

# Modelo de lógica difusa como alternativa para la evaluación de satisfacción de usuarios del laboratorio clínico

*Stephanie Montoya Madriz, MQC<sup>1</sup>, Jose Arturo Molina Mora, MQC<sup>2</sup>*

*1. Caja Costarricense del Seguro Social*

*2. Facultad de Microbiología, Universidad de Costa Rica*

*Correo electrónico: josemolina6@hotmail.com*

## Resumen:

La calidad consiste en un conjunto de características propias de un producto a nivel de variabilidad y cumplimiento de los requerimientos del cliente, el cual también incluye el cómo se brinda el servicio a éste. Una de las principales herramientas en el laboratorio clínico para la medición de la satisfacción de los usuarios la constituyen las encuestas, aunque la extracción de la información es difícil debido a la interpretación que el cliente le dé a las opciones de calificación que se le proponen. La lógica difusa ofrece una alternativa para la gestión de la incertidumbre asociada a las categorías de las variables, por lo que permite el estudio de las actitudes de los consumidores como aproximación a valores intangibles.

Se presenta un modelo basado en lógica difusa para la evaluación de satisfacción de usuarios del laboratorio clínico, en el que se incluyeron reglas de satisfacción utilizando técnicas y algoritmos de minería de datos, dando diferente peso a cada una de ellas de acuerdo a la importancia relativa obtenida de los datos sintéticos utilizados. La eficiencia del modelo para lograr la identificación de la satisfacción general en forma automática fue del 93.3%, siendo adecuada para predecir el comportamiento general. Así, el modelo se formula como una herramienta para gestionar la información de satisfacción obtenida de una encuesta, permitiendo la combinación del reconocimiento de patrones en grandes conjuntos de datos y el manejo de incertidumbre en datos cualitativos o semi-cuantitativos.

**Palabras claves:** Calidad, Satisfacción del usuario, Lógica difusa, Minería de datos.

## Introducción

La calidad consiste en un conjunto de características propias de un producto a nivel de variabilidad y cumplimiento de los requerimientos del cliente, el cual también incluye el cómo se brinda el servicio a éste. Pilares fundamentales de la percepción de la calidad lo constituyen la atención recibida, el producto mismo, la solución de dudas, así como un servicio en un tiempo justo y necesario <sup>(1)</sup>.

En los últimos años ha aumentado la conciencia sobre la calidad del servicio y su gestión, integrando todos los elementos de la organización. La evaluación de dicha gestión se logra, en parte, al medir la satisfacción de los clientes principalmente por medio de encuestas. Se pueden considerar dos razones de peso para la evaluación de la

satisfacción: primero, saber si las organizaciones están actuando acorde a sus objetivos con enfoque al cliente; segundo, el conocimiento del grado de satisfacción permite elaborar predicciones sobre el comportamiento del futuro consumidor <sup>(2)</sup>.

El problema principal de poder extraer información fiable y concisa de estas encuestas es la dificultad de la interpretación que el cliente le dé a las opciones de calificación que se le proponen. Así, la lógica difusa permite el estudio de las actitudes de los consumidores como aproximación a valores intangibles, permitiendo la relación de evaluaciones numéricas de satisfacción y el grado de incertidumbre que se asocia a las evaluaciones lingüísticas <sup>(2)</sup>. La lógica difusa se define como una técnica matemático-computacional que permite trabajar información imprecisa, permitiendo introducir valores

intermedios entre la afirmación completa y la negación absoluta, con lo cual se obtiene la valoración personal a diferente grado de satisfacción (por grados de difuminación) <sup>(3)</sup>.

Dicha metodología fue investigada en los sesentas por el ingeniero Lotfy Zadech, y ha sido aplicada en controladores difusos para máquinas de vapor, de inyección química, reconocimiento de patrones visuales e identificación de segmentos de ADN, entre muchos otros <sup>(3)</sup>. Dentro de las ventajas que ofrece es que permite ver el grado de pertenencia a un conjunto; además los conjuntos difusos no cumplen el principio de contradicción ni de exclusión de la lógica clásica. Asimismo, la simplicidad de los cálculos requeridos (sumas y comparaciones) puede realizarse en sistemas informáticos baratos y rápidos.

