

Un Indicador de Evaluación Técnica para Determinar la Prioridad de Sustitución de Equipo Médico

T. R. Mora-García¹, M. F. Piña-Quintero², M. R. Ortiz-Posadas^{3*}

¹Licenciatura en Ingeniería Biomédica, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México, CDMX

²Coordinación de Electromedicina, Instituto Nacional de Pediatría, México, CDMX

³Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México, CDMX

*posa@xanum.uam.mx

Resumen— El objetivo de este trabajo fue desarrollar un indicador que permita evaluar aspectos técnicos del equipo médico y que coadyuve en la toma de decisiones sobre el tiempo en que debe sustituirse. El indicador se desarrolló utilizando la Metodología de Análisis Multi-criterio, que usa juicios de expertos responsables de la toma de decisiones; y se propuso un conjunto de ocho variables ponderadas de acuerdo a su importancia, las cuales se integraron en una función matemática. El indicador se aplicó en una muestra de diez equipos médicos de seis tipos diferentes: monitor de signos vitales, cuna de calor radiante, desfibrilador, ventilador, ultrasonido y ECG, ubicados en la Unidad de Terapia Intensiva (UTI) y la Unidad de Terapia Intensiva Neonatal (UTIN) de un Instituto Nacional de Salud. El resultado fue que un equipo hay que sustituirlo a corto plazo (3 años), cinco equipos a mediano plazo (6 años) y cuatro a largo plazo (10 años).

Palabras clave— Evaluación de equipo médico, indicador de evaluación técnica, análisis multicriterio

I. INTRODUCCIÓN

Los establecimientos de salud cuentan con equipos médicos de diversa tecnología cuyo uso tiene un impacto directo en el diagnóstico, tratamiento y/o rehabilitación de los pacientes, por lo que es fundamental garantizar su funcionamiento óptimo. Conforme transcurre el tiempo, los equipos se van tornando antiguos y por lo tanto obsoletos; es decir, ya no cuentan con insumos en el mercado para mantenerlos operando; o bien, aparecen en el mercado tecnologías nuevas que superan las que se tienen disponibles.

En general, en los hospitales de México se cuenta con mucha tecnología antigua, y es por ello que el objetivo de este trabajo fue desarrollar un indicador basado en la metodología de Análisis Multi-criterio [1], útil en la evaluación de equipo médico para obtener evidencia a partir de juicios proporcionados por expertos, quienes son responsables de la toma de decisiones. Este indicador evalúa aspectos técnicos y proporciona un criterio para priorizar el reemplazo de un equipo médico antiguo; y fue aplicado a una muestra de diez equipos médicos de seis tipos diferentes: monitor de signos vitales, cuna de calor radiante, desfibrilador, ventilador, ultrasonido y ECG, ubicados en la Unidad de Terapia Intensiva (UTI) y la Unidad de Terapia Intensiva Neonatal (UTIN) de un Instituto Nacional de Salud, debido a que en estas áreas los pacientes se encuentran en un estado de salud muy comprometido y por ende, tener tecnología funcionando en óptimas condiciones es de vital importancia.

II. METODOLOGÍA

Basados en la Metodología de Análisis-multicriterio [1], se siguieron cuatro etapas:

1) *Identificación de las variables*. Se definieron las variables que permitieron evaluar el aspecto técnico del equipo [2, 3, 4]; que fueron agrupadas en una jerarquía de mayor a menor importancia, y de manera conjunta con el personal técnico de la Coordinación de Electromedicina (CE) del Instituto, a cada una se le asignó un factor de ponderación (ρ).

2) *Diseño del indicador*. Se generó una función matemática que incorporó todas las variables con su respectiva ponderación. Se agregó además, un factor de normalización para obtener el resultado en el intervalo [0, 1], donde 1 representa la peor condición técnica del equipo; y 0 la mejor.

