



# VII CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD

"GENERACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO"

16-18  
junio 2016

Unidad de Seminarios, BUAP



## SISTEMA DE LÓGICA DIFUSA BASADO EN PROTOCOLOS DE RIESGO PARA LA GESTIÓN DE EQUIPO MÉDICO EN LABVIEW

Peña Orea Adán Alonso<sup>a</sup>, Ramírez Sotelo María Guadalupe<sup>b</sup>, Cabrera Llanos Agustín Ignacio<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, [aicllbuda@yahoo.com](mailto:aicllbuda@yahoo.com)

<sup>b</sup>Departamento de Bioingeniería, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.

### RESUMEN:

Este trabajo presenta el desarrollo de un algoritmo de lógica difusa en el entorno gráfico de programación de LabVIEW, en él se acoplan los protocolos de prioridad recomendados por la Emergency Care Research Institute (ECRI) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Dichos organismos recomiendan el empleo de tres métodos para calcular la asignación de prioridad: Modelo de Fennigkoh-Smith, Algoritmo de Wang-Levenson, y Diferenciación por niveles de riesgo. Métodos que realizan una evaluación integral de cada uno de los equipos, tomando en consideración características ponderables específicas de cada equipo médico, y valores subjetivos asignados para el cumplimiento de la misión de cada organización hospitalaria. El algoritmo de programación corresponde a un sistema Multiple Input - Single Output (MISO), al inicio del algoritmo mediante la aplicación de la técnica de máquinas de estados se recopila la información de cada una de los valores requeridos en los métodos para calcular la prioridad del equipo, los cuales son: niveles de riesgo, requerimientos de mantenimiento, riesgo asociado a la aplicación clínica, función del equipo, prioridad del equipo. En el diseño de las funciones de membresía de variables de entrada se acopla la información recabada en la etapa inicial, y por medio de la experiencia. El diseño de la función de membresía de variable de salida, se realiza utilizando los criterios de evaluación de la severidad de los efectos de la falla de los equipos médicos dentro de la organización hospitalaria o en la seguridad del paciente. El sistema permite la evaluación homogénea del grado de prioridad de cada uno de los equipos médicos para la organización hospitalaria.

### 1. INTRODUCCIÓN.

En nuestro país los sistemas de salud dependientes de las entidades gubernamentales, como la Secretaría de Salud Federal, así mismo los Servicios de Salud Estatales, la inversión en equipo médico había sido reportada como muy baja. Temas como la planeación del equipamiento médico, la renovación de estos equipos, la seguridad del paciente y el mantenimiento, componentes, entre otros, de la gestión de equipo médico, no habían tenido tanta importancia como ahora. Así mismo se cuenta con especialistas en la administración de equipos médicos en unidades de salud, sin embargo, aun cuando en los últimos 30 años se han tenido avances importantes en esta materia, éstos se han concentrado fundamentalmente en la iniciativa privada y en unidades médicas de alta especialidad dentro de instituciones gubernamentales de atención a la salud, donde se ha comprobado que una adecuada gestión de equipos médicos es componente primordial de la atención a la salud eficiente y de calidad.[1]

La gestión de equipo médico se define como el conjunto de procedimientos sistemáticos para proveer y evaluar la tecnología apropiada, segura, eficaz y costo efectivo en una unidad de médica o en un sistema de salud. La gestión de equipo médico implica la detección de necesidades, planeación, evaluación, adquisición, instalación, mantenimiento, capacitación, uso, obsolescencia y baja, del equipo médico y/o la reposición del mismo.[2]



La importancia de implementar y desarrollar adecuadamente estrategias y acciones encaminadas a resolver esta problemática, tiene consecuencias hacia la calidad de la atención a la salud, en la seguridad hacia el paciente y en el uso racional y eficiente de los recursos; sobre todo cuando el equipo médico se ha convertido en un componente de costo muy importante tanto al momento de la inversión, como en los costos asociados a la operación y mantenimiento para garantizar un adecuado y seguro funcionamiento, así como que el equipo alcance e incluso supere su vida útil estimada, brindando mayores beneficios a la población.[2]