La implementación de un modelo difuso comprende tres pasos básicos: (i) la *fuzificación*, en donde las variables de entrada se corresponde a funciones de membresía o categorías escritas como variables lingüísticas; (ii) aplicación del motor de inferencia difusa, en el que se han establecido las reglas que permitirán correr el algoritmo; (iii) el proceso de *defuzificación*, para el cual se realiza un cálculo de área bajo la curva de la gráfica obtenida con el motor, permitiendo asignar dicho valor a una categoría de una variable de salida <sup>(4)</sup>.

El objetivo de la investigación fue implementar un modelo basado en lógica difusa para la evaluación de satisfacción de usuarios del laboratorio clínico.

## Materiales y métodos

### Datos sintéticos de satisfacción

Se utilizaron un total de 534 datos sintéticos de satisfacción de usuarios, los cuales fueron establecidos a partir de una muestra base de 30 encuestas (**cuadro 1**) aplicadas en un laboratorio clínico privado, para que mantuvieran la misma distribución estadística. Para la obtención de los datos se utilizó el software Weka, especializado en algoritmos de minería de datos (<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>). A cada rubro a evaluar se le debió asignar un valor numérico entre 0 y 10 que representaba el grado de satisfacción, siendo 0 la más baja satisfacción y 10 la más alta <sup>(5)</sup>. Los aspectos evaluados fueron: tiempo de respuesta en espera de la atención, tiempo de respuesta en emisión de resultado, instalaciones, desempeño del personal y atención, confiabilidad de los resultados, costos, concordancia de solicitud con lo reportado y agilidad en la resolución de dudas y problemas. Un último rubro, de satisfacción general, se asumió como valor de salida y dependiente de los demás rubros.

**Cuadro 1**

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DEL SERVICIO RECIBIDO											
Con el fin de mejorar el servicio recibido en este laboratorio les rogamos que dediquen una parte de su tiempo para la resolución de esta pequeña encuesta.											
Sexo: _____											
Edad: _____											
Número de veces que ha visitado nuestras instalaciones: _____											
Favor calificar marcando con una X la casilla del 0 al 10 siendo 0 absolutamente insatisfecho y 10 plenamente satisfecho, cada una de las variables del siguiente cuadro.											
Variable a medir	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Tiempo de respuesta para ser atendido											
2. Tiempo de respuesta para emisión resultados											
3. Trato por parte del personal											
4. Adecuación de las instalaciones											
5. Costo											
6. Confiabilidad de los resultados											
7. Comunicación de requisitos toma de muestras											
8. Concordancia de lo solicitado con lo reportado											
9. Agilidad en la resolución de dudas y quejas											
10. Finalmente, la calidad total del servicio											
Utilice el siguiente espacio para algunas otras sugerencias y comentarios											
_____											
_____											

### Diseño de Plataforma

*Variables:* Las variables de entrada correspondieron a cada uno de los rubros evaluados en la encuesta, a excepción del último, satisfacción general, que fue incluida como variable de salida del sistema. Para cada uno, el universo de discurso (rango de valores) correspondió a la nota otorgada en la escala de 0 a 10.

*Fuzificación:* El proceso de *fuzificación* se realizó con el uso de las funciones de membresía, las cuales se establecieron como categorías (variables lingüísticas) de forma específica para cada variable de entrada. La evaluación de cada rubro se normalizó en una escala de 0 a 1.

*Motor de inferencia:* El motor de inferencia difusa se formuló con el uso de reglas básicas y reglas extraídas automáticamente. Las reglas básicas se establecieron de forma directa, de manera que cada categoría dentro de cada variable contribuyera de forma proporcional en la satisfacción de salida; por defecto se asignó un peso de 0.7. Las reglas obtenidas de forma automática se obtuvieron del análisis de minería de datos de las encuestas, en las que se revelaron patrones y relaciones no triviales entre las variables de la encuesta. Se utilizó el programa Weka para la extracción de reglas, con los algoritmos de clasificación de datos J48 (tipo árbol) y PART (por reglas); para cada algoritmo se evaluó el valor predictivo usando el coeficiente de confianza. Dado que estas reglas fueron obtenidas directamente de los datos, el peso asignado fue de 1.

