

**CÁLCULO DEL ÍNDICE DE OBSOLESCENCIA DE EQUIPOS MEDICOS MEDIANTE
EL USO DE LÓGICA DIFUSA**

SEBASTIAN GARCIA BOHORQUEZ TORO

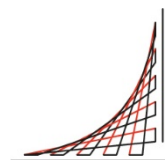
TRABAJO DIRIGIDO

TUTORES

**MEng. JEFFERSON SARMIENTO ROJAS
ING. PEDRO ANTONIO AYA PARRA**



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2022**

AGRADECIMIENTOS

Para este trabajo dirigido debo agradecerle a distintas personas que de forma directa o indirecta me apoyaron en este largo proceso de aprendizaje. A muchas personas, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, y lo más importante acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

Le agradezco a mi madre por acompañarme todos los días en esta etapa de mi vida, por darme la fortaleza necesaria para seguir adelante a pesar de las adversidades que se presentaron en el camino y por ser una pieza fundamental en mi vida que me permitió cumplir este sueño, es por esto que este logro es de los dos.

Le agradezco a mis amigos que estuvieron en todos los momentos difíciles, que con entrega se tomaron el tiempo de ayudarme en muchas ocasiones, y también le agradezco a Dios por colocar a cada una de las personas que me apoyaron en mi camino.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
2. OBJETIVOS	¡Error! Marcador no definido.
3. METODOLOGÍA	12
4. RESULTADOS	29
5. DISCUSIÓN	37
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	38
7. CONCLUSIONES	39
8. BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Primeros 20 elementos de la base de las reglas para la Noradrenalina, según el “sistema de control difuso para unidades de cuidado intensivo (UCI)”	13
Tabla 2 - Banco de preguntas y el uso dado a cada una según su apoyo.....	15
Tabla 3 - Preguntas seleccionadas y una corta descripción de las mismas.	16
Tabla 4 - Segmentación del apartado técnico en grupos de control.....	22
Tabla 5 - Funciones de pertenencia para el apartado técnico y sus vectores de evaluación.	22
Tabla 6 - Segmentación del apartado económico y de operación en grupos de control....	22
Tabla 7 - Funciones de pertenencia para el apartado económico y de operación, así como sus vectores de evaluación.	23
Tabla 8 - Reglas Heurísticas descritas para el primer modelo en cual se evalúa el apartado técnico de los equipos.....	24
Tabla 9 - Reglas Heurísticas descritas para el segundo modelo en cual se evalúa el apartado económico y clínico de los equipos.....	25
Tabla 10 - Respuestas de los expertos y estadística para el peso de cada pregunta del apartado técnico	29
Tabla 11 - Respuestas de los expertos y estadística para el peso de cada pregunta del apartado económico.....	30
Tabla 12 - Respuestas de los expertos y estadística para el peso de cada pregunta del apartado clínico.....	30
Tabla 13 - Respuestas de los expertos y estadística para el peso de cada apartado.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfica de la estadística para respuestas sobre el peso de cada pregunta de apartado técnico.....	19
Figura 2 – Gráfica de la estadística para respuestas sobre el peso de cada pregunta de apartado Económico.....	20
Figura 3 – Gráfica de la estadística para respuestas sobre el peso de cada pregunta de apartado Clínico.....	20
Figura 4 – Gráfica de la estadística para respuestas sobre el peso de cada apartado.....	21
Figura 5 – Motores de inferencia para ambos grupos de datos.....	32
Figura 6 – Conjuntos de salida para ambos motores de inferencia.....	33
Figura 7 – Conjuntos de salida para el motor de inferencia de la parte técnica evaluando Equipos 1 y 2 respectivamente.....	35
Figura 8 – Conjuntos de salida para el motor de inferencia de la parte económica y clínica con datos tentativos de los Equipos 1 y 2 respectivamente.....	36

1. INTRODUCCION

La vida útil de un equipo médico es un aspecto relevante cuando se trata de mejorar la atención en una institución de salud, un fallo en la medición o en el funcionamiento de un equipo médico puede repercutir de forma negativa en la salud de los pacientes y, por ende acarrear problemáticas de gran índole; como lo pueden ser diagnósticos erróneos o procedimientos que no cumplan con los estándares; para las instituciones en las cuales se encuentran. Es por esto que la recurrencia de mantenimiento que debe tener cada uno de los equipos debe ser analizada mediante el uso de indicadores matemáticos que demuestren de forma exacta un estadístico con el que se permita dar seguimiento a cada uno de los equipos y por qué no, la recurrencia a la falla [12].

Es bien conocido que no todos los entes relacionados con el área de la salud, presentan condiciones similares en cuanto al cuidado que se le brinda a los equipos y así mismo, la frecuencia de uso que estos poseen varía de forma abrupta de acuerdo con el tipo de institución en el cual se encuentren (ya sea privada, pública, investigativa, etc.), los datos demográficos y otros factores que serán ahondados posteriormente y que afectan de forma directa o indirecta el deterioro de los equipos [13].

En cuanto a los países de Latinoamérica el mantenimiento de equipos médicos no es un tema en el cual se haya profundizado, debido a que las regulaciones de este tipo de prácticas son relativamente recientes lo cual de cierta forma favorece a la práctica de un ejercicio profesional inadecuado por el desconocimiento en el debido proceso. El debido procedimiento para el mantenimiento de un equipo médico está establecido según cada uno de los fabricantes y se encuentra consignado en el manual de servicio de cada equipo, este factor es determinante ya que no permite una estandarización de procesos en el área y deja la puerta abierta a distintas interpretaciones que pueden producir errores humanos.

A esta problemática se suma que en la mayoría de países de América Latina no se encuentra un representante directo de las marcas de los equipos, lo que conlleva a una serie de situaciones problemáticas, que van desde la falta de capacitación sobre el uso de la tecnología adquirida al personal que va a hacer uso del mismo, hasta la ausencia de personal calificado que pueda prestar servicio técnico oportuno o el uso de insumos adecuados para cada tipo de equipo [16].

Estas son solo algunas de las problemáticas generales que se pueden presentar en la adquisición de tecnologías, que a su vez conllevan a muchos más problemas que lo único que causan es una disminución desmedida de la vida útil del equipo y un aumento considerable en el riesgo que tienen los pacientes de ser víctimas de un mal procedimiento o un mal diagnóstico de su patología.

La falta de rigurosidad es un aspecto de suma importancia en el ámbito médico, todo esto es muy determinante debido a que el mantenimiento de un equipo médico es vital, no solo por el cumplimiento del estándar fijado por las regulaciones sanitarias de cada país, sino por el aspecto ético en el cual se debe tener en cuenta que se está poniendo en riesgo la integridad física y hasta la vida de un paciente. Por lo cual no debe ser tomado a la ligera, en la actual industria de la salud los equipos médicos solo necesitan una revisión de mantenimiento preventivo cada 6 o 12 meses; lo cual se determina de manera arbitraria sin tener en cuenta el uso que se le da al equipo, o las condiciones en las que este se encuentra almacenado. Los factores nombrados en la introducción se suman a la poca rigurosidad que se tienen para cumplir el cronograma de mantenimiento por parte de los ingenieros de cada institución, los cuales al no tener un indicador claro que permita evidenciar el estado del equipo solo esperan hasta que esté presente un fallo notable a simple vista o que se cumpla la fecha de mantenimiento pactada por el proveedor de servicios de mantenimientos [10].

Del mismo modo en el que se hace hincapié en la falta de rigurosidad en el ejercicio profesional del mantenimiento de equipos, la mala práctica profesional es un apartado que se relaciona de manera directa con toda la problemática que se propone analizar en este documento. Por distintos motivos; que no serán un factor determinante en la investigación y en los cuales tampoco se planea profundizar en este documento; la práctica de mantenimiento se ve entorpecida y afectada por la mala práctica profesional [9].

Este fenómeno aumenta con frecuencia en relación con la preparación que tienen cada uno de los especialistas en el área de manejo de equipos médicos, afectando así al gremio completo con esa mala práctica profesional, lo anteriormente dicho exige un foco de atención especial que debe ser tratado de la manera más oportuna posible.

1.1 Lógica difusa

El concepto de lógica difusa fue creado por el catedrático de la universidad de Berkeley Lofti Zadeh hacia los años 70, y parte de la necesidad de generar sistemas de control donde los valores no siempre fuesen certeros como lo son en la mayoría de las aplicaciones, para los cuales la variable de control solo puede tomar valores de verdadero o falso (Es decir 1 y 0). Para la lógica difusa la variable de control puede tomar cualquier valor entre cero y uno, haciendo así que para cada uno de los aspectos a controlar se tenga un grado de pertenencia a cada uno de los grupos de control que se plantearían en la lógica clásica [7].

El hecho de poder tener un grado de pertenencia con ambos conjuntos de respuesta es un aspecto clave que diferencia a la lógica difusa de la lógica clásica, y que a su vez hace que para que sea posible el análisis de estos grupos de forma matemática se deba establecer lo que se denominan como funciones de pertenencia o funciones de membresía que son como su nombre lo indican funciones matemáticas que modelan la pertenencia a un

determinado grupo y mediante las cuales se pueden crear sistemas de control que permitan conocer el modelamiento de diversos factores de un sistema de control [7].

Para definir un conjunto difuso se utiliza la siguiente nomenclatura:

$$A = \left\{ \int \frac{u(x)}{x} \right\}$$

Ecuación 1 - Formula general para la definición de la función de pertenencia de un conjunto difuso en una variable continua.

$$A = \left\{ \int_0^{10} \frac{\exp\left(\frac{5-x}{3}\right)^2}{x} \right\}$$

Ecuación 2 - Ejemplo de una función de pertenencia de un conjunto difuso en una variable continua.

Donde los límites de la integral nos indican el rango sobre el cual va estar evaluada la función de pertenencia, $u(x)$ va a ser la función de pertenencia, y x hace referencia a el universo en el cual se ubica la función de membresía. Todo esto siempre y cuando se estén usando conjuntos continuos para evaluarla, en caso contrario donde se utilicen conjuntos discretos se daría la siguiente notación, donde el único cambio es que se expresan como una sumatoria y los datos de la función de pertenencia no se encuentran en forma de una ecuación sino como un arreglo de pertenencias para cada uno de los valores a evaluar.

$$A = \left\{ \sum \frac{u(x)}{x} \right\}$$

Ecuación 3 - Formula general para la definición de la función de pertenencia de un conjunto difuso en una variable discreta.

$$A = \left\{ \frac{0.1}{1} + \frac{0.5}{2} + \frac{0.3}{3} + \frac{0.8}{4} + \frac{0.7}{5} + \frac{0.8}{6} + \frac{0.2}{7} + \frac{0.4}{8} + \frac{0.1}{9} + \frac{0}{10} \right\}$$

Ecuación 4 - Ejemplo de una función de pertenencia de un conjunto difuso en una variable discreta.

Para los conjuntos difusos se utilizan un conjunto de normas propuestas por Zadeh, con el fin de poder realizar las mismas operaciones que se pueden hacer con los conjuntos certeros, es de ahí de donde Zadeh propone que para el caso en el que sea necesario hacer la unión de conjuntos difusos debe de aplicarse la función de máximos a ambas funciones de membresía con el fin de poder abarcar todos los valores que se encuentren entre ambas, e igual forma para hacer la operación de intersección se debe aplicar la función de mínimos a ambas funciones de pertenencia para así obtener todos los valores

pertenecientes a ambos conjuntos. Esto mismo aplicado mediante ecuaciones matemáticas se vería de la siguiente manera:

$$C = A \cap B \text{ (En conjuntos certeros) ; } u_C(x) = \min(u_A(x), u_B(x))$$

$$\text{(En conjuntos difusos)}$$

Ecuación 5 - Operación de intersección para conjuntos difusos realizada por mínimos.

$$C = A \cup B \text{ (En conjuntos certeros) ; } u_C(x) = \max(u_A(x), u_B(x))$$

$$\text{(En conjuntos difusos)}$$

Ecuación 6 - Operación de unión para conjuntos difusos realizada por máximos.