## 2. TEORÍA

### A. Modelo de Fennigkoh y Smith

Para el cálculo del número de gestión ( $GE$ ) el modelo toma en cuenta: la función del equipo, el riesgo asociado a la aplicación clínica y los requerimientos de mantenimiento, mediante la Ecuación (1):

$$GE = F + R + M \quad (1)$$

Dónde:

- $GE$  es el número de gestión.
- $F$  es la función del equipo,
- $R$  es el riesgo asociado a la aplicación clínica
- $M$  son los requerimientos de mantenimiento. [3]

Cada categoría incluye subcategorías específicas a las que se asigna un determinado número de puntos (Tabla 1, 2 y 3). Los equipos se asignan a diferentes niveles de prioridad en función de dicha puntuación. [2][3]

### Función del equipo.

Comprende diversas áreas en las que se usan los equipos terapéuticos, diagnósticos, analíticos y de otro tipo. (Tabla 1)

Categoría	Función del equipo	Puntos
<b>Terapéutico.</b>	Soporte de vida.	10
	Cirugía y cuidados intensivos.	9
	Terapia física y tratamiento.	8
<b>Diagnóstico.</b>	Monitoreo quirúrgico y de cuidados intensivos.	7
	Otros equipos para el monitoreo de variables fisiológicas y el diagnóstico.	6
<b>Analítico.</b>	Laboratorio analítico.	5
	Accesorios de laboratorio.	4
	Sistema de cómputo y equipos asociados.	3
	Varios Equipos relacionados con los pacientes y otros equipos.	2

*Tabla 1: Ponderación de la Función del Equipo.*

### Riesgo asociado a la aplicación clínica

Este apartado refleja las posibles consecuencias para el paciente, usuarios y/o el equipo durante el uso. (Tabla 2)

Descripción del riesgo de uso.	Puntos
<b>Posible muerte del paciente</b>	5
<b>Posible lesión del paciente o el usuario</b>	4



Terapia inapropiada o falso diagnóstico	3
Daños en el equipo	2
No se detectan riesgos significativos	1

*Tabla 2: Ponderación del Riesgo Asociado a la Aplicación Clínica.*

**Requerimientos de mantenimiento:**

Describe el grado y frecuencia del mantenimiento necesario con base en las indicaciones del fabricante o de la experiencia (Tabla 3).

Requerimientos de Mantenimiento	Puntos
<b>Extensivo: calibración de rutina y reemplazo de partes</b>	5
<b>Superiores al promedio</b>	4
<b>Promedio: verificación del desempeño y pruebas de seguridad</b>	3
<b>Inferiores al promedio</b>	2
<b>Mínimos : inspección visual</b>	1

*Tabla 3: Ponderación de los Requerimientos de Mantenimiento.*

**B. Algoritmo de Wang-Levenson.**

En este algoritmo se calcula un índice de gestión del equipo (#GE) a partir de la prioridad del equipo en una escala de 1 a 10 (correspondiendo 10 puntos a los equipos más importantes para la misión de la organización sanitaria) combinado con los valores de Fennigkoh y Smith para el riesgo y los requerimientos de mantenimiento.

Para el cálculo del índice de gestión del equipo, se utiliza la Ecuación (2):

$$\#GE) = Pi + 2R + 2M \tag{2}$$

Dónde:

- #GE es el índice de gestión.
- Pi es la prioridad del equipo, para la organización sanitaria.
- R es el riesgo asociado a la aplicación clínica
- M son los requerimientos de mantenimiento

El factor de multiplicación de dos, para el riesgo y los requerimientos de mantenimiento se emplea para dar el mismo peso a los tres parámetros. [2][3]

**Prioridad del Equipo.**

El algoritmo de Wang-Levenson requiere para su cálculo la prioridad del equipo en una escala de 1 a 10, donde 10 puntos se asignan a los equipos más importantes para la misión de la organización sanitaria. [2][3]