*Defuzificación:* La *defuzificación* se realizó con el resultado obtenido del motor de inferencia al contrastar las variables de entrada con las reglas. Dicho resultado

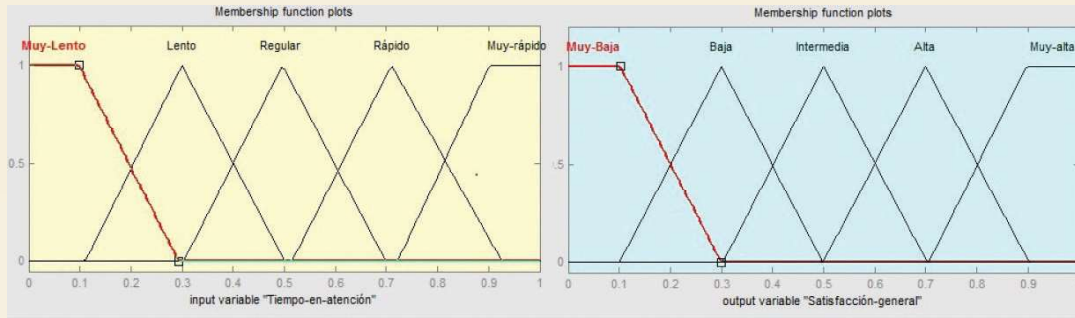


Figura 1. Funciones de membresía para la variable de entrada “Tiempo en atención” (izquierda) y la variable de salida “Satisfacción general” (derecha).

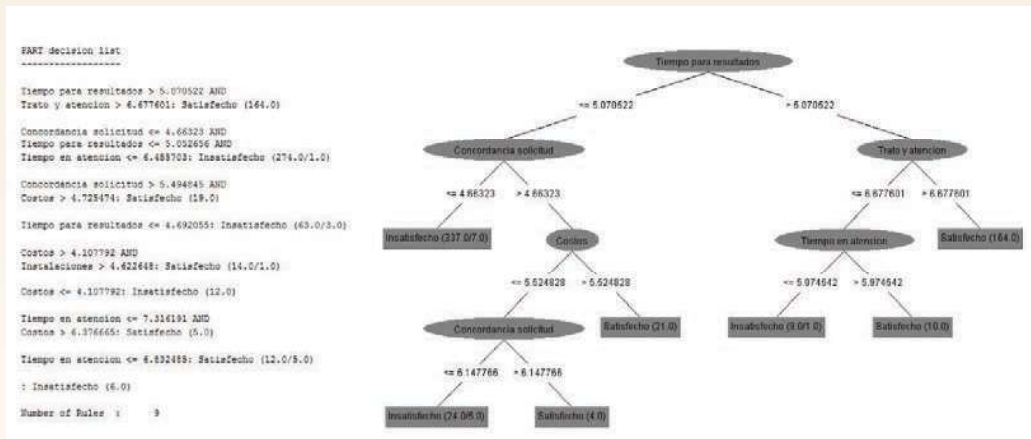


Figura 2. Algoritmos de minería de datos para la obtención automática de reglas.

correspondió a un número entre 0 y 1, que luego se hizo corresponder con una de las categorías de la variable de salida, denominada satisfacción general.

### Implementación y evaluación

Se utilizó la herramienta de lógica difusa del programa MATLAB para el diseño de la plataforma del modelo (<http://www.mathworks.com/products/matlab/>). La evaluación se realizó con las 30 encuestas de satisfacción, en las que se probó la capacidad del modelo para asignar cada encuesta a una categoría de satisfacción general de acuerdo a los demás rubros. El resultado del modelo se contrastó con el brindado en la encuesta para determinar el nivel de confianza del modelo. Además, se establecieron simulaciones de casos particulares para predecir el comportamiento de la variable de salida en función de las entradas.

### Resultados y discusión

La calidad en los laboratorios clínicos incluye la satisfacción de los usuarios como eje fundamental y su evaluación permite la toma de decisiones a fin de

reestructurar el quehacer en la gestión. El análisis de la satisfacción de los usuarios con un paradigma de lógica difusa permite, a partir de información no precisa y cualitativa, definir una valoración global bajo un sistema de reglas en el que se incorporan las variables en diversos grados de importancia, de manera similar al pensamiento del ser humano <sup>(6)</sup>.