3) *Diseño de la escala de interpretación*. Se definió una escala cualitativa que representa la preferencia por el resultado de la evaluación técnica. Se agruparon las opciones más y menos significativas, como la parte superior e inferior de la escala respectivamente. Esta permitió al usuario de la herramienta, interpretar cuál es el tiempo deseable para sustituir el equipo evaluado.

4) *Aplicación del indicador*. El indicador fue aplicado a una muestra de diez equipos médicos ubicados en la UTI y la UTIN del Instituto, los cuales tienen características diferentes sobre su antigüedad, unos son de reciente adquisición y otros muy antiguos. Se espera que entre más reciente sea el equipo, el resultado del indicador determine la sustitución a largo plazo y en el caso de equipos antiguos, a corto plazo.

III. RESULTADOS

A. Identificación de las variables

Se definió un total de ocho variables (x_i) a las cuales se les asignó una ponderación (ρ_i) de manera conjunta con dos ingenieras biomédicas adscritas a la Coordinación de Electromedicina (CE) (Tabla 1). Observe que la variable con mayor ponderación fue “Consumibles disponibles en 5 años” (x_1) con un valor $\rho_1=0.9$, ya que es fundamental garantizar el soporte de consumibles, al menos durante este periodo, para mantener el equipo operando; de lo contrario, corre el riesgo de que caiga en obsolescencia rápidamente. La variable “Requisitos de mantenimiento” (x_8) “describe el nivel y la frecuencia de mantenimiento preventivo de acuerdo a las especificaciones del fabricante o a la

experiencia acumulada” [5] y fue la menos significativa con $\rho_8=0.2$, ya que los requisitos de mantenimiento preventivo suelen ser similares para todos los equipos, y además, el objetivo es evaluar el aspecto técnico *per se* del equipo médico para su recambio. La variable “Días fuera de servicio” (x_4), contempla días en que el equipo no funciona por fallas en su funcionamiento, falta de refacciones y/o consumibles, o falta de capacitación del usuario, por mencionar algunas. Por otro lado, la variable “Función del equipo” (x_5) está clasificada en nueve funciones (Tabla 2). La variable “Riesgo físico” (x_7) se refiere a “los posibles daños al paciente o al equipo durante el uso del dispositivo” [5] y tiene cinco categorías (Tabla 2).

TABLA 1.
VARIABLES Y PONDERACIONES DEFINIDAS

x_i	Nombre de la variable	ρ_i
x_1	Consumibles disponibles en 5 años	0.9
x_2	Refacciones disponibles en 5 años	0.8
x_3	Años del equipo en operación	0.7
x_4	Días fuera de servicio	0.6
x_5	Función del equipo	0.5
x_6	Frecuencia de fallas	0.4
x_7	Riesgo físico	0.3
x_8	Requisitos de mantenimiento	0.2

Cada una de las variables tiene un dominio cualitativo (D_i), que es el que usa el personal técnico de la CE para evaluar el equipo médico (Tabla 2). Por ejemplo, el dominio D_8 de la variable x_8 “Requisitos de mantenimiento” está definido de la siguiente manera [5]: “Mínimos”, el equipo requiere únicamente de inspección visual; “Inferiores al promedio”, el equipo requiere de inspección visual y verificación de funcionamiento; “Promedio”, el equipo requiere de inspección visual, verificación de funcionamiento y pruebas de seguridad; “Superiores al promedio”, el equipo requiere calibración, verificación de funcionamiento, pruebas de seguridad e inspección visual; “Importantes”, el equipo requiere calibración, reemplazo de piezas periódicas, verificación de funcionamiento, pruebas de seguridad e inspección visual.

Con el objetivo de generar la función matemática para el indicador técnico, el dominio cualitativo D_i se formalizó a un dominio cuantitativo (M_i) dentro del intervalo [0, 1] (Tabla 2).