En la Guía de Procedimientos para un Centro Estatal de Ingeniería Biomedica del Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC) se menciona que "existen cuatro categorías cuyos intervalos no pueden ser flexibles a pesar del buen historial que tengan, los cuales son: equipo de soporte de vida, equipo con reemplazo de piezas obligatorio en un tiempo fijo, equipo que maneja altos niveles de energía y equipos que están sujetos a regulaciones que lo vuelven obligatorio. Si el equipo médico entra en algunas de estas categorías se le asigna una prioridad alta". Con el fin de tener repetitividad en la valoración de la prioridad del equipo se ponderan estas categorías, de la siguiente manera: [3]

Categorías	Puntos
<b>Soporte de vida</b>	10
<b>Altos niveles de energía/ radiación</b>	9



Reemplazo de partes	8
Obligatorio	7
Equipos Fuera de esta Clasificación	6

*Tabla 4: Ponderación de la Prioridad del Equipo.*

**C. Diferenciación por niveles de riesgo.**

**Nivel de Riesgo Alto:** Esta categoría incluye equipos de soporte a la vida, resucitación y aquellos en que un fallo puedan causar serios daños a pacientes u operadores.

**Nivel de Riesgo Medio:** Una anomalía en los equipos incluidos en esta clase, puede tener un significativo impacto sobre el cuidado del paciente, pero no provoca de manera inmediata daños severos.

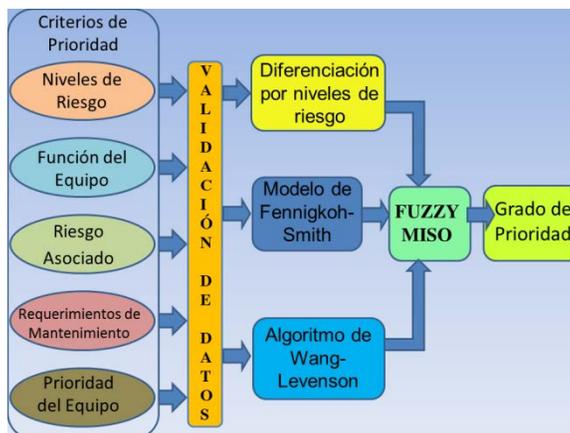
**Nivel de Riesgo Bajo:** En los equipos de este nivel la presencia de cualquier anomalía no causa serias consecuencias. [4]

**D. Lógica Difusa.**

El sistema de control inteligente de lógica difusa consta de tres etapas: Primera la fuzificación donde se realiza la conversión de datos de entrada en variables lingüísticas, además se realiza el diseño de las funciones de pertenencia y las variables lingüística de salida. En la segunda etapa se lleva a cabo la acción de las reglas de inferencia, consistente en la asociación entre los datos de entrada con respecto a los datos de salida de acuerdo con la experiencia de expertos. La *defuzzificación*, último paso, un proceso por el cual los datos se transforman de un valor difuso a un valor numérico. [5]

**3. PARTE EXPERIMENTAL**

Para el desarrollo de este proyecto se ha diseñado el instrumento virtual (VI) en el entorno grafico de programación de LabView, en donde inicialmente se han de ingresar las cinco variables que describen las características que son tomadas en cuenta para el cálculo de los criterios de prioridad, como lo son el nivel de riesgo, la función del equipo, riesgo asociado a su uso, requerimientos de mantenimientos, y prioridad de equipo para la organización hospitalaria. Para este trabajo se eligieron el Modelo de Fennigkoh-Smith, el Algoritmo de Wang-Levenson y la diferenciación por niveles de riesgo como los métodos de ponderación del criterio de prioridad de atención del equipo dentro de una organización hospitalaria, debido a que son los metdos internacionalmente recomendados por la Organización Mundial de la Salud y por el Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. (Figura 1)



*Figura 1.- Diagrama a bloques del algoritmo de la Base de Datos*



Inicialmente el VI adquiere la ponderación para cada una de las variables, con esta información puede calcular el número de gestión y el índice de gestión, que en conjunto con la diferenciación por niveles de riesgo son los datos necesarios para alimentar un sistema Multiple Input- Single Output (MISO), el cual representa un sistema de control inteligente por medio de lógica difusa. En esta etapa el algoritmo realiza una clasificación automática de un grado de inferencia que representa el grado de prioridad de atención de los equipos médicos en la organización hospitalaria.

