

# Aplicación de lógica difusa en el análisis de inspecciones heurísticas de usabilidad

## Application of fuzzy logic in the analysis of heuristic usability inspections

CHANCHI, Gabriel E. <sup>1</sup>

OSPINA, Manuel A. <sup>2</sup>

MONROY, Martín E. <sup>3</sup>

### Resumen

Uno de los métodos más difundidos para evaluar la usabilidad de un sistema software es la inspección heurística, mediante la cual un grupo de expertos inspeccionan la usabilidad de un software considerando un conjunto de principios heurísticos. Teniendo en cuenta que generalmente estos estudios son realizados de forma no automatizada, este artículo propone una herramienta para la ejecución de estas evaluaciones y el análisis de los resultados obtenidos mediante lógica difusa.

**Palabras clave:** inspección heurística, lógica difusa, principios heurísticos, usabilidad

### Abstract

One of the most widespread methods for evaluating the usability of a software system is heuristic inspection, by means of which a group of experts inspect the usability of a software considering a set of heuristic principles. Taking into account that these studies are generally carried out in a non-automated way, in this paper we propose a tool for the execution of these evaluations and the analysis of the results obtained using fuzzy logic.

**Keywords:** fuzzy logic, heuristic inspection, heuristic principles, usability

---

## 1. Introducción

Con el incremento en el número de aplicaciones desplegadas en internet y el número de usuarios que acceden y hacen uso de estas, aspectos como la usabilidad se han convertido en un elemento fundamental de cara a propiciar el desarrollo centrado en el usuario por parte de las empresas desarrolladoras (Pérez-Medina, Vanderdonckt, & Villareal-Narvaez, 2019). En este sentido la vinculación de la usabilidad, en el proceso del desarrollo, posibilita que las empresas del área del software sean más competitivas al permitir que el usuario sea más productivo en cuanto a las tareas que desarrolla en el software. Del mismo modo al permitir el desarrollo de productos centrados en el usuario, se disminuyen los costos de mantenimiento y capacitación (Garrett, 2010).

---

<sup>1</sup> Profesor de la Universidad de Cartagena. Programa de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, MSc. en Ingeniería Telemática, PhD. en Ingeniería Telemática. gchanchig@unicartagena.edu.co

<sup>2</sup> Profesor de la Universidad de Cartagena. Programa de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. Ingeniero de Control, MSc. en Ingeniería Materiales y Procesos, Doctor en Ingeniería Ciencia y Tecnología de Materiales. mospinaa@unicartagena.edu.co

<sup>3</sup> Profesor de la Universidad de Cartagena. Programa de Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. Ingeniero de Sistemas, MSc. en Ciencias Computacionales, PhD. en Ingeniería Telemática. mmonroyr@unicartagena.edu.co

Según la ISO/IEC 9126 la usabilidad de un producto software se entiende como la capacidad de un software para ser comprendido, aprendido, usado y que resulte atractivo para el usuario. De otra parte, las normas ISO 9241-11 e ISO/IEC 25010 la definen como el grado en que un producto o sistema puede ser usado para lograr objetivos específicos con eficiencia, eficacia y satisfacción en un contexto de uso concreto (González-Sánchez, Montero-Simarro, & Gutierrez-Vela, 2012). El atributo *eficacia* de la ISO 9241-11 está asociado al cumplimiento de los objetivos por parte del usuario y puede relacionarse con la ISO 9126 en cuanto a la capacidad del software de ser usado; el atributo *eficiencia* de la ISO 9241-11 hace referencia a la optimización de los recursos (tiempo) y puede relacionarse con la ISO 9126 en cuanto a la capacidad del software para ser comprendido y aprendido; finalmente, el atributo *satisfacción* hace referencia a la comodidad en cuanto al uso de un software y puede relacionarse con la ISO 9126 en lo referente a la capacidad del software de resultar atractivo al usuario (Delgado, Girón, Chanchí, & Márceles, 2018; Enriquez & Casas, 2013).