B. Diseño del indicador.

Se generó una función matemática (1) para evaluar la condición técnica del equipo médico, que incorporó las ocho variables definidas y su ponderación; y se le denominó “Indicador técnico” (I_T).

$$I_T = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i x_i}{N} \quad (1)$$

Donde:

x_i = variable $i = \{1, \dots, n\}$, $n = 8$

ρ_i = ponderación para cada variable $i = \{1, \dots, 8\}$

N = factor de normalización para obtener el resultado entre [0, 1], y se calcula mediante (2).

$$N = \sum \rho_i M_{i_{\text{máximo}}} \quad (2)$$

Donde

$M_{i_{\text{máximo}}}$ es el valor máximo del dominio cuantitativo de cada variable.

ρ_i es la ponderación para cada variable

Sustituyendo en (2) el valor máximo que puede tomar cada variable: “1”, resulta:

$$N = 0.9(1) + 0.8(1) + 0.7(1) + 0.6(1) + 0.5(1) + 0.4(1) + 0.3(1) + 0.2(1) = 4.4$$

TABLA 2.
DOMINIO CUALITATIVO Y CUANTITATIVO PARA CADA VARIABLE

x_i	D_i	M_i	x_i	D_i	M_i
				(Otros,	[0.1,
				Computadoras y afines,	0.2,
				Equipo de medición y prueba,	0.3,
				Accesorio de laboratorio o investigación,	0.4,
				Análisis de laboratorio e investigación,	0.5,
x_1	{si/no}	[0,1]	x_5	Control fisiológico adicional y de diagnóstico,	0.6,
				Control de cirugía y cuidados intensivos,	0.7,
				Fisioterapia y tratamiento,	0.8,
				Cirugía y cuidados intensivos,	0.9,
				Apoyo vital)	1.0]
				{0 y1,	[0,
				2 y4,	0.4,
x_2	{si/no}	[0,1]	x_6	5 y7,	0.6,
				8 y10,	0.8,
				>10 (fallas))	1.0]
	{1y5,	[0,		{Sin riesgo significativo (SR),	[0,
	6 y10,	0.4,		Daño al equipo (DE),	0.4,
x_3	11 y15,	0.6,	x_7	Tratamiento inapropiado o error de diagnóstico (TIED),	0.6,
	15 y20,	0.8,		Posible lesión del paciente u operador (PLPO),	0.8,
	>20(años))	1.0]		Riesgo de muerte del paciente (RMP))	1.0]
	{0 y1,	[0,		{Mínimos (M),	[0,
	2 y3,	0.2,		inferiores al promedio (IP),	0.4,
x_4	4 y5,	0.4,	x_8	promedio (P),	0.6,
	6 y7,	0.6,		superiores al promedio (SP),	0.8,
	8 y10,	0.8,		importantes (I))	1.0]
	>10(días))	1.0]			

C. Diseño de la escala de interpretación

Se definió una escala cualitativa (Tabla 3), que permitió una interpretación de los resultados cuantitativos de I_T . Observe que se tienen tres intervalos que indican que el equipo debe sustituirse a corto plazo (3 años), mediano plazo (6 años), o largo plazo (10 años). Estos intervalos fueron definidos en conjunto con el personal técnico de la CE y fueron determinados así, porque el proceso de adquisición de un equipo nuevo necesita la requisición al Departamento de Adquisiciones del Instituto, y su planeación en el presupuesto anual, por lo que el trámite de compra tarda en promedio 2 años. Por otro lado, el periodo a largo plazo se consideró en el caso de la evaluación de un equipo de reciente adquisición, cuyo soporte técnico tiene que estar garantizado al menos por diez años.

Es importante mencionar que la herramienta permite que el usuario elija el periodo de evaluación, de acuerdo al interés del mismo, lo cual determinará los datos que se

tomarán en cuenta para la aplicación del I_T . En este caso se tomó el periodo correspondiente al año 2017.