En donde el diseño de las funciones de membresía de variables de entrada se ha basado en la ponderación obtenida por el Modelo de Fennigkoh-Smith, el Algoritmo de Wang-Levenson y la diferenciación por niveles de riesgo.

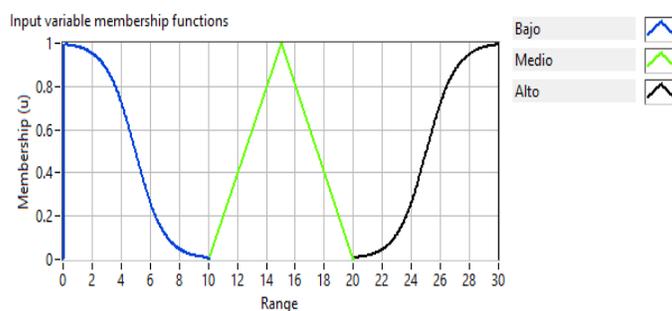


Fig. 2 Función de membresía correspondiente a niveles de riesgo.

El diseño de la función de membresía de variable de salida, se realiza utilizando los criterios de evaluación de la severidad de los efectos de la falla de los equipos médicos dentro de la organización hospitalaria o en la seguridad del paciente. (Tabla 5).

Nivel	Descripción	Puntos
<b>Insignificante</b>	Pequeño o nulo efecto en la organización o en la seguridad del paciente	1
<b>Menor</b>	Causa daños a la organización o en la seguridad del paciente, pero pueden corregirse en breves periodos de tiempo	2
<b>Moderado</b>	Causa daño moderado a la organización / seguridad del paciente	3
<b>Mayor</b>	Causa daño significativo a la organización /seguridad del paciente y que puede generar evento adverso.	4
<b>Catastrófico</b>	Riesgo que influye directamente al cumplimiento de la misión, visión de la organización, o que puede generar evento centinela	5

Tabla 5: Criterios de la Severidad de los Efectos de la Falla

La validación del algoritmo representado en este VI y del sistema de lógica difusa propuesto como clasificador de la prioridad de atención del equipo médico se ha llevado a cabo mediante la incorporación de elementos de entrada que generasen valores aleatorios dentro los rangos ponderados en cada uno los criterios de prioridad. (Fig. 3).

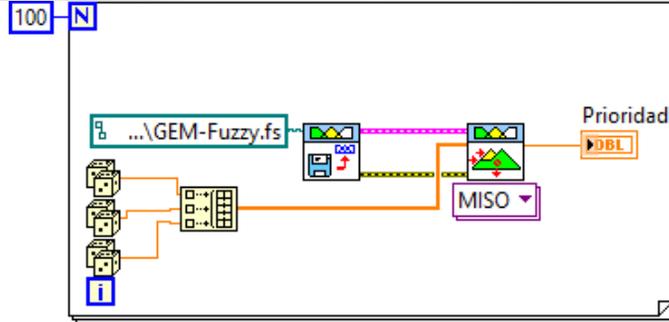


Fig. 3 Diagrama a bloques del VI de validación.

Los valores generados por el sistema de validación son números enteros sin signo, en formato U32 en LabView, que corresponden a todos los posibles resultados que pudiesen ser esperados después de la evaluación integral de cada uno de los equipos médicos. Este resultado nos proporciona el cálculo del grado de inferencia, el cual por ser una evaluación de los criterios de prioridad se ha denominado “Grado de Prioridad del Equipo Médico”.