La usabilidad puede emplearse en el proceso de desarrollo de software en diferentes fases como son: la fase de diseño y la fase de evaluación. En la fase de diseño se puede hacer uso de un conjunto de principios o heurísticas para guiar el proceso de diseño de un producto software, mientras que en la fase de evaluación uno de los métodos más difundidos es el de la inspección heurística, en la cual un grupo de expertos (de 3 a 5 evaluadores) exploran e inspeccionan el cumplimiento de un conjunto de heurísticas de usabilidad en un producto software (Enriquez & Casas, 2013). Para evaluar el cumplimiento de los principios heurísticos inspeccionados, los evaluadores cuentan con un conjunto de criterios de verificación que son valorados en un rango o escala específica (Chanchí, Pérez, & Campo, 2019). Dado que generalmente las inspecciones de usabilidad se ejecutan de manera no automatizada y se requiere estimar un nivel de usabilidad a partir de las valoraciones asignadas por los evaluadores a los diferentes criterios asociados a las heurísticas de usabilidad, este artículo propone una herramienta que permite automatizar la ejecución de inspecciones de usabilidad, teniendo como aporte el uso de lógica difusa para el análisis y toma de decisiones usando reglas de inferencia en cuanto a la determinación del nivel de usabilidad en el software evaluado.

La lógica difusa es una herramienta matemática que provee una forma fácil de llegar a una conclusión específica basada en una información de entrada que puede ser indefinida, inexacta o vaga (Zadeh, 1994). Existen propuestas que definen los factores más importantes que impactan la capacidad de uso de productos software (Kumar Dubey, Sharma, & Rana, 2012), proponen modelos para evaluar la usabilidad usando lógica difusa (Hub & Zatloukal, 2010; Gupta & Ahlawat, 2016), y presentan enfoques que consideran el proceso de generación de sistemas interactivos como un problema de optimización de usabilidad mediante el enfoque de ingeniería basado en modelos aplicando lógica difusa (Hentati, Trabelsi, Ammar, & Mahfoudhi, 2016). Otras proponen metodologías para evaluar la usabilidad en sistemas de información para la administración pública aplicando lógica difusa (Hub & Zatloukal, 2008).

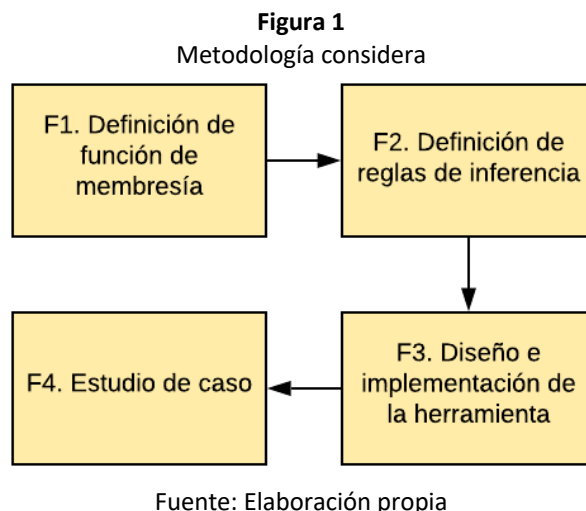
En este sentido, se pretende aprovechar las ventajas y utilidades que provee la lógica difusa en diferentes áreas del conocimiento, de tal modo que tomando como entrada las valoraciones promedio otorgadas por los evaluadores a los criterios y heurísticas, se obtenga a través de un conjunto de reglas de inferencia usando el método de los centroides un nivel de usabilidad expresado mediante variables lingüísticas, lo cual facilita una mejor interpretación de los valores numéricos obtenidos de manera tradicional en las inspecciones de usabilidad (Díaz, Coba, & Navarrete, 2017; Ruvalcoba & Vermonden, 2015).

Este trabajo pretende servir de referencia en cuanto al uso de la lógica difusa en el campo de la interacción humano computador, de tal modo que este estudio puede ser extrapolado al desarrollo de inspecciones de accesibilidad, apoyadas en el uso de lógica difusa. El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta la metodología empleada para el desarrollo de la presente investigación; en la sección 3 se presenta la descripción de las funciones de membresía consideradas y las reglas de inferencia definidas; en

la sección 4 se describe la estructura funcional de la herramienta automatizada para la conducción de inspecciones de usabilidad; en la sección 5 se presenta el caso de estudio considerado para la evaluación del modelo de lógica difusa definido; finalmente en la sección 6 se presentan las conclusiones y trabajos futuros derivados de la presente investigación.