TABLA 3.
ESCALA CUALITATIVA DE INTERPRETACIÓN

Intervalo	Interpretación cualitativa
[0, 0.3)	Sustitución a largo plazo (10 años)
[0.3, 0.7)	Sustitución a mediano plazo (6 años)
[0.7, 1.0]	Sustitución a corto plazo (3 años)

D. Aplicación del indicador.

Con el I_T se realizó la evaluación de diez equipos médicos: dos monitores de signos vitales (MSV), dos cunas de calor radiante (CCR), dos ventiladores (V), dos desfibriladores (D), un electrocardiógrafo (ECG) y un ultrasonido (US). La descripción cualitativa de estos equipos se muestra en la Tabla 4. Observe que el MSV_1 y el ECG son los únicos equipos que no tienen garantizados los consumibles ($x_1 = 1$), ni las refacciones ($x_2 = 1$) por el periodo de 5 años. Así mismo, el MSV_1 junto con la CCR_2 , presentan una antigüedad de 24 años; sin embargo, la cuna sigue teniendo disponibilidad de consumibles y refacciones en el mercado. Por el contrario, el equipo más reciente es el desfibrilador D_2 con una antigüedad de 3 años. Por otro lado, de acuerdo a la variable “Función del equipo” (x_5), en esta muestra se evaluaron equipos de control fisiológico adicional y de diagnóstico (CFAD), cirugía y cuidados intensivos (CCI), y de apoyo vital (AV). Observe también, que el único equipo que estuvo fuera de servicio (x_4) durante el periodo de evaluación considerado fue el US de la UTIN, con un valor de tres días fuera de servicio.

TABLA 4.
DESCRIPCIÓN CUALITATIVA PARA CADA EQUIPO

	x_1	MSV_1	CCR_1	V_1	D_1	ECG
UTI	x_1	No	Sí	Sí	Sí	No
	x_2	No	Sí	Sí	Sí	No
	x_3	24	10	12	3	15
	x_4	0	0	0	0	0
	x_5	CFAD	CCI	AV	AV	CFAD
	x_6	2	0	1	0	1
	x_7	TIED	PLPO	RMP	RMP	TIED
	x_8	P	P	P	SP	P
UTIN	x_1	MSV_2	CCR_2	V_2	D_2	US
	x_1	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	x_2	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	x_3	5	24	9	7	5
	x_4	0	0	0	0	3
	x_5	CFAD	CCI	AV	AV	CFAD
	x_6	0	6	3	2	1
	x_7	TIED	PLPO	RMP	RMP	TIED
x_8	P	P	P	SP	P	

En cuanto a la “Frecuencia de fallas” (x_6), el MSV_1 presentó dos fallas durante el 2017, mientras que la CCR_2 presentó un total de seis fallas en el año. La variable “Riesgo físico” (x_7), refleja que la muestra de equipos evaluados contempla los riesgos: Tratamiento inapropiado o error de diagnóstico (TIED), posible lesión del paciente u operador (PLPO) y riesgo de muerte del paciente (RMP). Finalmente, los “Requisitos de mantenimiento” (x_8) pertenecen al valor promedio (P) para todos los equipos,

excepto para los desfibriladores (D_1 y D_2) los cuales, tienen requisitos de mantenimiento superiores al promedio, ya que requieren de pruebas de seguridad de descarga. Los valores cuantitativos para cada variable se muestran en la Tabla 5.

Evaluación del MSV_1 . Para ilustrar cómo se hace la evaluación de un equipo con la aplicación del I_T (1), se eligió el MSV_1 .

$$I_{T_{MSV_1}} = \frac{\sum_{i=1}^8 \rho_i x_i}{4.4}$$

Se sustituyeron en (1) todos los valores cuantitativos para cada variable (Tabla 5), así como los valores de las ponderaciones (ρ_i) (Tabla 2):

$$I_{T_{MSV_1}} = \frac{0.9(1)+0.8(1)+0.7(1)+0.6(0)+0.5(0.6)+0.4(0.4)+0.3(0.6)+0.2(0.6)}{4.4}$$

$$I_{T_{MSV_1}} = \frac{0.9+0.8+0.7+0+0.30+0.16+0.18+0.12}{4.4} = 0.72$$

De acuerdo con la escala cualitativa (Tabla 3), este equipo es el único que debe sustituirse en un plazo no mayor a 3 años. Esto coincide con la descripción cualitativa del monitor (Tabla 4), ya que, además de ser muy antiguo (24 años), no cuenta con soporte de consumibles y refacciones en el mercado, lo que hace que sea un equipo obsoleto y con alto riesgo para el paciente y el usuario; además de haber presentado dos fallas durante el periodo de evaluación.