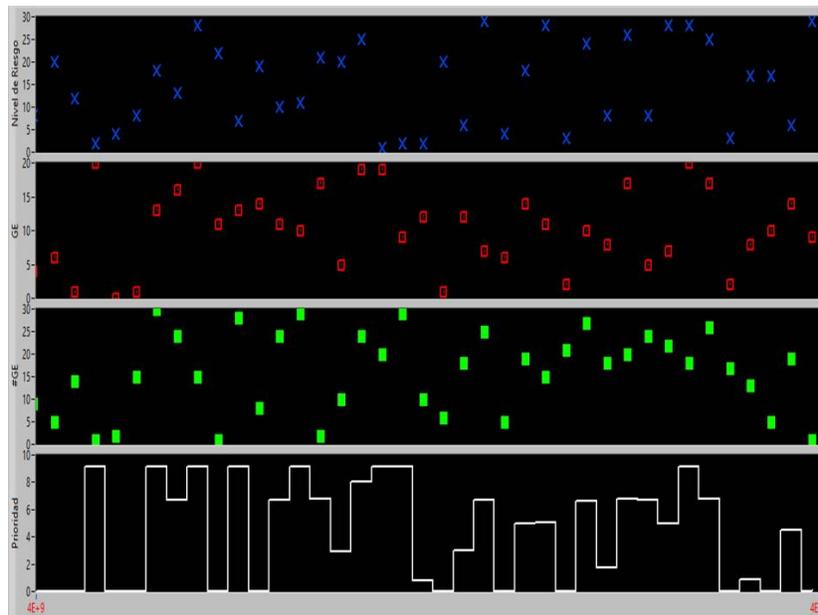


Fig. 4.- Grafica de valores aleatorio de Niveles de riesgo, GE, #GE, y Grado de Prioridad.

En la Tabla 6 se muestra de manera numérica diez casos de valores aleatorios generados por el sistema de prueba para las variables de Niveles de Riesgo, GE, #GE y su respectivo grado de prioridad generado por el sistema de lógica difusa, además en la figura 4 poder observar los datos de manera gráfica.



**VII** CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD  
 "GENERACION DE NUEVAS TECNICAS DE DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO"

**16-18**  
 junio 2016  
 Unidad de Seminarios, BUAP

Nivel de Riesgo	GE	#GE	Grado de Prioridad
29	17	14	6.75079
14	10	25	6.7257
20	19	4	9.13976
26	6	30	9.16286
1	7	20	3.00312
23	3	8	0.14357
28	13	14	2.93296
6	12	20	3.00603
13	4	22	5.00955
28	1	27	6.64557
28	16	25	6.7257

*Tabla 5: Grado de Prioridad Generado*

#### 4. CONCLUSIONES

El generar un sistema de control inteligente que incluya los métodos recomendados de priorización de equipo médico dentro de las organizaciones hospitalarias, además el sistema calcula de manera automatizada, el grado de prioridad de equipo médico, nos permite ofrecer una herramienta que permita unificar criterios en la evaluación del desempeño dentro del departamento de ingeniería biomédica de las organizaciones hospitalarias o del responsable de equipo médico. Este hecho le brindara la información necesaria para poder realizar la solicitud de financiamiento para cubrir sus necesidades de mantenimientos preventivos y correctivos.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] SSA, Programa de acción específico 2007-2012, Gestión de Equipo Médico, Subsecretaría de Innovación y Calidad, Secretaría de Salud, 2007.
- [2] CENETEC-SALUD, Guía de Procedimientos para un Centro Estatal de Ingeniería Biomedica, Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud, Mexico, 2013.
- [3] OMS, Introducción a la gestión de inventarios de equipo médico. (Serie de documentos técnicos de la OMS sobre dispositivos médicos), Organización Mundial de la Salud, 2012
- [4] ECRI, Inspection and Preventive Maintenance System Section 1.5. 1995.
- [5] Passino,-Kevin M, et al, Fuzzy Control, Department of electrical engineering, The Ohio State University, USA, 1998.