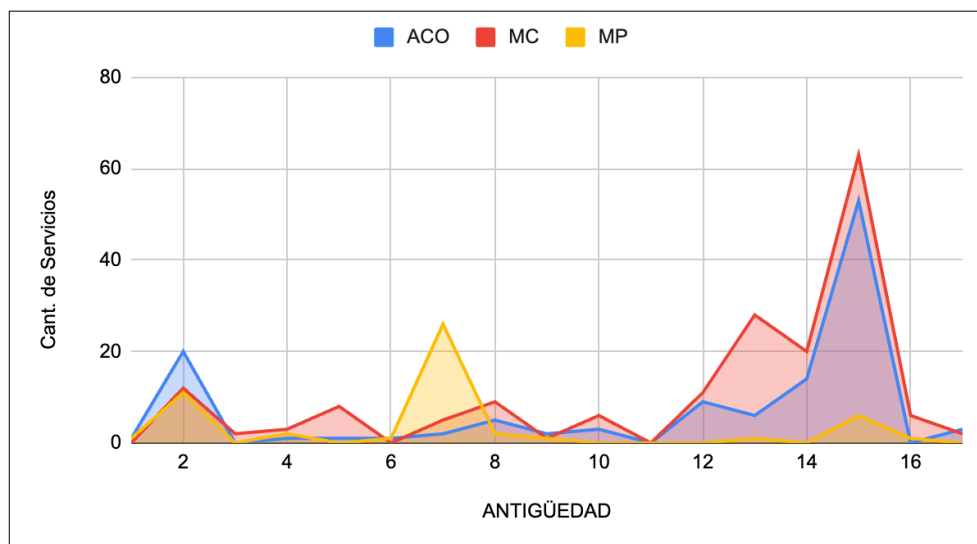
Se obtuvieron las medidas de tendencia central para ambas variables numéricas, x_9 Usuarios, y x_{10} Antigüedad, las cuales se muestra en la Tabla 3.5. Como se mencionó anteriormente, la edad promedio es el doble de la vida útil prevista de los equipos médicos, lo que también se observa claramente.

Se obtuvo una gráfica que muestra la cantidad de servicios obtenidos, de acuerdo a la antigüedad de los dispositivos médicos que muestra que más del 40% cuentan con más de 10 años en la unidad (Gráfica 3.2).

Observe que cuanto más antiguos son los equipos, predomina la cantidad de mantenimientos correctivos.

Tabla 3.5 Resumen de estadística descriptiva para variables numéricas.

Variable	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza	Rango
Antigüedad (años)	11.05	13	4.77	22.84	1 - 17
Usuarios	7.84	6	3.42	11.7	3 - 30



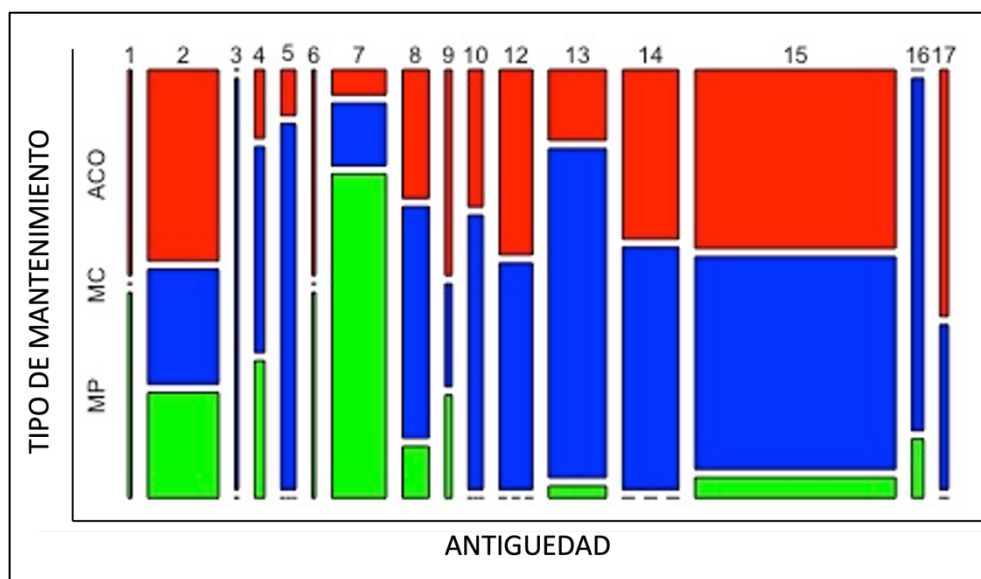
Gráfica 3.2 Distribución de OT acuerdo a tipo y antigüedad de equipo médico

Por otro lado, a partir de una tabla de contingencia (Tabla 3.6) que resume la cantidad de equipos según los años de uso y los relaciona con el tipo de mantenimiento, es posible ver algunos casos particulares para mantenimiento correctivo, note la la cantidad de OT para MC en dispositivos médicos de dos años de antigüedad (Tabla 3.6, fila 2), que pueden ser un indicador de desempeño deficiente o un indicador de defectos de fabricación para esos dispositivos médicos.

Tabla 3.6 Tabla de contingencia, antigüedad de los equipos médicos VS tipos de mantenimiento

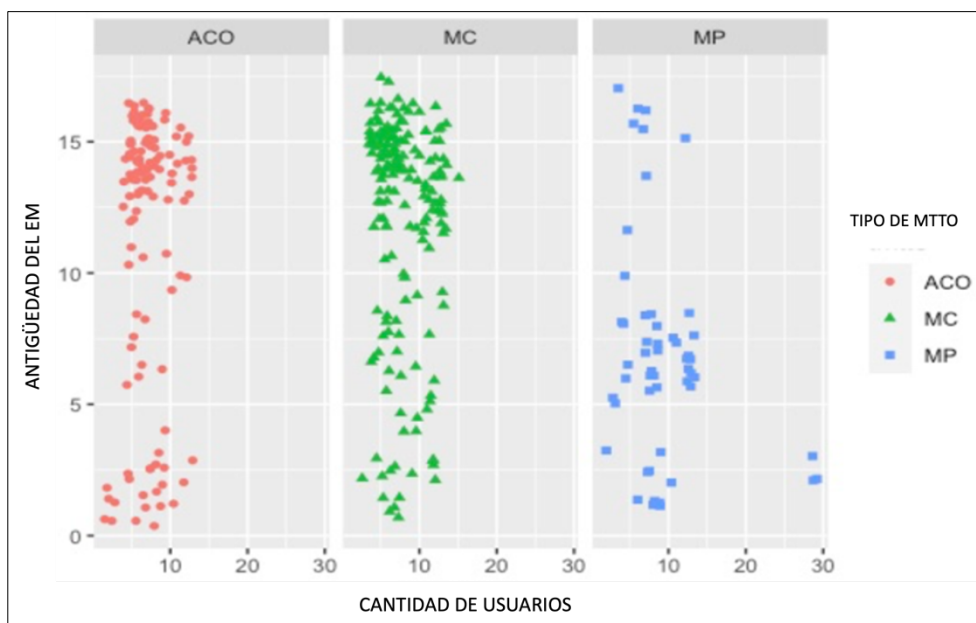
Antigüedad (años)	ACO	MC	MP	Antigüedad (años)	ACO	MC	MP
1	1	0	1	10	3	6	0
2	20	12	11	11	0	0	0
3	0	2	0	12	9	11	0
4	1	3	2	13	6	28	1
5	1	8	0	14	14	20	0
6	1	0	1	15	53	63	6
7	2	5	26	16	0	6	1
8	5	9	2	17	3	2	0
9	2	1	1	TOTAL	121	176	52

De la tabla de contingencia anterior, se deriva también la siguiente gráfica de mosaico que permite visualizar la diferencia entre la cantidad de mantenimientos preventivos (verde), correctivos (azul) y el suministro de refacciones y accesorios; note que en estos dos últimos para dispositivos médicos con 15 años de antigüedad, la cantidad de OT representadas es similar, con una diferencia de solo 10 OT (Gráfica 3.3).



Gráfica 3.3 Antigüedad VS densidad de mantenimiento por tipo

Otra relación importante a considerar es la que existe entre el tipo de mantenimiento, la antigüedad y los usuarios. La dispersión de usuarios (eje X) frente a la edad (eje Y) de cada dispositivo médico registrado en las órdenes de trabajo se muestra en la Gráfica 3.4, donde cada tipo de mantenimiento está representado por una forma diferente: MC con un triángulo (▲), MP con un cuadrado (■) y ACO con un círculo (●). Obsérvese la mayor densidad en la parte superior, que corresponde a dispositivos médicos más antiguos. Observe también una mayor densidad de MC en dispositivos médicos con más de 10 años. No se observó diferencia significativa en el número de usuarios.



Gráfica 3.4 Dispersión del tipo de mantenimiento respecto de la cantidad de usuarios.

Esta primera aproximación a los datos a través de un AED puede proporcionar información valiosa para fortalecer la toma de decisiones. En este caso, relacionado con mejores estrategias para la GTM, las gráficas permiten observar de manera concluyente que cuanto más antiguos son los dispositivos médicos, mayor es la incidencia de mantenimientos correctivos y requerimientos de accesorios. Esto puede deberse a que en la mayoría de las rutinas de mantenimiento correctivo existe el reemplazo de algún elemento accesorio, consumible o repuesto. De la misma manera, nótese que la cantidad de mantenimiento correctivo está relacionada con la antigüedad, infiriendo que ésta característica se encuentra relacionada con el desempeño decreciente de la tecnología médica; y dado que los costos de mantenimiento correctivo suelen ser altos, en consecuencia habrá un aumento en la demanda económica para mantener la funcionalidad de los dispositivos médicos.

Por otro lado, un análisis de este tipo puede proporcionar información que permita identificar oportunidades para mejorar el desempeño de los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de dispositivos médicos.

En definitiva, el uso de herramientas estadísticas en el campo de la Ingeniería Clínica, asegura que las tareas de gestión técnica estén sustentadas en evidencia y datos duros de evaluación para su seguimiento y mejora.

Es importante resaltar que un AED requiere de herramientas estadísticas complementarias, con el fin de mostrar la naturaleza de la relación entre variables específicas, lo cual nos lleva al diseño de un instrumento específico para evaluación tecnológica que se abordará en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4. MODELO DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA MÉDICA

La Evaluación de Tecnología Médica (ETM) en un sentido amplio, es un proceso que analiza diversos elementos del contexto donde la evaluación se realiza, tales como datos epidemiológicos, demográficos, económicos o de utilización de servicios y tecnologías de salud. Todo ello con el fin de proporcionar respuesta a preguntas que se plantean los diferentes actores que operan en el escenario de los servicios de salud a nivel macro, meso y micro [30]. Esto es lo que se denomina evaluación de tecnología médica basada en evidencia. Sirve, por tanto, no sólo a los clínicos sino también a los poderes públicos, aseguradores y administradores (públicos y privados) y ciudadanos.

El objetivo de este capítulo es desarrollar, a partir del método de jerarquización analítica, un instrumento de ETM (Nivel 1) que incorpore tres perspectivas de análisis (Nivel 2): *a)* técnica, *b)* clínica y *c)* económica, las cuales incorporan 17 variables independientes (Nivel 3), que permitirán obtener un valor (indicador) de evaluación para cada perspectiva (Figura 4.1).

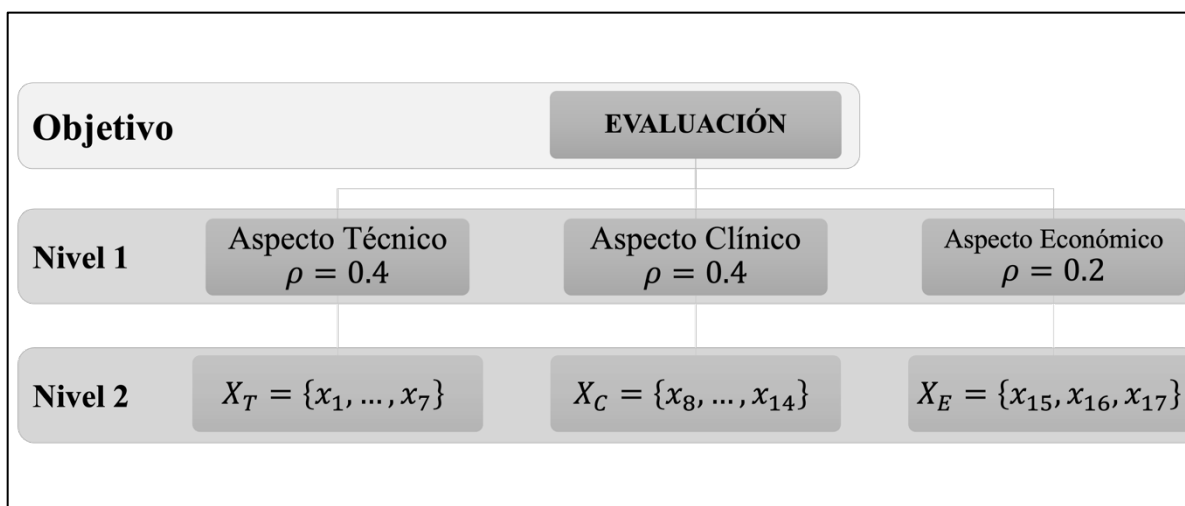


Figura 4.1 Instrumento de ETM con los Indicadores parciales y cantidad de variables por indicador.

Tanto los indicadores diseñados para la evaluación de cada aspecto como sus ponderaciones, se establecieron con base en la experiencia e interacciones del SIB con la tecnología médica (técnico), las áreas usuarias (clínico) y los principales tomadores decisiones de la institución

(económico). Buscando proveer una perspectiva que permita un análisis de las necesidades tecnológicas y su impacto en la operación hospitalaria, su utilidad clínica y los costos implicados en su funcionalidad y disponibilidad.

Las variables se propusieron a partir de información fácilmente accesible para el SIB, que permitiera evaluar cada aspecto de manera objetiva y con datos de la operación diaria del hospital, lo cual a su vez facilita la reproducibilidad de este modelo.

4.1 INDICADOR TÉCNICO

El Indicador Técnico (I_T) permite la evaluación funcional de la tecnología médica mediante la incorporación de características técnicas, así como garantizar su operatividad mediante el soporte técnico y el suministro de refacciones en un periodo de tiempo de cinco años, posterior a la fecha de evaluación. Se obtiene a partir de siete variables, agrupadas en cuatro indicadores parciales. Cada variable adquiere distintos valores cualitativos (Q_i) que son mapeados a un dominio cuantitativo (M_i) (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Indicador técnico con sus indicadores parciales menores y sus respectivas variables

IT: INDICADOR TÉCNICO	INDICADOR PARCIAL	x_i	VARIABLES	Q_i	M_i
	I_R : indicador del nivel de riesgo	x_1	Clasificación del Equipo de acuerdo a la FDA por nivel de riesgo.	C1	1
				C2	0.75
				C3	0.50
	I_M : indicador de mantenimiento	x_2	Cantidad de cambios de accesorios y/o consumibles al año	[0,2]	1
				[3,4]	0.5
				≥ 5	0.1
		x_3	Cantidad de mantenimientos preventivos al año	2	1
				1	0.5
				0	0.1
	I_{RA} : Indicador de disponibilidad de refacciones y accesorios	x_4	Cantidad de mantenimientos correctivos al año	0	1
				1	0.75
				2	0.5
		x_5	Disponibilidad de Refacciones en los próximos cinco años	≥ 3	0.1
				SI	1
				NO	0
	I_A : Indicador de antigüedad	x_6	Disponibilidad de Accesorios en los próximos cinco años	SI	1
				NO	0
			Antigüedad del equipo médico	[1-5]	1
				[6-10]	0.8
				[11,14]	0.6
				[15,19]	0.4
				≥ 20	0.2

4.1.1. Indicador Por Nivel De Riesgo

Este indicador por nivel de riesgo (I_R), evalúa el uso del equipo al contacto con el paciente. Toma la clasificación aplicada a dispositivos médicos por la FDA, basada en los riesgos y controles regulatorios necesarios para el uso de un dispositivo médico en específico, que permitan o impidan su seguridad y efectividad [25]. Se distinguen tres clases:

Clase I: aplicable a dispositivos del menor riesgo, cuya seguridad y eficacia están comprobados y no son de uso invasivo.

Clase II: son dispositivos que conocidos en la práctica médica y que pueden tener variaciones en el material con el que están elaborados o en su concentración y, generalmente, se introducen al organismo permaneciendo menos de treinta días.

Clase III: Dispositivos Médicos nuevos o recientemente aceptados en la práctica médica, o bien que se introducen al organismo y permanecen en él, por más de treinta días [25].

Este indicador se definió mediante la ecuación 4.1.

$$I_R = x_1 \quad (4.1)$$

4.1.2 Indicador De Mantenimiento

Evalúa el deterioro y la funcionalidad del equipo a partir de las distintas intervenciones de mantenimiento, ya sean preventivas, correctivas o de reemplazo de accesorios y consumibles (Tabla 4.1). Asigna un peso distinto de acuerdo con el tipo de mantenimiento que se registró en las órdenes de trabajo del Servicio de ingeniería Biomédica (SIB). Este indicador quedó definido con la ecuación 4.2.

$$I_M = \frac{x_2 + x_3 + x_4}{N_M} \quad (4.2)$$

Donde N_M es un valor de normalización que se obtiene de la suma de los valores máximos que puede adquirir cada variable, por lo que $N_M=3$.

4.1.3 Indicador De Disponibilidad De Refacciones Y Accesorios

Permite la valoración del equipo de acuerdo con la disponibilidad o no de refacciones y accesorios (Tabla. 4.1), para garantizar el funcionamiento de éste, en los cinco años posteriores a la evaluación. Se obtiene mediante la expresión 4.3.

$$I_{RA} = \frac{x_5 + x_6}{N_{RA}} \quad (4.3)$$

Donde N_{RA} es un valor de normalización que se obtiene de la suma de los valores máximos que puede adquirir cada variable del indicador por lo que $N_{RA}=2$

4.1.4 Indicador De Antigüedad

Permite evaluar al equipo en relación con su antigüedad (Tabla 4.1). A mayor antigüedad, el valor del indicador tiende a cero (ecuación 4.4).

$$I_A = x_7 \quad (4.4)$$

Una vez definidos los cuatro indicadores parciales, el Indicador Técnico (I_T) se obtiene mediante la suma normalizada de los valores resultantes de cada uno, tal como se describe en la ecuación 4.5.

$$I_T = \frac{I_R + I_M + I_{RA} + I_A}{N_T} \quad (4.5)$$

Donde:

I_R = valor obtenido para el indicador de riesgo, donde $0 < I_R \leq 1$

I_M = valor obtenido por el indicador de mantenimiento, donde $0 < I_M \leq 1$

I_{RA} = valor obtenido por el indicador de mantenimiento, donde $0 < I_{RA} \leq 1$

I_A = valor obtenido por el indicador de mantenimiento, donde $0 < I_A \leq 1$

N_T = máximo valor resultante de la suma de los indicadores parciales, $N_T=4$.

El valor de normalización en todos los casos permitirá establecer el resultado en un rango entre (0,1); de tal manera que $N_{i(I_j)} = \sum_1^n x_{i_{\max}}$.

4.2 INDICADOR CLÍNICO

El Indicador Clínico (I_c) mide el impacto en el uso clínico de la tecnología y su injerencia en la seguridad y la atención de pacientes. Considera el área en la que se ubica, la demanda, y las horas en uso con el paciente. En este caso se definieron siete variables cualitativas (Q_i), que fueron mapeadas en un dominio cuantitativo (M_i), y agrupadas en tres indicadores parciales (Tabla 4.2).

4.2.1 Indicador De Nivel De Impacto

Mide la relevancia clínica del equipo, de acuerdo con el área crítica en la cual se ubica y con la función que tiene en su uso con paciente. Se calcula a partir de la ecuación 4.6.

$$I_{NI} = \frac{x_8 + x_{14}}{N_{NI}} \quad (4.6)$$

Tabla 4.2 Indicador clínico con sus indicadores parciales y sus respectivas variables

INDICADOR PARCIAL	x_i	VARIABLES	Q_i	M_i
IC: INDICADOR CLÍNICO	x_8	Ubicación del equipo (Nivel de impacto por área de atención)	Áreas Quirúrgicas y CEYE	1
			Urgencias y Cuidados Intensivos	0.9
			Gabinets y servicios de Dx	0.8
			Hospitalización	0.7
			Consulta Externa	0.6
			Otras áreas	0.5
	x_{14}	Función del equipo	Soporte de Vida	1
			Quirúrgico y cuidados intensivos	0.9
			Diagnóstico	0.9
			Monitoreo y Somatometría	0.7
			Laboratorio	0.6
			Tratamiento Fisioterapéutico	0.5
	x_9	Cantidad de equipos del mismo perfil en el área		$n1$
	x_{10}	Cantidad de pacientes atendidos		$n2$
	x_{11}	Cantidad de pacientes potenciales		$n3$
	x_{12}	Horas de uso		$n4$
	x_{13}	Horas fuera de servicio		$n5$

4.2.2. Indicador De Demanda

Permite establecer un valor de relevancia, acorde a la demanda de uso del equipo, y la disponibilidad de equipos de un mismo tipo en un área específica. I_{DE} Se obtiene a partir de la ecuación 4.7.

$$I_{DE} = \frac{(x_9/x_{10} + x_{10}/x_{11})}{N_{DE}} \quad (4.7)$$

Donde N_{DE} suma del máximo valor posible de la suma de los cocientes $N_{DE}=2$.

4.2.3 Indicador De Horas Disponibles

Es la proporción de cantidad de horas que el equipo estuvo en uso, sumado a las horas fuera de servicio, con relación al total de horas del periodo evaluado (k_1). Se calcula con la ecuación 4.8.

$$I_{HD} = 1 - \left(\frac{k_1 - (x_{12} + x_{13})}{k_1} \right) \quad (4.8)$$

Donde k_1 es el total de horas del periodo evaluado, en este caso el año 2022, por lo que $k_1 = (365 \text{ días}) (24 \text{ horas}) = 8760h$.

Finalmente, el cálculo del Indicador Clínico (I_C) se obtiene mediante la suma normalizada de los tres indicadores parciales obtenidos (ecuación 4.9).

$$I_C = \frac{I_{NI} + I_{DE} + I_{HD}}{N_C} \quad (4.9)$$

Donde:

I_{NI} = valor obtenido para el indicador de nivel de impacto, donde $0 < I_{NI} \leq 1$

I_{DE} = valor obtenido para el indicador de demanda, donde $0 < I_{DE} \leq 1$

I_{HD} = valor obtenido para el indicador de horas disponibles, donde $0 < I_{HD} \leq 1$

N_C = suma de los valores máximos que puede alcanzar cada indicador parcial, $N_C=3$

4.3 INDICADOR ECONÓMICO

Evalúa el costo de operación actual del equipo médico en cuestión. Toma en cuenta el costo de adquisición de este, considerando el nivel de inflación hasta la fecha de la evaluación, así como su depreciación, sin tomar en cuenta los costos operativos relativos a la infraestructura

del hospital. El Indicador económico se obtiene con de tres variables, agrupadas en dos indicadores parciales (Tabla 4.3). Observe que, en este caso, únicamente se considera un dominio cuantitativo (n_6, n_7, n_8), siendo n_i el costo (en pesos mexicanos) considerado para cada variable.

Tabla 4.3 Indicador económico y sus respectivas variables

IE: INDICADOR ECONÓMICO	INDICADOR PARCIAL	x_i	VARIABLES	M_i
	I_{CM} : Indicador de costo de mantenimiento	x_{15}	Costo de mantenimiento anual	n_6
		x_{17}	Costo de adquisición	n_8
	I_{CONS} : Indicador de costo de consumibles	x_{16}	Costo de consumibles (por paciente)	n_7

4.3.1 Indicador De Costo De Mantenimiento

Para definir este indicador, fue necesario estimar el costo de depreciación C_{Dep} , de un equipo médico de acuerdo con su antigüedad. El Diario Oficial de la Federación ha determinado que el porcentaje de depreciación de un equipo médico es del 20% por cada año de antigüedad a partir de su compra [6]. En el caso de equipos cuya antigüedad excede los 5 años, que es el periodo en el cual el equipo se depreciaría al 100%, el costo de depreciación se estableció como el 20% de su costo de adquisición. Se recomienda emplear este costo considerando la variación de la inflación desde el año de compra, hasta el año corriente. De tal manera que C_{Dep} se calcula con la ecuación 4.10:

$$C_{Dep} = (x_{17})[1 - ((k_2)(x_5))] \quad (4.10)$$

Para $x_7 \geq 5$ años, entonces C_{DEP} se calcula con la ecuación 4.11:

$$C_{Dep} = (k_2)(x_{17}) \quad (4.11)$$

Donde k_2 es el porcentaje de depreciación anual, $k_2 = 0.20$.