## 2. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, se consideraron 4 fases a saber: definición de funciones de membresía, definición de reglas de inferencia, diseño e implementación de la herramienta y finalmente estudio de caso (ver Figura 1).



En la fase 1 se definieron las funciones de membresía para las valoraciones promedio de entrada asignadas por los expertos de la evaluación heurística y para el nivel de usabilidad de salida. De este modo se precisaron y representaron gráficamente las categorías asociadas a las valoraciones y al nivel de usabilidad. En la fase 2, a partir de las categorías y funciones de membresía planteadas en la fase 1, se determinaron un conjunto de reglas de inferencia, de tal modo que a partir de las valoraciones promedio de entrada se obtenga un nivel de usabilidad de salida. En la fase 3 se realizó el diseño e implementación de la herramienta para la conducción de inspecciones de usabilidad, incluyendo el análisis mediante lógica difusa para la obtención del nivel de usabilidad. Finalmente, en la fase 4 se realizó un estudio de caso para verificar la utilidad de la herramienta y del análisis de lógica difusa, teniendo en cuenta los principios heurísticos de Constantine. Las fases 1 y 2 son abordadas en la sección 3 del artículo, la fase 3 de la metodología es considerada en la sección 4 y finalmente la fase 4 es descrita en la sección 5.

## 3. Funciones de membresía y reglas de Inferencia

En esta sección se describe la definición de las categorías y funciones de membresía asociados a las valoraciones promedio de entrada de los evaluadores de la inspección heurística y al nivel de salida de usabilidad. Del mismo modo, se presentan las reglas de inferencia consideradas a partir de las funciones de membresía y categorías definidas. Cabe resaltar que para este caso se consideró una evaluación heurística conformada por 3 evaluadores.

### 3.1. Funciones de membresía

A nivel de la lógica difusa, se definieron funciones de membresía para los valores de entrada (valoraciones promedio de los participantes en la inspección) y para el valor de salida (nivel de usabilidad). De esta manera,

para las tres valoraciones promedio de entrada se definieron tres posibles categorías (mala, regular y buena), cada una de las cuales tiene asociada una función de membresía propia. Así, en la ecuación 1 se muestra la función de membresía de la categoría mala ( $\mu_{mala}(x)$ ). El valor de  $x$  en cada una de las funciones de membresía representa el rango de la valoración de entrada, el cual varía entre 0 y 5.

**Ecuación 1**

Función de membresía de la categoría mala.

$$\mu_{mala}(x) = \begin{cases} 1, & x < 0 \\ \frac{3-x}{3}, & 0 \leq x \leq 3 \\ 0, & x > 3 \end{cases} \quad (1)$$

De la misma forma en la ecuación 2 se muestra la función de membresía para la categoría de valoración regular ( $\mu_{regular}(x)$ ).

**Ecuación 2**

Función de membresía de la categoría regular.

$$\mu_{regular}(x) = \begin{cases} 0, & x < 2.5 \\ \frac{4x-10}{3}, & 2.5 \leq x \leq 3.25 \\ \frac{16-4x}{3}, & 3.25 < x \leq 4.0 \\ 0, & x > 4.0 \end{cases} \quad (2)$$

Así mismo, en la ecuación 3 se presenta la función de membresía para la categoría de valoración buena ( $\mu_{buena}(x)$ ).