La implementación del modelo difuso incluye la formulación de las funciones de membresía y de las reglas básicas, para las cuales se requiere de un experto en el área donde ocurre la implementación. En el caso de las funciones de membresía, el número y tipo de curvas incorporadas fue de forma variable-específica. En la Figura 1 se muestran las categorías para la variable “tiempo en atención” y la salida “satisfacción general” con cinco funciones de membresía como variables lingüísticas.

Las funciones de membresía determinan el grado en que una calificación dada pertenece a cierta categoría, siendo la forma triangular la más común. Por ejemplo, para una calificación de 6.5 en la variable “tiempo en atención” (eje x), en la Figura 1 se obtiene que dicho valor pertenece en

1. If (Tiempo-en-atención is Muy-Lento) or (Tiempo-de-resultados is Muy-lento) or (Atención-dudas-y-quejas is Muy-mala) then (Satisfacción is Muy-Baja) (0.7)
2. If (Tiempo-en-atención is Lento) or (Tiempo-de-resultados is Lento) or (Atención-dudas-y-quejas is Mala) then (Satisfacción is Baja) (0.7)
3. If (Tiempo-en-atención is Regular) or (Tiempo-de-resultados is Regular) or (Atención-y-trato is Regular) or (Costo is Regular) then (Satisfacción is Intermedia) (0.7)
4. If (Tiempo-en-atención is Rápido) or (Tiempo-de-resultados is Rápido) or (Atención-dudas-y-quejas is Buena) then (Satisfacción is Alta) (0.7)
5. If (Tiempo-en-atención is Muy-rápido) or (Tiempo-de-resultados is Muy-rápido) or (Atención-dudas-y-quejas is Muy\_buena) then (Satisfacción is Muy-alta) (0.7)
6. If (Atención-y-trato is Deficiente) or (Instalaciones is No-ade cuadas) or (Confiabilidad is No-confiable) or (Concordancia-resultado-y-solicitud is No-ade cuado) or (Costo is No-ade cuado) then (Satisfacción is Muy-Baja) (0.7)
7. If (Atención-y-trato is Bueno) or (Instalaciones is Adecuadas) or (Confiabilidad is Confiable) or (Concordancia-resultado-y-solicitud is Adecuado) or (Costo is Adecuado) then (Satisfacción is Muy-alta) (0.7)
8. If (Tiempo-en-atención is Muy-rápido) and (Atención-y-trato is Bueno) then (Satisfacción is Muy-alta) (1)
9. If (Tiempo-en-atención is Rápido) and (Atención-y-trato is Bueno) then (Satisfacción is Alta) (1)
10. If (Tiempo-en-atención is Rápido) and (Atención-y-trato is Bueno) then (Satisfacción is Alta) (1)
11. If (Tiempo-en-atención is Muy-Lento) and (Tiempo-de-resultados is Muy-lento) and (Atención-y-trato is Bueno) and (Concordancia-resultado-y-solicitud is No-ade cuado) then (Satisfacción is Muy-Baja) (1)
12. If (Tiempo-en-atención is Lento) and (Tiempo-de-resultados is Lento) and (Concordancia-resultado-y-solicitud is No-ade cuado) then (Satisfacción is Baja) (1)
13. If (Tiempo-en-atención is Muy-Lento) and (Tiempo-de-resultados is Lento) and (Concordancia-resultado-y-solicitud is No-ade cuado) then (Satisfacción is Baja) (1)
14. If (Tiempo-en-atención is Lento) and (Tiempo-de-resultados is Muy-lento) and (Concordancia-resultado-y-solicitud is No-ade cuado) then (Satisfacción is Muy-Baja) (1)
15. If (Concordancia-resultado-y-solicitud is Adecuado) and (Atención-dudas-y-quejas is Buena) then (Satisfacción is Alta) (1)
16. If (Concordancia-resultado-y-solicitud is Adecuado) and (Atención-dudas-y-quejas is Muy\_buena) then (Satisfacción is Muy-alta) (1)
17. If (Instalaciones is Adecuadas) and (Atención-dudas-y-quejas is Buena) then (Satisfacción is Alta) (1)
18. If (Instalaciones is Adecuadas) and (Atención-dudas-y-quejas is Muy\_buena) then (Satisfacción is Muy-alta) (1)

Figura 3. Reglas del motor de inferencia difusa.

un 30% a la función “regular” y en un 70% a la función “rápido” (eje y). De forma análoga se aplicaría para las demás variables de acuerdo a las funciones de membresía que se han definido. Forma alternas del tipo de funciones de membresía, como curvas gaussianas o trapezoidales, fueron evaluadas pero no generaron cambios drásticos en el poder predictivo del modelo.