Una vez estimado C_{Dep} , se definió el Indicador de costo de mantenimiento (I_{CM}), que mide la proporción de inversión en servicios de mantenimiento (x_{15}), con respecto al costo actual del equipo (C_{Dep}) y se obtiene con la ecuación 4.12.

$$I_{CM} = \frac{x_{15}}{C_{Dep}} \quad (4.12)$$

El resultado obtenido de I_{CM} se mapeó a un valor en el intervalo $[0, 1]$ (Tabla 4.4). Observe que cuanto mayor es el cociente resultante, mayor la inversión en mantenimiento. Es decir, el valor cero significa una mayor inversión y el valor uno, una menor inversión y por lo tanto, una mejor condición del equipo médico.

Tabla No. 4.4 Valor de I_{CM} , según la inversión en mantenimiento.

Relación x_{15}/C_{Dep}	I_{CM}
[0.00 - 0.40]	1.0
[0.50 - 1.09]	0.8
[1.10 - 3.49]	0.6
[3.50 - 7.09]	0.4
[7.10 - 10.60]	0.2
≥ 10.61	0

4.3.2 Indicador Por Costo De Consumibles

Evalúa la inversión en consumibles para la operación del dispositivo médico durante un año (x_{16}), de acuerdo con los intervalos de precios mostrados en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Valores para I_{CONS} según los costos de consumibles anuales

INTERVALO DE COSTOS (MXN)	I_{CONS}
0.0 - \$3,849	1
\$3,850 - \$7,689	0.8
\$7,690 - \$11,529	0.6
\$11, 530 - \$15, 369	0.4
> \$15, 370	0.2

Finalmente, el indicador económico (I_E), es el resultado de la suma normalizada de los dos indicadores parciales, tal como lo describe la ecuación 4.13.

$$I_E = \frac{I_{CM} + I_{CONS}}{N_E} \quad (4.13)$$

Donde:

I_{CM} = valor obtenido para el indicador de costo de mantenimiento, donde $0 < I_{CM} \leq 1$

I_{CONS} = valor obtenido para el indicador de costo de consumibles, donde $0 < I_{CONS} \leq 1$

N_E = suma de los valores máximos que puede alcanzar cada indicador, es decir $N_E = 2$

Es importante resaltar, que los tres indicadores parciales definidos, dan lugar a una valoración específica para cada equipo médico. Al ser calculados a partir de variables independientes, pueden ser tomados como una evidencia objetiva e individual (técnica, clínica o económica), de acuerdo con los intereses de los tomadores de decisiones.

4.4 INDICADOR GLOBAL DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA MÉDICA

Finalmente, se incorporaron los tres indicadores: técnico, clínico y económico, en un Indicador de Evaluación Global (I_{EG}) que permite priorizar el equipo evaluado en algún proceso del ciclo de gestión de tecnología médica, por ejemplo, en programas de sustitución de tecnológica, de mantenimiento y/o de capacitación. El I_{EG} está definido por la suma ponderada de los valores de cada indicador parcial (ecuación 4.14). En este caso los factores de ponderación (ρ_i) se definieron de acuerdo con la experiencia del personal del Servicio de Ingeniería Biomédica (Tabla 4.6).

$$I_{EG} = \rho_T I_T + \rho_C I_C + \rho_E I_E \quad (4.14)$$

Donde:

I_{EG} : Indicador de evaluación global

I_T : Indicador técnico

I_C : Indicador clínico

I_E : Indicador económico

ρ_T : Valor de ponderación para el indicador técnico

ρ_C : Valor de ponderación para el indicador clínico

ρ_E : Valor de ponderación para el indicador económico

Tabla 4.6 I_{EG} con las ponderaciones correspondientes de los indicadores parciales.

INDICADOR GLOBAL DE PRIORIZACIÓN			
INDICADOR PARCIAL	Indicador Técnico (I_T)	Indicador Clínico (I_C)	Indicador Económico (I_E)
PONDERACIÓN (ρ)	0.4	0.4	0.2
EXPRESIÓN MATEMÁTICA	$I_T = \frac{I_R + I_M + I_{RA} + I_A}{N_T}$	$I_C = \frac{I_{NI} + I_{DE} + I_{HD}}{N_C}$	$I_E = \frac{I_{CM} + I_{CONS}}{N_E}$

Por otra parte, se espera que el instrumento presentado pueda emplearse de manera dinámica, agregando y desagregando los indicadores parciales según los intereses particulares de las instituciones o acoplarse al tipo de tecnología médica que se pretenda evaluar, ya sea un conjunto homogéneo de dispositivos (del mismo tipo o complejidad) o un conjunto diverso (distinto tipo y complejidad). En el siguiente capítulo se demuestra la aplicación de esta herramienta de evaluación en diversos equipos médicos de mediana y alta complejidad tecnológica.

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA MÉDICA

Con la finalidad de validar el modelo de evaluación de tecnología médica, el presente capítulo tiene como objetivo mostrar diferentes aplicaciones del Indicador de Evaluación Global (I_{EG}) en tecnología de mediana y alta complejidad tecnológica. mismo que fue implementado para la evaluación. Por lo tanto, se realizó la evaluación de distintos tipos de equipos médicos (EM) localizados en el Hospital General Dr. Nicolás San Juan (HNSJ):

- 21 equipos de ventilación mecánica
- 125 equipos médicos ubicados en distintas áreas críticas.
- Un equipo de resonancia magnética

La aplicación del I_{GE} , en el caso de los equipos de mediana complejidad, evaluó la funcionalidad, el impacto clínico y las implicaciones económicas que permitían o no garantizar la seguridad en el uso de la tecnología médica, y la incorporación de ésta a programas de sustitución o de mantenimiento.

Para el caso del equipo de alta complejidad tecnológica (resonancia magnética), fue posible establecer una medición de su desempeño y relacionarlo con la productividad a través de los estudios realizados. De esta manera, también se demostró que el I_{GP} puede comportarse de manera dinámica, al desagregar sus indicadores parciales y relacionarlos con otras variables de estudio, para coadyuvar a la toma de decisiones.

5.1 EVALUACIÓN DE EQUIPO DE VENTILACIÓN MECÁNICA PARA LA PRIORIZACIÓN DE REEMPLAZO.

En el año 2020 con la propagación de la enfermedad ocasionada por el virus SARS-Cov2, y por indicaciones del Gobierno Federal, diversas instituciones de Salud Pública fueron destinadas para convertirse en centros de atención para COVID-19, dentro de las cuales se encontró el HNSJ, que a partir de abril de 2020 operó con el 50% de sus camas destinadas

exclusivamente para la atención a pacientes con dicha patología, hecho que, por la naturaleza de la enfermedad, supuso un incremento en la demanda de equipos de ventilación mecánica, así como el uso prácticamente ininterrumpido. El HNSJ contaba con 28 dispositivos de uso invasivo para distintos tipos de pacientes (adulto, pediátrico, neonatal); de los cuales 18 (64%) cuentan con una antigüedad de entre 10 y 16 años [4]. De tal manera que, el deterioro que presentaban los equipos por su antigüedad, aunado al desgaste por el uso excesivo de químicos para desinfección; ocasionó fallas recurrentes en estos equipos y en múltiples ocasiones, se presentaron más de 2 mantenimientos correctivos en un solo equipo en un periodo no mayor a un año.

En esta dirección, se observó que la implementación del modelo de evaluación en el equipo de ventilación mecánica permitiría proponer un proceso de reemplazo escalonado, basado en el análisis técnico, clínico y económico que brinda el Indicador de Evaluación Global (IEG), descrito en el capítulo anterior.

5.1.1 Selección De Tecnología Y Periodo De Evaluación.

Derivado del deterioro y antigüedad de los ventiladores mecánicos invasivos (VMI) en el HNSJ, y de la alta demanda de atención, sobre todo en el periodo invernal, comprendido entre los meses de diciembre de 2020 y enero de 2021, se registraron un total de 938 egresos hospitalarios, de los cuales cerca del 30% correspondió a pacientes con apoyo ventilatorio u oxígeno suplementario. Asimismo, este mismo periodo se tomó como referencia dicho periodo para evaluar el siguiente año (diciembre 2021– enero 2022).

Se encontró que el HNSJ cuenta con un universo de 29 VMI, dentro de los cuales, dos equipos son de traslado, once son para uso con pacientes Adultos-Pediátricos (VAP), cuatro son para pacientes Pediátricos-Neonatales (VPN), y doce son para uso con pacientes Adulto-Pediátrico-Neonatal (VAPN). Sin embargo, seis de estos últimos son empleados exclusivamente en la Unidad Pediátrica de Quemados (UPQ) del HNSJ, mientras que el resto

de los equipos se emplean en los distintos servicios de atención médica de acuerdo con la demanda. Por lo tanto, para este estudio se excluyeron los seis equipos asignados a la UPQ, así como los 2 ventiladores de traslado, quedando un total de 21 equipos a evaluar.

5.1.2 Recolección de datos

Se empleó la información correspondiente al inventario funcional y los censos diarios de ubicación de los equipos de ventilación mecánica, realizados por el Servicio de Ingeniería Biomédica (SIB) del HNSJ.

Se obtuvo la información del Servicio de Inhaloterapia acerca de la cantidad de pacientes con apoyo mecánico ventilatorio atendidos en las diversas áreas durante el periodo de evaluación, siendo un total de 90, el número de pacientes atendidos durante la temporada diciembre-enero de 2021-2022, de los cuales 51 fueron pacientes adultos, 16 pediátricos y 23 neonatales. En cuanto a la información de costos de mantenimiento y consumibles, se consideraron los correspondientes al contrato de mantenimiento a equipo médico 2021, así como el costo de insumos considerado en el catálogo de farmacia para el mismo año.

Dentro de la información recabada, obtuvieron 62 *registro diarios de estado*, correspondientes al mes de diciembre y enero de 2020 y 2021, que permitieron recabar los valores del tiempo de uso de los VMI.

En lo que se refiere a la demanda de atención de los VMI, entre diciembre de 2020 y enero de 2021, el Servicio de Inhaloterapia del HNSJ, registró un total de 90 pacientes que requirieron ventilación mecánica, distribuidos en los servicios de Hospitalización de Cirugía (18 pacientes), Hospitalización de Medicina Interna (cuatro pacientes), Unidad de Cuidados Intensivos (13 pacientes), Urgencias (16 pacientes), Hospitalización de Pediatría (16 pacientes), Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales (23 pacientes).

Por otro lado, el costo de mantenimiento que se obtuvo para una intervención de mantenimiento preventivo durante el contrato ejercido en el año 2021, fue de \$24,014.00 (veintiún mil catorce pesos mexicanos), mientras que el costo de consumibles (tomando en cuenta un kit por paciente), tales como circuito desechable, filtro HME, sistema de aspiración cerrado y sensor de flujo desechable; se calculó de acuerdo a las marcas de los VMI con los que cuenta el HNSJ, encontrándose 5 marcas diferentes y distribuyéndose de la siguiente manera (Tabla 5.1):

Tabla 5.1 Costos de consumibles por paciente marcas de VMI

No.	Tipo de Ventilador	Costo de consumibles por Paciente	Costo por total de pacientes ventilados
1	Marca A	\$1,756.00	\$158,040.00
2	Marca B	\$3,256.90	\$293,121.00
3	Marca C	\$1,496.90	\$134,721.00
4	Marca D	\$1,356.90	\$122,121.00
5	Marca E	\$1,867.90	\$72,848.10**
TOTAL			\$78,085.1
** La Marca E, solamente aplica para ventiladores Neonatales-Pediátrico, con un total de 39 pacientes atendidos.			

Se implementó el modelo de evaluación basado en indicadores, incorporando pesos específicos a las variables técnicas, y variables que permitieran evaluar el impacto clínico conforme a la demanda de pacientes atendidos por COVID-19.

5.1.3 Indicador Técnico.

Se definieron cinco variables, con un dominio cualitativo (Q_i), un dominio cuantitativo (M_i), cada una con distinto valor de ponderación (γ_{xi}), de acuerdo con su relevancia técnica (Tabla 5.2). I_T es la suma normalizada del valor ponderado de cada variable (ecuación 5.1).

$$I_T = \frac{\sum_{i=1}^5 \gamma_{xi} x_i}{N_T} \quad (5.1)$$

Tabla 5.2 Indicador técnico con sus indicadores parciales y sus respectivas variables

Indicador técnico (I_T) $\rho_T = 0.5$	x_i	y_{xi}	Variable	M_i	Q_i
	x_1	0.75	Tipo de ventilador	1.0	Adulto/ Pediátrico/ Neonatal
				0.7	Adulto / Pediátrico
				0.5	Pediátrico/ Neonatal
	x_2	0.75	No. de mantenimientos al año	0.5	1
				1	2
				0.25	3,4
	x_3	0.5	Disponibilidad de refacciones	1	Si
				0	No
	x_4	0.5	Disponibilidad de accesorios	1	Si
				0	No
	x_5	1.0	Antigüedad del equipo (en años)	1	[1-5]
				0.75	[6-10]
				0.5	[11,15]
				0.25	[16,20]
				0.1	>20

5.1.4 Indicador Clínico

Incorpora seis variables, (Tabla 5.3) agrupadas en cuatro indicadores parciales, relacionados con la demanda de los VMI, mismos que se describen a continuación.

Tabla 5.3 Indicador clínico con sus indicadores parciales y sus respectivas variables

Indicador clínico (I_C) $\rho_C = 0.3$	Indicador parcial		x_i	Variable	M_i
	I_{CO} : Indicador de uso COVID		x_6	Uso COVID	(0,1)
	I_D : Indicador de Demanda por ventilador		x_7	Cantidad por tipo de pacientes	(39,67,90)
			x_8	Total de pacientes ventilados	90
	I_{DS} : Indicador de disponibilidad por tipo de ventilador		x_9	Cantidad de equipos del mismo tipo	(4,6,11)
	I_{HDS} : Indicador de horas disponibles		x_{10}	Horas de uso	(0 - 1488)
			x_{11}	Horas fuera de servicio	(0 - 1488)

- Indicador de uso COVID (I_{CO})*, describe cuantitativamente si el VMI fue empleado o no para tratar a pacientes positivos a COVID-19, y dado que implicó un uso

ininterrumpido por un tiempo prolongado, la variable toma el valor 1 para uso con tales pacientes y 0 en caso contrario (ecuación 5.2).

$$I_{CO} = x_6 \quad (5.2)$$

- b. *Indicador de demanda por ventilador (I_{DV})*, es la relación entre los tipos de pacientes (adultos, pediátricos o neonatales) que pueden ser ventilados con el equipo evaluado de acuerdo con sus características de software y hardware; y el total de pacientes ventilados (ecuación 5.3).

$$I_D = \frac{x_7}{x_8} \quad (5.3)$$

- c. *Indicador de disponibilidad por tipo de ventilador (I_{DS})*, describe la relación entre el total de ventiladores de un mismo tipo, y el total de pacientes, que lo requirieron (ecuación 5.4).

$$I_{DS} = \frac{x_9}{x_7} \quad (5.4)$$

- d. *Indicador de horas disponibles*: permite evaluar la cantidad de horas que el equipo estuvo fuera de uso con paciente, sin considerar las horas fuera de servicio (ecuación 5.5).

$$I_{HDS} = \frac{k - (x_{10} + x_{11})}{k} \quad (5.5)$$

En este caso k corresponde al total de horas del periodo evaluado (diciembre 2021 – enero 2022), que contempla 62 días naturales, de tal manera que $k = (62 \text{ días})(24 \text{ horas}) = 1488 \text{ horas}$.

El valor de I_C es la suma normalizada de sus indicadores parciales (ecuación 5.6).

$$I_C = \frac{I_{CO} + I_D + I_{DS} + I_{HDS}}{N_C} \quad (5.6)$$

5.1.5 Indicador Económico.

Se consideraron los indicadores parciales I_{CONS} e I_{CM} del modelo de evaluación del I_{EG} (Tabla 5.4), mediante la incorporación de las tres variables de costos.

Tabla 5.4 Indicador económico con sus indicadores parciales y sus respectivas variables

Indicador económico (I_E) $\rho_E = 0.2$	Indicador parcial	X_i	Variable
	I_{CM} : Indicador de costo de mantenimiento	X_{12}	Costo de mantenimiento anual
		X_{13}	Costo de consumibles
	I_{CONS} : Indicador de costo de consumibles	X_{14}	Costo de adquisición

En este caso, tanto el cociente C_{Mto}/C_{Dep} (Tabla 5.5), como los intervalos de costos de consumibles (Tabla 5.6), fueron mapeados en un Intervalo $[0, 1]$, para dar lugar al valor de los indicadores I_{CM} e I_{CONS} respectivamente. Cabe mencionar que en el caso de los costos de consumibles los extremos mínimo y máximo, se establecieron de acuerdo con el costo más bajo y alto para la adquisición de consumibles para el uso con un paciente.

Tabla 5.5 Valores de I_{CM} según el porcentaje de inversión en mantenimiento

Relación C_{Mto}/C_{Dep}	I_{CM}
[0.1 -0.20]	1.0
[0.21 -0.40]	0.8
[0.41 -0.60]	0.6
[0.61 -0.80]	0.4
>0.81	0.2

Tabla 5.6 Valores de I_{CONS} según la inversión en consumibles por paciente

Intervalo de costos (en pesos mexicanos)	I_{CONS}
[1000 -1500]	1.0
[1501 -2000]	0.75
[2001 -2500]	0.5
> 2500	0.25

El valor de I_E se calcula de acuerdo con el modelo de I_{EG} , como la suma normalizada de los indicadores parciales (ecuación 5.7).

$$I_E = \frac{I_{CM} + I_{CONS}}{N_E} \quad (5.7)$$

5.1.6 Escala Cualitativa

El resultado del indicador I_{EG} es interpretado a partir de una escala cualitativa, la cual se estableció considerando que, el tiempo mínimo que supone el proceso de baja, solicitud para sustitución, licitación para adquisición y puesta en marcha de nueva tecnología médica, es de aproximadamente dos años (Tabla 5.7). Esta clasificación servirá como un parámetro de planificación temporal a las instituciones, en cuanto a los programas de mantenimiento y capacitación. Adicionalmente, se prevé que una vez que se logra la sustitución de los equipos localizados en prioridad alta, los equipos que se encuentran en priorización media, estarían pasando a un nivel

Tabla 5.7 Escala cualitativa I_{EG} y tiempo sugerido de sustitución de equipo de VMI

Valor de I_{EG}	Interpretación	Tiempo de sustitución sugerido
(0.0 – 0.50)	Prioridad alta de sustitución	2 años
(0.51 - 0.75)	Prioridad media de sustitución	4 años
(0.76 – 1.00)	Prioridad baja de sustitución	6 años

5.1.7 Evaluación De Un Ventilador Mecánico

Para ilustrar la aplicación del modelo de evaluación, se consideró un VMI Adulto/Pediátrico/Neonatal, de la Marca C, con una antigüedad de 15 años, que además fue utilizado de manera continua para atención de pacientes COVID.

5.1.7.1 Indicador técnico. Los valores obtenidos para las variables técnicas (Tabla 5.8) se sustituyeron en la ecuación 5.1.

Tabla 5.8 Valores de las variables técnicas del VMI seleccionado (V14)

X_i	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Y_{xi}	0.75	0.75	0.5	0.5	1.0
Q_i	Adulto/ Pediátrico/ Neonatal	3	NO	SI	15
M_i	1	0.25	0	1	0.5

$$I_T = \frac{\sum_{i=1}^5 Y_{xi} X_i}{N_T} = \frac{(0.75)(1) + (0.75)(0.25) + 0 + (0.5)(1) + (1.0)(0.6)}{5}$$

$$I_T = \frac{1.93}{5} = 0.38$$

Observe que el indicador técnico, al aproximarse a cero, puede ser un referente del deterioro del equipo, aun cuando es un equipo que posee las características de configuración para ser usado con todo tipo de pacientes (adultos, pediátricos y neonatales), su antigüedad y la falta de refacciones (en caso de que fuese necesario) para su funcionamiento en los próximos años, repercuten de manera importante en la evaluación.

5.1.7.2 Indicador clínico. los valores obtenidos para las variables clínicas (Tabla 5.9), se sustituyeron en cada una de las ecuaciones para los indicadores parciales I_{CO} , I_D , I_{DS} , I_{HDS} (Tabla 5.11):

Tabla 5.9 Valores de las variables clínicas del VMI seleccionado (V14)

X_i	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
Q_i	SI	90	k	--	---	0
M_i	0	90	90	6	456	0

Tabla 5.10 Cálculo de Indicadores parciales para I_C

Indicador de uso COVID	Indicador de demanda por ventilador
$I_{CO} = x_6 = 0$	$I_D = \frac{x_7}{x_8} = \frac{90}{90} = 1$
Indicador de disponibilidad por tipo de ventilador	Indicador de horas disponibles
$I_{DS} = \frac{x_9}{x_7} = \frac{6}{90} = 0.07$	$I_{HDS} = \frac{k - (x_{10} + x_{11})}{k} = \frac{1488 - 456}{1458} = 0.69$

De tal manera que:

$$I_C = \frac{I_{CO} + I_D + I_{DS} + I_{HDS}}{N_C} = \frac{0 + 1 + 0.07 + 0.69}{4} = 0.44$$

El valor de $I_C < 0.5$, deja ver, que a pesar de que tuvo un buen número de horas disponibles, se encuentra entre los tipos de ventiladores de más demanda potencial, atendiendo incluso a pacientes COVID, por lo que, en caso de ser reemplazado, el nuevo equipo debería contar

con opciones de configuración iguales o superiores para atención al mismo blanco de pacientes. De esta manera, el indicador clínico, no solo permite la evaluación de la tecnología actual, sino la previsión y planificación de las próximas adquisiciones.

5.1.7.3 Indicador económico. Se obtuvieron las variables de costos correspondientes, y posteriormente se asignaron los valores para I_{CM} e I_{CONS} (Tabla 5.11).

Tabla 5.11 Valores de las variables económicas del VMI seleccionado (V14)

x_i	x_{12}	x_{13}	x_{14}
Q_i	\$81,041.96	\$1,406.90	\$517,500.00

Parámetro C_{Dep} , se calculó considerando una antigüedad $x_5 \gg 5$ años

$$C_{Dep} = (0.2)(517,500) = 103,500$$

Por lo que:

$$I_{CM} = \frac{81,041.96}{103,500} = 0.78$$

Ya que $I_{CM} = 0.78 \in [0.61 - 0.80]$, de la Tabla 5.6:

$$I_{CM} = 0.4$$

Por otro lado, de la Tabla 5.7, dado que

$$x_{13} = 1406 \in [1000 - 1500]:$$

$$I_{CONS} = 1.0$$

Finalmente, sustituyendo I_{CM} e I_{CONS} en ecuación 5.7:

$$I_E = \frac{I_{CM} + I_{CONS}}{N_E} = \frac{0.4 + 1.0}{2} = 0.7$$

$$I_E = 0.7$$

Una vez calculados los 3 indicadores parciales, se obtiene el indicador global de priorización I_{GP} , sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación 4.14 para I_{EG} , de tal modo que:

$$I_{EG} = (0.5)(0.55) + (0.3)(0.44) + (0.2)(0.7)$$

$$I_{EG} = 0.55$$

De acuerdo con la Tabla 5.7, que muestra la interpretación para distintos rangos de valores de I_{EG} , V14 requerirá reemplazarse en un mediano plazo, no mayor a 4 años.

5.1.8 Evaluación de un conjunto de 21 ventiladores mecánicos invasivos.

Como se mencionó, se evaluaron 21 ventiladores y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5.13. Observe que los resultados para cada indicador: técnico (I_T), clínico (I_c), económico (I_E) y global (I_{EG}) se muestran como el valor ponderado por (ρ_i). La distribución se hizo de acuerdo con la prioridad de reemplazo.

Tabla 5.12 Valores del I_{EG} y de los indicadores parciales ponderados para cada ventilador evaluado

Tipo	VMI	ρI_T	ρI_c	ρI_E	I_{EG}
Equipos que requieren sustitución a corto plazo (2 años)					
VPN	V18	0.12	0.19	0.10	0.40
VPN	V19	0.19	0.15	0.12	0.46
VAP	V2	0.22	0.13	0.12	0.46
VPN	V21	0.20	0.14	0.14	0.47
VAPN	V12	0.29	0.10	0.09	0.48
VAPN	V13	0.29	0.11	0.09	0.48
VAP	V4	0.25	0.10	0.14	0.49
VPN	V20	0.19	0.16	0.14	0.49
Equipos que requieren sustitución a mediano plazo (4 años)					
VAP	V3	0.25	0.11	0.14	0.50
VAP	V1	0.20	0.14	0.16	0.50
VAPN	V14	0.28	0.13	0.14	0.55
VAPN	V16	0.36	0.12	0.16	0.64
VAPN	V17	0.36	0.13	0.16	0.65
Equipos que requieren sustitución a largo plazo (6 años)					
VAP	V8	0.47	0.10	0.18	0.74
VAP	V9	0.47	0.10	0.18	0.74
VAP	V7	0.47	0.11	0.18	0.75
VAPN	V15	0.42	0.15	0.18	0.75
VAP	V6	0.47	0.11	0.18	0.75
VAP	V10	0.47	0.11	0.18	0.76
VAP	V5	0.41	0.17	0.18	0.76
VAP	V11	0.47	0.12	0.18	0.76

De acuerdo con la clasificación resultante, se observa que los cuatro ventiladores de uso pediátrico-neonatal (VPN) requieren ser sustituidos en el corto plazo. Cabe mencionar, que estos equipos están en un rango de antigüedad que va de los 10 a los 17 años, y en algunos casos fueron sometidos a más de dos mantenimientos correctivos en un año, lo cual nos permite validar la consistencia de los indicadores.