**Ecuación 3**

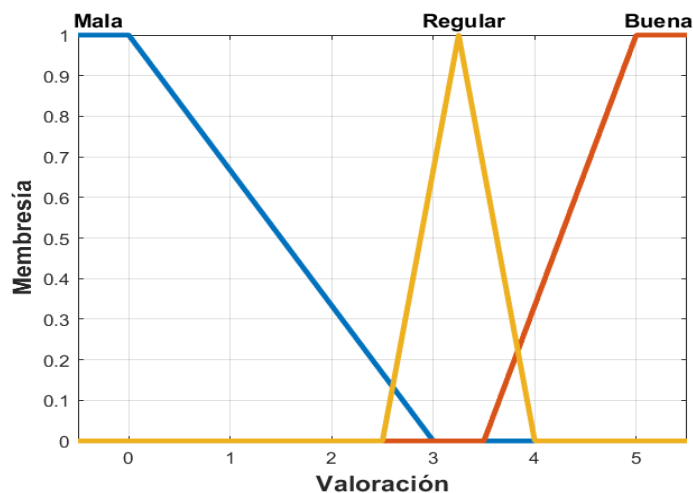
Función de membresía de la categoría buena.

$$\mu_{buena}(x) = \begin{cases} 0, & x < 3.5 \\ \frac{2x-7}{3}, & 3.5 \leq x \leq 5 \\ 1, & x > 5 \end{cases} \quad (3)$$

Las funciones de membresía presentadas en las ecuaciones 1, 2 y 3 se pueden apreciar de manera más clara en la Figura 2 donde se integran las 3 funciones de membresía asociadas a las categorías: mala, regular y buena.

**Figura 2**

Funciones de membresía asociadas a las valoraciones.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que las 3 funciones de membresía de la Figura 2 se encuentran asociadas a las valoraciones promedio de entrada de los tres evaluadores considerados en la inspección de usabilidad. Del mismo modo, para la determinación del nivel de usabilidad de salida, se definieron cuatro posibles categorías (excelente, bueno, aceptable y deficiente), cada una con una función de membresía propia. Así, en la ecuación 4 se muestra la función de membresía de la categoría mala ( $\mu_{deficiente}(x)$ ). El valor de  $x$  en cada una de las funciones de membresía representa el porcentaje de usabilidad, el cual varía entre 0 y 100.

**Ecuación 4**

Función de membresía del nivel deficiente

$$\mu_{deficiente}(x) = \begin{cases} 1, & x < 0 \\ \frac{55 - x}{55}, & 0 \leq x \leq 55 \\ 0, & x > 55 \end{cases} \quad (4)$$

De la misma forma en la ecuación 5 se muestra la función de membresía para el nivel de usabilidad aceptable ( $\mu_{aceptable}(x)$ ).

**Ecuación 5**

Función de membresía del nivel aceptable

$$\mu_{aceptable}(x) = \begin{cases} 0, & x < 50 \\ \frac{x - 50}{10}, & 50 \leq x \leq 60 \\ \frac{70 - x}{10}, & 60 < x \leq 70 \\ 0, & x > 70 \end{cases} \quad (5)$$

Así mismo, en la ecuación 6 se presenta la función de membresía para el nivel de usabilidad bueno ( $\mu_{bueno}(x)$ ).

**Ecuación 6**

Función de membresía del nivel bueno

$$\mu_{bueno}(x) = \begin{cases} 0, & x < 65 \\ \frac{x - 65}{10}, & 65 \leq x \leq 75 \\ \frac{85 - x}{10}, & 75 < x \leq 85 \\ 0, & x > 85 \end{cases} \quad (6)$$

Finalmente, en la ecuación 7 se presenta la función de membresía para el nivel de usabilidad excelente ( $\mu_{excelente}(x)$ ).