TABLA 5.
VALORES CUANTITATIVOS OBTENIDOS PARA CADA EQUIPO

	x_1	MSV_1	CCR_1	V_2	D_1	ECG
UTI	x_1	1	0	0	0	1
	x_2	1	0	0	0	1
	x_3	1	0.4	0.6	0	0.8
	x_4	0	0	0	0	0
	x_5	0.6	0.9	1	1	0.6
	x_6	0.4	0	0	0	0
	x_7	0.6	0.8	1	1	0.6
	x_8	0.6	0.6	0.6	0.8	0.6
UTIN	x_1	MSV_2	CCR_2	V_2	D_2	US
	x_1	0	0	0	0	0
	x_2	0	0	0	0	0
	x_3	0	1	0.4	0.4	0
	x_4	0	0	0	0	0.2
	x_5	0.6	0.9	1	1	0.6
	x_6	0	0.6	0.4	0.4	0
	x_7	0.6	0.8	1	1	0.6
x_8	0.6	0.6	0.6	0.8	0.6	

El resultado de la evaluación del I_T para el resto de los equipos se muestra en la Tabla 6. Observe que los equipos CCR_1 , D_1 , MSV_2 y US, según la escala cualitativa (Tabla 3), deben sustituirse a largo plazo, es decir, en 10 años. De estos equipos, el MSV_2 fue el equipo con menor puntuación, lo cual coincide con su descripción cualitativa (Tabla 4), ya que es un equipo relativamente nuevo (5 años) por lo que el suministro de consumibles y refacciones por el fabricante está garantizado; además de que no registró ninguna falla en el periodo evaluado. En el caso del US, existe congruencia

con su descripción cualitativa (Tabla 4), ya que es un equipo de reciente adquisición (5 años), cuenta con soporte de consumibles y refacciones, y sólo presentó una falla en el periodo de evaluación, por lo que estuvo fuera de servicio durante 3 días. En el caso del D_1 , los resultados también coinciden con la escala cualitativa (Tabla 4), ya que es el equipo más nuevo, con una antigüedad de 3 años; cuenta con soporte de consumibles y refacciones y no presentó fallas durante el periodo evaluado; sin embargo, el hecho de que tenga un I_T mayor que el MSV_2 y el US , se debe a la “Función del equipo” (x_5), por ser un equipo de apoyo vital. Finalmente, en el caso de la CCR_1 , también es congruente con su descripción cualitativa, ya que tiene 10 años de antigüedad; sin embargo, cuenta con soporte de consumibles y refacciones, y no presentó ninguna falla en durante el periodo evaluado. Es importante mencionar que la función de dos de estos equipos es de Control fisiológico adicional y de diagnóstico (MSV_2 y US) y uno de Control de cirugía y cuidados intensivos (CCR_1), es decir, son equipos con un impacto mediano en el I_T debido a que la ponderación de la variable “Función del equipo” (x_5) es $\rho_i=0.5$ (Tabla 1).