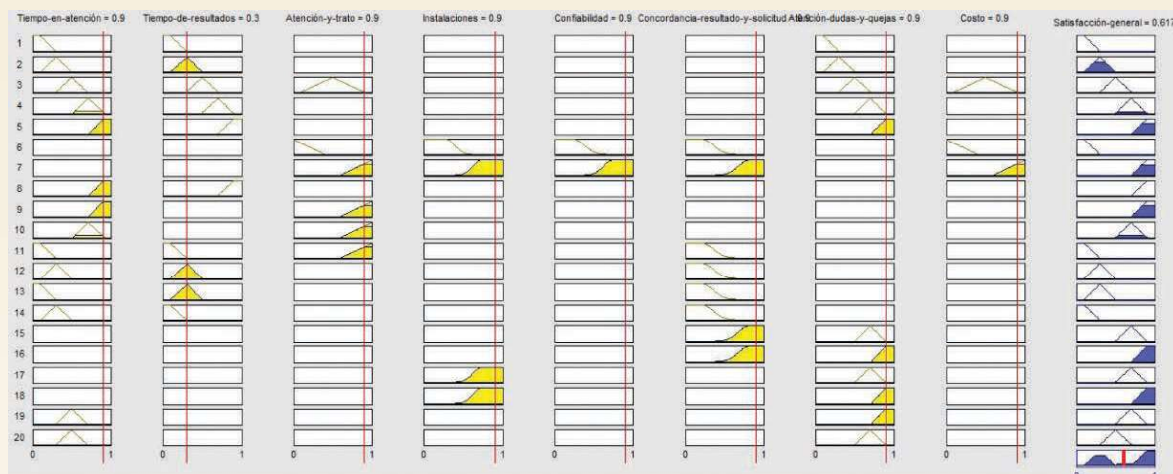
Por otra parte, las reglas básicas que se incorporaron en la arquitectura del modelo lograron que cualquier calificación para cada una de las variables estuviese incluida en alguna de las reglas, de manera que se tiene una cobertura total de las reglas sobre las variables. El peso asignado a éstas fue de 0.7 (en escala de 0 a 1). Sin embargo, así como en otros modelos, la lógica difusa se presenta como una opción para el procesamiento y análisis de datos que se potencia con el uso de algoritmos de minería de datos para la extracción automática de reglas de alto peso. Por ello, para la extracción de reglas no triviales y presentes en los datos de las encuestas, se corrió el algoritmo de árbol de decisión J48 y el algoritmo basado en reglas PART (confianza de clasificación del 94.7% y 95.6% respectivamente), obteniendo que la variable “tiempo en entrega de resultados” es la más crítica para la satisfacción de los usuarios, seguido de la “atención y trato del personal” y “tiempo en ser atendido”, tal y como se observa en la Figura 2. Las diversas relaciones entre éstas y las demás variables permitieron la formulación de reglas de mayor peso (asignado como 1), de acuerdo a los patrones encontrados, que las reglas básicas directas. Las reglas y los diversos pesos que fueron asignados son mostrados en la Figura 3.

La importancia de la detección automática de reglas es que dentro de los conjuntos de datos, se pueden identificar relaciones que influyen en los usuarios del laboratorio respecto a su satisfacción general, y que por escrutinio manual de datos podría ser laborioso y poco eficiente. Debe hacerse énfasis que las reglas que se puedan obtener de ésta forma serán muy particulares de la organización que es evaluada, debido a las necesidades o requisitos que posean sus usuarios.