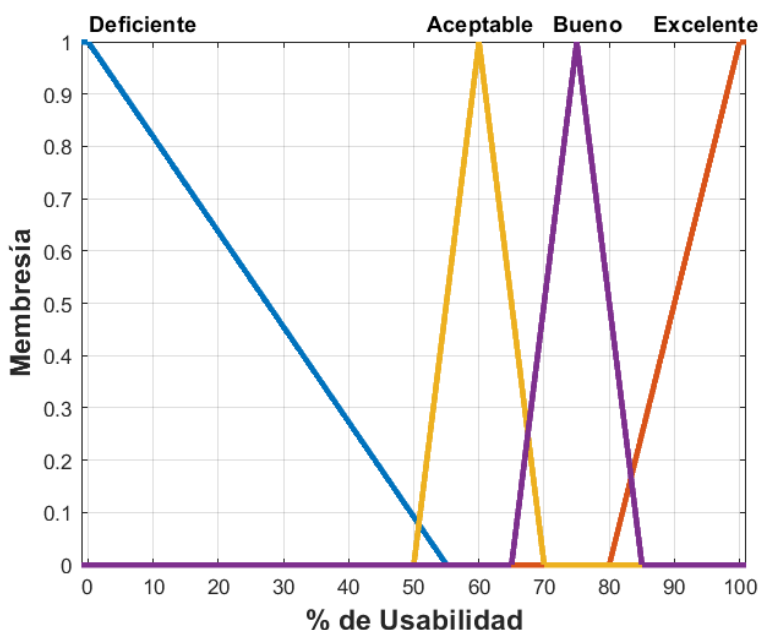
**Ecuación 7**

Función de membresía del nivel excelente

$$\mu_{excelente}(x) = \begin{cases} 0, & x < 80 \\ \frac{x - 80}{20}, & 80 \leq x \leq 100 \\ 1, & x > 100 \end{cases} \quad (7)$$

Las funciones de membresía presentadas en las ecuaciones 4,5,6 y 7 se pueden apreciar de manera más clara en la Figura 3 donde se integran las 4 funciones de membresía asociadas a los niveles de usabilidad: deficiente, aceptable, bueno y excelente.

**Figura 3**  
Funciones de membresía asociadas al nivel de usabilidad.



Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Reglas de inferencia

A partir de las funciones de membresía definidas para las valoraciones de entrada y para el nivel de usabilidad de salida presentadas en la sección 3.1, se definieron un conjunto de 27 reglas de inferencia haciendo uso del lenguaje FCL (“Fuzzy Controler Language”), las cuales son presentadas en la Tabla 1. Estas reglas de inferencia permiten relacionar las entradas (valoraciones promedio de los evaluadores) con la salida (nivel de usabilidad). Así, a modo de ejemplo en la regla 1, si las valoraciones promedio de entrada asociada a los evaluadores 1, 2 y 3 son catalogadas como buenas entonces el nivel de usabilidad de salida es excelente.

**Tabla 1**  
Reglas definidas para la determinación del nivel de usabilidad.

Nº Regla	Regla
1	IF ev1 IS buena AND ev2 IS buena AND ev3 IS buena THEN nivel IS excelente
2	IF ev1 IS buena AND ev2 IS buena AND ev3 IS regular THEN nivel IS excelente
3	IF ev1 IS buena AND ev2 IS buena AND ev3 IS mala THEN nivel IS bueno
4	IF ev1 IS buena AND ev2 IS regular AND ev3 IS buena THEN nivel IS excelente
5	IF ev1 IS buena AND ev2 IS regular AND ev3 IS regular THEN nivel IS bueno
6	IF ev1 IS buena AND ev2 IS regular AND ev3 IS mala THEN nivel IS aceptable
7	IF ev1 IS buena AND ev2 IS mala AND ev3 IS buena THEN nivel IS bueno

N° Regla	Regla
8	IF ev1 IS buena AND ev2 IS mala AND ev3 IS regular THEN nivel IS aceptable
9	IF ev1 IS buena AND ev2 IS mala AND ev3 IS mala THEN nivel IS deficiente
10	IF ev1 IS regular AND ev2 IS buena AND ev3 IS buena THEN nivel IS excelente
11	IF ev1 IS regular AND ev2 IS buena AND ev3 IS regular THEN nivel IS bueno
12	IF ev1 IS regular AND ev2 IS buena AND ev3 IS mala THEN nivel IS aceptable
13	IF ev1 IS regular AND ev2 IS regular AND ev3 IS buena THEN nivel IS bueno
14	IF ev1 IS regular AND ev2 IS regular AND ev3 IS regular THEN nivel IS aceptable
15	IF ev1 IS regular AND ev2 IS regular AND ev3 IS mala THEN nivel IS aceptable
16	IF ev1 IS regular AND ev2 IS mala AND ev3 IS buena THEN nivel IS aceptable
17	IF ev1 IS regular AND ev2 IS mala AND ev3 IS regular THEN nivel IS aceptable
18	IF ev1 IS regular AND ev2 IS mala AND ev3 IS mala THEN nivel IS deficiente
19	IF ev1 IS mala AND ev2 IS buena AND ev3 IS buena THEN nivel IS bueno
20	IF ev1 IS mala AND ev2 IS buena AND ev3 IS regular THEN nivel IS aceptable
21	IF ev1 IS mala AND ev2 IS buena AND ev3 IS mala THEN nivel IS deficiente
22	IF ev1 IS mala AND ev2 IS regular AND ev3 IS buena THEN nivel IS aceptable
23	IF ev1 IS mala AND ev2 IS regular AND ev3 IS regular THEN nivel IS aceptable
24	IF ev1 IS mala AND ev2 IS regular AND ev3 IS mala THEN nivel IS deficiente
25	IF ev1 IS mala AND ev2 IS mala AND ev3 IS buena THEN nivel IS deficiente
26	IF ev1 IS mala AND ev2 IS mala AND ev3 IS regular THEN nivel IS deficiente
27	IF ev1 IS mala AND ev2 IS mala AND ev3 IS mala THEN nivel IS deficiente