TABLA 6. RESULTADOS DEL INDICADOR TÉCNICO (I_T) PARA CADA EQUIPO EVALUADO

Area	Equipo	I_T	Prioridad (años)
UTI	MSV_1	0.72	3
	CCR_1	0.26	10
	V_1	0.30	6
	D_1	0.22	10
	ECG	0.65	6
UTIN	MSV_2	0.14	10
	CCR_2	0.40	6
	V_2	0.38	6
	D_2	0.32	6
	US	0.16	10

Por otro lado, los equipos que deben sustituirse a mediano plazo (6 años), según la escala cualitativa (Tabla 3) son: V_1 , ECG, CCR_2 , V_2 y D_2 . En el caso de V_1 , el resultado coincide con la descripción cualitativa (Tabla 4), donde se observa que el equipo cuenta con soporte de consumibles y refacciones, tiene una antigüedad de 12 años y presentó una falla durante el periodo de evaluación. En el caso del ECG, se observa que su descripción cualitativa tiene poca congruencia con el resultado obtenido (reemplazo a mediano plazo —seis años—), ya que el equipo no cuenta con soporte de consumibles y refacciones, y además es un equipo con 15 años de antigüedad; sin embargo, el resultado obtenido puede ser debido a que la “Función del equipo” (x_5) es de control fisiológico adicional o de diagnóstico, lo cual representa una influencia mediana en el I_T . En el caso de la CCR_2 , se observa que a pesar de que es un equipo antiguo (24 años) y que presentó un total de 6 fallas durante el periodo de evaluación, aún cuenta con soporte de consumibles y refacciones, por lo que es un equipo que aún puede seguir operando. El V_2 es un equipo que cuenta con soporte de consumibles y refacciones, tiene 9 años de

antigüedad y presentó un total de 3 fallas durante el periodo de evaluación, por lo cual I_T resulta congruente. Finalmente, el D_2 es un equipo con 7 años de antigüedad, cuenta con soporte de consumibles y refacciones, y presentó dos fallas en el periodo de evaluación. Cabe mencionar que los equipos V_1 , V_2 y D_2 , son equipos cuya función (x_5) es de apoyo vital, por lo tanto, esto les otorga un valor de uno para esta variable, lo que produce un aumento en el valor de I_T .

V. CONCLUSIÓN

El Indicador Técnico (I_T) desarrollado en este trabajo permitió evaluar de forma objetiva algunos aspectos del estado técnico de los diez equipos médicos considerados y con base en ello, determinar cuándo deben sustituirse; lo que resultó de gran utilidad para la Coordinación de Electromedicina, ya que permitió conocer el estado de la tecnología. Con este indicador se evaluará el total de equipos disponibles en las áreas críticas del Instituto, con el fin de planear su sustitución y considerar el gasto en el presupuesto anual asignado al Hospital.

Por otro lado, para darle continuidad a esta investigación, actualmente se está trabajando en dos indicadores más que consideran los aspectos clínico y económico, lo que proporcionará un criterio integral para la sustitución del equipo. Asimismo se desarrollará una herramienta digital que incorpore los tres indicadores y arroje información completa para la toma de decisiones respecto al recambio tecnológico en el Instituto.

RECONOCIMIENTOS

Los autores queremos agradecer al personal de la Coordinación de Electromedicina del Instituto Nacional de Salud ya que sin su colaboración el desarrollo de este trabajo no hubiera sido posible.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Department for Communities and Local Government: London. *Multi-criteria analysis: a manual*. ISBN: 978 1 4098 1223 0, 2009.
- [2] Lara-Gonzalez O., Pimentel-Aguilar A.B., Ortiz-Posadas M.R., “Indicadores de Productividad para Monitores de Signos Vitales” en Memorias del XXXIV Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica, Ixtapa Zihuatanejo, 2011, pp 13-16.
- [3] Ortiz-Posadas M.R., Flores-Moreno L., Rodriguez-Alfaro S., “Una estrategia de Evaluación para Equipo de Laboratorio Basada en Indicadores” en Memorias del III Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, Joao Pessoa, Brasil, 2004, pp. 369-372.
- [4] Bahena-Bazabe A., Pimentel-Aguilar A.B., Ortiz-Posadas M.R., “Evaluación de Equipamiento Utilizado en Laboratorios de Investigación Mediante Indicadores de Productividad” en Memorias del VI Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, Paraná, Entre Ríos, 2014, pp. 884-887.
- [5] Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza: *Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos*. ISBN: 978 92 4 350153 6, 2012.