De igual forma a la hora de hacer operaciones entre conjuntos es de suma importancia conocer las propiedades de las operaciones, y si estas son aplicables de igual forma a los conjuntos difusos, las distintas propiedades existentes como la asociativa, comunicativa, distributiva, identidad, transitiva, idempotencia, ley de Morgan e involutiva son aplicables tanto para conjuntos certeros como para conjuntos difusos, a excepción de la propiedad de complementariedad en donde:

$$A \cup \bar{A} \neq X \text{ y a su vez } A \cap \bar{A} \neq \emptyset$$

Ecuación 7 - Operación de complementariedad para conjuntos difusos.

Ahora bien, es importante conocer también las partes de las funciones de pertenencia y como estas están conformadas, las funciones de pertenencia están formadas por núcleos y fronteras, que se definen matemáticamente de la siguiente forma:

$$\text{nucleo} = \{x | u_A(x) = 1\}$$

$$\text{frontera} = \{x | 0 < u_A(x) < 1\}$$

Ecuación 8 - Definición matemática de núcleo y frontera para conjuntos difusos.

Esto nos indica que el núcleo de nuestra función será el espacio en donde el valor de su función de pertenencia sea igual a 1, sus fronteras será el espacio en donde el valor de su función de pertenencia sea un valor entre 0 y 1 pero nunca llegando a los extremos. Así mismo cuando el valor de la función de transferencia se encuentra en 0.5, se denomina un punto de cruce, estos datos serán importantes más adelante cuando debamos generar las funciones de transferencia de nuestras variables [7].

1.2 Lógica difusa de Mandami

El método de Mandami permite mediante la creación de reglas y un conjunto de salida, dar un valor numérico con el cual es posible tener un estimado de la situación en la que se encuentra el equipo frente a su obsolescencia.

El método Mandami es usado para este análisis debido a que este utiliza universos difusos tanto para la entrada como para la salida, lo cual permite hacer una abstracción de la información importante de los distintos aspectos subjetivos que puedan intervenir en el análisis de obsolescencia que se desea hacer. Todo esto impulsado por la subjetividad de cada uno de los ítems que se encuentran planteados en la guía de obsolescencia del ministerio de salud Colombiano, y que pueden resultar en una contradicción a lo establecido por el fabricante o por alguien experto en el área, lo cual daría como consecuencia un posible uso de tecnología obsoleta que afecte a la fiabilidad del diagnóstico médico y el tratamiento al que deba ser sometido el paciente afectado por esto [7] .

2. OBJETIVOS

Objetivo General:

- Diseñar un modelo de lógica difusa que permita el cálculo de un índice de obsolescencia para equipos biomédicos, teniendo como base la “Guía para diligenciar la propuesta de índice de obsolescencia de equipos biomédicos” del ministerio de salud Colombiano y el juicio de expertos en el área.

Objetivos Específicos:

- Utilizar la lógica difusa bajo el método de Mandami, para la creación de un algoritmo que permita mostrar mediante el uso de gráficas la predicción más acertada de la obsolescencia de un equipo médico.
- Construcción de los distintos conjuntos de entrada para la segmentación de las distintas entradas del modelo difuso a partir de la opinión de los expertos.
- Construcción de un motor de inferencia de lógica difusa bajo el método de Mandami con la ayuda de reglas construidas según el juicio de los expertos.
- Evaluar un conglomerado de características netamente objetivas que permitan construir un modelo matemático a partir de las reglas plateadas por los expertos.

3. METODOLOGÍA

La lógica difusa abre la puerta a una gran cantidad de sistemas de control que permiten mejorar de forma sustancial la toma de decisiones y la automatización de procesos. Esta es usada en mayor medida en el área industrial donde se puede establecer de forma precisa una hoja de ruta sobre el desarrollo de diversas actividades y sus reglas gramaticales se ven sujetas a un conjunto de situaciones apreciables que permiten crear lazos de control. Por el contrario el área de la medicina y ciencias de la salud es un compendio de ciencias en las cuales la opinión de un experto es significativamente más importante que un indicador, ahora bien, en cuanto al área de la ingeniería biomédica es necesario tener un compendio de indicadores (objetivos y subjetivos) que permitan dar claridad a un cúmulo de problemas que puede generar desde un fallo menor en un equipo médico, hasta fallos que puedan causar la obsolescencia de un dispositivo médico [7].

El uso de lógica difusa en el área médica es un campo el cual no ha sido muy explotado debido a la inmensa complejidad en la inclusión de dicha área en un espacio clínico o médico que es muy susceptible a reglas del lenguaje, opiniones subjetivas y decisiones que se le encargan en su mayoría a seres humanos. Aún con todas estas complicaciones es posible encontrar antecedentes del uso de lógica difusa en el área de la salud, un claro ejemplo de esto es un proyecto de grado del año 2013, titulada “sistema de control difuso para unidades de cuidado intensivo (UCI)”. En este trabajo de investigación se hace uso de lógica difusa, junto con datos como el peso, edad, y sus signos vitales para así mismo poder dosificar una cantidad de medicamentos administrados para la estabilidad cardiorrespiratoria de cada paciente [8].

En este documento las variables de presión arterial (sistólica y diastólica), peso y frecuencia cardíaca son evaluadas en tablas con las posibles combinaciones de estas y con un conjunto salida de la dosis que se debe suministrar de cada medicamento analizado en el documento, una de las tablas creadas para los medicamentos se puede observar en la tabla 1.

Para la tabla 1 se puede apreciar; que en los primeros 20 de 60 ítems totales que se toman en consideración; se dan algunos valores para calificar o catalogar por grados algunas características clínicas, en donde “B” significa bajo, “A” significa alto, “M” significa moderado y “N” significa nulo. Esto con el fin de generar una respuesta preestablecida. De un tipo de medicamento para diversas situaciones, favoreciendo la creación de reglas heurísticas.

Tabla 1 - Primeros 20 elementos de la base de las reglas para la Noradrenalina, según el “sistema de control difuso para unidades de cuidado intensivo (UCI) ”

NORADRENALINA O NOREPINEFRINA							
	Diastolica	Peso	F. Respiratoria	F. Cardiaca	Sistolica	DOSIS	FRECUENCIA
1	B	B	B	B	B	A	B
2	B	B	B	B	A	B	B
3	B	B	B	A	B	N	M
4	B	B	B	A	A	N	M
5	B	B	A	B	B	B	B
6	B	B	A	B	A	B	B
7	B	B	A	A	B	N	M
8	B	B	A	A	A	B	M
9	B	N	B	B	B	A	B
10	B	N	B	B	A	B	B
11	B	N	B	A	B	N	M
12	B	N	B	A	A	N	M
13	B	N	A	B	B	B	B
14	B	N	A	B	A	B	B
15	B	N	A	A	B	N	M
16	B	N	A	A	A	B	M
17	B	A	B	B	B	A	B
18	B	A	B	B	A	B	B
19	B	A	B	A	B	N	M
20	B	A	B	A	A	N	M

Este trabajo de grado demuestra que el uso de la lógica difusa puede ser de gran ayuda en el área de la salud, dando así pie a un nuevo modelo de control por lógica difusa que permita generar respuestas mucho más exactas a cada una de las sintomatologías que pueda presentar un paciente y así mismo aliviar cargas al personal de la salud, favoreciendo así la buena práctica del ejercicio profesional y beneficiando a los pacientes e instituciones [8].

Este documento tuvo la participación de un grupo multidisciplinario de profesionales en el área de la salud visual con varios años de experiencia en el medio (conformado por 4 gerentes de instituciones prestadoras de servicios de salud visual y 4 ingenieros biomédicos de instituciones para la salud visual) dispuestos a colaborar mediante preguntas sobre su opinión y frente a la “guía para diligenciar la propuesta de índice de obsolescencia de equipos biomédicos” del ministerio de salud Colombiano y los aspectos que se evalúan en esta. Una vez realizado esto se realizó una lluvia de ideas [15], que permitió llegar a la conclusión de eliminar algunos indicadores presentes en la guía por ser redundantes o no tener un fundamento claro para dar peso al estudio, así como los apartados subjetivos que se encontraban presentes en la guía de evaluación.

Según la normativa presente en la “guía para diligenciar la propuesta de índice de obsolescencia de equipos biomédicos” se deben dividir en tres grandes aspectos los cuales son Técnico (donde se evalúa todo lo que tiene que ver con el servicio técnico y consumibles), Económico (donde se tiene en cuenta la relación de costo y beneficio del equipo médico) y Clínico (donde se evalúa la conformidad que tiene el personal prestador de servicio con el equipo a la hora de cumplir su tarea).

Una vez culminada la lista de aspectos a evaluar, se procedió a darle un peso a cada uno de los ítems a evaluar dentro de los distintos aspectos. Para esto se le preguntó a cada uno

de los individuos participantes por separado cual sería el valor porcentual de cada uno de los ítems dentro de su respectivo aspecto, dando así las Figuras 1, 2 y 3. De igual forma se procedió a hacer la evaluación para conocer el valor de cada uno de los aspectos sobre el total del estadístico, finalizando esto con la ponderación de ambos valores en una tabla que resume el proceso y sobre la cual se puede comenzar a realizar el uso de lógica difusa para establecer condiciones que permitan modelar una proyección de la vida útil del dispositivo médico y de igual forma un estimado del tiempo de operabilidad que le queda a este antes de tener que ser enviado a servicio técnico. Cada uno de estos aspectos son detallados más a fondo a continuación:

3.1 Planeación previa y revisión de la literatura.

Se planteó realizar una investigación en la cual se pudiesen reemplazar las preguntas de carácter subjetivo que se evidenciaban en la literatura, con el fin de no depender del criterio de un solo especialista en el área de la salud en la decisión de aumentar o acortar la vida útil de un equipo médico. Por ese orden de ideas, el primer paso fue analizar cada uno de los aspectos sobre los cuales se evalúa la vida útil de un equipo y su índice de obsolescencia según la “Guía para diligenciar la propuesta de índice de obsolescencia de equipos biomédicos” [1].

De dicho análisis se pudo encontrar que la evaluación técnica se encuentra bien soportada según los requerimientos que proponen distintos fabricantes para sus equipos médicos, por otra parte se observó que para la evaluación técnica los aspectos dentro de la misma son muy subjetivos y están a merced de la interpretación de la persona que planea hacer el análisis de obsolescencia. Es por esto que se tomó la decisión de diseñar esta evaluación con la ayuda de especialistas en el área de la salud, lo cual se hará más adelante en la metodología.

En cuanto al último aspecto a evaluar, se observó que aunque el sistema por el cual se calcula la obsolescencia es útil, genera algunos vacíos económicos en donde el equipo puede generar pérdidas a las instituciones si solo se usa la evaluación ya planteada, por lo cual se planteó adicionar algunos aspectos a la evaluación, los cuales serán discutidos al igual que el cambio en los aspectos clínicos más adelante en la metodología. Por último, se pudo evidenciar que en la guía no se observa un valor que pondere cada uno de los aspectos evaluativos, por lo cual se deja al libre albedrío de cada persona dar el valor más conveniente a las evaluaciones realizadas. Esto se consideró de igual forma un aspecto subjetivo dentro de la evaluación, dejando así la necesidad de evaluar un valor ponderado para cada uno de los aspectos que permita dar fiabilidad a la evaluación final que plantea la guía [2].