Por otro lado, se observa que cinco de seis ventiladores que potencialmente pueden usarse con cualquier tipo de paciente (VAPN) se encuentran dentro de la sustitución a corto y mediano plazo, lo que significa que hay un riesgo potencial de que la unidad hospitalaria, en los próximos 4 años, presente dificultades para la atención de pacientes neonatales y pediátricos. El promedio de antigüedad de estos cinco equipos es de 14 años, hecho que es congruente con la necesidad de reemplazo a corto y mediano plazo.

En lo que respecta a la relevancia clínica de los VMI, se observa que los valores más altos para I_C los alcanzan los VPN ($I_C=0.19$), seguidos de los VAPN ($I_C=0.15$), finalmente se encuentran los VAP, con valores para $I_C = [0.1 \text{ y } 0.17]$; los cuales podrían ser un criterio auxiliar para tomar decisiones acerca de la cuántos tipos de ventiladores deben adquirirse en próximas compras.

En cuanto a los ventiladores de uso adulto-pediátrico (VAP), dos obtuvieron la clasificación para reemplazo a corto plazo, otros dos en la clasificación de reemplazo a mediano plazo; lo cual también es congruente, ya que estos cuatro equipos son los más antiguos de este tipo. Mientras que, en la clasificación de reemplazo a largo plazo, se encuentra el resto de los VAP, mismos que no presentan diferencias significativas en el I_T e I_E . Esto es coherente, puesto que seis de los siete equipos son de la misma marca, modelo, y tienen dos años de antigüedad. En esta clasificación también se observa que V5 tiene una mayor relevancia clínica, respecto del resto. Este equipo, aunque es de la misma marca que los otros seis, es un modelo que suele emplearse para pacientes cuyos requerimientos ventilatorios son mucho más especializados,

por lo que cuenta con herramientas de software superiores. Finalmente, para el indicador económico I_E se observa que es más alto en los VMI que están dentro de la clasificación de reemplazo a mediano plazo, dispositivos en este grupo, no requieren un alto costo de mantenimiento, por lo que, si se administran correctamente los servicios preventivos correspondientes, puede extenderse su tiempo de vida.

5.2 EVALUACIÓN DE UN CONJUNTO DE 125 DISPOSITIVOS MÉDICOS DE MEDIANA COMPLEJIDAD

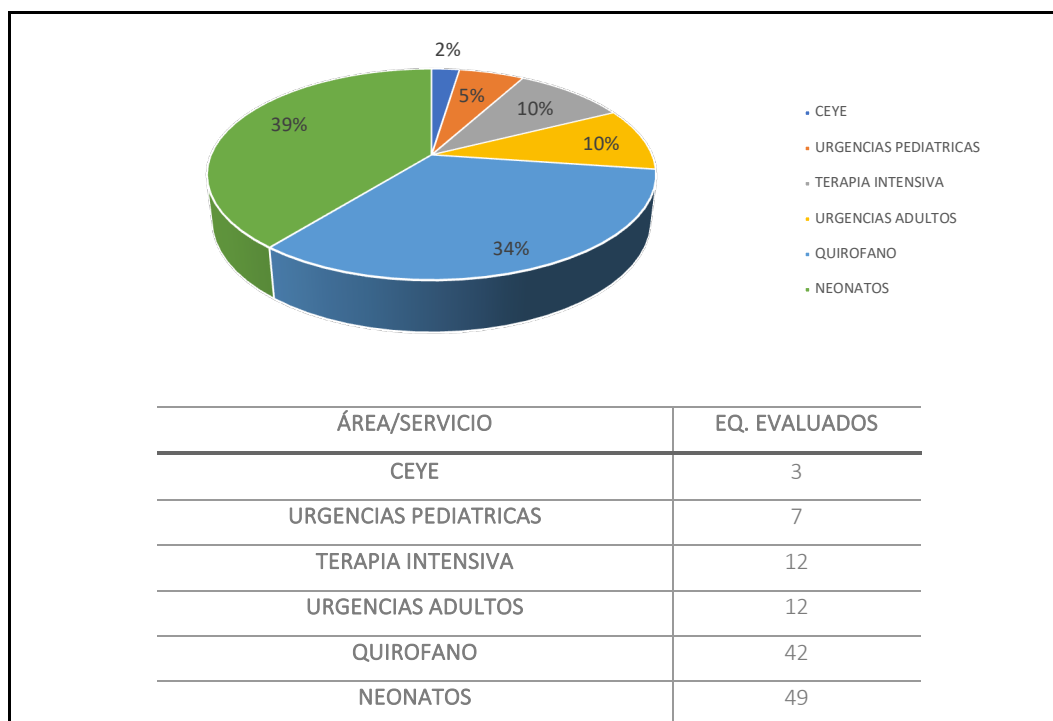
5.2.1 Selección De Tecnología Y Periodo De Evaluación.

Debido al análisis exploratorio de datos realizado (Capítulo 3), que arrojó datos importantes sobre la antigüedad y la frecuencia de mantenimientos correctivos en los equipos médicos (EM) de las áreas críticas del HGDNSJ, así como por la condición de vulnerabilidad de los pacientes que se atienden en ellas, se seleccionó una muestra de 125 EM ubicados en los siguientes servicios médicos: Quirófano, Central de Esterilización y Equipos (CEyE), Terapia Intensiva, Neonatología, Urgencias y Urgencias Pediátricas. Se observó que tan solo en el año 2021, la distribución de mantenimientos fue de 96% para mantenimiento correctivo (MC), y solo 4% para mantenimiento preventivo, por lo que se seleccionó este año como periodo de evaluación.

5.2.2 Recolección De Datos

Se extrajeron los datos de 348 órdenes de servicio técnico (OT) ejecutadas por el Servicio de Ingeniería Biomédica de los 125 equipos seleccionados durante el año 2021. Por otro lado, a través del Servicio de Registros Hospitalarios (SRH), se obtuvieron los datos correspondientes a la cantidad de pacientes atendidos y/o egresados de los servicios médicos considerados. La muestra evaluada tiene una variedad de 22 tipos de equipo médico distribuidos como se muestra en la Gráfica 5.1, observe que el área con mayor cantidad de equipo (39%) fue

Neonatos seguida de Quirófano con el 36%. Esto también indica que los equipos ubicados en estas dos áreas fueron los que más servicios (mantenimiento y accesorios) requirieron durante el periodo de evaluación



Gráfica 5.1. Cantidad de equipos evaluados por áreas.

5.2.3 Evaluación De Un Equipo Médico.

Para ilustrar el modelo de evaluación se consideró una lámpara quirúrgica doble de 13 años de antigüedad, con una demanda de 1106 pacientes por año. El valor de las variables de este equipo se muestra en la Tabla 5.13. Observe que durante el año (2021) requirió cinco mantenimientos correctivos y permaneció fuera de servicio durante 336 horas, lo cual significó la interrupción del funcionamiento de una Sala de Operaciones.

A continuación, se presenta el cálculo de los indicadores presentados en el modelo de evaluación de tecnología médica (I_{EG}) descrito en el capítulo anterior.

5.2.3.1 Indicador técnico. Los valores de cada variable (Tabla 5.13) se sustituyeron en las ecuaciones definidas para indicador parcial, como se muestra a continuación:

a. Indicador de nivel de riesgo (ecuación 4.1):

$$I_R = x_1 = 0.75$$

b. Indicador de mantenimiento (ecuación 4.2):

$$I_M = \frac{x_2 + x_3 + x_4}{N_M} = \frac{0.1 + 0.5 + 0.1}{3} = 0.10$$

Tabla 5.13 Variables para evaluación de una lámpara quirúrgica doble

Lámpara quirúrgica doble					
Variables	Q_i	M_i	Variables	Q_i	M_i
x_1 : Clasificación del Equipo por nivel de riesgo	C2	0.75	x_{10} : Cantidad de pacientes atendidos	1106	1106
x_2 : Cantidad de cambios de accesorios y/o consumibles al año	6	0.1	x_{11} : Cantidad de pacientes potenciales	5531	5531
x_3 : Cantidad de mantenimientos preventivos al año	1	0.5	x_{12} : Horas de uso	2212	2212
x_4 : Cantidad de mantenimientos correctivos al año	5	0.1	x_{13} : Horas fuera de servicio	336	336
x_5 : Disponibilidad de Refacciones en los próximos cinco años	NO	0	x_{14} : Función del equipo	Quirúrgico y Cuidados Intensivos	0.9
x_6 : Disponibilidad de consumibles en los próximos cinco años	NO	0	x_{15} : Costo de mantenimiento anual	\$551,724	\$551,724
x_7 : Antigüedad	13	0.6	x_{16} : Costo de consumibles	\$1,200	\$1,200
x_8 : Ubicación	Quirófano	1	x_{17} : Costo de adquisición	\$215,968	\$215,968
x_9 : Cantidad de equipos del mismo perfil en el área	3	3			

c. Indicador de refacciones y accesorios (ecuación 4.3):

$$I_{RA} = \frac{x_5 + x_6}{N_{RA}} = \frac{0+0}{2} = 0$$

d. Indicador de antigüedad (ecuación 4.4):

$$I_A = x_7 = 0.6$$

Sustituyendo los valores de los indicadores parciales en la ecuación de I_T (ecuación 4.5):

$$I_T = \frac{I_R + I_M + I_{RA} + I_A}{N_T} = \frac{0.75 + 0 + 0.1 + 0.6}{4} = 0.36$$

Observe el valor de I_T , para la evaluación de la lámpara quirúrgica, el cual se aproxima a $I_T=0$, lo cual indica que el equipo se encuentra en un deterioro funcional importante, y podría estar relacionado con la cantidad de mantenimientos correctivos que ha requerido durante el último año, aunado a la demanda de pacientes que presentó; a pesar de estar más de 300 horas fuera de servicio.

5.2.3.2 Indicador clínico. Se sustituyeron los valores de las variables en las expresiones para los indicadores parciales como se muestra a continuación:

a. *Indicador de nivel de impacto (ecuación 4.6):*

$$I_{NI} = \frac{x_8 + x_{14}}{N_{NI}} = \frac{1.0 + 0.9}{2} = 0.95$$

b. *Indicador de demanda (ecuación 4.7):*

$$I_{DE} = \frac{(x_9/x_{10} + x_{10}/x_{11})}{N_{DE}} = \frac{3/1106 + 1106/5531}{2} = \frac{0.002 + 0.199}{2} = 0.10$$

c. *Indicador de horas disponible (ecuación 4.8):*

$$I_{HD} = 1 - \left(\frac{k_1 - (x_{12} + x_{13})}{k_1} \right) = \frac{8760 - (2212 + 336)}{8760} = 0.71$$

Sustituyendo los valores de cada indicador parcial en la ecuación de I_C (ecuación 4.9):

$$I_C = \frac{I_{NI} + I_{DE} + I_{HD}}{N_C} = \frac{0.95 + 0.10 + 0.71}{3} = 0.59$$

5.2.3.3 Indicador económico. Sustituyendo los valores de las variables económicas de la Lámpara quirúrgica evaluada, en las ecuaciones para I_E , se obtuvo lo siguiente:

a. *Parámetro C_{Dep} .* dado que $x_{71q} > 5$, de la ecuación 4.11:

$$C_{Dep} = (k_2)(x_{17}) = (0.2)(215,968.23) = 43,193.65$$

b. *Indicador de mantenimiento:* se calculó con la ecuación 4.12

$$I_{CM} = \frac{x_{15}}{C_{Dep}} = \frac{551,724}{43,193.65} = 12.77$$

De la Tabla 4.4, y dado que la inversión en mantenimiento es más de diez veces mayor al costo actual del equipo:

$$I_{CM} = 0.0,$$

c. *Indicador de consumibles*: Dado que $x_{16}=20,000$; de la tabla 4.5 obtenemos,

$$I_{CONS} = 0.2$$

Finalmente, el valor de I_E a partir de la ecuación 4.13:

$$I_E = \frac{I_{CM} + I_{CONS}}{N_E} = \frac{0.0 + 0.2}{2} = 0.10$$

El valor de I_E , próximo a cero podría indicar que, mantener en funcionamiento dicho equipo está implicando un alto costo de operación, y dado que es un equipo con una relevancia clínica importante, inferido por el valor de I_C , es consistente la necesidad de reemplazarlo de manera pronta.

5.2.3.4. Indicador de evaluación global. Finalmente, sustituyendo los valores de los indicadores parciales mayores I_T , I_C e I_E y de sus respectivos valores de ponderación de la tabla 4.6 se obtiene I_{EG} :

$$I_{EG} = \rho_T I_T + \rho_C I_C + \rho_E I_E = (0.4)(0.36) + (0.4)(0.59) + (0.2)(0.1) = 0.40$$

El valor de I_{EG} obtenido, indica una alta prioridad de reemplazo del equipo evaluado, es decir en un periodo no mayor a dos años.

5.2.4 Evaluación De 125 Equipos De Mediana Complejidad

El **Modelo de Evaluación de Tecnología Médica** se aplicó a 125 equipos de mediana complejidad. Se calcularon los tres indicadores parciales (I_T , I_C , I_E) y el indicador de evaluación global (I_{EG}) a todos los equipos. Los resultados obtenidos para cada uno de los equipos se muestra en el Anexo 1. De manera sintética, se presentan los promedios de los valores obtenidos por tipo de equipo (Tabla 5.14). Observe que las dos lámparas quirúrgicas obtuvieron el menor valor del indicador global ($I_{EG}=0.50$), mientras que los desfibriladores

obtuvieron el mayor ($I_{EG}=0.80$). Esto significa, en general, que los desfibriladores tienen un mejor desempeño que las lámparas quirúrgicas. De acuerdo a la escala cualitativa (Tabla 5.7) los primeros deben remplazarse en seis años y las lámparas en dos.

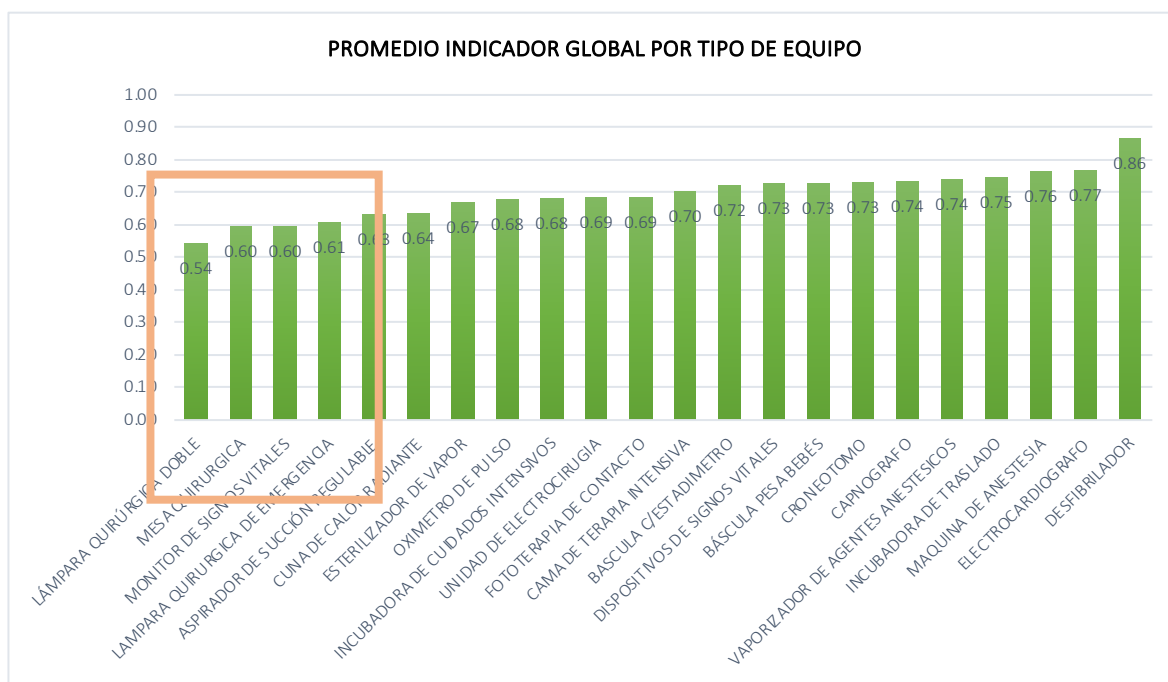
Tabla 5.14 Valor promedio de los indicadores para la muestra de 125 equipos médicos

Equipo evaluado	Cant.	I_T	I_E	I_C	I_{GP}
Lámpara quirúrgica doble	2	0.44	0.45	0.59	0.50
Monitor de signos vitales	53	0.68	0.49	0.55	0.59
Mesa quirúrgica	2	0.64	0.50	0.60	0.60
Lámpara quirúrgica de emergencia	1	0.50	0.80	0.62	0.61
Cuna de calor radiante	16	0.63	0.74	0.58	0.63
Aspirador de succión regulable	1	0.82	0.20	0.66	0.63
Incubadora de cuidados intensivos	1	0.54	0.90	0.62	0.64
Esterilizador de vapor	2	0.78	0.45	0.67	0.67
Oxímetro de pulso	3	0.63	0.87	0.62	0.67
Unidad de electrocirugía	3	0.68	0.80	0.63	0.69
Fototerapia de contacto	4	0.83	0.80	0.49	0.69
Cama de terapia intensiva	4	0.93	0.80	0.42	0.70
Báscula con estadímetro	1	0.68	0.90	0.67	0.72
Dispositivos de signos vitales	1	0.79	0.70	0.67	0.73
Báscula pesa bebés	3	0.79	0.70	0.68	0.73
Craneotomo	1	0.83	0.50	0.75	0.73
Capnógrafo	6	0.85	0.90	0.55	0.74
Incubadora de traslado	3	0.72	1.00	0.63	0.74
Vaporizador de agentes anestésicos	5	0.74	1.00	0.62	0.75
Máquina de anestesia	6	0.84	0.90	0.62	0.76
Electrocardiógrafo	2	0.84	0.80	0.67	0.77
Desfibrilador	5	0.89	1.00	0.75	0.86

Por otro lado, analizando el valor de I_T para estos dos tipos de equipos, se observó que tres de los cinco desfibriladores evaluados, son de reciente adquisición, mientras que los dos restantes tienen una antigüedad de 13 años. Sin embargo, el promedio fue de $I_T=0.89$ lo que implica que los dos desfibriladores viejos se encuentran en buen estado de operación. En el caso de las lámparas quirúrgicas, $I_T= 0.44$ fue el menor valor de los tres indicadores seguido de $I_E=0.45$. Esto indica que el equipo tiene una condición técnica regular y supone costos elevados de operación. Por lo tanto, se requiere dar prioridad en los programas de mantenimiento y considerar la sustitución de ambas lámparas. Adicionalmente, observe que

los monitores de signos vitales representan el 42% del total de equipos evaluados, y obtuvieron el segundo menor valor de $I_{EG}=0.59$. De acuerdo con la escala cualitativa de prioridad de sustitución (Tabla 5.8) deben reemplazarse en dos años. Esto significa que aunque hay un buen número de monitores, la demanda de usos es alta y constante, y esto puede presentar un desgaste funcional que requiera una actualización masiva de esta tecnología. Sin embargo, habría que analizar los resultados obtenidos de cada monitor, para reconocer los que requieren una sustitución inmediata.

De manera general, también se observó que los equipos de uso quirúrgico, a excepción de las máquinas de anestesia, que son equipos que se encuentran en comodato, son los que tienen un estado de mayor prioridad para ser reemplazados (Gráfica 5.2).

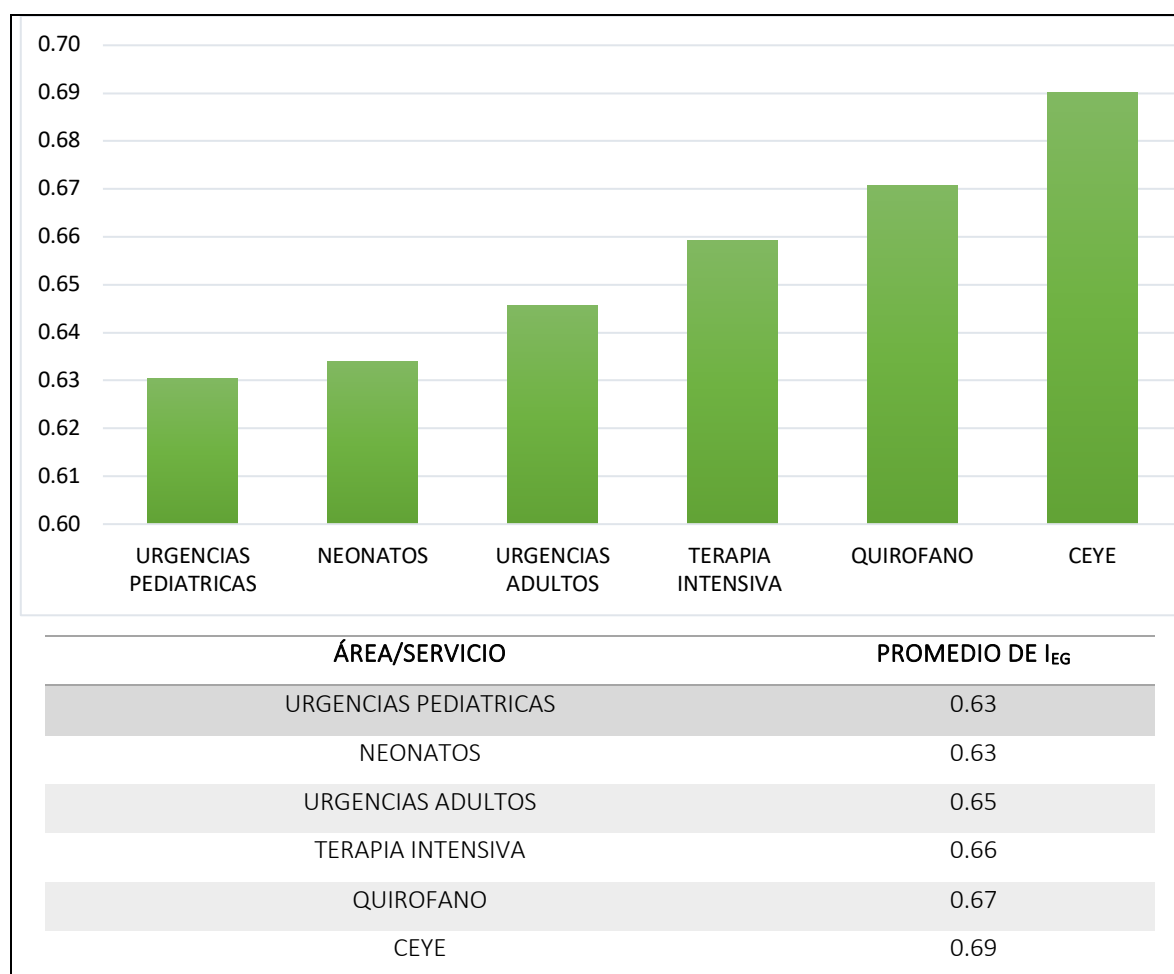


Gráfica 5.2 I_{EG} por tipo de equipo médico. En el recuadro se encuentran los equipos con menor valoración, mayormente equipos de uso quirúrgico.

En cuando a los resultados por áreas, en la Gráfica 5.3 se observa que las que obtuvieron el valor mínimo son Urgencias Pediátricas y Neonatos con $I_{EG}=0.63$, mientras que el área con el

valor máximo es CEYE con un $I_{EG}=0.69$. Observe que la diferencia entre estos valores es de 0.06, ubicando a los equipos de las áreas evaluadas en una prioridad media de reemplazo (no mayor a cuatro años).

De manera concluyente y de acuerdo con los intervalos de sustitución de equipo médico propuestos, se observa que, en un plazo de 2 a 4 años, el Hospital deberá iniciar el reemplazo de la tecnología médica de los servicios de Urgencias Pediátricas y Neonatos que son las áreas que obtuvieron un I_{EG} menor.



Gráfica 5.3 Promedio de I_{EG} por Áreas o Servicios clínicos.

Adicionalmente, se realizó un análisis comparativo a través de gráficas radiales. Al considerar los tres indicadores como las aristas de la gráfica (I_T , I_C , I_E), entre más se aproximan a 1.0 los

valores de los indicadores, significa que el equipo evaluado se encuentra en una mejor condición de desempeño.