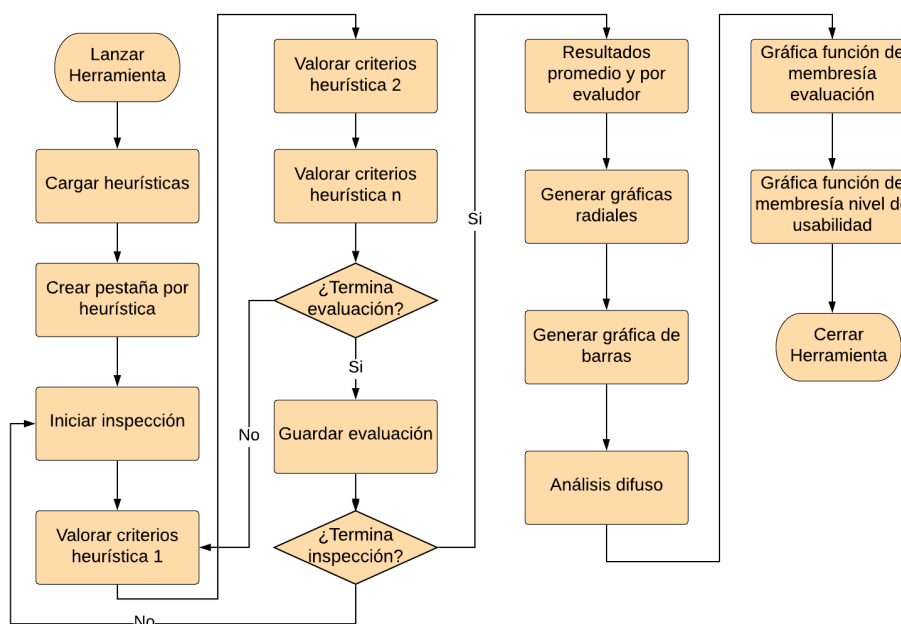
Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Herramienta automatizada para inspecciones de usabilidad

En esta sección se describe el diseño y la implementación de la herramienta automatizada para la conducción de evaluaciones heurísticas de usabilidad. En la Figura 4 se muestra el diagrama de flujo que representa los diferentes procesos desarrollados por la herramienta.

**Figura 4**

Diagrama de flujo de la herramienta automatizada.



Fuente: Elaboración propia.