3.2 Selección del grupo de especialistas dispuestos a colaborar, diseño de las preguntas y plan de acción.

Para este apartado se decidió escoger un grupo de 8 especialistas en el área de la salud visual dispuestos a ayudar con una serie de preguntas las cuales se realizaron de forma virtual en una reunión con todos los especialistas presentes. El grupo estuvo conformado por 4 ingenieros biomédicos, cada uno con más de 20 años de experiencia en mantenimiento de equipos ubicados a nivel nacional de la siguiente manera: 2 en la ciudad de Bogotá, 1 en la ciudad de Cali y 1 en la ciudad de Pereira. Así mismo el grupo también estaba conformado por 4 gerentes y dueños de instituciones prestadoras de servicios de salud que de igual forma contaban con más de 20 años de experiencia, estos distribuidos en el territorio nacional de la siguiente manera: 3 en la ciudad de Bogotá y 1 en la ciudad de Medellín.

En cuanto al diseño de las preguntas para la guía, se tomó la decisión de crear un banco de preguntas distribuidas para cada una de las categorías de evaluación, dichas preguntas fueron entregadas a cada grupo de especialistas con el fin de que ellos escogiesen de forma autónoma cual eran los criterios que según su experiencia más se acercaba a la realidad, y así mismo solicitándoles a cada uno que le diese un valor tanto a cada pregunta como a cada aspecto evaluativo.

Tabla 2 - Banco de preguntas y el uso dada a cada una según su apoyo.

Evaluación	Ítem	Estado
Técnico	Disponibilidad de consumibles	En uso
	Eventos adversos	En uso
	Vida útil contable del equipo	Descartado
	Edad del equipo	En uso
	Relación entre edad y vida útil	Descartado
	Correctivos en un año	En uso
	Servicio técnico	En uso
	Repuestos	En uso
Económico	Mantenimiento total > 50% precio del equipo	En uso
	Costo del mantenimiento del equipo respecto al uso dado	Descartado
	Insumo > costo operativo	En uso
	Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual	En uso
Clínico	Relación de tiempo de uso en cada examen	En uso
	Cobertura de las necesidades	Descartado
	Capacitación	En uso
	Grado de satisfacción del equipo	Descartado

	Operabilidad	En uso
--	--------------	--------

3.3 Análisis y conclusiones de los resultados obtenidos.

Con los resultados de la encuesta ya organizados en un solo archivo se procedió a promediar los valores más significativos en una matriz de resultados en la cual se eliminaron los aspectos que no habían sido seleccionados por ninguno de los entrevistados, luego de esto se procedió a promediar cada una de las preguntas y acto seguido se promediaron cada una de las categorías de evaluación, arrojando así una matriz final en la cual se encontraban solo preguntas objetivas para cada uno de los aspectos a evaluar y cada una con un peso significativo dentro de su categoría de evaluación.

Para el ajuste final de los porcentajes; que se debían asignar a cada una de las áreas evaluar; se dio un ajuste manual al porcentaje clínico, debido a que no se logró contar con un grupo significativo de profesionales en el área de la medicina asistencial que cumpliera con las mismas características de los demás profesionales de la salud y por lo cual, su opinión no pudo ser tomada en cuenta [5].

3.4 Descripción detallada de cada uno de los aspectos consignados en la tabla final.

Tabla 3 - Preguntas seleccionadas y una corta descripción de las mismas.

Evaluación	Ítem	Descripción
Técnica	Disponibilidad de consumibles	Valor de 0 a 10 con relación a los años que el equipo ha tenido disponibilidad de consumibles
	Eventos adversos	Cantidad de eventos presentados en los últimos 12 meses (Máximo 10)
	Edad del equipo	Edad que tiene el equipo desde el momento de su primera venta
	Correctivos en un año	Cantidad de mantenimientos correctivos necesarios en los últimos 12 meses (Máximo 10)
	Servicio técnico	Valor del 0 al 10 según los años de servicio técnico que ha recibido el equipo
	Repuestos	Valor de 0 a 10 con relación a los años que el equipo ha tenido disponibilidad de repuestos

Económica	Mantenimiento total > 50% precio del equipo	Número del 1 al 10, equivalente al porcentaje de dinero invertido en el equipo según su precio
	Insumo > ganancia operativa	Número del 1 al 10 según qué tan cerca este el costo de los insumos a ser mayor que el valor que se obtiene el por el servicio
	Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual	Si $CM \leq 0,10 PA$ Pts= 0; Si $0,10 PA < CM \leq 0,20PA$ Pts= 3; Si $0,20PA < CM \leq 0,30PA$ Pts= 7; Si $0,30PA < CM$ Pts= 10.
Clínica	Relación de tiempo de uso en cada examen	Numero de 1 a 10 según el tiempo de uso del equipo en hacer un procedimiento, donde 5 es el tiempo debido según el manual
	Capacitación	Valor de 0 a 10 según como se encuentra capacitado el personal que opera el equipo
	Operabilidad	Valor entre 0 o 10 según los modos útiles de operación del equipo

En cuanto al apartado técnico:

- La disponibilidad de consumibles hace referencia a si la casa productora del dispositivo aun cuenta en su portafolio con los distintos consumibles que son necesarios para un correcto funcionamiento del mismo y que deben ser cambiados cada vez que se cumplan ciertos ciclos de uso del equipo. (Máximo 10 años)
- La cantidad de eventos adversos hace referencia a las veces que el equipo presento una falla o funcionamiento inadecuado el cual fue de baja complejidad y no requirió llevarlo al servicio técnico en el último año calendario. (Máximo 10 veces)
- La edad del equipo hace referencia a la cantidad de años que tiene el equipo contando desde su primera venta hasta el momento de hacer el análisis. (Máximo 10 años)
- La cantidad de mantenimientos correctivos hace referencia a las veces que fue necesario someter el equipo a mantenimientos correctivos en el último año calendario debido a un fallo moderado o grave. (Máximo 10 veces)
- El servicio técnico hace referencia a la cantidad de años que el área de servicio técnico del fabricante o avalado por este puede ofrecer mano de obra sobre el equipo en cuestión contando desde el momento en el que se hace el análisis. (Máximo 10 años)

- Los repuestos hace referencia a la cantidad de años restantes, sobre los cuales el fabricante debe tener un stock de repuestos disponibles para cada equipo. (Máximo 10 años)

En cuanto al apartado económico:

- El mantenimiento total vs 50% del costo total del equipo hace referencia un valor de 0 a 10 equivalente al porcentaje de la inversión económica que se le ha realizado al equipo en relación con su costo total teniendo en consideración que al sobrepasar la inversión al valor del 50% del equipo este ya no se considera rentable para la compañía.
- El insumo mayor que el costo operativo hace referencia a un valor de 0 a 10 según qué tan cerca este el costo de los insumos a ser mayor que el valor que se obtiene el por el servicio.
- La relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual hace referencia a la relación entre el precio de adquisición – PA (Costo con el que fue adquirido el equipo biomédico) y el costo de mantenimiento/año -CM (El costo total incluye repuestos y consumibles asociados al mantenimiento) en donde se da un valor de 0 a 100 con respecto a la siguiente relación: Si $CM \leq 0,10 PA$ Pts.= 0; Si $0,10PA < CM \leq 0,20PA$ Pts.= 3; Si $0,20PA < CM \leq 0,30PA$ Pts.= 7; Si $0,30PA < CM$ Pts.= 10 [1].

En cuanto al apartado clínico:

- La relación del tiempo de uso de cada examen hace referencia a la cantidad de tiempo que se demora el profesional de la salud en una escala del 1 a 10 en hacer un procedimiento, donde 5 es el tiempo adecuado según el manual
- La capacitación hace referencia a un valor de 0 a 10 según como se encuentra capacitado el personal que opera el equipo.
- La operabilidad hace referencia a un número entre de 0 a 10 que sea proporcional a la cantidad de funciones que el equipo tenga disponible en el momento de hacer el análisis (dichas funciones deben estar 100% funcionales y sin ningún tipo de contratiempo a la hora de hacer uso de estas en un procedimiento médico).

Estos primeras descripciones serán escalados a futuro; unificando sus rangos y agrupando indicadores; por un vector de evaluación que permita tener una misma escala para medir cada uno de los aspectos y que a su vez permitió facilitar el uso del motor de inferencia para el cálculo final del estadístico de obsolescencia. El vector de evaluación para cada una de los ítem podrá ser visto más adelante en la tabla 5 donde se presentan las funciones de membresía que serán usadas en los motores de inferencia.

Por último cabe resaltar que según las sugerencias de cada uno de los expertos se logró llegar a un valor ponderado para cada uno de los grupos de ítems que se plantearon anteriormente, estos valores se pueden apreciar en las figuras 1, 2 y 3 que se encuentra a continuación. Dichas figuras nos indica que el valor del apartado técnico junto con el apartado económico, se les asigna un valor del 40% del peso total a cada uno, dejando un 20% para el apartado económico. El cálculo de esto se realizó estadísticamente preguntando a cada una de las personas seleccionadas para participar, sobre los porcentajes de peso que ellos asignarían a cada uno de los apartados sobre los que se les pregunta, según la importancia que cada uno considerase que debe tener cada apartado para el correcto funcionamiento del equipo.

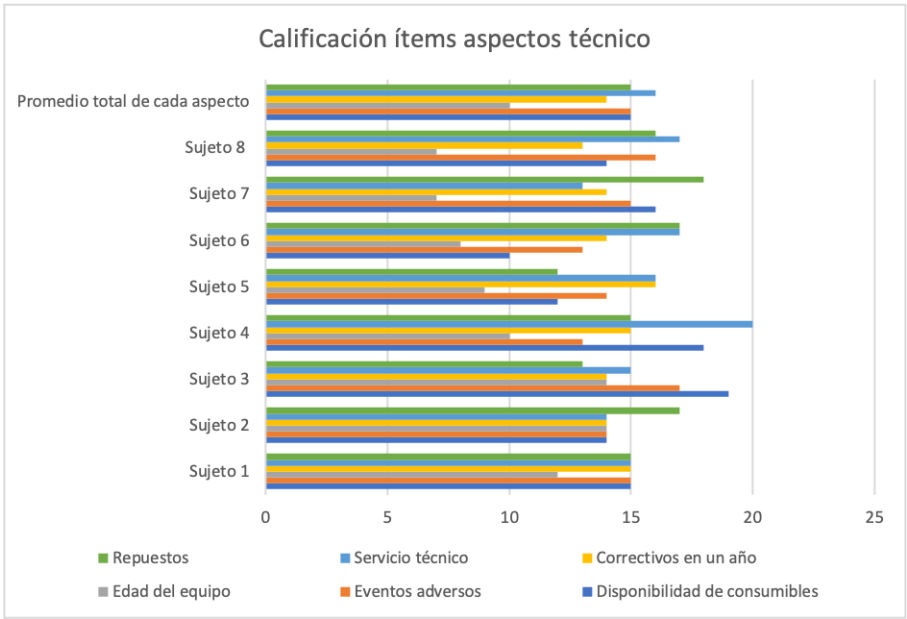


Figura 1 – Calificación ítems aspectos tóricos.

En la Figura 1 se puede observar que según como va aumentando el número de sujetos a los cuales se les encuesta aumenta o disminuyen diversos apartados casi de forma progresiva, todo esto se puede asociar al área de desempeño de cada individuo y su concepto de priorización para el aspecto evaluado en los equipos que poseen, un comportamiento que se ve de forma repetitiva más adelante en las figuras 2 y 3.