Por ejemplo, se analizaron los valores promedio de tres tipos de equipo médico: una lámpara quirúrgica doble (LQD), una unidad de electrocirugía (UE) y una cuna de calor radiante (CR) (Figura 5.1). Observe que el valor de I_E para LQD, se aproxima a cero, lo cual indica que mantener en operación el equipo requiere un costo muy elevado, no así para la unidad de electrocirugía (UE) o la cuna radiante (CR), cuyo valor es $I_E=0.8$ en ambos casos. Aunque estos últimos tienen una antigüedad de 14 y 13 años respectivamente, el costo de operación es bajo.

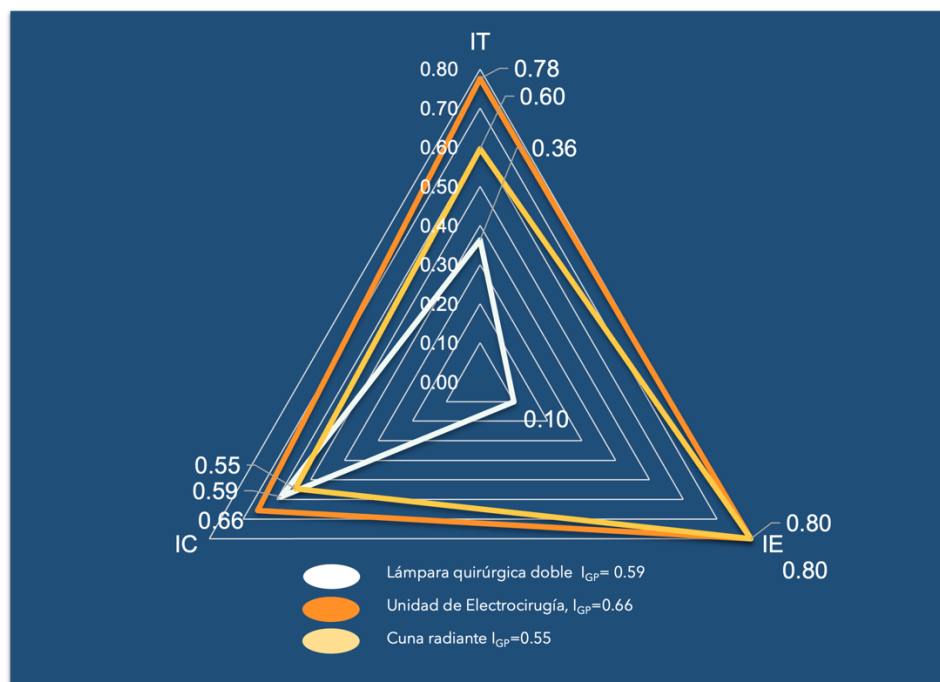


Figura 5.1 Comparación de indicadores para tres dispositivos médicos

En cuanto a I_T , igualmente LQD ($I_T=0.36$) se encuentra muy por debajo de los otros dos equipos ($I_{T(CR)}=0.60$, $I_{T(UE)}=0.78$), por lo que se puede afirmar que la lámpara quirúrgica presenta un deterioro técnico significativo. Con relación al componente clínico (I_C), se observa que todos

los equipos obtuvieron un valor de $I_C > 0.5$, lo cual indica que están cubriendo las necesidades de demanda. Sin embargo, es importante dar seguimiento al componente técnico (en la lámpara y en la cuna radiante), ya que una óptima operación del equipo es básica para su total aprovechamiento en la atención de pacientes.

De manera general, se comprobó la necesidad de un reemplazo escalonado del equipamiento médico. Este hecho también dirigirá la priorización de procedimientos de mantenimiento.

5.3 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN EQUIPO DE RESONANCIA MAGNÉTICA

Utilizando el modelo de evaluación de tecnología médica se hizo la evaluación técnica y de desempeño de un equipo de Resonancia Magnética (ERM), ubicado en el Centro Médico Adolfo López Mateos (CMALM), en la Ciudad de Toluca, México, que también pertenece al Instituto de Salud del Estado de México (ISEM). En lo que se refiere tecnologías de diagnóstico por imagen, el ISEM cuenta con una capacidad instalada de 30 equipos: 14 Tomógrafos, 15 Mastógrafos y un equipo de Imagenología por Resonancia Magnética [28]. Este último es un ERM de 1.5 T y 16 años de antigüedad. El objetivo de esta evaluación, fue aplicar el Indicador técnico (I_T) de manera individual al equipo de resonancia; junto con un indicador de productividad (I_P) aplicado al Servicio de Imagenología del CMALM. La evaluación se hizo con datos de los meses de enero a noviembre de 2022.

5.3.1 Adecuación Del Indicador Técnico

Considerando el indicador técnico (I_T) presentado en el capítulo 5, se trabajó con cinco de las siete variables definidas, y se consideraron tres indicadores parciales (Tabla 5.15).

Dados los indicadores parciales, I_T , se calcula con la expresión 5.7:

$$I_T = \frac{I_R + I_M + I_A}{N_T} = \frac{I_R + I_M + I_A}{3} \quad (5.7)$$

Donde N_T es el valor de normalización que resulta de la suma del valor máximo de los indicadores parciales.

Tabla 5.15 Indicadores parciales de I_T para la evaluación de la RM

Indicador Parcial	Variables	Q_i	M_i	Expresión matemática	
I_R : Indicador de nivel de riesgo	x_1 : Clasificación por nivel de riesgo	C1	1.0	$I_R = x_1$	(5.15.1)
		C2	0.75		
		C3	0.5		
I_M : Indicador de Mantenimiento	x_2 : No. de mantenimientos al año	1	0.5	$I_M = \frac{\sum_{i=2}^4 x_i}{N_M}$	(5.15.2)
		2	1		
		≥ 3	0.25		
I_A : Indicador de antigüedad	x_3 : Soporte técnico garantizado en los próximos cinco años	SI/NO	1, 0	$I_A = x_3$	(5.15.3)
I_A : Indicador de antigüedad	x_5 : Antigüedad del equipo	[1-5]	1	$I_A = x_3$	(5.15.3)
		[6-10]	0.8		
		[11,15]	0.6		
		[16,20]	0.4		
		>20	0.2		

5.3.2. Indicador De Productividad

Evalúa la productividad del equipo, con base en las horas que se empleo en estudios para pacientes, la disponibilidad del mismo (presencia de personal capacitado para su uso y su estado funcional), así como las horas fuera de servicio (Tabla 5.16).

Las variables del indicador de productividad (I_P), se relacionan mediante tres indicadores:

- Indicador de productividad efectiva I_{PE}* : es la proporción entre las horas productivas (x_6) y las horas que estuvo disponible (x_8) definido por la ecuación 5.8

$$I_{PE} = \frac{x_6}{x_8} \quad (5.8)$$

Tabla 5.16 Variables para el Indicador de productividad (I_P)

VARIABLES	Q_i	M_i	DESCRIPCIÓN
x_6 : Horas productivas	n	(0,n)	Las horas que el equipo se encontró en uso con paciente
x_7 : Horas fuera de servicio	n	(0,n)	Las horas que el equipo se encontró fuera de servicio, por fallas técnicas en alguno de sus elementos de software, hardware o equipo de soporte
x_8 : Horas de equipo disponible	n	(0,n)	Las horas que el equipo se encontró, técnicamente funcional y con personal habilitado, disponible para su uso

- b. *Indicador de inoperabilidad (I_I)*: es la proporción entre las horas que el equipo estuvo fuera de servicio y el total de horas del periodo evaluado (ecuación 5.9), restado a uno, lo cual representa la condición ideal de funcionalidad.

$$I_I = 1 - \frac{x_7}{k} \quad (5.9)$$

Donde k es la constante que corresponde al total de horas del periodo de tiempo evaluado. Es decir, 334 días [ene 22-nov 22], durante los cuales el equipo debía permanecer encendido las 24 horas ($k=8016$ horas).

- c. *Indicador de Disponibilidad Efectiva I_{DE}* : es la proporción entre las horas que el equipo estuvo disponible para su uso con pacientes, y el total de horas del periodo evaluado, menos las horas que estuvo fuera de servicio (ecuación 5.10)

$$I_{DE} = \frac{x_8}{K-x_7} \quad (5.10)$$

Finalmente I_P , resulta de la suma normalizada para cada uno de los tres indicadores parciales (ecuación 5.11):

$$I_P = \frac{I_{PE}+I_I+I_{DE}}{N_P} \quad (5.11)$$

Donde N_P es la suma de los valores máximos que puede alcanzar cada indicador parcial, por lo que $N_P=3$.

5.3.3 Indicador De Desempeño (I_D)

El indicador de desempeño (I_D) es el resultado de la suma de los indicadores parciales con su respectivo factor de relevancia (ecuación 5.12).

$$I_D = \omega_T I_T + \omega_P I_P = 0.6 I_T + 0.4 I_P \quad (5.12)$$

El valor resultante del I_D permite ubicar el desempeño del equipo de RM de acuerdo a la escala de evaluación cualitativa mostrada en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17 Interpretación de I_{TG} para evaluación de equipo de RM

Valor de I_{TG}	Interpretación del desempeño
(0.0 – 0.49)	REGULAR: El equipo tiene un estado técnico regular, que genera bajo aprovechamiento. Hay que fortalecer el mantenimiento preventivo y la capacitación del personal usuario.
(0.50 - 0.69)	BUENO: El equipo tiene un buen estado técnico. Hay que supervisar el mantenimiento preventivo y la capacitación del personal usuario.
(0.70 – 1.00)	EXCELENTE: El equipo tiene un excelente estado técnico. El mantenimiento es efectivo y el personal usuario está bien habilitado.

5.3.4 Evaluación De La RM

De acuerdo con los datos obtenidos para las variables técnicas (Tabla 5.18), utilizando la ecuación 5.7, se calculó el I_T .

Tabla 5.18 Valores de las variables técnicas para el equipo de RM

	IPs	Variables	Q_i	M_i	Cálculo del Indicador
Indicador Técnico (IT)	I_R : Indicador de nivel de riesgo	x_1 : Nivel de riesgo [2]	C2	0.75	$I_M = \frac{0.5 + 1 + 1}{3} = 0.83$
	I_M : Indicador de Mantenimiento	x_2 : Mantenimientos preventivos anuales	1	0.5	
		x_3 : Soporte técnico próximos 5 años	Si	1	
		x_4 : Accesorios y Refacciones próximos 5 años	Si	1	
	I_A : Indicador de antigüedad	x_5 : Antigüedad	16	0.4	$I_A = 0.4$

Sustituyendo los valores de I_R , I_M e I_A , en ecuaciones 5.15.1, 5.15.2 y 5.15.3 respectivamente:

$$I_T = \frac{I_R + I_M + I_A}{3} = \frac{0.75 + 0.83 + 0.4}{3} = 0.66$$

Del mismo modo, usando los datos obtenidos para las variables de productividad (Tabla 5.19), se calcularon los indicadores parciales (I_{PE} , I_I , I_{PD}) para poder calcular I_D .

Tabla 5.19 Valores de las variables de productividad para el ERM

Indicador de Productividad (I_P)	Variables	Q_i	M_i
	x_6 : Horas de servicio	952	952
	x_7 : Horas fuera de servicio	2640	2640
	x_8 : Horas disponible	1880	1880

a. *Indicador de Productividad Efectiva (ecuación 5.8).*

$$I_{PE} = \frac{952}{1880} = \mathbf{0.51}$$

Este resultado indica que el equipo RM solo se usa el 50% del tiempo disponible. Lo cual se debe a que solo se proporciona servicio en el turno matutino, por lo que el equipo está subutilizado.

b. *Indicador de Inoperabilidad (ecuación 5.9):*

$$I_I = 1 - \frac{2640}{8016} = \mathbf{0.67}$$

Este resultado se debe a que la RM estuvo 110 días fuera de servicio (2640 horas), que es mayor al tiempo que estuvo produciendo estudios (952 horas).

c. *Indicador de Disponibilidad Efectiva (ecuación 5.10):*

$$I_{DE} = \frac{1880}{8016 - 2640} = \mathbf{0.35}$$

En el mismo sentido, las disponibilidad efectiva (I_{DE}), indicó que el equipo estuvo en uso con pacientes solo el 35% del tiempo del periodo evaluado.

Una vez calculados los tres indicadores anteriores, y sustituyendo en la ecuación 5.11, se obtiene que la productividad del equipo fue:

$$I_P = \frac{\mathbf{0.51} + \mathbf{0.67} + \mathbf{0.23}}{3} = \mathbf{0.47}$$

Este resultado arroja que el equipo de RM se usa un poco menos que el 50% del tiempo disponible. Esto se debe a que solo se atienden pacientes en el turno matutino, por lo que el equipo está subutilizado.

5.3.4.1 Cálculo del Indicador de Desempeño. Finalmente, sustituyendo los valores de cada indicador en la ecuación 5.12, se obtiene el desempeño de la RM:

$$I_{TG} = (0.6)(0.66) + (0.4)(0.44) = 0.58$$

De acuerdo con la escala cualitativa (Tabla 5.17), el equipo se encuentra en un estado técnico de desempeño *bueno*. Aunque este resultado es consistente con las características técnicas valoradas de el personal del Departamento de Ingeniería Biomédica del Hospital; se esperaba que el valor del desempeño fuera regular, ya que posee una antigüedad de más de 16 años. Sin embargo, el equipo fue sometido a una actualización tecnológica, muchos elementos de software y hardware fueron reemplazados por otros más recientes, seis años atrás. Además, al tratarse de una marca consolidada en el mercado, hay muchas más posibilidades de tener acceso a servicio técnico especializado, durante un tiempo prolongado

Estos indicadores basados en evidencia, propocionan criterios auxiliares para tomar decisiones sobre un mejor aprovechamiento del equipo, o sobre la inversión racional en la contratación de personal habilitado para incrementar el tiempo de disponibilidad efectiva del equipo de IRM y dar servicio a un número mayor de pacientes.

La aplicación práctica del modelo de ETM, a partir de la implementación dinámica de los indicadores, ha permitido la evaluación objetiva de equipo médico de mediana y alta complejidad, brindando la posibilidad de que exista una herramienta sólida y basada en evidencia para la planificación en diversas etapas del ciclo de la gestión de la tecnología médica.

Por otro lado, la aplicación en distintos tipos (de mediana y alta complejidad) y conjuntos (mismo tipo o misma complejidad) de tecnología médica; facilitan la evaluación, individual y comparativa de los equipos médicos, de manera que pueda adaptarse a instituciones de todos los niveles de atención, y de diversas capacidades para manejo de información.

CAPÍTULO 6. PROGRAMA DE CAPACITACIÓN.

Un programa de capacitación continua permite fortalecer el conocimiento del personal clínico y técnico, sobre el uso y manejo correcto del equipo médico disponible en la institución de salud; sobre todo en áreas donde la rotación del personal es una práctica común.

En este sentido, el Indicador de Evaluación Global (I_{EG}) fue para priorizar las necesidades de capacitación del personal usuario [31]. Se realizó un programa piloto de capacitación basado en los resultados obtenidos de la evaluación realizada a 125 dispositivos médicos de mediana complejidad (Sección 5.2), la cual en primera instancia se planificó de acuerdo al reglamento interno del HGNSJ mismo que requirió la validación correspondiente por parte del Departamento de Enseñanza e Investigación de la institución.

6.1 SELECCIÓN DEL ÁREA Y EQUIPOS MÉDICOS PARA EL PROGRAMA PILOTO DE CAPACITACIÓN.

Con base en los resultados de la evaluación tecnológica realizada a un conjunto de 125 dispositivos médicos, descrita en la sección 5.2, se consideró el área con mayor número de equipos evaluados, resultando el área de Neonatología con un total de 49 equipos médicos de siete tipos diferentes, de acuerdo con la Tabla 6.1

Posteriormente se observó el tipo de equipo que prevalece en las OT (Tabla 6.1); nótese que el tipo de equipo más numeroso son los monitores de signos vitales con 24 unidades, los cuales a pesar de no haber obtenido un valor de I_{EG} que los coloque en un nivel para priorización inmediata, son equipos cuya vida útil puede ser garantizada por los próximos cuatro años e incluso extendida, mediante la capacitación al personal usuario.

Tabla 6.1 Total de equipo médico evaluado en el área de Neonatología

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	TOTAL DE EQUIPOS	PROMEDIO DE I _{EG}
BÁSCULA PESA BEBÉS	1	0.47
INCUBADORA DE CUIDADOS INTENSIVOS	1	0.56
OXIMETRO DE PULSO	1	0.67
INCUBADORA DE TRASLADO	3	0.65
FOTOTERAPIA DE CONTACTO	4	0.57
CUNA DE CALOR RADIANTE	15	0.58
MONITOR DE SIGNOS VITALES	24	0.60

Actualmente el área de Neonatología del HGNSJ cuenta con dos subáreas: Cuidados Intensivos y Cuidados Intermedios, a su vez cada espacio tiene un total de 8 cunas radiantes, adicionalmente en Cuidados Intermedios se cuenta con 3 incubadoras de cuidados generales; por medio de las cuales se brinda atención a pacientes neonatales procedentes del servicio de Tococirugía del mismo Hospital, así como de las distintas unidades de atención médica para las cuales el HGNSJ funge como hospital ancla, atendiendo en promedio hasta 55 pacientes mensualmente. Para tal fin, el servicio de Neonatología está conformado por un total de 43 enfermeras y enfermeros distribuidas en los turnos matutino, vespertino, nocturno y diurno especial, seis médicos neonatólogos, y mensualmente con 4 médicos residentes rotantes del departamento de Pediatría.

En cuanto al equipo médico con el que cuenta el área, además del descrito en la tabla 6.1, el área cuenta con un total de 17 cunas radiantes, un desfibrilador, cuatro equipos de fototerapia de contacto, tres incubadoras de cuidados intensivos, dos incubadoras de traslado, 24 monitores de signos vitales (MSV) un equipo de ecocardiografía, un electrocardiógrafo, dos sets de laringoscopia, 21 bombas de infusión y 13 perfusores, lo cual representa más del 10% del universo total del equipo del Hospital.

Específicamente en cuanto a los MSV el servicio de Neonatología posee equipos de cuatro marcas diferentes, predominando 19 equipos de una reconocida marca alemana, 4 equipos

de un fabricante chino consolidado, y un equipo mexicano. Los MSV fueron el tipo de equipo seleccionado para el programa de capacitación, y se observó que aunque existen marcas diferentes, no presentan entre ellas variaciones mayores en sus características generales de hardware.

6.2 DISEÑO DE LA CAPACITACIÓN

Para la elaboración de la capacitación, se tomó como referencia la metodología de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social [32] y del Centro Nacional de excelencia Tecnológica en Salud [33]. Dado que la capacitación se enfocó a los MSV, se diseñó la documentación de manera general cubriendo los siguientes aspectos de la funcionalidad del equipo:

- a. Descripción del equipo: diferenciación de los componentes físicos y accesorios, así como su correcto acoplamiento al mismo.
- b. Identificación y acceso a los principales menús y mediciones básicas del equipo.
- c. Identificación y configuración de los accesorios para registro de parámetros.
- d. Definición y programación de alarmas de acuerdo con el tipo de paciente.
- e. Aplicación de un proceso adecuado para limpieza y desinfección del Equipo.

6.3 CARTA DESCRIPTIVA DE LA CAPACITACIÓN

El documento que resume el contenido temático de la capacitación, así como los objetivos de la misma, es una carta descriptiva, la cual brinda al capacitador la visión global del programa de capacitación [32]. Dentro de los aspectos que deben tomarse en cuenta para un programa de capacitación se encuentran los siguientes:

- ☐ Definición de la temática de capacitación.
- ☐ Señalar los objetivos, actividades, técnicas y recursos que se aplicarán.
- ☐ Seleccionar los contenidos de manera organizada y con base en un diagnóstico de necesidades
- ☐ Número de asistentes a la capacitación.

- ☐ Definición el perfil del personal al que va dirigido
- ☐ Estrategia enseñanza-aprendizaje. Para el caso de capacitación a equipo médico, debe tomarse en cuenta la disponibilidad del equipo médico y sus accesorios, instalaciones adecuadas para la operación del equipo, así como la documentación necesaria. [33]

6.4 MATERIAL DIDÁCTICO

Una vez diseñada la carta descriptiva, se diseñaron los recursos para la capacitación tales como:

- ☐ Presentación de diapositivas: material didáctico que permitirá exponer de manera visual la información relevante de la capacitación.
- ☐ Instrumentos de evaluación: que es la herramienta que permite evaluar tanto el proceso de enseñanza como la calidad del aprendizaje de los alumnos y su desempeño.

Los cuales se pueden consultar en el Anexo D y E de este documento.

Adicionalmente se propuso un documento de evaluación y retroalimentación al personal de ingeniería biomédica, como una herramienta de mejora constante para los expositores. (Anexo F)

6.4 PROGRAMA PILOTO DE CAPACITACIÓN.

Una vez designada el área de Neonatología como piloto para el programa de capacitación, de común acuerdo con el Departamento de Enseñanza y la Jefatura de Enfermería del Servicio Médico en cuestión, se estableció que el periodo sería del 28 al 31 de octubre de 2024.

La difusión de la capacitación se realizó a través de un formato de planificación para equipo biomédico (Figura 6.1), el cual describe detalladamente los horarios en los que se capacitaría al personal de los diversos turnos, y que a su vez se entregó de manera impresa a la Jefatura de Enfermería del Servicio de Neonatología.

SERVICIO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA								
FORMATO DE PLANIFICACIÓN DE CAPACITACIÓN DE EQUIPO MÉDICO								
NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN: HOSPITAL GENERAL DR. NICOLÁS SAN JUAN					NOMBRE DE LA CAPACITACIÓN: USO Y CUIDADO DEL MONITOR DE SIGNOS VITALES			
MODALIDAD DE CAPACITACIÓN: ___ VIRTUAL <u>X</u> PRESENCIAL ___ AMBAS					FECHA DE INICIO:		FECHA DE TÉRMINO:	
HORARIO: DE ACUERDO A CRONOGRAMA				CUPO: 10 PERSONAS POR TURNO		RESPONSABLES DE LA CAPACITACIÓN: SERVICIO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA		
FECHA	DÍA	TURNO MATUTINO	TURNO VESPERTINO	NOCTURNO A	NOCTURNO B	DIURNO	NOCTURNO C	SERVICIO
27/10/23	VIERNES	10:00 - 11:00		20:30 - 21:30				NEONATOLOGÍA
28/10/23	SÁBADO					10:00 - 11:00		NEONATOLOGÍA
30/10/23	LUNES						7:00 - 8:00	NEONATOLOGÍA
31/10/23	MARTES		15:30 - 16:30		20:30 - 21:30			NEONATOLOGÍA

Figura 6.1. Formato de planificación de capacitación

6.5 IMPARTICIÓN DE CAPACITACIÓN.

La capacitación se impartió al personal de enfermería de acuerdo con la programación presentada, y fue dictada por dos ingenieros adscritos al servicio de Ingeniería Biomédica, donde cinco de seis sesiones fueron impartidas por el Ingeniero A y una de 6 sesiones por el Ingeniero B.

Por solicitud de la jefatura de enfermería de Neonatología, todas las capacitaciones se llevaron a cabo en el servicio clínico (Figura 6.2).



Figura 6.2 Capacitación en sitio al servicio de Neonatología

La dinámica de la capacitación fue la siguiente:

1. Se aplicó la evaluación previa a los capacitandos.
2. Se hizo la exposición oral de 45 minutos.
3. Se realizó la exposición y aplicación práctica por parte de las asistentes.
4. Se aplicó la evaluación teórico práctica (ANEXO D) para validar la integración de la información por parte del personal de enfermería
5. Se aplicó la evaluación del capacitador

6.6 RESULTADOS DE LA CAPACITACIÓN.

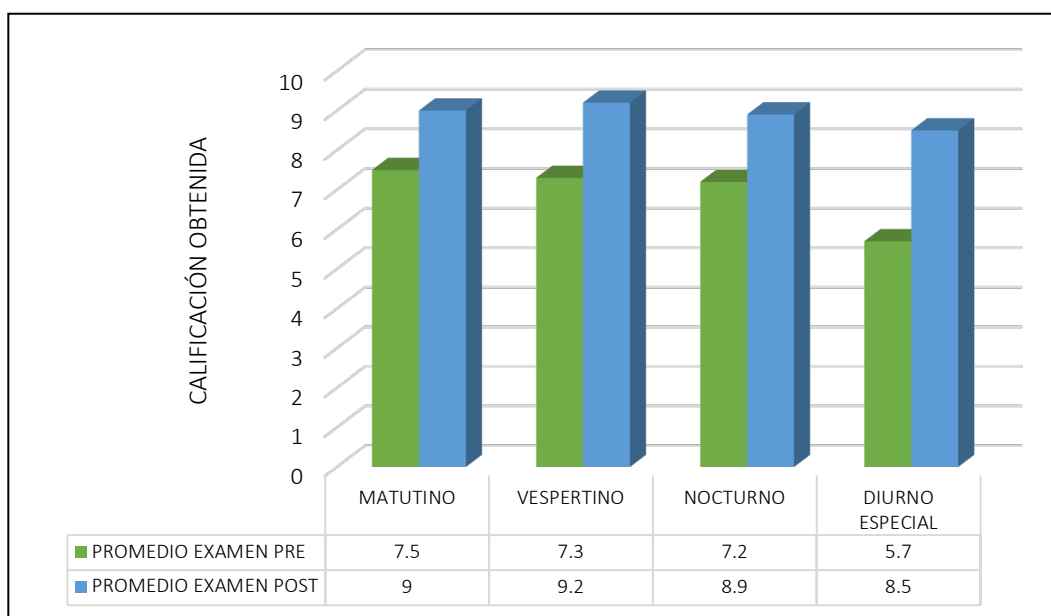
El total de asistentes a la capacitación fue de 32 personas, lo cual representa el 74% del total de personal de enfermería perteneciente al área.