La relevancia otorgada en el modelo recae directamente sobre el motor de inferencia difusa, el cual es el ente integrador entre las variables de entrada y las reglas, de manera que la calificación que el usuario brinda a cada rubro se somete a la *fuzificación*, pasándolo a una categoría de las variables lingüísticas. Así, el motor de inferencia logra la unificación de las diferentes entradas mediante las reglas establecidas. En la Figura 4 se muestra la representación gráfica de las reglas y en la última columna de cada regla se observa el resultado gráfico del procesamiento en el motor. La intersección de todas las gráficas por regla es mostrada al final de la última columna, al cual se le calcula el área bajo la curva (método de centroide) y corresponde al valor de satisfacción general del modelo. Posteriormente, dicho valor final de satisfacción total se hace pertenecer a una categoría.

En el ejemplo mostrado en la Figura 4, se presenta un caso en el que todos los rubros fueron evaluados con un 9, a excepción del rubro de tiempo de entrega de resultados, que se asignó como 3. La evaluación del modelo indica que la satisfacción general corresponde a un 6.17 localizándose en una satisfacción general intermedia-alta, lo cual es esperable ya que la variable “tiempo de entrega de resultados” fue una de las más críticas para los usuarios, como se reveló en la obtención automática de las reglas. Esto se contrasta al probar el modelo asignando todos las variables de entradas con 0.9, para el cual se obtuvo una satisfacción general de 8.97 (datos no mostrados). Para ese caso, la satisfacción general de un usuario con estas evaluaciones pertenece a la categoría de satisfacción muy alta.

Esto muestra como el modelo otorga mayor peso a las variables más significativas, y que tiene una implicación en la variable de salida. Las simulaciones de las restantes 30 encuestas (datos no mostrados) fueron evaluadas de forma directa para evaluar diversas posibilidades de predicción. La eficiencia del modelo para lograr la identificación de la satisfacción general en cada una de las encuestas fue del 93.3% (28 aciertos de 30), siendo totalmente adecuada para predecir el comportamiento de



**Figura 4.** Motor de inferencia difusa con representación gráfica de las reglas y proceso de defuzzificación.

acuerdo a las variables de entrada, dado que lo aceptado es mayor a un 90%.

De ésta manera, el modelo presentado se formula como una herramienta para gestionar la información de satisfacción, permitiendo la combinación del reconocimiento de patrones en grandes conjuntos de datos y el manejo de incertidumbre en datos cualitativos o semi-cuantitativos, como lo son las categorías de las variables del modelo. El alto rendimiento del modelo y la simplicidad matemática, a diferencia de otros paradigmas, son parte de las ventajas.

La implementación de esta herramienta a nivel de laboratorios que estén interesados en la medición de la satisfacción del cliente de la manera más precisa posible, es sumamente viable. El solo hecho de facilitar la modalidad de encuesta eligiendo los rubros a evaluar y dando una calificación numérica, hace que se disminuya la posibilidad de sesgos originados por la forma en como interpretan los clientes la encuesta, puesto que las categorías las propone el experto posteriormente, basado en sus propios conocimientos. Además, con la diversidad de programas computacionales disponibles, resulta fácil emplear y ejecutar esta metodología como herramienta

para integrarla al modelo de gestión de calidad de un laboratorio particular.

## Referencias

1. Pérez, A. Calidad total en la atención al cliente. Pautas para garantizar la excelencia en el servicio. Primera edición. Vigo, España, 2006.
2. Martínez, J. A.; Martínez, L. La Medición de la satisfacción del consumidor de servicios deportivos a través de la lógica borrosa. *Revista de Psicología del Deporte*. 2010; 19(1), 41-58.
3. Benito, T.; Durán, M. *Lógica difusa*. Universidad Carlos III. Madrid. 2011.
4. Chang, Ching-Liang. *Fuzzy-logic-based programming*. Editorial World Scientific. *Advances in Fuzzy Logic. Applications and Theory*. 2009; 15.
5. Preston, C. C.; Colman, A. M. Optimal number of response categories in rating scales: reliability, validity, discriminating power, and respondent preferences. *Acta Psychologica*, 2000; 104(1), 1-15.
6. Díaz, G.; López, J. A.; Caicedo, E. Aplicación de la lógica difusa tipo dos en una planta didáctica en control de procesos industriales, respecto de las variables nivel y flujo. *Sistemas & telemática*. 2009; 7(13), 13-32. ④