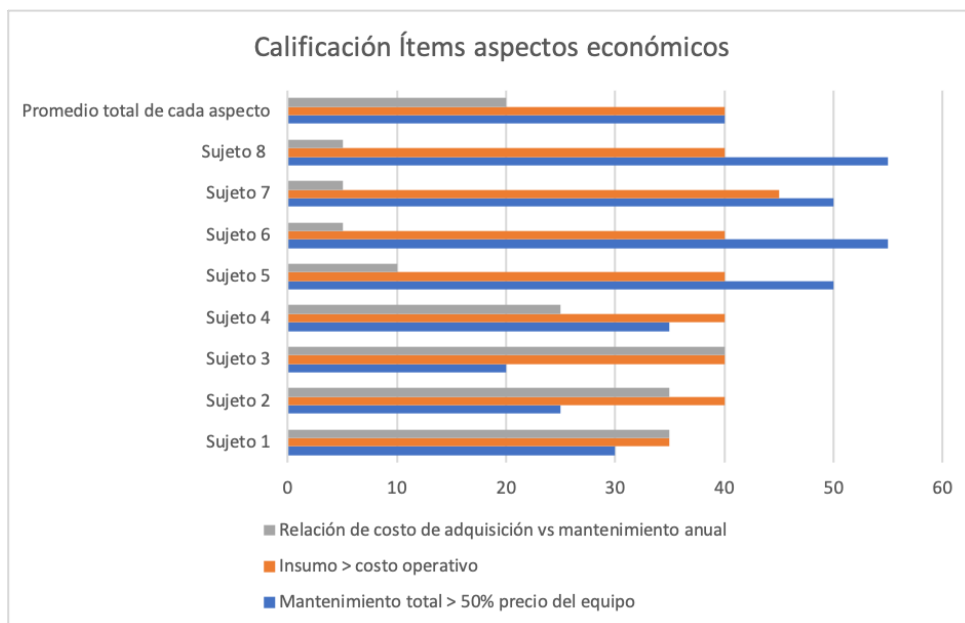


Figura 2 – Calificación ítems aspectos económicos.

En el apartado económico; presente en la figura 2; se evidenció de una forma mucho más demarcada la prioridad que le da uno de los dos subgrupos a los cuales se les entrevisto a un ítem en específico de los planteados. Sugiriendo la importancia de tener grupos multidisciplinarios a la hora de realizar una investigación de este tipo.

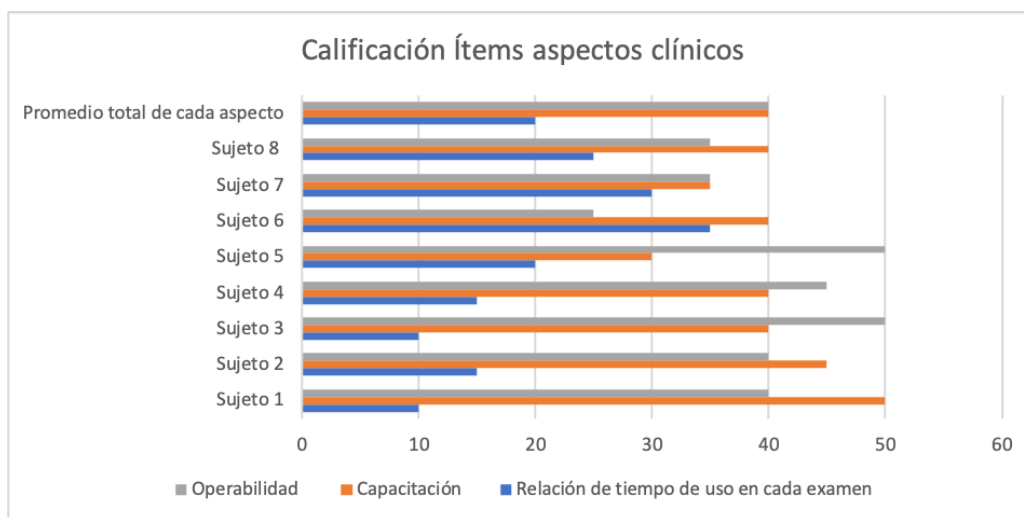


Figura 3 – Calificación ítems aspectos clínicos.

En la figura 3 se puede ver también que algunos aspectos como lo es la capacitación es imprescindible sin importar a que subgrupo de la población se le pregunte, y por lo tanto

debe obtener una mayor relevancia dentro de su propio segmento de datos. Adicional a esto también se realizó un sondeo para conocer los valores generales que daría cada una de las personas a los apartados (Técnico, Económico, Clínico) y mediante el uso de estadística clásica poder conocer la relevancia que tendría cada uno dentro de la vida útil de un equipo médico, los resultados pueden ser observados en la Figura 4.

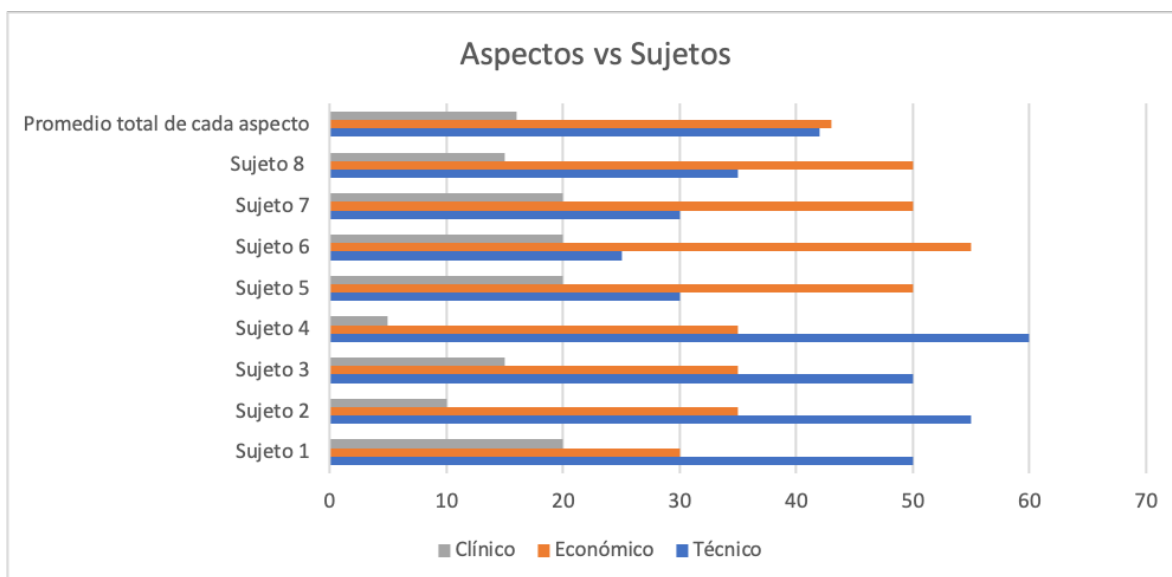


Figura 4 – Aspectos vs Sujetos.

Se considero prudente hacer un pequeño ajuste manual en los pesos que se le asignaron a cada uno de los aspectos debido a que no fue posible juntar un grupo considerable de personas del área clínica que pudiesen aportar a la estadística de los pesos, y debido a que la opinión de los especialistas en salud es de gran importancia se ajustó de forma manual los valores asignados en la Figura 4 [5].

3.5 Segmentación de grupos y motor de inferencia

Para este modelo fue necesario la construcción de un motor de inferencia robusto que permitiese la correcta toma de decisiones en cuanto a los dos apartados en los que fueron divididos los grupos que se encuentran representados en las siguientes tablas. Para el motor de inferencia se decidió dividir los ítems en dos categorías, el apartado técnico y los apartados económicos o de operación. En cuanto a los apartados netamente técnicos, estos a su vez están divididos en recurrencia al fallo y servicio, como se puede evidenciar a continuación:

Tabla 4 - Segmentación del apartado técnico en grupos de control.

Ítem	Grupo de control
Disponibilidad de consumibles	Servicio
Eventos adversos	Recurrencia el fallo
Correctivos en un año	Recurrencia el fallo
Servicio técnico	Servicio
Repuestos	Servicio

Para la función de pertenencia de cada uno de estos ítems, debido a que la representación de cada uno de los aspectos pudo ser modelada bajo una sigmoide se tomó solo un valor variable (a) el cual hace referencia a lo ancho que es el área de transición y esta se relaciona con la pendiente que puede tener un equipo en cuanto al decrecimiento de su vida útil, aproximación hecha de forma que la función de pertenencia pudiese ser denominada como convexa y de igual forma que los tiempos para los valores de pertenencia de 0 y 1 fuesen los más cortos posibles, esto debido a que si esto último no se cumpliera el sistema se transformaría en un conjunto de datos certeros, lo cual no permitiría aplicar la lógica difusa de una forma adecuada. Por otra parte la variable correspondiente al centroide de la función de pertenencia (c) fue dejada arbitrariamente en la mitad de la vida útil promedio que tiene un equipo médico según la legislación Colombiana, un aproximado de 5 años [10].

Las funciones de pertenencia de estos apartados, así como sus vectores de evaluación pueden ser vistas en la tabla 5 a continuación:

Tabla 5 - Funciones de pertenencia para el apartado técnico y sus vectores de evaluación.

Ítem	Función Matlab [a,c]	x
Disponibilidad de consumibles	$A = \text{sigmf}(x1, [-a/5 \ 2.5]);$	$x1 = 0:0.01:10;$
Eventos adversos	$B = \text{sigmf}(x2, [b/12 \ 5]);$	$x2 = 0:0.01:18;$
Correctivos en un año	$D = \text{sigmf}(x4, [d/2 \ 5]);$	$x4 = 0:0.01:18;$
Servicio técnico	$E = \text{sigmf}(x5, [-e/10 \ 5]);$	$x5 = 0:0.01:10;$
Repuestos	$F = \text{sigmf}(x6, [-f/10 \ 5]);$	$x6 = 0:0.01:10;$

Y por otra parte los apartados económicos y clínicos (O de operación) los cuales iban a ser evaluados bajo un motor de inferencia distinto al del primer grupo se dividieron de la siguiente manera.

Tabla 6 - Segmentación del apartado económico y de operación en grupos de control.

Ítem	Grupo de control
------	------------------

Mantenimiento total > 50% precio del equipo	Económico (Pertenenencia positiva)
Insumo > ganancia operativa	Económico (Pertenenencia negativa)
Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual	Económico
Relación de tiempo de uso en cada examen	Operación
Capacitación	Operación
Operabilidad	Operación

Estos modelados bajo tres figuras, campanas generalizadas, campanas de Gauss y sigmoides, estas últimas siguiendo los mismos parámetros establecidos para el modelado de las funciones de pertenencia del grupo de aparados técnicos. Así mismo la campana generalizada fue utilizada en modelado del ítem “Mantenimiento total > 50% precio del equipo”, debido a que según los expertos en el área este puede modelar el seguimiento del gasto realizado en un equipo médicos, representados en la función de membresía como [a, b, c].

En donde a y b hacen referencia al ancho de la función de membresía y lo pronunciada que ha de ser su pendiente respectivamente, estos valores fueron aproximados usando el mismo criterio de la tabla 5 garantizando la creación de un conjunto de datos que no fuese certero. Por último la variable c, que representa el centroide de la función fue aproximando al tiempo de amortización promedio que se tiene para un equipo médico cuando se realiza su compra, aproximadamente 2.5 años.

En cuanto a la campana de Gauss esta fue utilizada para el modelado del tiempo que se demora cada examen en ser realizado, donde un tiempo menor al estándar dictado por el fabricante indica problema en el equipo y da una baja fiabilidad del resultado, por otra parte un tiempo excesivo en la realización de un examen sin importar la causa de este representa un atraso en la atención de pacientes y por ende perdidas para la institución a la cual pertenece este dispositivo.

Las funciones de pertenencia de estos apartados, así como sus vectores de evaluación pueden ser vistas en la tabla 7 a continuación:

Tabla 7 - Funciones de pertenencia para el apartado económico y de operación, así como sus vectores de evaluación.