Previo al inicio de la exposición se aplicó un examen preliminar, cuyo promedio general fue de 6.9/10 y derivado de la aplicación de la evaluación posterior teórico-práctica, se obtuvo un promedio general de 8.9/10; quedando 2.9 puntos por encima del promedio del examen previo. En cuanto al aprovechamiento de los asistentes por turno, el personal del turno vespertino fue quien obtuvo el promedio superior de 9.2/10, mientras que el turno diurno especial obtuvo el promedio más bajo de 8.5/10 (Gráfica 6.1), esto pudo relacionarse a la variabilidad en la impartición de la capacitación realizada por el Ingeniero B.

De manera general, se observó que los 32 participantes obtuvieron una calificación superior o igual a 8/10, la cual es considerada como aprobatoria, de acuerdo a los lineamientos del Hospital [34]. Es importante mencionar que durante el mes posterior a la capacitación, se observó una reducción del 50% de llamados asistenciales por parte del servicio de Neonatología, las cuales fueron cuantificadas, a través de los llamados asistenciales que se registran de manera digital vía mensaje de texto o vía llamada telefónica al servicio de Ingeniería Biomédica, puesto que en el mes de Septiembre se llegaron a recibir hasta 40 llamados al Servicio de neonatología, reduciéndose a un promedio de 23 llamadas durante el mes posterior a la capacitación.

La reducción de llamados en la atención a equipo de monitoreo en el área de neonatología, deja ver que la capacitación es una herramienta que permite a los usuarios tener un mayor aprovechamiento de la tecnología, y al staff de ingeniería Biomédica asegurar el buen uso y cuidado de la tecnología. De tal manera que se propone como una estrategia de mejora, la implementación de capacitaciones constantes, no solo al servicio de Neonatología, sino a todos los servicios hospitalarios, críticos y no críticos. En este caso, con base a una clasificación previa e identificación de necesidades, siguiendo el mismo orden: tomando en cuenta los equipos más numerosos que se encuentran en un estado de prioridad media-alta.

Gráfica 6.1 Resultados de la evaluación de la capacitación.



Finalmente, esta aproximación de la aplicación del I_{EG} para priorizar los programas de capacitación, permite demostrar que los instrumentos de evaluación de tecnología deberán estar presentes en todas las etapas del ciclo de gestión de la tecnología médica.

CAPÍTULO 7. MANUALES DE PROCEDIMIENTOS

Con la finalidad de coadyuvar a la mejora de los tres procesos de Gestión de Tecnología Médica, analizados en este trabajo (mantenimiento, sustitución de tecnología médica, y capacitación de usuarios) se desarrollaron los tres procedimientos correspondientes que se describen a continuación.

7.1 PROCEDIMIENTO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPO MÉDICO

7.1.1 Objetivo Del Procedimiento

Asegurar el correcto funcionamiento e integridad física del equipo médico del HGNSJ, con el objetivo de mantener las áreas usuarias con recursos tecnológicos confiables y seguros. El diagrama de flujo de este procedimiento se muestra en la Tabla 7.1

7.2 PROCEDIMIENTO PARA MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE EQUIPO MÉDICO

7.2.1 Objetivo Del Procedimiento

Asegurar el correcto funcionamiento e integridad física del equipo médico del HGNSJ, con el objetivo de mantener las áreas usuarias con recursos tecnológicos confiables y seguros. El diagrama de flujo de este procedimiento se muestra en la Tabla 7.2

7.3 PROCEDIMIENTO PARA CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO A PERSONAL USUARIO.

7.3.1 Objetivo Del Procedimiento

Asegurar el manejo eficiente y seguro del equipo médico por parte del personal usuario, para así contribuir a una adecuada implementación tecnológica en el diagnóstico, tratamiento, rehabilitación y monitoreo de los pacientes. El diagrama de flujo de este procedimiento se muestra en la Tabla 7.3

Tabla 7.1 Diagrama de flujo para procedimiento de mantenimiento preventivo de equipo médico

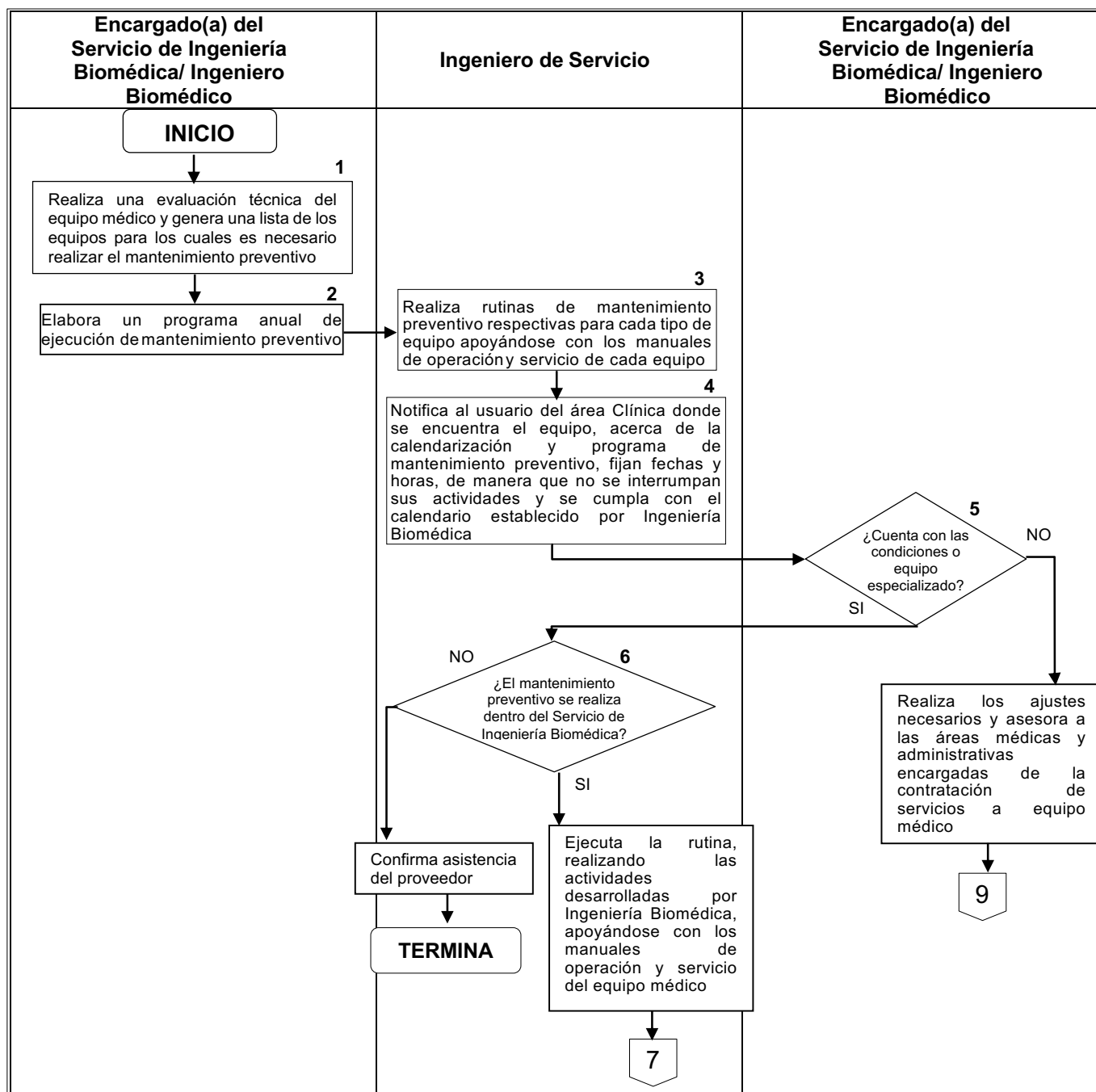
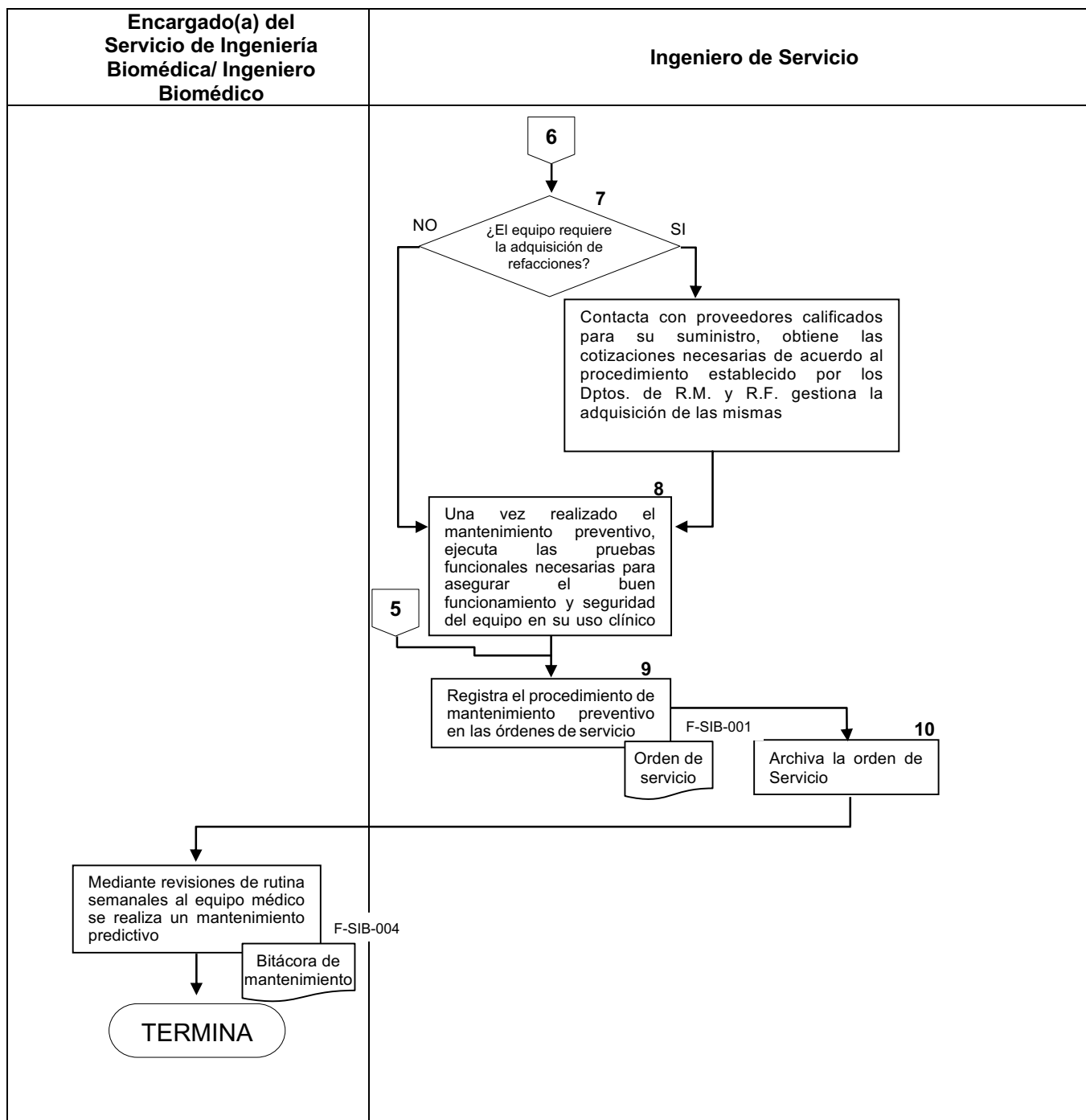
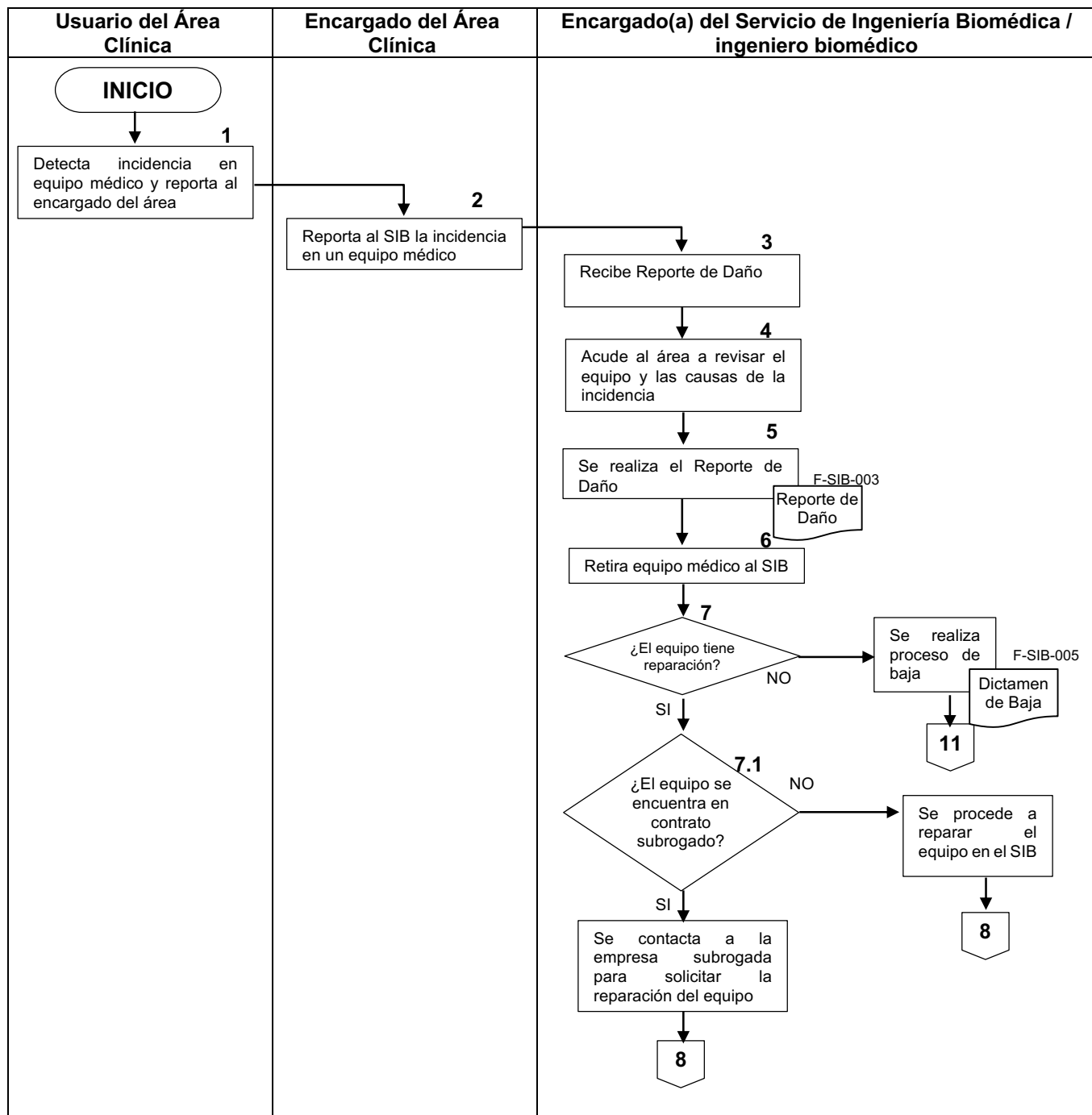


Tabla 7.1 Diagrama de flujo para procedimiento de mantenimiento preventivo de equipo médico
(continuación)



7.2 Diagrama de flujo del procedimiento para mantenimiento correctivo de equipo médico



7.2 Diagrama de flujo del procedimiento para mantenimiento correctivo de equipo médico
(continuación)

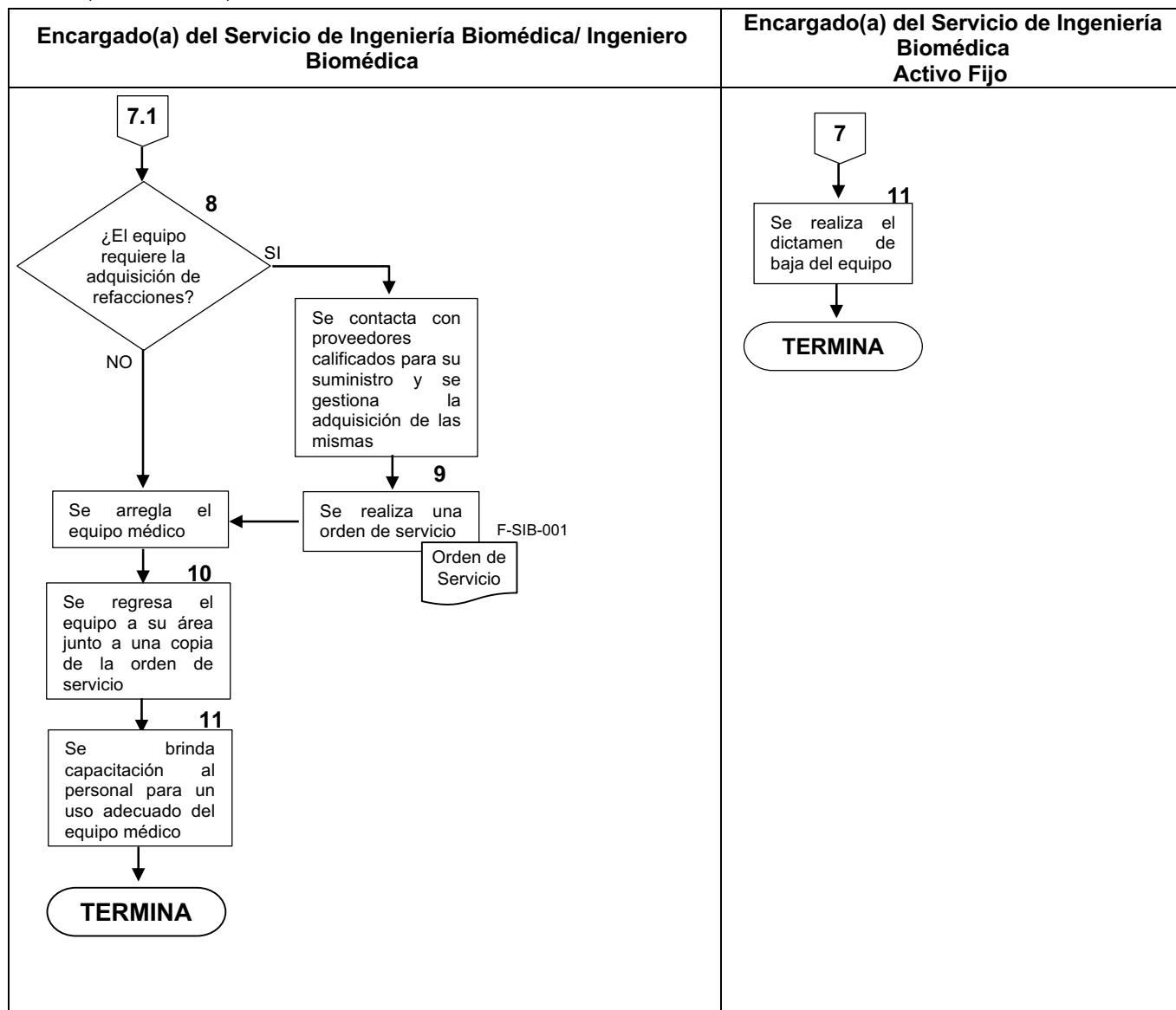


Tabla 7.3 Diagrama de flujo para procedimiento de capacitación

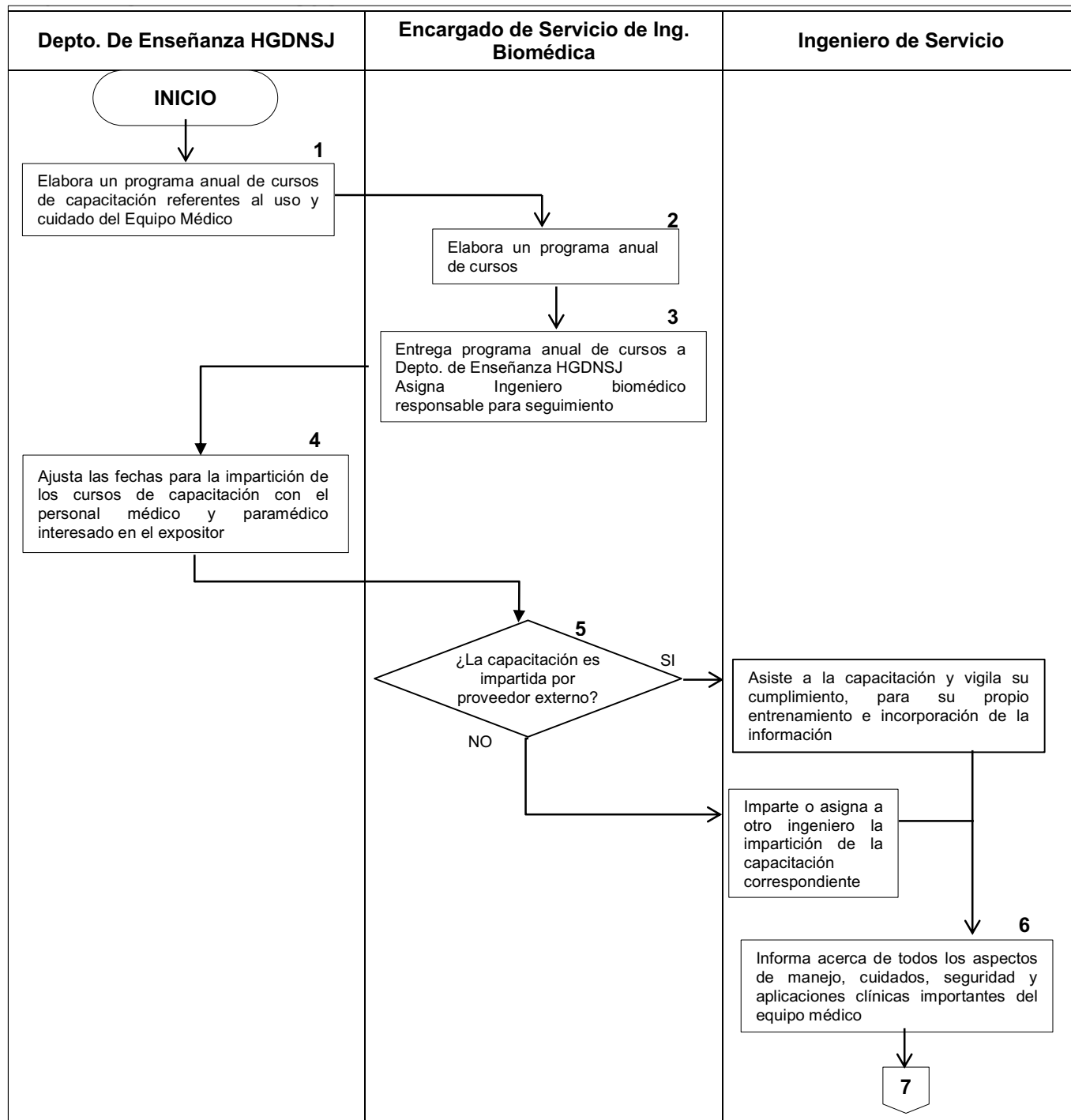
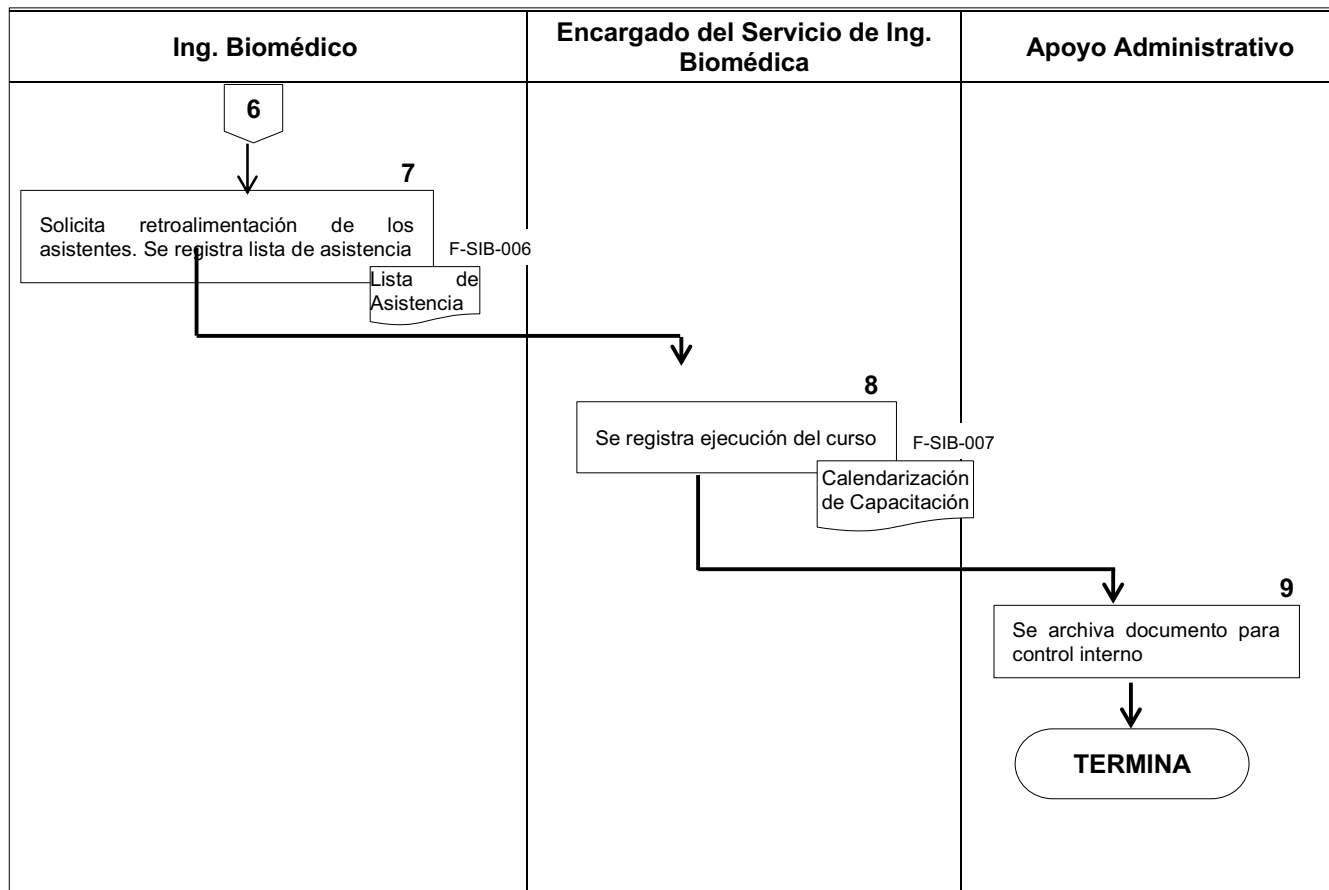


Tabla 7.3 Diagrama de flujo para procedimiento de capacitación (continuación)



Los tres procedimientos diseñados, se incorporaron para al manual de procedimientos del Servicio de Ingeniería Biomédica del HGNSJ y entrarán en vigor a partir de marzo de 2024, como una actualización relevante en las actividades del SIB. Adicionalmente, servirán como guía para respaldar las acciones concernientes al cuidado y gestión de la tecnología médica, a fin de asegurar la calidad y seguridad en la atención a pacientes

CONCLUSIONES

El establecimiento de un instrumento general de evaluación, permitió consolidar el conocimiento previo que se tenía de la tecnología médica, no solo de manera empírica, sino objetiva, lo cual favoreció la programación subsecuente de las acciones del Servicio de Ingeniería Biomédica para una mejor gestión del equipamiento.