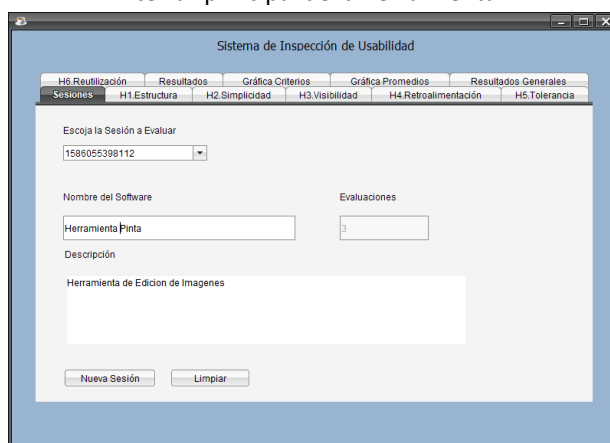
En primer lugar, una vez lanzada la herramienta automatizada para la conducción de inspecciones de usabilidad, se continúa con el procesamiento y obtención de las heurísticas configuradas previamente por el coordinador de la prueba desde un archivo de texto plano. En este archivo se configura siguiendo un formato predefinido, el nombre de las heurísticas y los criterios asociados a éstas. Una vez cargadas las heurísticas y sus criterios asociados desde el archivo, la herramienta automatizada se encarga de generar en la interfaz gráfica una pestaña por heurística, cada una de las cuales contiene un conjunto de criterios expresados en términos de pregunta. Al ser cargadas las heurísticas y criterios en la interfaz gráfica, se da inicio a la inspección de usabilidad por parte de cada uno de los evaluadores, quienes valoran el cumplimiento de los criterios asociados a cada una de las heurísticas en un software determinado. Una vez cada evaluador califica los criterios pertenecientes a cada una de las heurísticas, los datos son almacenados en una base de datos con un mismo identificador de sesión para cada inspección heurística. Cuando la inspección termina, es posible consultar los resultados de la sesión presente o de una sesión pasada, de tal modo que se pueden obtener los promedios por heurística, por evaluador o los promedios generales. Del mismo modo es posible obtener las gráficas radiales y de barras por heurística, por evaluador y de manera consolidada. Finalmente, a partir de los datos guardados en las sesiones es posible realizar el análisis de los datos mediante lógica difusa, usando las funciones de membresía definidas para las evaluaciones y el nivel de usabilidad, así como las reglas de inferencia para obtener un nivel de usabilidad de salida. De la misma manera, es posible obtener las gráficas de las funciones de membresía de las evaluaciones y del nivel de usabilidad. Lo anterior es posible gracias a la librería “jFuzzyLogic” de Java, la cual permite la configuración en un archivo de texto plano mediante el lenguaje FCL de las funciones de membresía de entrada y salida, así como las reglas de inferencia.

A partir del diagrama de flujo presentado en la Figura 4, en la Figura 5 se muestra la interfaz principal de la herramienta automatizada para la conducción de inspecciones de usabilidad. De este modo, la herramienta de la Figura 5 está conformada por un total de 11 pestañas, 6 de ellas corresponden a cada una de las heurísticas de Costantine (Estructura, Simplicidad, Visibilidad, Retroalimentación, Tolerancia y Reutilización) y sus criterios asociados, las cuales se consideraron en el presente artículo para la conducción del caso de estudio. En la primera pestaña se crea una nueva sesión de evaluación o se selecciona una sesión existente para continuar con la



evaluación de una sesión previamente almacenada. En caso de crear una nueva sesión se ingresa el nombre del software a evaluar y su descripción.

**Figura 5**  
Interfaz principal de la herramienta.



Fuente: Elaboración propia.

De la pestaña 2 a la 7, la herramienta permite a los diferentes evaluadores calificar los diferentes criterios asociados a las heurísticas de usabilidad de Constantine, para lo cual pueden asignar una valoración entre 0 y 5, o N/A en caso que un determinado criterio no se aplique al software evaluado (ver Figura 6).

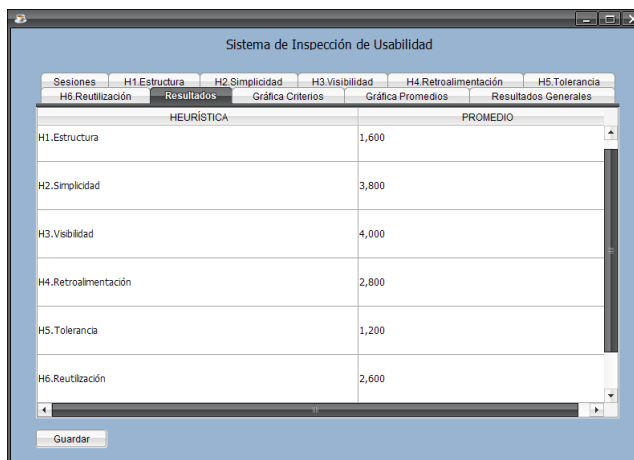
**Figura 6**  
Valoración de las heurísticas de Constantine.