Ítem	Función Matlab	x
Mantenimiento total > 50% precio del equipo	$H = \text{gbellmf}(x8, [10/h \ 2 \ 2.5]);$	$x8 = 0:0.01:10;$
Insumo > ganancia operativa	$I = \text{sigmf}(x9, [(20*i+1) \ 0.5]);$	$x9 = 0:0.01:10;$

Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual	$J = \text{sigmf}(x_{10}, [1 \ 1]);$	$x_{10} = 0:0.01:10;$
Relación de tiempo de uso en cada examen	$K = \text{gaussmf}(x_{11}, [k/15 \ 5]);$	$x_{11} = 0:0.01:10;$
Capacitación	$L = \text{sigmf}(x_{12}, [1 \ 5]);$	$x_{12} = 0:0.01:10;$
Operabilidad	$M = \text{sigmf}(x_{13}, [-1 \ 5]);$	$x_{13} = 0:0.01:10;$

3.6 Reglas heurísticas para el motor de inferencia

Para el desarrollo del motor de inferencia fue necesario el uso de la Toolbox de Matlab Online [14] llamada 'Fuzzy Logic Designer', dicha herramienta permite la creación de motores de inferencia de forma sencilla debido a que genera automáticamente reglas para el modelado de modelos Mandami de tipo 1, lo cual mediante un conjunto de salida típico de los controladores con lógica difusa permita dar un valor aproximado de la función de pertenencia de las condiciones de obsolescencia en las que se encuentra el equipo.

Para dichas reglas heurísticas mencionadas anteriormente se tuvo en cuenta la relación que se plantea entre cada uno de los aspectos evaluativos contra las consecuencias que este generan sobre el equipo, para así poder discernir sobre el grado de obsolescencia del equipo y cuál sería el procedimiento más acertado para el dispositivo.

Las reglas heurísticas en ambos casos se basan en los productos cartesianos y las composiciones entre las funciones que se representan por sus funciones de pertenencia. La Toolbox usada permite crear automáticamente todas las combinaciones de posibles para las reglas entre los conjuntos con el fin solo tener que asignar conjuntos de salida a cada una de estas según el criterio descrito en las tablas 8 y 9:

Tabla 8 - Reglas Heurísticas descritas para el primer modelo en cual se evalúa el apartado técnico de los equipos.

Apartados Primer Modelo						
Servicio	Es / No Es	Servicio	Fallo	Es / No Es	Fallo	Salida
	Es	Disponibilidad de consumibles		Es	Eventos adversos	Mantenimiento Urgente
	Es	Disponibilidad de consumibles		Es	Correctivos en un año	Mantenimiento Urgente
	No es	Servicio técnico		Es	Eventos adversos	Cambio inminente

No es	Servicio técnico	Es	Correctivos en un año	Cambio inminente
No es	Repuestos	Es	Eventos adversos	Cambio inminente
No es	Repuestos	Es	Correctivos en un año	Cambio inminente

En la tabla 8 se consignaron las reglas del primer modelo, se plantearon 6 reglas en donde se tienen todas las combinaciones de los dos conjuntos de entrada y en los cuales según sus funciones de pertenencia se les asignó o no una relación de Es o No Es. Se realizó el mismo procedimiento para cada una de las parejas de la tabla 8, en donde a diferencia de la tabla 8 se tienen un total de 9 reglas.

Tabla 9 - Reglas Heurísticas descritas para el segundo modelo en cual se evalúa el apartado económico y clínico de los equipos.

Apartados Segundo Modelo						
Económico	Es / No Es	Económico	Operativo	Es / No Es	Operativo	Salida
	No es	Mantenimiento total > 50% precio del equipo		No es	Relación de tiempo de uso en cada examen	Mantenimiento a largo plazo
	Es	Insumo > ganancia operativa		No es	Relación de tiempo de uso en cada examen	Cambio inminente
	Es	Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual		No es	Relación de tiempo de uso en cada examen	Mantenimiento a largo plazo
	No es	Mantenimiento total > 50% precio del equipo		No es	Capacitación	Mantenimiento a largo plazo
	Es	Insumo > ganancia operativa		No es	Capacitación	Cambio inminente
	Es	Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual		No es	Capacitación	Mantenimiento a largo plazo
	No es	Mantenimiento total > 50% precio del equipo		Es	Operabilidad	Mantenimiento Urgente
	Es	Insumo > ganancia operativa		Es	Operabilidad	Cambio inminente
	Es	Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual		Es	Operabilidad	Mantenimiento a largo plazo

Dichas tablas se realizaron teniendo en cuenta 3 aspectos fundamentales, para catalogar una salida en el grupo de cambio inminente es necesario que cumpla con tener por lo menos uno de los aspectos catalogados como de cumplimiento obligatorio para el funcionamiento, estos son la ausencia de consumibles, servicio técnico o repuestos. Así mismo, el sobre costo de los insumos también es un aspecto relevante para categorizar a la salida como cambio inminente. Por último el continuo aumento de eventos adversos sobre el equipo en cuestión hace que su conjunto de salida sea clasificado como un manteniendo urgente debido a la recurrente tendencia al fallo del equipo, el cual puede ocasionar problemas sobre el diagnóstico de los pacientes a tratar [7].

3.7 Algoritmo del motor de inferencia

Para el primer aparato llamado Tesis_1 el cual hace referencia a la evaluación técnica del equipo médico y su motor de inferencia, el algoritmo de programación en lenguaje Matlab y con extensión .fis puede ser visto a continuación.

Algoritmo 1 – Algoritmo para el motor de inferencia Mandami de tipo uno que evalúa el aspecto técnico de los equipos médicos por lógica difusa.

```
[System]
Name='Tesis_1'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=6
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='Servicio'
Range=[0 10]
NumMFs=3
MF1='Disponibilidad consumibles ':'sigmf',[-0.8 2.5]
MF2='Servicio técnico':'sigmf',[-1 5]
MF3='Repuestos':'sigmf',[-1 5]

[Input2]
Name='Recurrencia al fallo'
Range=[0 10]
NumMFs=2
MF1='Eventos Adversos':'sigmf',[2 3]
MF2='Correctivos en un año':'sigmf',[1 6]
```

```

[Output1]
Name='Requerimiento Tecnico'
Range=[0 100]
NumMFs=3
MF1='Mantenimiento a largo plazo':'gaussmf',[25 0]
MF2='Mantenimiento Urgente':'gaussmf',[25 50]
MF3='Cambio inminente':'gaussmf',[25 100]

```

```

[Rules]
1 1, 2 (1) : 1
1 2, 2 (1) : 1
-2 1, 3 (1) : 1
-2 2, 3 (1) : 1
-3 2, 3 (1) : 1
-3 2, 3 (1) : 1

```

Para el segundo apartado llamado Tesis_2 el cual hace referencia a la evaluación económica y clínica del equipo médico y su motor de inferencia, el algoritmo de programación en lenguaje Matlab y con extensión .fis al igual que en el primer apartado puede ser visto a continuación.

Algoritmo 2 – Algoritmo para el motor de inferencia Mamdani de tipo uno que evalúa el aspecto económico y clínico de los equipos médicos por lógica difusa.

```

[System]
Name='Tesis_2'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=9
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

```

```

[Input1]
Name='Economico'
Range=[0 10]
NumMFs=3
MF1='Mant mas 50':'gbellmf',[1 2 2.5]
MF2='Insumo más ganancia ':'sigmf',[1 0.5]
MF3='Relación de costos':'sigmf',[1 1]

```

```

[Input2]

```

```
Name='Operacion'  
Range=[0 10]  
NumMFs=3  
MF1='relacion de tiempo':'gaussmf',[2 5]  
MF2='Capacitacion':'sigmf',[1 5]  
MF3='Operabilidad':'sigmf],[-1 5]
```

```
[Output1]  
Name='Requerimiento'  
Range=[0 100]  
NumMFs=3  
MF1='Mantenimiento largo plaz':'gaussmf',[25 0]  
MF2='Mantenimiento Urgente':'gaussmf',[25 50]  
MF3='Cambio Inminente':'gaussmf',[25 100]
```

```
[Rules]  
-1 -1, 1 (1) : 1  
2 -1, 3 (1) : 1  
3 -1, 1 (1) : 1  
-1 -2, 1 (1) : 1  
2 -2, 3 (1) : 1  
3 -2, 1 (1) : 1  
-1 3, 2 (1) : 1  
2 3, 3 (1) : 1  
3 3, 1 (1) : 1
```

Una vez realizado el algoritmo este se abre en la Toolbox de Matlab y permite visualizar el motor de inferencia, que se planteó para cada uno de los grupos de ítems.

4. RESULTADOS

Los resultados de este trabajo fueron diversas tablas estadísticas en las cuales se observan la opinión de dos grupos poblacionales sobre la relevancia de distintos aspectos ya sean técnicos, económicos o clínicos. Se evidencia como cada uno de los pesos que les fueron dados a los ítems refleja de forma directa o indirecta la importancia que los dos subgrupos (Ingenieros clínicos y gerentes de clínicas u hospitales) dan al área en el cual se desempeñan en una institución prestadora de servicios de salud.

Para la tabla 10, en donde se consignaron las respuestas de los aspectos técnicos dados por ambos subgrupos de expertos, es claro que la división de los pesos se da de una forma mucho más equitativa por parte de los ingenieros destacando de esta forma algunos aspectos que las personas encargadas de área administrativa podrían considerar prescindibles.

Tabla 10 – Respuestas de los expertos y estadística para el peso de cada pregunta de apartado técnico.

Ítems aspectos técnicos	Ingenieros Clínicos o Biomédicos				Gerentes de Clínicas u Hospitales				Publico total
	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5	Sujeto 6	Sujeto 7	Sujeto 8	Promedio total de cada aspecto
Disponibilidad de consumibles	15	14	19	18	12	10	16	14	15
Eventos adversos	15	14	17	13	14	13	15	16	15
Edad del equipo	12	14	14	10	9	8	7	7	10
Correctivos en un año	15	14	14	15	16	14	14	13	14
Servicio técnico	15	14	15	20	16	17	13	17	16
Repuestos	15	17	13	15	12	17	18	16	15

Para el apartado económico; consignado en la tabla 11; sucede algo similar con aspectos los cuales se les dio un valor mucho más alto por parte de los ingenieros, que los que se les dio por parte del personal administrativo, los cuales se consideran que tienen una opinión mucho más acertada para este aspecto debido al área de la institución en la que desempeñan

Tabla 11 - Respuestas de los expertos y estadística para el peso de cada pregunta del apartado económico.

Ítems aspectos económicos	Ingenieros Clínicos o Biomédicos				Gerentes de Clínicas u Hospitales				Promedio total de cada aspecto
	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5	Sujeto 6	Sujeto 7	Sujeto 8	
Mantenimiento total > 50% precio del equipo	30	25	20	35	50	55	50	55	40
Insumo > costo operativo	35	40	40	40	40	40	45	40	40
Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual	35	35	40	25	10	5	5	5	20

En cuanto a la información de la tabla 12, esta no cuenta como tal con un grupo el cual se considere experto para dicho apartado debido a la ausencia de personal clínico suficiente para lograr una estadística significativa en el estudio. De igual forma observando los resultado de puede ver una respuesta bastante polarizada y que tuvo que ser ajustada manualmente para no tener una significancia tan baja dentro de la investigación

Tabla 12 - Respuestas de los expertos y estadística para el peso de cada pregunta del apartado clínico.

Ingenieros Clínicos o Biomédicos	Gerentes de Clínicas u Hospitales
----------------------------------	-----------------------------------

Ítems aspectos clínicos	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5	Sujeto 6	Sujeto 7	Sujeto 8	Promedio total de cada aspecto
Relación de tiempo de uso en cada examen	10	15	10	15	20	35	30	25	20
Capacitación	50	45	40	40	30	40	35	40	40
Operabilidad	40	40	50	45	50	25	35	35	40

El ajuste realizado debido a la ausencia mencionada puede ser observado en la tabla 13, en donde al igual que en la tabla 12, los expertos en el área que colaboraron con el estudio asignaron un peso a cada una de las categorías según como consideraron su relevancia a la hora de un estudio de obsolescencia en un equipo médico.