Primeramente, derivado del Análisis Exploratorio de datos se obtuvo información valiosa para la búsqueda de estrategias para la Gestión de Tecnología en Salud, se observó que cuanto más antiguos son los dispositivos médicos, mayor es la incidencia de mantenimiento correctivo y requisitos de accesorios o consumibles. Esto puede deberse a que en la mayoría de las rutinas de mantenimiento correctivo, se realiza el reemplazo de algún elemento accesorio, consumible o repuesto. De la misma manera, se observa que la cantidad de mantenimientos correctivos está relacionada con la antigüedad, y a su vez con un decremento en el rendimiento de la tecnología médica; y dado que los costos del mantenimiento correctivo suelen ser altos, consecuentemente habrá un aumento en la demanda económica para la funcionalidad de los dispositivos médicos. Así mismo, el AED permitió identificar en primer plano oportunidades para mejorar el rendimiento de los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de dispositivos médicos.

En segundo lugar, la aplicación de metodologías como el análisis de decisión multicriterio para la toma de decisiones en el ámbito de la Evaluación de Tecnología, la posibilidad de proponer distintas perspectivas de análisis, de acuerdo a los intereses de los tomadores de decisiones: desde los clínicos, los financieros y los técnicos. Tal es el caso de los tres ejemplos de aplicación, desde un conjunto específico de equipos de mediana complejidad como lo fue el caso de los ventiladores o un conjunto de 125 equipos variados; hasta un equipo de alta tecnología como lo fue el equipo de resonancia magnética.

En este caso los datos obtenidos proporcionaron la base para impulsar los programas de gestión (mantenimiento, y reemplazo) de tecnología médica, a su vez, dan la directriz para la planificación y gestión presupuestaria en el HGNSJ. De manera muy específica en cuanto al equipamiento del HGNSJ, se comprobó la necesidad de un reemplazo escalonado del equipamiento médico, por lo que los datos obtenidos acerca de la priorización se han tomado en consideración para comenzar las gestiones pertinentes para la renovación tecnológica en diversas áreas. Por otro lado, y dado que el instrumento diseñado se aplicó al 20% del equipo existente en el HGNSJ, un siguiente paso será la aplicación del modelo a toda la tecnología existente.

Para el caso del equipo de resonancia magnética, aunque el análisis se enfocó mayormente a la productividad y desempeño del equipo, funge como un apoyo para los tomadores de decisiones en la planificación y distribución de recursos (humanos y financieros), con el fin de garantizar este servicio médico en el futuro. Esto es particularmente importante para un hospital con una alta demanda de servicios bajo condiciones de seguridad para médicos y pacientes.

Poseer una herramienta de evaluación basada en indicadores facilita la actualización dinámica de las evaluaciones de dispositivos médicos en función de los cambios en los valores de variables incorporadas, y proporciona un sustento fehaciente para la administración de las instituciones de salud. Esto potencia de manera importante la participación del Ingeniero Clínico como un agente multidisciplinario habilitado para salvaguardar no solamente los recursos tecnológicos y materiales, sino humanos y financieros, y con ello contribuir de manera importante a una atención eficiente, segura y eficaz para el paciente.

Finalmente, se espera que este modelo sirva como un piloto para una futura aplicación a otras unidades de salud dependientes del Instituto de Salud del Estado de México

REFERENCIAS

- [1] O. Gómez-Dantés, S. Sesma, V. Becerril, Knaut F. (2011) *Sistema de Salud en México*. Salud Pública. México; 53 supl2: S220-232.
- [2] INSABI CDMX. (2021) *Informe de Autoevaluación del Director General del INSABI*. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/756245/INFORME ANUAL DE AUTOEVALUACION DEL DIRECTOR GENERAL DEL INSABI R3.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/756245/INFORME_ANUAL_DE_AUTOEVALUACION_DEL_DIRECTOR_GENERAL_DEL_INSABI_R3.pdf)
- [3] Dirección General de Información en Salud. (2022) *Catálogo de Establecimientos de Salud*, México. Disponible en: http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/intercambio/clues_gobmx.html
- [4] DGLPADES, SSA. (2010) *Modelos de Recursos para la Planeación de Unidades Médicas*.
- [5] Gaceta de Gobierno del Estado de México. (2015) *Manual de Políticas del Gestor de Red del Instituto de Salud del Estado de México*.
- [6] Diario Oficial de la Federación. (2012) *Parámetros de estimación de vida útil*. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5264340&fecha=15/08/2012#gsc.tab=0
- [7] J. Dyro. (2004) *The Clinical Engineering Handbook*, 1st Edition, ELSEVIER ACADEMIC PRESS.
- [8] WHO Document Production Services, *Introduction to Medical Equipment Inventory Management*. WHO Document Production Services, Geneva, Switzerland. 2012.
- [9] WHO Document Production Services. (2017) *Human Resources for Medical Devices. The role of biomedical Engineers*. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255261/9789241565479-eng.pdf>
- [10] WHO Medical device technical series, *Health technology assessment of medical devices*. WHO Document Production Services, Geneva, Switzerland. 2011

- [11] Martínez-Licona F.M., Ortiz-Posadas M.R., Ortiz-Pedroza M.R. (2019) *Estado del Arte de la Evaluación de Tecnologías en Salud en América Latina*. Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica. Vol 40. No. 3, pp 1-20.
- [12] Silva A.P., Palermo J.M. (2012) *Inventory Quality Control in Clinical Engineering: a Lean Six Sigma Approach*, Pan American Health Care Exchanges – PAHCE. Conference, Workshops, And Exhibits. Cooperation / Linkages, pp 35-39, Florida, Estados Unidos.
- [13] Stoiljkovic V., Milosavljevic P. (2014) *Improving The Efficiency Of The Center For Medical Biochemistry, Clinical Center Niš, By Applying Lean Six Sigma Methodology*. J Med Biochem 33: 299–307.
- [14] García-Porres, Ortiz-Posadas. (2013) *Sigma Level Performance of the Innovated Process in the Imaging Department at a Mexican Health Institute*. Journal of Digital Imaging 26(2): 353-360.
- [15] Samrat K., Mahabubur R., Umme R. (2022) *Global landscape of COVID-19 vaccination progress: insight from an exploratory data analysis*. Human Vaccines & Immunotherapeutics, Bangladesh.
- [16] Rahul J., Sora M., Sharma L. (2020) *Exploratory data analysis based efficient QRS-complex detection technique with minimal computational load*, Physical and Engineering Science in Medicine 43:1049–1067.
- [17] Ivlev I., Kneppo P., *Multicriteria Decision Analysis: A Multifaceted Approach to Medical Equipment Management*, Technological and Economic Development of Economic, Volume 20(3): 576–589. 2014.
- [18] Mora-García TR, Piña-Quintero MF and Ortiz-Posadas MR. *Pattern Recognition for Supporting the Replacement of Medical Equipment at Hospitals*. Springer. Series STEAM-H (Science, Technology, Engineering, Agriculture, Mathematics and Health). p. 197-215. 2020.
- [19] Navarro Albert E., Gisbert Soler V., Pérez Molina AI. (2018) *Metodología e Implementación de Six Sigma*, 3C Empresa: investigación y pensamiento crítico, Edición Especial, 73-80. España.

- [20] Herrera Acosta R.J., Fontalvo Herrera T.J. (2006) *Seis Sigma, Métodos Estadísticos y sus aplicaciones*. Primera Edición. Colombia.
- [21] Moses E. (2016) *R: Data Analysis and Visualization*. Packt Publishing, Birmingham UK.
- [22] Marquez-Pelaez S. (2020) *Guía para la elaboración de recomendaciones basada en análisis de decisión multicriterio*. Ministerio de Sanidad AETSA, Sevilla, España. Disponible en: <https://www.aetsa.org/2020/09/18/aetsa-guia-para-la-elaboracion-de-recomendaciones-basadas-en-analisis-de-decision-multicriterio-mcda/>
- [23] Zozoya G. N. (2018) *El análisis de decisión multicriterio en el ámbito sanitario. Utilidad y limitaciones para la toma de decisiones*. Weber, Madrid, España. Disponible en: https://weber.org.es/wpcontent/uploads/2021/03/libro_admc_17_x_24_espa%C3%B1ol_digital.pdf
- [24] Consejo General de Salud (2016), *Catálogo y listado básico de equipamiento e instrumental Médico*. Vol. II. Secretaría de Salud, México.
- [25] FDA. Overview of Medical Device Classification and Reclassification. Product Classification. USA, 2023. Disponible en: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfPCD/classification.cfm>
- [26] CENETEC, SSA. (2016) *Glosario de Gestión de Equipo Médico*. Disponible en: http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/equipoMedico/IB_Publicacion_Glosario_8_2_7Jun16.pdf
- [27] World Health Organization: Medical equipment maintenance program overview. (2011). <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44587>
- [28] Instituto de Salud del Estado de México. *Unidades Médicas*. Disponible en: https://salud.edomex.gob.mx/isem/at_unidades_medicas&cveunidad=MCSSA007661. Recuperado: 2022/05/22.

[29] Moses, Edwin. R: Data Analysis and Visualization. Packt Publishing, Birmingham UK, (2016).

[30] JL Conde Olegasti (1998), Evaluación De Tecnologías Medicas Basada en la Evidencia. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias. Madrid: Instituto de Salud Carlos III. 1998. (Consultado Sep 7, 2023)

[31] Departamento de Tecnologías Sanitarias (2012), *Introducción a la gestión de Inventarios de equipo médico*. Serie de documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos. OMS. Suiza.

[32] Dirección General de Capacitación (2008), *Elaboración de programas de capacitación*, Secretaría del Trabajo y Previsión Social, México.

[33] Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (2013), *Guía de procedimientos para un Centro Estatal de Ingeniería Biomédica*”, Secretaría de Salud, México.

[34] *Manual Interno del Hospital General Dr. Nicolás San Juan*. Instituto de Salud del Estado de México. México.

ANEXO A: PUBLICACIONES



Exploratory Data Analysis for Preventive and Corrective Maintenance for Medical Equipment in a General Hospital from the Health Institute of the State of Mexico

D. N. Astivia-Chávez^{1,2}  and M. R. Ortiz-Posadas²  

¹ Biomedical Engineering Service, Hospital General Dr. Nicolás San Juan, Toluca, Estado de México, Mexico

² Electrical Engineering Department, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Mexico City, Mexico
posa@xanum.uam.mx

Abstract. The “Nicolas San Juan” General Hospital, is a second level public hospital located at Toluca City, belonging to the Health Institute of the State of Mexico. It has a technological capacity of 534 medical devices, most of which (69%) are older than eleven years. In 2021, the total maintenance interventions performed by the Biomedical Engineering Service technical staff was 724. It was observed that more than 50% interventions were corrective maintenance (CM). The high demand for this maintenance could be related to the age of the devices.

The objective of this work was to carry out an Exploratory Data Analysis (EDA) using the R Studio suite, to find out if there is any relation between different variables relate to medical devices, and to discover patterns or anomalies that provide auxiliary criteria for decision-making in preventive and corrective maintenance management. The EDA was realized based on data from 349 work orders for medical devices located in six critical areas of the Hospital: surgical suite, intensive care and intermediate therapy units, emergency room, neonatology, and the central sterilization unit. Among the main results, it was detected a strong relationship between the total of corrective maintenance and the age of medical devices.

Keywords: Corrective maintenance · Preventive maintenance · Exploratory data analysis · Healthcare technology management

1 Introduction

Healthcare Technology Management (HTM) comprises a set of systematic procedures to evaluate and provide effective, safe, and cost-effective technology in healthcare facilities [1]. Furthermore, within the HTM cycle and specifically regarding maintenance procedures, multiple elements must be taken into consideration to evaluate its effectiveness, identify opportunity areas, and to enforce new strategies for the conservation and

An Indicator to Prioritize the Mechanical Ventilators Replacement in a Secondary Care Hospital in Mexico*

D. Nimsi Astivia-Chavez and Martha R. Ortiz-Posadas

Abstract— This paper presents a practical application of health technology assessment for 21 mechanical ventilators, located at a secondary care Hospital in the State of Mexico, Mexico. A global indicator is obtained, by using a mathematical tool, which involves 14 variables grouped into three partial indicators: technical, clinical and economic. The final aim of this approach is to provide evidence for decision-making, in order to prioritize the replacement of medical equipment, taking into consideration its performance features, the needs of demand for care, and the economic implications for the Hospital.

Clinical Relevance—Invasive Mechanical Ventilation (IMV), is a clinical procedure which implies a total or partial replacement of lung function. Given the life support implications, it is important to assure security and reliability in medical equipment intended for this therapy. Therefore, in order to keep updated the IMV devices, in addition to requiring preventive maintenance programs, medical technology replacement programs are necessary.

I. INTRODUCTION

The “Nicolas San Juan” Hospital (HNSJ), is a second care level hospital, located at Toluca City. It belongs to the Health Institute of the State of Mexico (ISEM, it’s acronym in Spanish). Regarding to infrastructure and medical equipment, the HNSJ has 144 long-stay hospital beds and a technological installed capacity of 529 medical devices, of which 370 (70%) are older than 5 years, and more than 50% are older than 15 years. Concerning to mechanical ventilation equipment, it has 29 devices for invasive use in different types of patients; of which 18 (64%) are between 10 and 16 years old [1].

In April of 2020, due the spread of SARS-CoV-2 virus, at the initiative of the Mexican Federal Government, 50% of the hospital beds at HNSJ were intended exclusively for COVID patients, which also meant an increase in the demand for mechanical ventilation equipment, as well as their persistent use. In other hand, deterioration of mechanical ventilators (MV) caused by the age and increased by the excessive use of disinfection chemicals; resulted in recurring technical failures. Several times, more than two corrective maintenance services were performed in a single MV in a period of less than one year.

Therefore, the main objective of this paper was to propose an indicator to evaluate the performance of all the MV located in the HNSJ, to provide an auxiliary criterion for a prioritized replacement, based on a technical, clinical, and economic

analysis. Three indicators related to each aspect were designed and 21 mechanical ventilators were assessed.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Information acquisition

Due the deterioration and age of the MV combined with the high demand for care during winter season, the analysis was conducted for the period December 2021 - January 2022.

Information about MV location and functionality was extracted from the daily records of the Biomedical Engineering Service (BES) at HNSJ. The Respiratory Therapy Service (RTS) provided information on the type of patients requiring ventilator assistance. Information on maintenance costs and consumables was obtained from data of the 2021 medical equipment maintenance contracts, while the cost of supplies was obtained from the pharmacy catalog for the same year.

B. Indicators’ Mathematical Model

In order to design specific indicators for MV assessment, the Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) methodology was used. MCDA is a valuable tool for decision makers to summarize complex features in a consistent and transparent way, to produce a ranking order based on specific objectives; that ultimately leads to fairer decision-making [2]. Based on previous applications of MCDA which involves Health Technology Assessment (HTA) [3], the following methodology was established:

Variables definition. In the direction of three perspectives of assessment, technical, clinical and economic; a set of variables was defined, weighted by a relevance factor.

Partial indicators definition. Once variables were defined, they were grouped into three partial indicators for the three perspectives of analysis. To quantify the relevance for each perspective, a quantitative weight was assigned to each partial indicator.

The variables, as well as the indicators weights were defined jointly with the BES staff and the RTS staff.

Global Indicator Definition. The partial indicators were integrated using a mathematical function to generate a numerical value that assesses the technical, clinical, and economic status of the evaluated MV. To classify the MV by the Global Indicator numeric result, a qualitative scale was

D. Nimsi Astivia-Chavez is with the Biomedical Engineering Service at Dr. Nicolas San Juan Hospital, State of Mexico Institute of Health, Mexico; and with the Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Mexico. (e-mail: nimsi.astivia.ib@gmail.com).

Martha R. Ortiz-Posadas is with the Electrical Engineering Department at Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Mexico. (Corresponding author: e-mail: posa@xanum.uam.mx).

Performance Evaluation of a Magnetic Resonance Imager with Evidence-Based Decision Making Tools

D. Nimsi Astivia-Chávez, Alfredo O. Rodríguez and Martha R. Ortiz-Posadas

Abstract— Evidence-based decision-making tools were used to evaluate the performance of a 16-year-old 1.5T Magnetic Resonance Imager (MRI) that has been fully dedicated to clinical service in a public hospital in Mexico. The MRI age highlights the importance of regular performance evaluations to ensure that the equipment is still functioning optimally, even when the system went through an important software and hardware updated. The use of Multiple-Criteria Decision-Making is an effective method to evaluate the performance of complex systems like MR imagers. A technical global indicator was set, revealing that only 50% of available time has been used is interesting and could be further investigated to determine if there are any factors limiting the usage of the system. The good performance indicators in terms of productivity, availability, and technical aspects are encouraging and suggest that the updated software and hardware have had a positive impact on the overall performance of the system.

Finally, the use of evidence-based decision-making tools to evaluate the performance of the MR imager was a successful approach and can serve as a model for other healthcare facilities to follow.

Clinical Relevance— MRI is a non-invasive diagnostic test that uses a magnetic field and radiofrequency waves to obtain detailed images of internal structures of the body. Unlike X-rays and CT scans, which use ionizing radiation, MRI does not expose patients to harmful radiation, making it a safe option for diagnostic imaging. The use of MRI a valuable tool for characterizing lesions, detecting abnormalities, and monitoring disease progression and it is widely used in several medical fields, including neurology, oncology, and orthopedics, among others. Therefore, ensuring that the MRI system is working optimally is crucial for providing reliable and accurate results, which can lead to timely and appropriate treatment for patients.

I. INTRODUCTION

Health Technology Assessment (HTA) is a systematic and multidisciplinary evaluation of the properties of health technologies and interventions covering their direct and indirect consequences. It is a multidisciplinary process that aims to determine the value of a health technology and to inform guidance on how these technologies can be used [1]. In this sense, it is important to conduct regular HTA evaluations on medical imaging systems to assess their impact and possible effects on patients, healthcare providers, and the healthcare system. All aspects must be taken into account to evaluate these medical devices, such as clinical use and medical applications, and to finally serve as an important source for decision-making. Additionally, these evaluations serve as the foundation to establish guidelines for efficiency and safety for the clinical environment. Finally, this will

provide us with *evidence-based decision-making* tools for the rational use of these imaging schemes [2].

The Health Institute of State of Mexico (HISM) is fully funded by the federal government of Mexico and potentially attends 40% of the population of the state (6.2 million), without healthcare either private or public [3]. Therefore the HISM could consider implementing strategies to optimize the use of their current imaging systems, such as prioritizing exams based on clinical need and ensuring that equipment is well-maintained to minimize downtime. Fig. 1 shows a pie graphical of the imaging systems currently available [3].

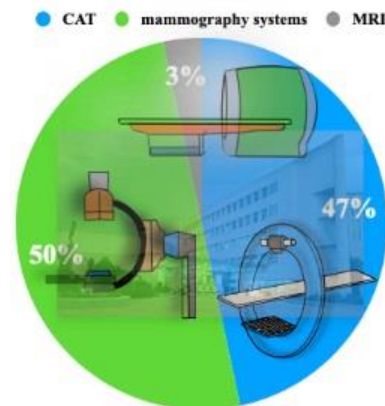


Figure 1. Medical equipment distribution for diagnostic imaging.

MRI has become a standard diagnostic tool for several diseases despite of their high costs, however, it is a highly demanded technique. According to the Organization for Economic Co-operation and Development parameters (OECD), it is required a MR imager for 1.5 million [4], this implies that 4 MRI systems must be in operation to adequately cover the imaging service demand at HISM. However, the acquisition of more MRI systems requires a rigorous and evaluation of the advantages and disadvantages of this type imaging modality. The main goal of this paper is to evaluate the Magnetic Resonance (MR) imager performance.

II. METHODS

The MRI system under study is a clinical 1.5 T scanner (from a Dutch brand) which is 16 years as far as all purchase documents indicate, the manufacturing year of the magnet is

D. Nimsi Astivia-Chávez, Alfredo O. Rodríguez-González and Martha R. Ortiz-Posadas are with the Electrical Engineering Department, Universidad

Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Mexico. (nimsi.astivia.ib@gmail.com, arog@xanum.uam.mx; corresponding author: posa@xanum.uam.mx).

Health Technology Assessment at a Second Care Hospital in Mexico using Analytic Hierarchy Method

Dara-Nimsi Astivia-Chavez, *Member, IEEE* and Martha R. Ortiz-Posadas, *Member, IEEE*

Abstract— A Health Technology Assessment (HTA) model based on Analytic Hierarchy Process is presented. This allows the medical equipment replacement prioritization, based on partial indicators which assessed their technical, clinical, and economic features. The individual partial indicators are integrated into a unified Global Assessment Indicator (I_G). The ultimate value for I_G is ranked by a qualitative scale, assigning prioritization levels (high, medium, low) which are linked to suggested replacement timelines (2, 4 or 6 years respectively). The HTA model was applied to 125 medium-complexity medical devices (MD), across six critical services in the Nicolas San Juan General Hospital, a secondary public healthcare facility situated in Toluca, Mexico. As a result of the assessment, 74 (59%) MD should be replaced within a maximum period of 2 years, 34 (27%) within the next 4 years, and 17 (14%) within a timeframe of up to 6 years.

Clinical Relevance— Health Technology Assessment offers valuable data and insights, that contribute to accurate and timely medical diagnoses and treatments. Consequently, the optimal functioning of medical devices ensures both patient safety and the delivery of high-quality care.

I. INTRODUCTION

Currently in Mexico, there is a recognized need to integrate Health Technology Assessment (HTA) tools into various stages of the Healthcare Technology Management (HTM) Cycle. An example of this is the Dr. Nicolas San Juan General Hospital (HNSJ), a second level care institution which belongs to the Health Institute of the State of Mexico. The facility comprises 144 long-stay hospital beds and a technological capacity of 529 MD, out of which approximately 70% surpass the designated useful lifespan defined for medical and laboratory equipment in Mexico [1]. On the other hand, it was noticed that just in 2021, the maintenance tasks distribution was 96% for corrective maintenance (CM), and 4% for preventive maintenance (PM). Furthermore, a noticeable correlation was identified between the age of medical devices and the incidence of CM [2]. In this context, prior assessments were also conducted, including an evaluation of 21 mechanical ventilators to gauge the functionality and deterioration following the COVID-19 pandemic, aiding the prioritization of their replacement [3], and the performance assessment of an MRI machine was leaded as well [4].

This paper introduces a HTA tool based on Analytical Hierarchy Method, that facilitates the prioritization of medical equipment replacement through the comprehensive evaluation

of their technical, clinical, and economic attributes. The aim was to evaluate a sample of 125 MD of medium-technological complexity located across six critical clinical services at HGNSJ, with the objective of determining their replacement priority.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Information acquisition

Considering the clinical significance and the vulnerability of patients in critical clinical services at HGNSJ, a total of 125 distinct medical devices were assessed at: central sterilization unit (CSU), surgical suite, neonatology, intensive care unit, emergency room, and pediatrics emergency room. A total of 348 work orders (WO) conducted by the Biomedical Engineering Service (BES) throughout the year 2021 were considered. These WO included tasks such as preventive maintenance (PM), corrective maintenance (CM), and the replacement of accessories or spare parts (ACO). Furthermore, data regarding discharged and treated patients were extracted from the Medical Records Service (MRS).

III. HTA MODEL

HTA represents a complex process of multiple attribute decision making, facilitating the objective selection and assessment of various alternatives within HTM. This encompasses tasks such as prioritizing and selecting medical technologies based on their technical, clinical, and economic attributes. Given the above, the Analytic Hierarchy Method (AHM) was chosen as the preferred approach for processing information to effectively conduct medical technology evaluations. This method consists of two key stages: problem identification and evaluation of its elements [5]. As a hierarchical structure, in the AHM the first level indicates the overarching objective of the given decision problem. At the second level, this goal is deconstructed into several facets, called dimensions. The third level accommodates criteria, and this hierarchical breakdown can continue, further dividing into sub-criteria in subsequent levels. The hierarchy for the prioritization of the replacement of health technology is shown in Fig 1. Observe that level 1 describes three assessed aspects, which also are associated to three indicators: Technical (I_T), Clinical (I_C) and Economic (I_E). Level 2 represents the variables assigned to each aspect. Finally, the three indicators (I_T , I_C , and I_E) are integrated into a comprehensive Global Indicator (I_G), which determines the replacement priority for the evaluated medical equipment (goal).

Dara-Nimsi Astivia-Chávez. Biomedical Engineering Service at Dr. Nicolas San Juan General Hospital, State of Mexico Institute of Health, Toluca 50010, Mexico; and Electrical Engineering Department, Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico City, Mexico. (e-mail: nimsi.astivia.ib@gmail.com).

Martha R Ortiz-Posadas is with the Electrical Engineering Department, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1A Sección, 09310 Iztapalapa, Mexico City, Mexico (corresponding author, email: posa@xanum.uam.mx)

ANEXO B: RESULTADOS DE LOS INDICADORES PARCIALES (I_t , I_c , I_E) Y GLOBAL (I_{EG}) DE 125 EQUIPOS MÉDICOS

NO.	UBICACIÓN	EQ	CANTIDAD	ANTIGÜEDAD	IR =x1	IM = (x21+x22+x23)/3	IRA = (x3+x4)/2	IA=x5	IT1	pIT	ICM	ICONS	IE	pIE	INI = (x8 + x14)/2	IDE	IHD1	IC	pIC	IG
1	CEYE	CRONEOTOMO	1	4	1.00	0.83	0.50	1.00	0.83	0.33	0.60	0.40	0.50	0.10	0.95	0.43	0.86	0.75	0.30	0.73
2	CEYE	ESTERILIZADOR DE VAPOR	1	14	0.75	0.40	1.00	0.60	0.69	0.28	0.80	0.20	0.50	0.10	0.95	0.34	0.73	0.68	0.27	0.65
3	CEYE	ESTERILIZADOR DE VAPOR	1	5	0.75	0.75	1.00	1.00	0.88	0.35	0.60	0.20	0.40	0.08	0.95	0.34	0.69	0.66	0.26	0.69
4	NEONATOS	BÁSCULA PESA BEBÉS	1	2	0.5	0.83	1.00	1	0.83	0.33	0.00	1.00	0.50	0.10	0.80	0.50	0.95	0.75	0.30	0.73
5	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	16	0.75	0.53	0.50	0.6	0.60	0.24	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.47	0.31	0.58	0.23	0.63
6	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	14	0.75	0.40	0.50	0.6	0.56	0.23	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.47	0.31	0.57	0.23	0.61
7	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	12	0.75	0.40	0.50	0.6	0.56	0.23	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.49	0.27	0.56	0.23	0.61
8	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	12	0.75	0.53	0.50	0.6	0.60	0.24	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.49	0.31	0.55	0.22	0.616
9	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	12	0.75	0.83	0.50	0.6	0.67	0.27	0.60	0.80	0.70	0.14	0.90	0.47	0.30	0.55	0.22	0.63
10	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	12	0.75	0.75	0.50	0.6	0.65	0.26	0.60	0.80	0.70	0.14	0.90	0.47	0.27	0.57	0.23	0.63
11	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	7	0.75	0.83	1.00	0.8	0.85	0.34	0.60	0.80	0.70	0.14	0.90	0.49	0.31	0.56	0.22	0.70
12	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	2	0.75	0.83	1.00	1	0.90	0.36	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.86	0.36	0.71	0.28	0.80
13	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	15	0.75	0.62	0.50	0.4	0.57	0.23	0.60	0.80	0.70	0.14	0.90	0.49	0.34	0.55	0.22	0.59
14	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	15	0.75	0.62	0.50	0.4	0.57	0.23	0.60	0.80	0.70	0.14	0.90	0.47	0.26	0.56	0.22	0.59
15	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	15	0.75	0.67	0.50	0.4	0.58	0.23	0.60	0.80	0.70	0.14	0.90	0.49	0.27	0.55	0.22	0.59
16	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	15	0.75	0.62	0.50	0.4	0.57	0.23	0.60	0.80	0.70	0.14	0.90	0.52	0.27	0.57	0.23	0.59
17	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	15	0.75	0.40	0.50	0.4	0.51	0.21	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.49	0.31	0.54	0.22	0.583
18	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	15	0.75	0.53	0.50	0.4	0.55	0.22	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.49	0.27	0.56	0.22	0.60
19	NEONATOS	CUNA DE CALOR RADIANTE	1	15	0.75	0.62	0.50	0.4	0.57	0.23	0.40	0.80	0.60	0.12	0.90	0.49	0.31	0.57	0.23	0.57
20	NEONATOS	FOTOTERAPIA DE CONTACTO	1	8	0.75	0.83	1.00	0.8	0.85	0.34	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.10	0.41	0.50	0.20	0.70
21	NEONATOS	FOTOTERAPIA DE CONTACTO	1	8	0.75	0.83	1.00	0.8	0.85	0.34	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.10	0.42	0.47	0.19	0.69
22	NEONATOS	FOTOTERAPIA DE CONTACTO	1	7	0.75	0.83	1.00	0.8	0.85	0.34	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.11	0.56	0.47	0.19	0.69
23	NEONATOS	FOTOTERAPIA DE CONTACTO	1	7	0.75	0.50	1.00	0.8	0.76	0.31	0.80	0.80	0.80	0.16	0.90	0.11	0.48	0.52	0.21	0.67
24	NEONATOS	JBADORA DE CUIDADOS INTENSIV	1	9	0.75	1.00	0.00	0.4	0.54	0.22	0.80	1.00	0.90	0.18	0.95	0.07	0.61	0.62	0.25	0.64
25	NEONATOS	INCUBADORA DE TRASLADO	1	4	0.75	0.83	1.00	0.8	0.85	0.34	1.00	1.00	1.00	0.20	0.95	0.08	0.99	0.54	0.22	0.76
26	NEONATOS	INCUBADORA DE TRASLADO	1	16	0.75	0.53	0.00	0.4	0.42	0.17	1.00	1.00	1.00	0.20	0.95	0.08	0.99	0.67	0.27	0.64
27	NEONATOS	INCUBADORA DE TRASLADO	1	6	0.75	1.00	1.00	0.8	0.89	0.36	1.00	1.00	1.00	0.20	0.95	0.10	0.80	0.68	0.27	0.83
28	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.62	1.00	0.4	0.69	0.28	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.65	0.23	0.60	0.24	0.60
29	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.70	1.00	0.4	0.71	0.29	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.65	0.27	0.60	0.24	0.60
30	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.62	1.00	0.4	0.69	0.28	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.65	0.27	0.60	0.24	0.60
31	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.37	1.00	0.4	0.63	0.25	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.69	0.31	0.60	0.24	0.59
32	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.83	1.00	0.4	0.75	0.30	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.65	0.27	0.58	0.23	0.61
33	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.70	1.00	0.4	0.71	0.29	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	1.21	0.37	0.60	0.24	0.62
34	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.70	1.00	0.4	0.71	0.29	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.65	0.27	0.58	0.23	0.60
35	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	17	0.75	0.45	1.00	0.4	0.65	0.26	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.73	0.35	0.57	0.23	0.59
36	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.37	1.00	0.4	0.63	0.25	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.65	0.27	0.58	0.23	0.582
37	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.32	1.00	0.4	0.62	0.25	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.69	0.31	0.58	0.23	0.577
38	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	1.00	1.00	0.4	0.79	0.32	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.69	0.30	0.57	0.23	0.64
39	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.23	1.00	0.4	0.60	0.24	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.65	0.27	0.60	0.24	0.577
40	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.62	1.00	0.4	0.69	0.28	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.65	0.25	0.57	0.23	0.61
41	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.53	1.00	0.4	0.67	0.27	1.00	0.40	0.70	0.14	0.80	0.65	0.27	0.58	0.23	0.64
42	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	12	0.75	0.62	1.00	0.6	0.74	0.30	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.69	0.30	0.58	0.23	0.63
43	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	2	0.75	0.62	0.50	1	0.72	0.29	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.65	0.27	0.79	0.32	0.704
44	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	13	0.75	0.32	1.00	0.6	0.67	0.27	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.69	0.31	0.60	0.24	0.61
45	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.23	1.00	0.4	0.60	0.24	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.69	0.31	0.56	0.22	0.56
46	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.45	1.00	0.4	0.65	0.26	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.69	0.31	0.60	0.24	0.579
47	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	8	0.75	0.53	1.00	0.8	0.77	0.31	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.73	0.35	0.62	0.25	0.64
48	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	8	0.75	0.62	1.00	0.8	0.79	0.32	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.73	0.34	0.62	0.25	0.65
49	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.40	1.00	0.4	0.64	0.26	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.65	0.27	0.58	0.23	0.59
50	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	8	0.75	0.53	1.00	0.8	0.77	0.31	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.69	0.31	0.62	0.25	0.658
51	NEONATOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	8	0.75	0.53	1.00	0.8	0.77	0.31	0.20	0.40	0.30	0.06	0.80	0.73	0.35	0.62	0.25	0.62
52	NEONATOS	OXIMETRO DE PULSO	1	7	0.75	0.53	0.50	0.8	0.65	0.26	0.60	1.00	0.80	0.16	0.80	0.50	1.00	0.77	0.31	0.72
53	QUIROFANO	PIRADOR DE SUCCIÓN REGULAB	1	2	0.75	0.53	1.00	1	0.82	0.33	0.20	0.20	0.20	0.04	0.95	0.09	0.93	0.66	0.26	0.63
54	QUIROFANO	BÁSCULA PESA BEBÉS																		

POSGRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA
EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA MÉDICA BASADA EN EVIDENCIA:
UN MODELO OPERATIVO PARA EL SERVICIO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA DEL HGDNSJ

NO.	UBICACIÓN	EQ	CANTIDAD	ANTIGÜEDAD	IR = x1	IM = (x21+x22+x23)/3	IRA= (x3+x4)/2	IA=x5	ITI	pIT	ICM	ICONS	IE	pIE	INI = (x8 + x14)/2	IDE	IHD1	IC	pIC	IG
69	QUIROFANO	MAQUINA DE ANESTESIA	1	7	0.75	0.83	1.00	0.8	0.85	0.34	0.80	1.00	0.90	0.18	1.00	0.09	0.76	0.62	0.25	0.76
70	QUIROFANO	MAQUINA DE ANESTESIA	1	7	0.75	0.83	1.00	0.8	0.85	0.34	0.80	1.00	0.90	0.18	1.00	0.10	0.75	0.62	0.25	0.76
71	QUIROFANO	MAQUINA DE ANESTESIA	1	7	0.75	0.83	1.00	0.8	0.85	0.34	0.80	1.00	0.90	0.18	1.00	0.08	0.81	0.63	0.25	0.77
72	QUIROFANO	MESA QUIRURGICA	1	10	0.5	0.67	0.50	0.8	0.62	0.25	0.80	0.20	0.50	0.10	0.95	0.10	0.75	0.60	0.24	0.59
73	QUIROFANO	MESA QUIRURGICA	1	5	0.5	0.67	0.50	1	0.67	0.27	0.80	0.20	0.50	0.10	0.95	0.11	0.73	0.60	0.24	0.61
74	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.67	1.00	0.4	0.70	0.28	0.60	0.40	0.50	0.10	0.85	0.09	0.74	0.56	0.22	0.60
75	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.67	1.00	0.4	0.70	0.28	0.60	0.40	0.50	0.10	0.85	0.09	0.74	0.56	0.22	0.60
76	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	13	0.75	0.53	0.50	0.6	0.60	0.24	0.40	0.40	0.40	0.08	0.85	0.09	0.75	0.56	0.23	0.54
77	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	13	0.75	0.67	0.50	0.6	0.63	0.25	0.40	0.40	0.40	0.08	0.85	0.09	0.74	0.56	0.22	0.55
78	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	13	0.75	0.53	0.50	0.6	0.60	0.24	0.40	0.40	0.40	0.08	0.85	0.09	0.74	0.56	0.22	0.54
79	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	7	0.75	0.62	1.00	0.8	0.79	0.32	0.60	0.40	0.50	0.10	0.85	0.09	0.97	0.64	0.25	0.67
80	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	2	0.75	0.62	0.50	1	0.72	0.29	0.60	0.40	0.50	0.10	0.85	0.09	0.72	0.55	0.22	0.61
81	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	7	0.75	0.83	0.00	0.8	0.60	0.24	0.80	0.40	0.60	0.12	0.80	0.08	0.80	0.56	0.22	0.58
82	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	7	0.75	0.83	0.00	0.8	0.60	0.24	0.80	0.40	0.60	0.12	0.85	0.11	0.72	0.56	0.22	0.58
83	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	7	0.75	0.83	0.00	0.8	0.60	0.24	0.80	0.40	0.60	0.12	0.85	0.10	0.75	0.57	0.23	0.58
84	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	7	0.75	0.83	0.00	0.8	0.60	0.24	0.80	0.40	0.60	0.12	0.85	0.09	0.77	0.57	0.23	0.59
85	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	7	0.75	0.83	0.00	0.8	0.60	0.24	0.80	0.40	0.60	0.12	0.85	0.08	0.79	0.57	0.23	0.59
86	QUIROFANO	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	7	0.75	0.83	0.00	0.8	0.60	0.24	0.80	0.40	0.60	0.12	0.80	0.05	0.89	0.58	0.23	0.59
87	QUIROFANO	UNIDAD DE ELECTROCRURUGIA	1	14	0.75	0.75	1.00	0.6	0.78	0.31	0.60	1.00	0.80	0.16	0.95	0.10	0.92	0.66	0.26	0.73
88	QUIROFANO	UNIDAD DE ELECTROCRURUGIA	1	14	0.75	0.62	0.50	0.6	0.62	0.25	0.60	1.00	0.80	0.16	0.95	0.11	0.88	0.65	0.26	0.665
89	QUIROFANO	UNIDAD DE ELECTROCRURUGIA	1	14	0.75	0.75	0.50	0.6	0.65	0.26	0.60	1.00	0.80	0.16	0.95	0.09	0.76	0.60	0.24	0.66
90	QUIROFANO	ORIZADOR DE AGENTES ANESTES	1	7	0.75	0.83	0.50	0.8	0.72	0.29	1.00	1.00	1.00	0.20	0.95	0.11	0.72	0.59	0.24	0.73
91	QUIROFANO	ORIZADOR DE AGENTES ANESTES	1	7	0.75	0.83	0.50	1	0.77	0.31	1.00	1.00	1.00	0.20	0.90	0.08	0.80	0.59	0.24	0.746
92	QUIROFANO	ORIZADOR DE AGENTES ANESTES	1	7	0.75	0.83	0.50	0.8	0.72	0.29	1.00	1.00	1.00	0.20	0.95	0.08	0.95	0.66	0.26	0.75
93	QUIROFANO	ORIZADOR DE AGENTES ANESTES	1	7	0.75	0.83	0.50	1	0.77	0.31	1.00	1.00	1.00	0.20	0.90	0.05	0.89	0.61	0.24	0.753
94	QUIROFANO	ORIZADOR DE AGENTES ANESTES	1	7	0.75	0.83	0.50	0.8	0.72	0.29	1.00	1.00	1.00	0.20	0.95	0.10	0.94	0.66	0.27	0.75
95	TERAPIA INTENSIVA	CAMA DE TERAPIA INTENSIVA	1	2	0.75	1.00	1.00	1	0.94	0.38	0.60	1.00	0.80	0.16	0.90	0.06	0.33	0.43	0.17	0.71
96	TERAPIA INTENSIVA	CAMA DE TERAPIA INTENSIVA	1	2	0.75	1.00	1.00	1	0.94	0.38	0.60	1.00	0.80	0.16	0.90	0.06	0.35	0.44	0.17	0.71
97	TERAPIA INTENSIVA	CAMA DE TERAPIA INTENSIVA	1	2	0.75	0.83	1.00	1	0.90	0.36	0.60	1.00	0.80	0.16	0.90	0.06	0.29	0.42	0.17	0.68
98	TERAPIA INTENSIVA	CAMA DE TERAPIA INTENSIVA	1	2	0.75	1.00	1.00	1	0.94	0.38	0.60	1.00	0.80	0.16	0.90	0.06	0.27	0.41	0.16	0.699
99	TERAPIA INTENSIVA	DESFIBRILADOR	1	2	1	0.53	1.00	1	0.88	0.35	1.00	1.00	1.00	0.20	0.95	1.03	1.00	0.99	0.40	0.950
100	TERAPIA INTENSIVA	ELECTROCARDIOGRAFO	1	2	0.75	0.70	1.00	1	0.86	0.35	0.60	1.00	0.80	0.16	0.90	0.24	1.00	0.71	0.29	0.79
101	TERAPIA INTENSIVA	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.75	1.00	0.4	0.73	0.29	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.18	0.29	0.42	0.17	0.56
102	TERAPIA INTENSIVA	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.40	1.00	0.4	0.64	0.26	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.18	0.33	0.44	0.18	0.53
103	TERAPIA INTENSIVA	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.37	1.00	0.4	0.63	0.25	1.00	0.40	0.70	0.14	0.80	0.18	0.35	0.44	0.18	0.57
104	TERAPIA INTENSIVA	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.62	1.00	0.4	0.69	0.28	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.08	0.51	0.46	0.19	0.56
105	TERAPIA INTENSIVA	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	13	0.75	0.83	0.50	0.6	0.67	0.27	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.18	0.19	0.39	0.16	0.524
106	TERAPIA INTENSIVA	OXIMETRO DE PULSO	1	8	0.75	0.62	0.50	0.8	0.67	0.27	0.80	1.00	0.90	0.18	0.80	0.09	0.46	0.45	0.18	0.63
107	URGENCIAS ADULTOS	BASCUA C/ESTADIMETRO	1	13	0.5	0.62	1.00	0.6	0.68	0.27	0.80	1.00	0.90	0.18	0.80	0.25	0.97	0.67	0.27	0.72
108	URGENCIAS ADULTOS	DESFIBRILADOR	1	1	1	0.83	1.00	1	0.96	0.38	1.00	1.00	1.00	0.20	0.95	0.14	1.00	0.70	0.28	0.86
109	URGENCIAS ADULTOS	DESFIBRILADOR	1	15	1	0.75	1.00	0.4	0.79	0.32	1.00	1.00	1.00	0.20	0.95	0.02	1.00	0.65	0.26	0.78
110	URGENCIAS ADULTOS	DISPOSITIVOS DE SIGNOS VITALES	1	7	0.75	0.62	1.00	0.8	0.79	0.32	0.60	0.80	0.70	0.14	0.80	0.25	0.97	0.67	0.27	0.73
111	URGENCIAS ADULTOS	ELECTROCARDIOGRAFO	1	2	0.75	0.53	1.00	1	0.82	0.33	0.60	1.00	0.80	0.16	0.90	0.04	0.97	0.64	0.25	0.74
112	URGENCIAS ADULTOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.67	1.00	0.4	0.70	0.28	0.80	0.40	0.60	0.12	0.80	0.03	0.49	0.44	0.18	0.578
113	URGENCIAS ADULTOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	14	0.75	0.67	1.00	0.6	0.75	0.30	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.04	0.48	0.44	0.18	0.58
114	URGENCIAS ADULTOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	14	0.75	0.67	0.50	0.6	0.63	0.25	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.03	0.59	0.47	0.19	0.54
115	URGENCIAS ADULTOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	14	0.75	0.53	0.50	0.6	0.60	0.24	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.03	0.64	0.49	0.20	0.53
116	URGENCIAS ADULTOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	9	0.75	0.75	0.50	0.8	0.70	0.28	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.03	0.59	0.47	0.19	0.57
117	URGENCIAS ADULTOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	2	0.75	0.62	0.50	1	0.72	0.29	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.03	0.60	0.48	0.19	0.558
118	URGENCIAS ADULTOS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	15	0.75	0.70	1.00	0.4	0.71	0.29	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.03	0.50	0.44	0.18	0.56
119	URGENCIAS PEDIATRICAS	BÁSCULA PESA BEBÉS	1	5	0.5	0.70	1.00	1	0.80	0.32	0.60	1.00	0.80	0.16	0.80	0.13	0.99	0.64	0.26	0.74
120	URGENCIAS PEDIATRICAS	DESFIBRILADOR	1	10	1	0.83	1.00	0.8	0.91	0.36	1.00	1.00	1.00	0.20	0.95	0.10	1.00	0.68	0.27	0.84
121	URGENCIAS PEDIATRICAS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	14	0.75	0.40	0.50	0.6	0.56	0.23	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.11	0.51	0.47	0.19	0.494
122	URGENCIAS PEDIATRICAS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	14	0.75	0.70	1.00	0.6	0.76	0.31	0.40	0.40	0.40	0.08	0.80	0.11	0.51	0.47	0.19	0.57
123	URGENCIAS PEDIATRICAS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	10	0.75	0.53	0.50	0.8	0.65	0.26	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.11	0.51	0.47	0.19	0.548
124	URGENCIAS PEDIATRICAS	MONITOR DE SIGNOS VITALES	1	10	0.75	0.67	0.50	0.8	0.68	0.27	0.60	0.40	0.50	0.10	0.80	0.11	0.51	0.47	0.19	0.561
125	URGENCIAS PEDIATRICAS	OXIMETRO DE PULSO	1	15	0.75	0.62	0.50	0.4	0.57	0.23	0.80	1.00	0.90	0.18	0.80	0.13	0.99	0.64	0.26	0.66
PROMEDIO DE LA EVALUACIÓN					PROMEDIO					0.71	0.29				0.67	0.13				0.65
					MÍNIMO					0.36	0.15				0.10	0.02				0.40
					MÁXIMO					0.96	0.38				1.00	0.20				0.95

ANEXO C: CARTA DESCRIPTIVA PARA LA CAPACITACIÓN SOBRE EL USO DE UN MONITOR DE SIGNOS VITALES

Carta Descriptiva para Eventos de Capacitación

1/ UNIDAD APLICATIVA: HOSPITAL GRAL. TOLUCA “DR. NICOLÁS SAN JUAN”							
2/ NOMBRE DEL EVENTO: CAPACITACIÓN DE USO DEL MONITOR DE SIGNOS VITALES			3/ MODALIDAD DE LA CAPACITACION: PRESENCIAL			4/ DIRIGIDO A: PERSONAL DE ENFERMERÍA	
5/ SEDE: HOSPITAL GENERAL DR. NICOLÁS SAN JUAN			6/ FECHA INICIO:			7/ FECHA TERMINO:	
8/ HORARIO: 07:00 - 08:10 am			9/ CUPO: 10 PERSONAS		10/RESPONSABLE(S) DE LA CAPACITACION: SERVICIO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA		
11/OBJETIVO GENERAL: El personal de enfermería comprenderá y ejecutará correctamente las funciones disponibles en el Monitor de Signos Vitales							
12/FECHA Y HORARIO	13/CONTENIDO TEMATICO	14/OBJETIVO ESPECIFICO	15/TECNICA DIDACTICA	16/AUXILIAR DIDACTICO	17/EVALUACION	18/PONENTE	19/BIBLIOGRAFIA
07:00 – 07:10	Descripción y elementos del Monitor de Signos Vitales (MSV) -Panel frontal -Panel y conexiones laterales -Módulos multiparamétricos y accesorios 10 MIN.	Diferenciar cada uno de los componentes físicos del MSV, así como su correcto acoplamiento al equipo.	Exposición teórico - práctica	-Monitor de signos vitales -Presentación de diapositivas	- Examen escrito - Ejercicio práctico	ING. BIOM. DARA NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ	Drager, Infinity Vista XL, User Manual
07:10 - 07:20	Principios de Operación del Monitor de Signos Vitales -Encendido -Menú rápido -Menú principal -Configuración inicial 10 MIN.	Distinguir y acceder a los principios básicos de operación del MSV.	Exposición teórico - práctica	-Monitor de signos vitales -Presentación de diapositivas	- Examen escrito - Ejercicio práctico	ING. BIOM. DARA NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ	Drager, Infinity Vista XL, User Manual Philips Intelli Vue, User Manual
07:20 - 07:30	Principios para el registro y despliegue de signos vitales: -ECG, Frecuencia Cardíaca y Respiración -SPO ₂ -TA -Temperatura - Tendencias 10 MIN	Identificar y configurar los accesorios para registro de signos vitales.	Exposición teórico - práctica	- Monitor de signos vitales - Presentación de diapositivas	- Examen escrito - Ejercicio práctico	ING. BIOM. DARA NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ	García-González M.T, Jiménez-González A., Ortiz-Pedroza M.R., Peña Castillo M.A. Potenciales bioeléctricos: origen y registro. 1998.
07:30 - 07:35	Configuración e identificación de alarmas y mensajes de error. -Histórico de alarmas 5 MIN	Definir y programar la mejor configuración de alarmas de acuerdo con el tipo de paciente.	Exposición teórico - práctica	-Monitor de signos vitales -Presentación de diapositivas	- Examen escrito - Ejercicio práctico	ING. BIOM. DARA NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ	Drager, Infinity Vista XL, User Manual Philips Intelli Vue, User Manual
07:35 - 07:40	Limpieza y desinfección. 5 MIN	Conocer y aplicar el correcto proceso para limpieza y desinfección del Equipo.	Exposición teórico - práctica	-Monitor de signos vitales -Presentación de diapositivas	- Examen escrito	ING. BIOM. DARA NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ	Drager, Infinity Vista XL, User Manual Philips Intelli Vue, User Manual



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

Instituto de Salud del Estado de México
Coordinación de Salud
Subdirección de Atención Médica
Área Estatal de Enfermería



07:35 - 07:40	Limpieza y desinfección. 5 MIN	Conocer y aplicar el correcto proceso para limpieza y desinfección del Equipo.	Exposición teórico - práctica	-Monitor de signos vitales -Presentación de diapositivas	- Examen escrito	ING. BIOM. DARA NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ	Drager, Infinity Vista XL, User Manual Philips Intelli Vue, User Manual
07:40 - 07:50	Presentación de escenarios 10 MIN	Configurar el MSV, para el correcto registro de acuerdo con características específicas de un paciente.	Exposición práctica	-Monitor de signos vitales -Presentación de diapositivas	-Ejercicio práctico	ING. BIOM. DARA NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ	
07:50-08:10	Evaluación escrita 20 MIN	Discriminar, seleccionar y aplicar los diferentes conceptos aprendidos.					