Tabla 13 - Respuestas de los expertos y estadística para el peso de cada apartado.

	Ingenieros Clínicos o Biomédicos				Gerentes de Clínicas u Hospitales				Publico total	
Aspectos Vs Sujetos	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5	Sujeto 6	Sujeto 7	Sujeto 8	Promedio total de cada aspecto	Ajuste Manual
Técnico	50	55	50	60	30	25	30	35	42	40
Económico	30	35	35	35	50	55	50	50	43	40
Clínico	20	10	15	5	20	20	20	15	16	20

Otro de los resultados fue la creación del motor de inferencia en la Toolbox de Matlab denominada "Fuzzy Logic Designer", se crearon dos archivos con extensión .fis en los cuales se puede apreciar la función de pertenencia de cada uno de los ítem a evaluar, las reglas heurísticas planteadas para el motor de inferencia Mandami de tipo uno y algunas especificaciones que permiten correr de forma correcta los archivos en Matlab.

Al realizar la agrupación de ítems en dos grande grupos, fue posibles la creación de dos motores de inferencia robustos; por el método de Mandami de tipo1; enfocado el primero en el aspecto técnico y el segundo en el aspecto clínico y económico. Todo esto como se había mencionado en la sección segmentación y motor de inferencia de la metodología.

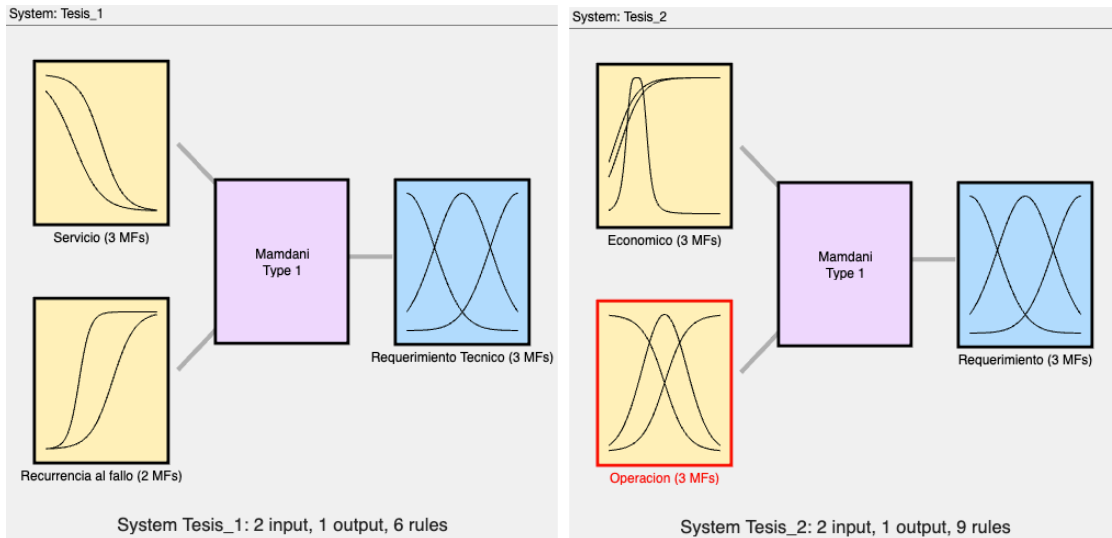


Figura 5. Motores de inferencia para el aspecto Técnico y para el especto Económico y Clínico.

Cada uno de los grupos se segmentó internamente de tal forma que los datos entre estos mismos tuviesen una relación ya fuese de forma directa o inversa con el fin de poder juntarlos todos frente a un mismo vector de evaluación que de esta forma se pudiese obtener un conjunto de salida coherente con la evaluación hecha para cada grupo.

De estos motores de inferencia y mediante el planteamiento de las reglas heurísticas que se pudieron apreciar en la metodología fue posible llegar a las siguientes simulaciones de las reglas de inferencia presentes en la Figura 6.

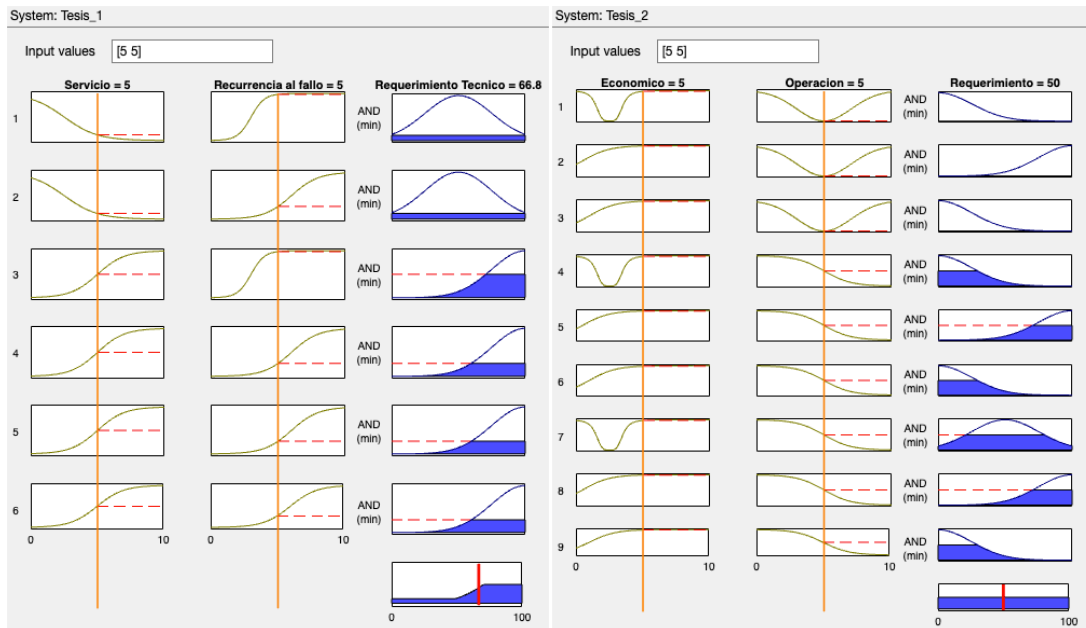


Figura 6. Conjuntos de salida para ambos motores de inferencia.

En dichas simulaciones de la Figura 6 se pueden observar de forma gráfica los procesos matemáticos (productos cartesianos y productos punto) que se realizan mediante la lógica difusa para lograr llegar al resultado que se puede ver al costado derecho y de color azul. Dicho resultado nos deja observar el valor que toma la salida de cada una de las reglas planteadas para los dos valores de los vectores de control que se pueden ajustar en la parte superior, cada uno de estos resultados se interseca (mediante el uso de mínimos como lo indica la teoría de operaciones entre conjuntos difusos [7].) dando como resultado la gráfica ubicada en la parte inferior derecha de cada imagen. Ahora bien, para conocer el estado de donde se encuentra y tener una respuesta numérica es necesario conocer el centroide de la función que fue generada, dicho proceso la Toolbox de Matlab lo calcula de forma automática mediante una integral de línea, dando como resultado una aproximación al valor que se le debe asignar al equipo según en la condición en la que este se encuentre en cada uno de los apartados a evaluar [14].

En este documento se muestra una aproximación al estado del equipo según el uso de indicadores básicos y netamente objetivos que pueden proporcionar información valiosa para el cálculo de obsolescencia de un equipo médico, se recomienda que si la suma de los dos aspectos es mayor al total de 100 puntos el equipo debe ser dado de baja lo antes posible debido a que sus condiciones no son aptas para prestar un buen servicio de salud, por lo contrario si el valor resultante de la suma es un valor entre 50 y 100 puntos el equipo requiere de un servicio de mantenimiento de forma urgente, para poder prolongar su vida útil y mejorar las condiciones de operación que este presta, por último si la suma de valores

de inferior a 50 puntos el equipo debe tener un mantenimiento a largo plazo y aun cuenta con condiciones óptimas para poder ser usado en pacientes.

Toda la explicación se puede evidenciar de una forma más práctica en los ejemplos de uso del motor de inferencia que se dan a continuación. Para este se tomaron dos equipos, un Autoclave de Casette marca SciCan, modelo Statim 2000 adquirida en el año 2021 y otro Autoclave de Casette de la misma marca modelo y serie que el anterior con la única diferencia que esta adquirida en el año 2013. Ambos equipos entraron a servicio técnico de la empresa para cambio empaque en el Casette y un mantenimiento general, se le solicito a servicio técnico la información referente a los equipos con el fin de poder evaluar el estado del equipo con los motores de inferencia desarrollados y contrastar esa información con la normativa actual Colombiana para la vida útil de los equipo médicos en territorio nacional.

El Statim 2000 que tiene un año de uso; que fue denominado como Equipo 1; solo presentó 5 fallas generales en su correcto funcionamiento y según los informes del área de servicio técnico, en el último año no fue necesario llevarlo a mantenimiento. Por otra parte el Statim 2000 que tiene nueve años de uso; que fue denominado como Equipo 2; presentó 10 o más fallas a lo largo del año 2022 y fue necesario llevarlo a soporte técnico 5 veces. Para el motor de búsqueda fue necesario encontrar los dos valores en los que se iban a ubicar el vector de evaluación, estos valores pudieron ser hallados de la siguiente forma.

Para el primer valor del vector de evaluación (destinado al aspecto de servicio), se debió hallar el promedio de los valores referentes a los ítems que agrupan este servicio, en ese caso y por normativa colombiana los años de consumibles, repuestos y servicio técnico son iguales, dando así como resultado que el valor de cualquiera de estos, será el punto del vector de evaluación que se tomó. Para el segundo aspecto (destinando a la recurrencia al fallo) se evaluó el promedio entre sus dos ítems en donde se relaciona los eventos adversos del equipo junto con las veces que fue necesario llevar el equipo a servicio, dando así el valor del vector de evaluación que se debió tomar.

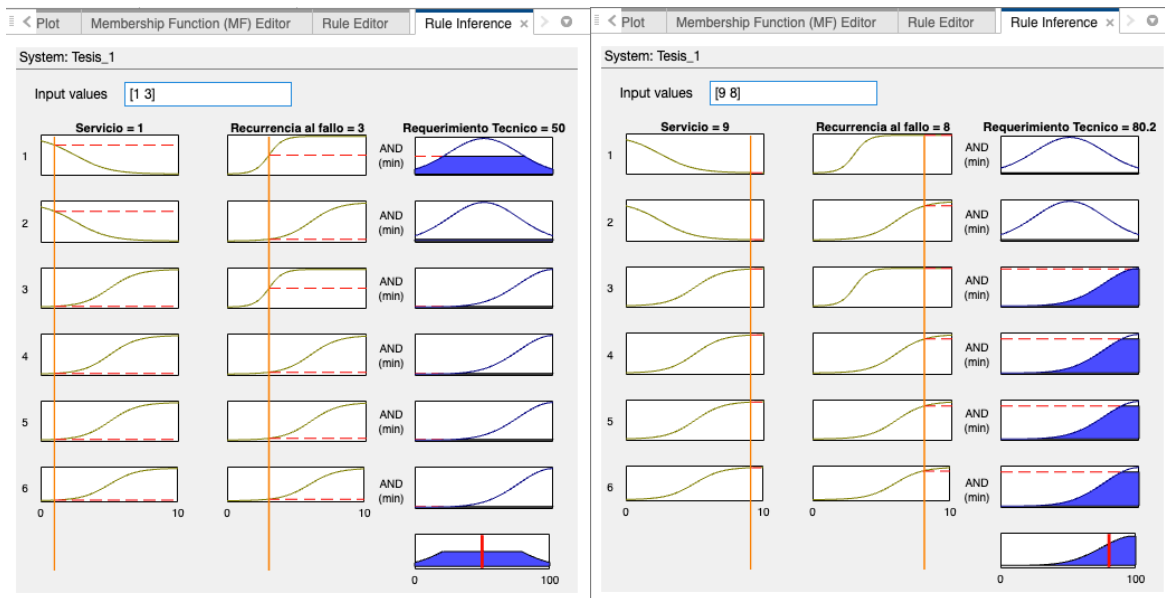


Figura 7. Conjuntos de salida para el motor de inferencia de la parte técnica evaluando Equipos 1 y 2 respectivamente.

Para el Equipo 1, al ser un equipo que lleva tan solo un año de uso el valor de su vector de evaluación para servicio fue igual a 1 y el valor del vector de evaluación para la recurrencia al fallo fue el promedio entre las veces que tuvo un fallo (5) y las veces que se llevó a servicio técnico (0), dando como resultado 2.5 que se aproximó a 3.

Para el equipo 2, al ser un equipo que lleva 9 años en uso fue tomado este valor para el primer vector de evaluación, en cuando al segundo vector este fue el promedio entre las fallas que presentó el equipo (10), y las veces que fue necesario llevarlo a servicio técnico (5), dando como resultado 7.5 que se aproximó a 8.

Se pudo evidenciar que el cambio en los conjuntos de salida de ambos equipos para el apartado técnico es más que drástico en la Figura 8, y obedece a las reglas heurísticas que fueron planteadas anteriormente. En donde el Equipo 1 requiere un mantenimiento con urgencia por sus fallas reiteradas y el Equipo 2 requiere de un cambio inminente ya que no se encuentra en condiciones óptimas para prestar servicio.

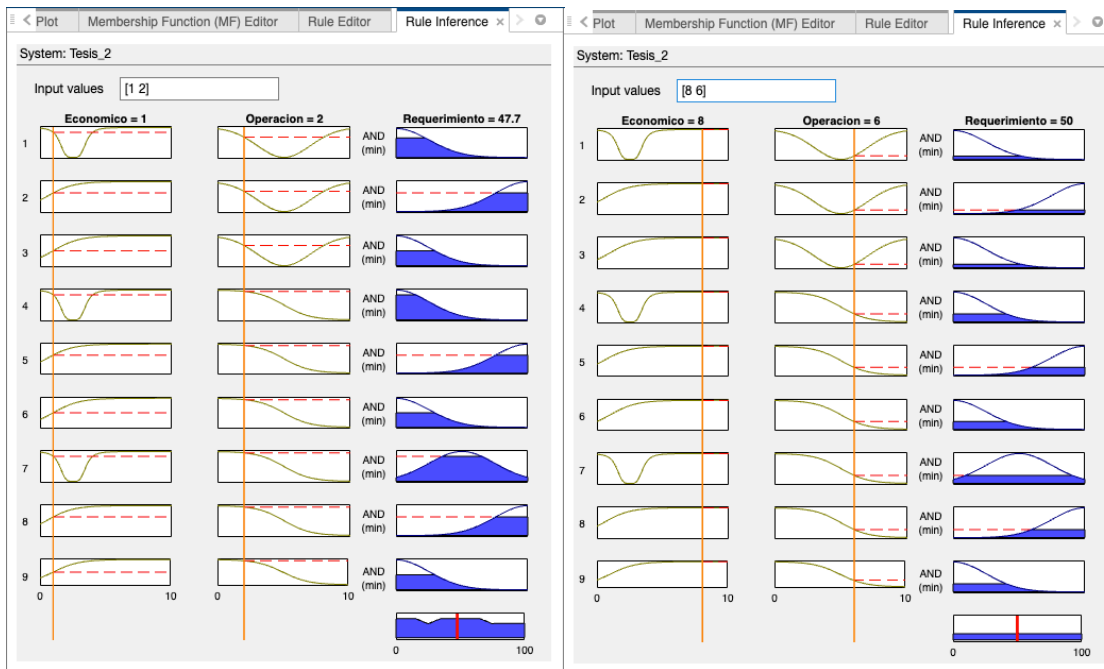


Figura 8. Conjuntos de salida para el motor de inferencia de la parte económica y clínica con datos tentativos de los Equipos 1 y 2 respectivamente.

Para el segundo valor de evaluación (destinado al aspecto económico y clínico), se debe hallar también el primer valor correspondiente al apartado económico y el segundo valor correspondiente al promedio de los valores asignados al área clínica u operativa. En este apartado no fue posible conseguir información fiable del gasto y la operatividad de los equipos sobre los que se ha realizado la prueba por la naturaleza privada de esta, que pertenece a cada una de las instituciones dueña de los equipos médicos. Razón por la cual se procedió a realizar un estimado de los valores de ambos equipos presentes en la Figura 4 para ver el cambio en el motor de inferencia cuando se tenían valores distintos.

5. DISCUSIÓN

Se puede evidenciar que los resultados obtenidos demuestran coherencia con los resultados que se habían previsto para los equipos según el análisis que se planteaba anteriormente en la guía para diligenciar la propuesta de índice de obsolescencia de equipos biomédicos del ministerio de salud Colombiano. Demostrando así que es posible plantear un conjunto de preguntas netamente objetivas que permitan evaluar el estado de un equipo médicos frente a su vida útil o su obsolescencia.

Si bien el método convencional era bastante útil y podía ser realizado de una forma óptima por personal conocedor del área de la salud, resultaba muy susceptible a caer en errores humanos debido a su interpretación o al concepto propio de alguna de las preguntas de la guía. Todas estas variables subjetivas las cuales son muy difícil de estandarizar y no pueden ser medidas en una misma escala ya que dependen de cada individuo y su opinión, afectaban de forma sustancial al diligenciamiento que se hacía anteriormente y por consiguiente podían suponer un riesgo importante en cuanto a la operabilidad que tiene un equipo médico, llegando así al extremo de poder generar un situación adversa en un procedimiento o diagnóstico. Al tener un conglomerado de aspectos objetivos se elimina el error humano y posibles razonamientos que influenciaran a conservar tecnologías obsoletas o que ya no garanticen un óptimo funcionamiento.

En cuanto al uso de lógica difusa, esta no se había usado en el área de la ingeniería clínica anteriormente debido a la complejidad de llevar las reglas lingüísticas a valores numéricos que permitiesen crear las reglas necesarias para un correcto funcionamiento de los motores de inferencia. Esto se aplicó de igual manera a los aspectos que anteriormente se trataban como conjuntos certeros y que; como la lógica clásica lo indica; podían tomar solo valores de verdadero o falso (1 o 0). Todo esto con el fin de poder extrapolar toda esta información a conjuntos difusos que nos permitiesen obtener un resultado certero de cada uno de los aspectos evaluados.

La facilidad en la adquisición de información que permitiese implementar este tipo de evaluación de obsolescencia en instituciones de servicios de salud; que probablemente no se encontraban familiarizados con los conceptos y estrategias descritas; también fue un apartado de suma importancia debido a la practicidad en su uso y junto con un posible trabajo futuro que complemente el apartado de desarrollo de software para dispositivos móviles, se podría lograr un gran alcance. Que permitiría generar un impacto positivo en el área de la salud a nivel nacional.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Como posibles recomendaciones o mejoras para futuros trabajos se recomienda el análisis de otro tipo de segmentaciones que permitan un manejo de vectores de evaluación más independientes entre sí, así como proseguir con el uso de la lógica difusa para lograr una segmentación mucho más específica para cada uno de los grupos de salida que se plantearon anteriormente. Otra recomendación para trabajos futuros es extrapolar la información aquí planteada a otro tipo de métodos para el análisis de la lógica difusa como lo puede ser el Sugeno abriendo así la puerta a la predicción en el tiempo de forma exacta de la vida útil que puede tener el equipo y la pendiente de decaimiento que este pudiese presentar a futuro.

También se recomienda aumentar el número y diversidad de los expertos para un mejor ajuste de las funciones de transferencia. Por último se recomienda hacer el desarrollo de esta herramienta en una aplicación web o para dispositivos móviles que permita tener un acceso mucho más fácil a esta con el fin de agilizar la evaluación en entidades donde se tiene una gran cantidad de dispositivos, así mismo se considera necesario hacer una evaluación de la aplicación en un espacio controlado como un hospital o clínica con una cantidad de equipos considerables que permita garantizar una alta fiabilidad.

7. CONCLUSIONES

- Se logró hacer uso de la lógica difusa para generar el algoritmo; que a base de gráficas en 2D; diese una predicción del estado en el cual se encuentra un equipo médico y su obsolescencia en el tiempo, demostrando que la lógica difusa representa una ventaja en cuanto a la precisión con la que se puede predecir un suceso adverso (un posible fallo o su obsolescencia) en un equipo médico.
- Se logró construir conjuntos de entrada basados en la opinión de expertos y de las normas descritas por el ministerio de salud Colombiano, donde se puede evidenciar que mediante el uso de la opinión de expertos en el área de la salud es posible construir reglas claras que a futuro podrían ser usadas en un árbol de decisión.
- Se logró construir un motor de inferencia robusto que permitiese la toma de decisiones a partir de reglas heurísticas planteadas en el documento, creando una herramienta con la cual se pueda facilitar el trabajo del cálculo del índice de obsolescencia de un equipo médico, sin afectar su fiabilidad.
- Fue posible construir reglas netamente objetivas que permitiesen el análisis matemático de las variable planteadas para los motores de inferencia, así como el análisis estadístico de posibles pesos para cada una de las reglas, dando pie a la creación de motores de inferencia más robustos en el área de la ingeniería clínica y hospitalaria.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] A. García Ibarra, "GUIA PARA DILIGENCIAR LA PROPUESTA DE INDICE DE OBSOLESCENCIA DE EQUIPOS BIOMEDICOS." Ministerio de salud Colombiano, Bogotá, Feb-2017.

[2] J. S. Acero Celemín and V. Vique Bernal, "PRIORIZACIÓN POR OBSOLESCENCIA DE EQUIPOS BIOMÉDICOS PARA ADQUISICIÓN DE NUEVA TECNOLOGÍA FOCO IMÁGENES DIAGNÓSTICAS," thesis, 2019.

[3] Ministerio de Salud and M. de Salud, Bogotá, Cund: Diario Oficial No. 44.372, 2001, pp. 1–20.

[4] D. C. Limas Ramírez, "METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE OBSOLESCENCIA DE EQUIPOS MÉDICOS EN EL HOSPITAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL," thesis, 2022.

[5] S. Garcia, "MESA DE IDEAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA HERRAMIENTA QUE PERMITA REALIZAR EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE OBSOLESCENCIA DE UN EQUIPO MEDIANTE EL USO DE LÓGICA DIFUSA ."

[6] D. L. Gómez Arias, "ANÁLISIS DE OBSOLESCENCIA EN LOS EQUIPOS BIOMÉDICOS DE LOS SERVICIOS HOSPITALIZACION QUIRURGICA Y URGENCIAS DE LA CLINICA LEÓN XIII," thesis, 2019.

[7] C. González Morcillo, *Lógica Difusa Una introducción práctica Técnicas de Softcomputing* .

[8] J. S. Soto Medellin, "SISTEMA DE CONTROL DIFUSO PARA UNIDADES DE CUIDADO INTENSIVO (UCI)," thesis, 2013.

[9] H. G. Aguirre-Gas, J. A. Zavala-Villavicencio, and F. Hernández-Torres, "Calidad de la atención médica y seguridad del paciente quirúrgico. Error médico, mala práctica y responsabilidad profesional ," *Cirugía y Cirujanos*, pp. 456–462, Apr. 2010.

[10] Ministerio de protección social. "Decreto 4725 de 2005". 2005.

[11] I. X. Velazco Aldana, "Normas legales a partir de la constitución política colombiana dispositivos médicos", 37.