21/ JEFA DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN/

ENC. COORD. DE ENSEÑANZA DE ENFERMERIA

DRA. LINEETT HENÁNDEZ GAMA
(NOMBRE Y FIRMA)

MTRA. REYNA MILIAR DE JESUS
(NOMBRE Y FIRMA)

217B20000-597 17

ANEXO D. EVALUACIÓN DE CAPACITANDOS EN USO DEL MONITOR DE SIGNOS VITALES.



Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica
Servicio de Ingeniería Biomédica



CAPACITACIÓN DEL USO Y CUIDADO DEL MONITOR DE SIGNOS VITALES

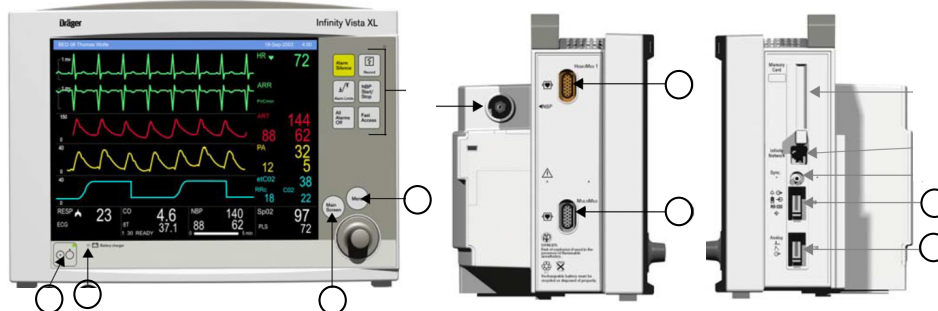
EVALUACIÓN DE CAPACITACIÓN

Nombre completo: _____ Fecha: _____ PRE: _____
Área/Servicio: _____ Turno: _____ Función: _____ POST: _____

Instrucciones: Conteste las siguientes preguntas, de acuerdo a su experiencia con el uso del equipo (examen PRE), o a la exposición previa (examen POST)

- En el siguiente diagrama identifique el elemento correspondiente (2 PUNTOS), coloque en el círculo la letra correspondiente al nombre de cada elemento :

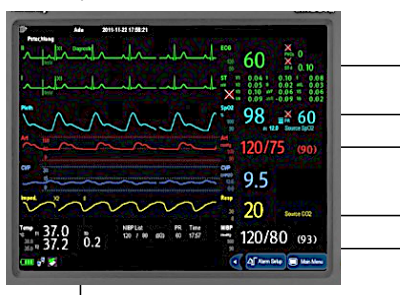
- Indicador de carga de batería
- Botón de acceso a menú principal
- Conector de módulo multiparamétrico
- Conector para módulo adicional de SPO₂

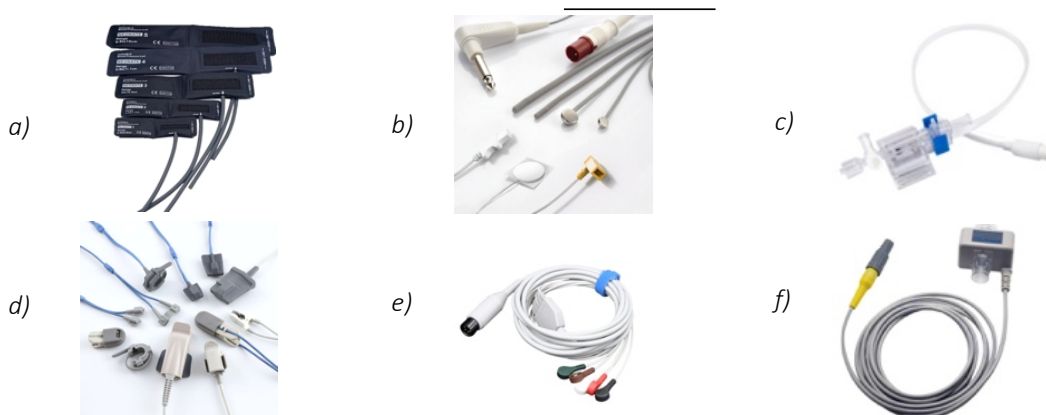


- Indique si el enunciado es verdadero (V) o falso (F) según sea el caso (1 PUNTO)

- Todos los monitores de signos vitales cuentan con un accesorio multiparamétrico externo _____
- Menú, Silenciar alarmas, NBIP, Pantalla principal;** son teclas de acceso directo que se pueden encontrar en monitores de signos vitales de todas las marcas _____

- En el siguiente diagrama, relacione la forma de onda con el sensor o cable de paciente correspondiente (3 PUNTOS):





4. Relacione cada tipo de alarma con sus indicadores auditivos y visuales más comunes (1 PUNTO)

- a. Moderadas ☐ Suele ser roja parpadeante, acompañada de una secuencia continua de tonos. Se corrige con la intervención manual del usuario.
- b. Bajo riesgo (Aviso) ☐ Amarilla parpadeante, tonos pausados. Puede corregirse automáticamente cuando se corrige la condición de registro.
- c. Muy graves (Vida en peligro) ☐ Blanca, azul u otro color distinto de amarillo y rojo. Acompañada de tonos esporádicos (cada 10 s) Cesan tan pronto como la causa de la alarma desaparece.

5. Indique si el enunciado es verdadero (V) o falso (F) según sea el caso (1 PUNTO)

- a. Las superficies del equipo pueden ser limpiados con un paño humedecido con solución jabonosa ☐
- b. La desinfección de cables de paciente y sensores, se debe utilizar una grasa humedecida con alcohol diluido o desinfectantes basados en gliceraldehídos ☐
- c. La esterilización con vapor es recomendada para accesorios y cables de paciente ☐

6. Indique la mejor configuración para los siguientes casos (2 PUNTOS):

TIPO DE PACIENTE	ALARMAS	ACCESORIOS
Prematuro en cuidados intensivos, 1200 gramos de peso.	ECG: Límite Superior Límite Inferior SPO ₂ : Límite Superior Límite Inferior RESP: Límite Superior Límite Inferior	
Lactante hospitalizado, 6 meses de edad. FC y FR acorde a su edad	ECG: Límite Superior Límite Inferior SPO ₂ : Límite Superior Límite Inferior RESP: Límite Superior Límite Inferior	

ANEXO E: PRESENTACIÓN PARA CAPACITACIÓN DE USO Y CUIDADO DE MONITORES DE SIGNOS VITALES

Gobierno del Estado de México
Secretaría de Salud
Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica



SERVICIO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

USO Y CUIDADO DE EQUIPOS DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES

ING. D. NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ

Gobierno del Estado de México
Secretaría de Salud
Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica



DEFINICIÓN

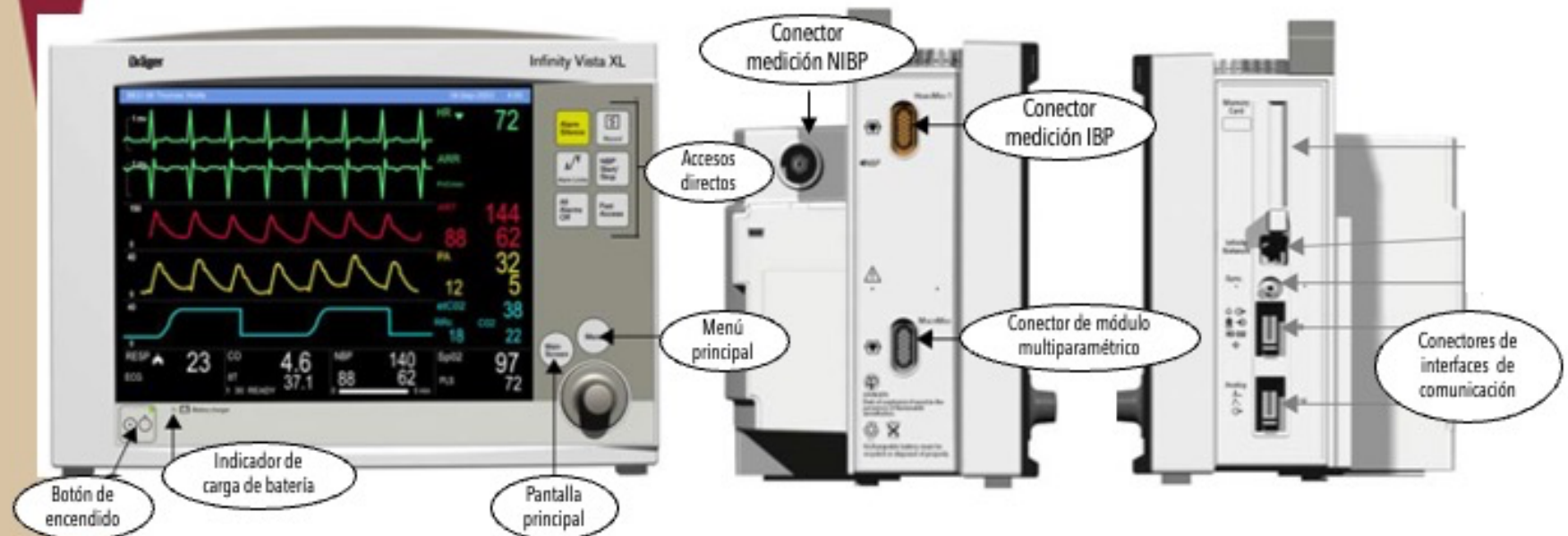
Equipo compuesto de varias unidades, módulos o componentes utilizado para detectar, medir y desplegar de forma continua múltiples parámetros fisiológicos asociados a un solo paciente: actividad eléctrica del corazón, presión arterial no invasiva, presión arterial invasiva, frecuencia cardiaca, temperatura y gases respiratorios.



Gobierno del Estado de México
Secretaría de Salud
Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica



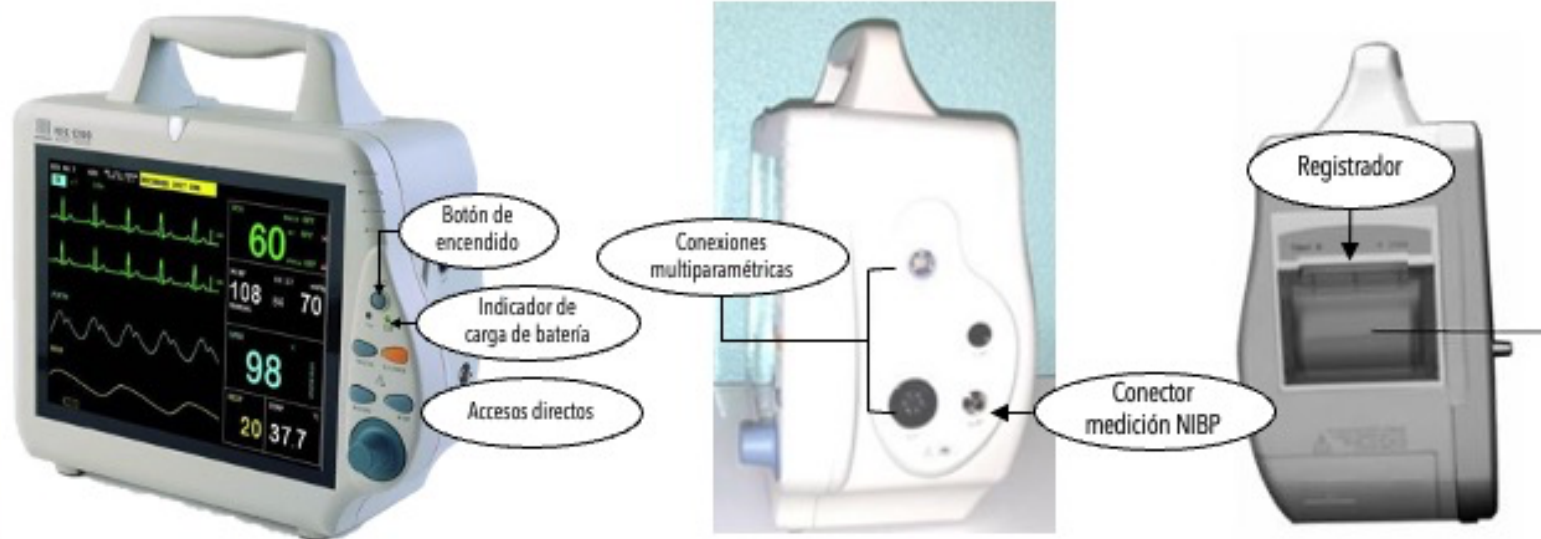
ELEMENTOS PRINCIPALES



Gobierno del Estado de México
Secretaría de Salud
Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica



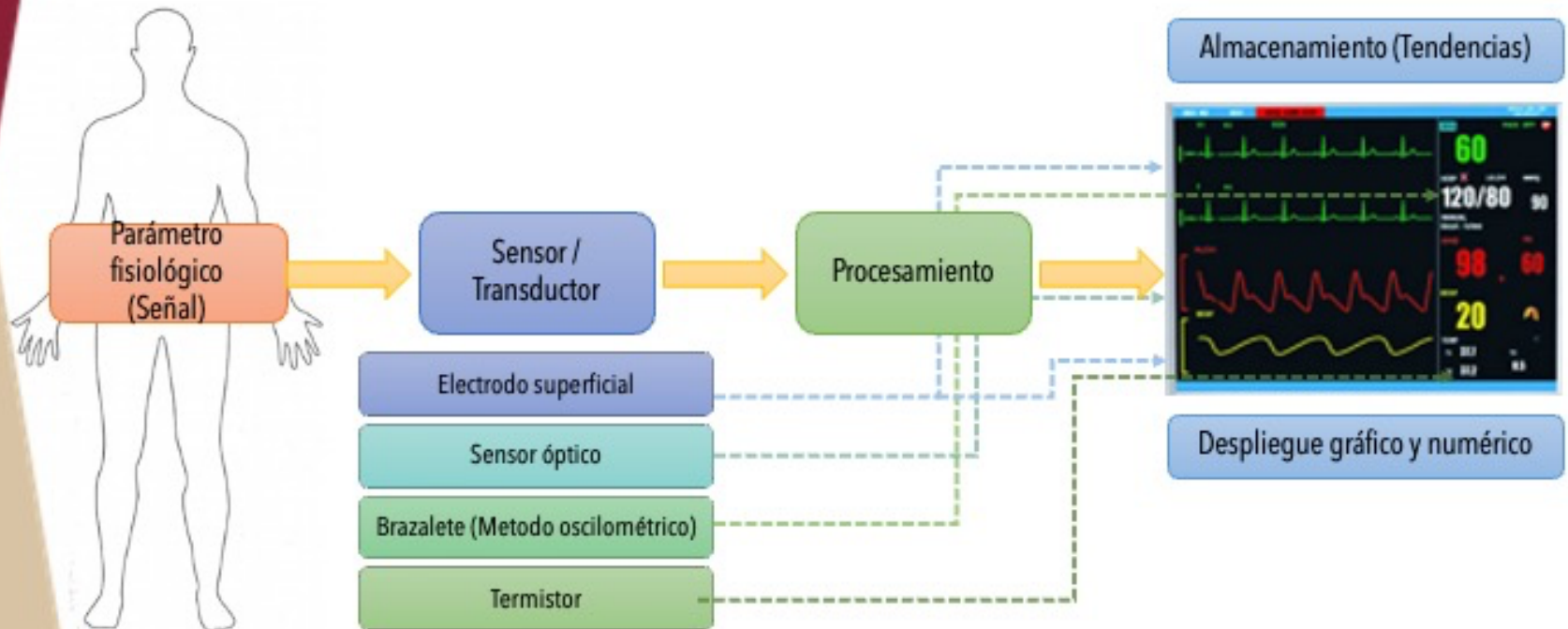
ELEMENTOS PRINCIPALES



Gobierno del Estado de México
Secretaría de Salud
Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica



REGISTRO Y DESPLIEGUE DE PARÁMETROS



Gobierno del Estado de México
Secretaría de Salud
Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica



ALARMAS Y MENSAJES DE ERROR

- Conjunto de indicadores visuales y/o auditivos que permiten reconocer la existencia de alguna situación adversa o fuera de los límites deseados.



Tonos audibles



Cambios de color en el área de
medición del parámetro

Iluminación de secciones o leds



Mensajes de alerta

Gobierno del Estado de México
Secretaría de Salud
Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica



GRADOS DE ALARMAS

Bajo riesgo

- Blanca, azul u otro color distinto de amarillo y rojo. Acompañada de tonos esporádicos (cada 10s). Cesan tan pronto como la causa de la alarma desaparece.
- *Ejm: Sensor SPO2 desconectado*

Moderadas

- Amarilla parpadeante, tonos pausados. Puede corregirse automáticamente cuando se corrige la condición de registro.
- *Ejm: ECG presenta artefactos.*

Muy grave

- Suele ser roja parpadeante, acompañada de una secuencia continua de tonos. Se corrige con la intervención manual del usuario. Indica una condición crítica en los parámetros de medición
- *Ejm: Paciente en APNEA*

Gobierno del Estado de México
Secretaría de Salud
Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica



CONFIGURACIÓN DE ALARMAS



- ✓ Cada equipo tiene una configuración de fábrica propuesta para cada tipo de paciente:
 - Adulto
 - Pediátrico
 - Neonatal
- ✓ Configuración personalizada sugerida:

Parámetro	Límite inferior	Límite Superior
Temperatura	- 1º el valor basal	+ 1º el valor deseado
Saturación O2	- 5% del valor basal	Adultos: 100 % Neonatos: 98%
FR y FC	- 20% valor basal	+ 20% valor deseado

Gobierno del Estado de México
Secretaría de Salud
Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica



LIMPIEZA Y CUIDADO DEL EQUIPO

Monitor y periféricos

1. Limpiar con humedecidos con solución a base de jabón desinfectante.
2. Desinfectar superficies con soluciones a base de alcohol (1:3) o desinfectantes glutaraldehidos.
3. Secar cuidadosamente con paños libres de pelusa.

Cables de paciente

1. Limpiar cuidadosamente con una gaza humedecida con solución a base de jabón.
2. Secar con paños libres de pelusa
3. Deinfectar con solución a base de a base de alcohol (1:3) o desinfectantes glutaraldehidos
4. Secar cuidadosamente con paños libres de pelusa

Sugerencias de cuidado

1. En todos los casos, desconectar los cables del monitor para un mejor manejo.
2. Evitar rociar el equipo con cualquier solución
3. Informar al servicio de Ing. Biomédica al detectar cualquier cuarteadura de la cubierta plástica del cable
4. El equipo debe limpiarse tras el uso con cada paciente.

Gobierno del Estado de México
Secretaría de Salud
Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica



ACTIVIDAD PRÁCTICA:

1. Encienda el Monitor de Signos Vitales
2. Ingrese un paciente neonatal
3. Configure las alarmas de acuerdo a los siguientes datos:
 - *Prematuro en cuidados intensivos, 1200 gramos de peso*
 - *FC: 100 lpm*
 - *FR: 25 rpm*



ANEXO F. FORMATO DE EVALUACIÓN DEL CAPACITADOR



Hospital General Dr. Nicolás San Juan
Departamento de Ingeniería, Mantenimiento y Biomédica
Servicio de Ingeniería Biomédica



EVALUACIÓN DE LA CAPACITACIÓN

FECHA: _____ HORA: _____ TURNO: _____

NOMBRE DEL PONENTE: _____ ÁREA /SERVICIO: _____

Considerando tu asistencia a la capacitación, evalúa los siguientes aspectos:

EVALUACIÓN DE LA CAPACITACIÓN	Muy de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Total desacuerdo
La información abordada en la capacitación fue útil y relevante					
Los apoyos visuales y didácticos fueron claros y adecuados					
Creo que este tipo de capacitación contribuye a dar una mejor atención al paciente					
Creo que este tipo de capacitación contribuye a un mejor desempeño de mi labor					
El ponente dominó el tema correctamente					
El ponente mostró disposición para atender dudas y preguntas					
El tono y volumen de voz fueron los adecuados					
El tiempo fue distribuido correctamente para la teoría y la práctica					
El espacio para realizar la capacitación fue el adecuado					
Considero que es importante capacitarse continuamente en el uso del equipo médico					

COMENTARIOS:



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00152

Matrícula: 2213800912

Un Modelo de Evaluación de Tecnología Médica Basada en Evidencia para el Hospital General Dr. Nicolás Juan.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 16:00 horas del día 27 del mes de mayo del año 2024 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

M.A.S.S. JAZMIN EMMA REYES SALAS
M. EN I.B. RICARDO NOE RODRIGUEZ VERA
DRA. MARTHA REFUGIO ORTIZ POSADAS

Bajo la Presidencia de la primera y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

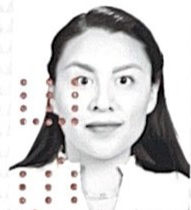
MAESTRA EN CIENCIAS (INGENIERÍA BIOMÉDICA)

DE: DARA NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

Acto continuo, la presidenta del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.



DARA NIMSI ASTIVIA CHÁVEZ
ALUMNA

REVISÓ

MTRA. ROSALÍA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBI

Roman Linares Romero
DR. ROMAN LINARES ROMERO

PRESIDENTA

Jazmin Emma Reyes Salas
M.A.S.S. JAZMIN EMMA REYES SALAS

VOCAL

Ricardo Noe Rodriguez Vera
M. EN I.B. RICARDO NOE RODRIGUEZ VERA

SECRETARIA

Martha Refugio Ortiz Posadas
DRA. MARTHA REFUGIO ORTIZ POSADAS