[12] L. P. Alfonso Marín, C. Salazar López, and A. L. Franco Herrera, "Incidencia de Eventos adversos asociados a dispositivos médicos en una institución de salud en Colombia," *Revista Ingeniería Biomédica*. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622010000200007. [Accessed: 22-Nov-2022].

[13] Ministerio de protección social. "Resolución 4002 del 2007". 2007.

[14] "MATLAB LOGIN: Matlab & Simulink," *MATLAB Login | MATLAB & Simulink*. [Online]. Available: <https://matlab.mathworks.com/>. [Accessed: 23-Nov-2022].

[15] H. Al-Samarraie and S. Hurmuzan, "A review of brainstorming techniques in higher education," *Thinking Skills and Creativity*, vol. 27, pp. 78–91, 2018.

[16] L. P. Alfonso, C. Salazar, and A. L. Franco, "Incidencia de eventos adversos asociados a dispositivos médicos en una institución de salud en Colombia," *Revista Ingeniería Biomédica*, vol. 4, no. 8, pp. 71–84, Jul. 2010.

ANEXOS

1. Documento de Excel titulado “TESIS - CONSTRUCCIÓN DE UNA HERRAMIENTA QUE PERMITA REALIZAR EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE OBSOLESCENCIA DE UN EQUIPO MEDIANTE EL USO DE LÓGICA DIFUSA”

Tabla general:

Evaluación	Porcentaje	Ítem	Descripción	Valor en el aspecto	Valor en el total
Técnico	0.4	Disponibilidad de consumibles	Valor de 0 a 10 con relación a los años que el equipo ha tenido	15	6.0
		Eventos adversos	Cantidad de eventos presentados en los últimos 12 meses (Maximo 10)	15	6.0
		Edad del equipo	Edad que tiene el equipo desde el momento de su primera venta	10	4.0
		Correctivos en un año	Cantidad de mantenimientos correctivos necesarios en los últimos 12 meses (Maximo 10)	14	5.6
		Servicio técnico	Valor del 0 al 10 según los años de de servicio técnico que ha recibido el equipo	16	6.4
		Repuestos	Valor de 0 a 10 con relación a los años que el equipo ha tenido disponibilidad de repuestos	15	6.0
Económico	0.4	Mantenimiento total > 50% precio	Numero del 1 al 10, equivalente al porcentaje de dinero invertido	40	16.0
		Insumo > ganancia operativa	Numero del 1 al 10 según que tan cerca este e costo de los insumos a ser mayor que el valor que se obtiene el por el servicio	40	16.0
		Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual	Si $CM \leq 0,10$ PA Pts= 0; Si $0,10 < PA < CM \leq 0,20$ PA Pts= 3; Si $0,20 < PA < CM \leq 0,30$ PA Pts= 7; Si $0,30 < PA < CM$ Pts= 10.	20	8.0
Clínico	0.2	Relación de tiempo de uso en cada	Numero de 1 a 10 según el tiempo de uso del equipo en hacer un	20	4.0
		Capacitación	Valor de 0 a 10 según como se encuentra capacitado el personal que opera el equipo	40	8.0
		Operabilidad	Valor entre 0 o 10 según los modos útiles de operación del equipo	40	8.0

Funciones de pertenencia:

Ítem	Descripción	Grupo de control	Funcion Matlab	Vector de evaluación
Disponibilidad de consumibles	Valor de 0 a 10 con relación a los años que el equipo ha tenido disponibilidad de consumibles	Servicio	$A = \text{sigmf}(x1, [-a/5 \ 2.5]);$	$x1 = 0:0.01:10;$
Eventos adversos	Cantidad de eventos presentados en los últimos 12 meses (Maximo 10)	Recurrencia el fallo	$B = \text{sigmf}(x2, [b/12 \ 6]);$	$x2 = 0:0.01:18;$
Edad del equipo	Edad que tiene el equipo desde el momento de su primera venta	Conjunto Certero		
Correctivos en un año	Cantidad de mantenimientos correctivos necesarios en los últimos 12 meses (Maximo 10)	Recurrencia el fallo	$D = \text{sigmf}(x4, [d/2 \ 6]);$	$x4 = 0:0.01:18;$
Servicio técnico	Valor del 0 al 10 según los años de de servicio técnico que ha recibido el equipo	Servicio	$E = \text{sigmf}(x5, [-e/10 \ 5]);$	$x5 = 0:0.01:10;$
Repuestos	Valor de 0 a 10 con relación a los años que el equipo ha tenido disponibilidad de repuestos	Servicio	$F = \text{sigmf}(x6, [-f/10 \ 5]);$	$x6 = 0:0.01:10;$
Mantenimiento total > 50% precio del equipo	Numero del 1 al 10, equivalente al porcentaje de dinero invertido en el equipo según su precio	Economico (Pertenencia positiva)	$H = \text{gbellmf}(x8, [10/h \ 2 \ 2.5]);$	$x8 = 0:0.01:10;$
Insumo > ganancia operativa	Numero del 1 al 10 según que tan cerca este e costo de los insumos a ser mayor que el valor que se obtiene el por el servicio	Economico (Pertenencia negativa)	$I = \text{sigmf}(x9, [(20*i+1) \ 0.5]);$	$x9 = 0:0.01:10;$
Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual	Si $CM \leq 0,10$ PA $Pts=0$; Si $0,10 < CM \leq 0,20$ PA $Pts=3$; Si $0,20 < CM \leq 0,30$ PA $Pts=7$; Si $0,30 < CM$ $Pts=10$.	Economico	$J = \text{sigmf}(x10, [1 \ 1]);$	$x10 = 0:0.01:10;$
Relación de tiempo de uso en cada examen	Numero de 1 a 10 según el tiempo de uso del equipo en hacer un procedimiento, donde 5 es el tiempo debido segun el manual	Operación	$K = \text{gaussmf}(x11, [k/15 \ 5]);$	$x11 = 0:0.01:10;$
Capacitación	Valor de 0 a 10 según como se encuentra capacitado el personal que opera el equipo	Operación	$L = \text{sigmf}(x12, [1 \ 5]);$	$x12 = 0:0.01:10;$
Operabilidad	Valor entre 0 o 10 según los modos útiles de operación del equipo	Operación	$M = \text{sigmf}(x13, [-1 \ 5]);$	$x13 = 0:0.01:10;$

Reglas:

Apartados Primer Modelo						
S e r v i c i o	Es / No Es	Servicio	F a l l o	Es / No Es	Fallo	Salida
	Es	Disponibilidad de consumibles		Es	Eventos adversos	Mantenimiento Urgente
	Es	Disponibilidad de consumibles		Es	Correctivos en un año	Mantenimiento Urgente
	No es	Servicio técnico		Es	Eventos adversos	Cambio inminente
	No es	Servicio técnico		Es	Correctivos en un año	Cambio inminente
	No es	Repuestos		Es	Eventos adversos	Cambio inminente
	No es	Repuestos		Es	Correctivos en un año	Cambio inminente
Apartados Segundo Modelo						
E c o n o m i c o	Es / No Es	Economico	O p e r a t i v o	Es / No Es	Operativo	Salida
	No es	Mantenimiento total > 50% precio del equipo		No es	Relación de tiempo de uso en cada examen	Mantenimiento a largo plazo
	Es	Insumo > ganancia operativa		No es	Relación de tiempo de uso en cada examen	Cambio inminente
	Es	Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual		No es	Relación de tiempo de uso en cada examen	Mantenimiento a largo plazo
	No es	Mantenimiento total > 50% precio del equipo		No es	Capacitación	Mantenimiento a largo plazo
	Es	Insumo > ganancia operativa		No es	Capacitación	Cambio inminente
	Es	Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual		No es	Capacitación	Mantenimiento a largo plazo
	No es	Mantenimiento total > 50% precio del equipo		Es	Operabilidad	Mantenimiento Urgente
	Es	Insumo > ganancia operativa		Es	Operabilidad	Cambio inminente
	Es	Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual		Es	Operabilidad	Mantenimiento a largo plazo

Tabla de preguntas preliminares:

Evaluación	Ítem	Estado
Técnico	Disponibilidad de consumibles	En uso
	Eventos adversos	En uso
	Vida útil contable del equipo	Descartado
	Edad del equipo	En uso
	Relación entre edad y vida útil	Descartado
	Correctivos en un año	En uso
	Servicio técnico	En uso
	Repuestos	En uso
Económico	Mantenimiento total > 50% precio del equipo	En uso
	Costo del mantenimiento del equipo respecto al uso dado	Descartado
	Insumo > costo operativo	En uso
	Relación de costo de adquisición vs mantenimiento anual	En uso
Clínico	Relación de tiempo de uso en cada examen	En uso
	Cobertura de las necesidades	Descartado
	Capacitación	En uso
	Grado de satisfacción del equipo	Descartado
	Operabilidad	En uso

Estadística aspectos:

Aspectos Vs Sujetos	Ingenieros Clinicos o Biomedicos				Gerentes de Clinicas u Hospitales				Publico total	Ajuste Manual
	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5	Sujeto 6	Sujeto 7	Sujeto 8	Promedio total de cada aspecto	
Tecnico	50	55	50	60	30	25	30	35	42	40
Economico	30	35	35	35	50	55	50	50	43	40
Clinico	20	10	15	5	20	20	20	15	16	20

Estadísticas Ítems:

	Ingenieros Clinicos o Biomedicos				Gerentes de Clinicas u Hospitales				Publico total
Items aspectos tecnicos	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5	Sujeto 6	Sujeto 7	Sujeto 8	Promedio total de cada aspecto
Disponibilidad de consumibles	15	14	19	18	12	10	16	14	15
Eventos adversos	15	14	17	13	14	13	15	16	15
Edad del equipo	12	14	14	10	9	8	7	7	10
Correctivos en un año	15	14	14	15	16	14	14	13	14
Servicio tecnico	15	14	15	20	16	17	13	17	16
Repuestos	15	17	13	15	12	17	18	16	15

	Ingenieros Clinicos o				Gerentes de Clinicas u				
Items aspectos economicos	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5	Sujeto 6	Sujeto 7	Sujeto 8	Promedio total de cada aspecto
Mantenimiento total > 50% precio del equipo	30	25	20	35	50	55	50	55	40
Insumo > costo operativo	35	40	40	40	40	40	45	40	40
Relacion de costo de adquisicion vs mantenimiento anual	35	35	40	25	10	5	5	5	20

Items aspectos clinicos	Ingenieros Clinicos o				Gerentes de Clinicas u				Promedio total de cada aspecto
	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3	Sujeto 4	Sujeto 5	Sujeto 6	Sujeto 7	Sujeto 8	
Relacion de tiempo de uso en cada examen	10	15	10	15	20	35	30	25	20
Capacitacion	50	45	40	40	30	40	35	40	40
Operabilidad	40	40	50	45	50	25	35	35	40

2. Documento del ministerio de Salud Colombiano titulado “GUIA PARA DILIGENCIAR LA PROPUESTA DE INDICE DE OBSOLESCENCIA DE EQUIPOS BIOMEDICOS; Pagina 8 (Índice Cualitativo)”

INDICE CUALITATIVO	INDICE		SIGNIFICADO DEL INDICE
Reposición de tecnología (Inmediato)	90	100	El equipo no es viable de mantener en el servicio y se recomienda su reposición.
Renovación de tecnología a la brevedad (Plazo inferior a un año)	40	89,99	El equipo puede mantenerse en el servicio, sin embargo se recomienda su reposición en un plazo inferior a un año
Evaluar tecnología en un año	11	39,99	El equipo se encuentra en condiciones aceptables de funcionamiento pero requiere constante seguimiento y evaluación.
Tecnología NO requiere evaluación ni renovación	1	10,99	El equipo se encuentra en óptimas condiciones.