ID	CRITERIO	VALOR
C1	¿En qué grado la estructura de las opciones del aplicativo es fácilmente reconocible?	2
C2	¿En qué medida las diferentes opciones han sido agrupadas por funcionalidad dentro del aplicativo?	3
C3	¿En qué grado la estructura del aplicativo guarda relación con otras aplicaciones del mismo contexto?	0 1 2 3
C4	¿En que medida se han usado iconos convencionales en las diferentes opciones?	4 5 N/A
C5	¿En qué medida la estructura de las diferentes vistas del aplicativo es consistente?	

Fuente: Elaboración propia

Una vez las heurísticas y criterios han sido calificados por el evaluador, en la pestaña “Resultados” se presentan los promedios generales de cada heurística, los cuales fueron obtenidos al hallar el promedio de los criterios pertenecientes a dicha heurística (ver Figura 7). Así a modo de ejemplo, al promediar los criterios de la heurística H2, se obtiene un promedio de 3.8.

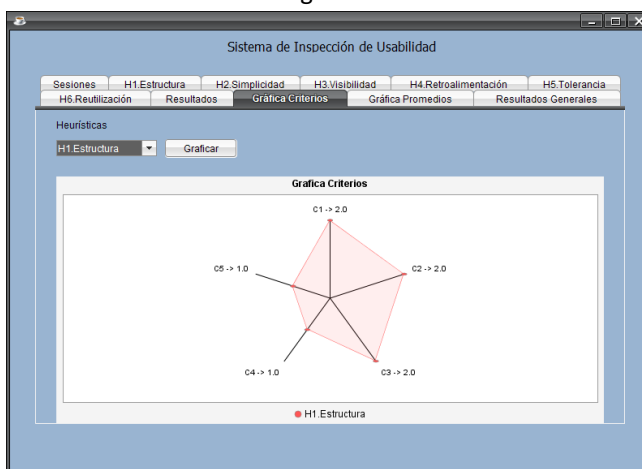
**Figura 7**  
Pestaña resultados de la herramienta.



Fuente: Elaboración propia

En la pestaña “Gráfica Criterios” por su parte, es posible obtener diferentes tipos de gráficas radiales asociadas a la evaluación que se está realizando, de tal modo que se puede obtener una gráfica radial general (todas las heurísticas) o una gráfica radial específica por cada heurística considerada. En la Figura 8 se muestra la gráfica radial perteneciente a la heurística “Estructura”. Esta gráfica radial permite observar el nivel gráfico de cumplimiento de los criterios pertenecientes a la heurística “Estructura” de Constantine.

**Figura 8**  
Pestaña de gráficas radiales.

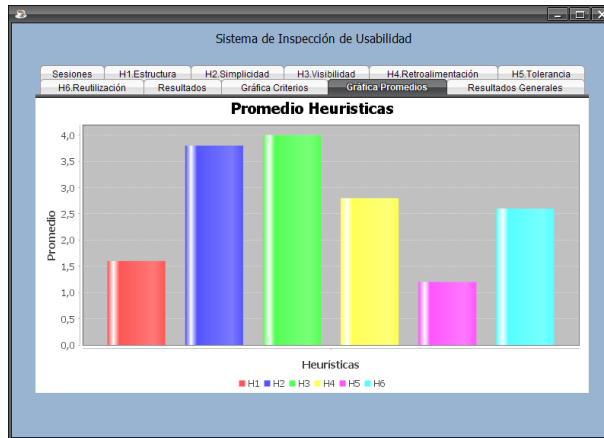


Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, en la pestaña “Gráfica Promedios” es posible observar una gráfica de barras con los promedios generales asignados por el evaluador de la sesión actual a cada una de las heurísticas de Constantine, luego de calificar los criterios pertenecientes a estas (ver Figura 9).

**Figura 9**

Diagrama de barras con los promedios por heurística.

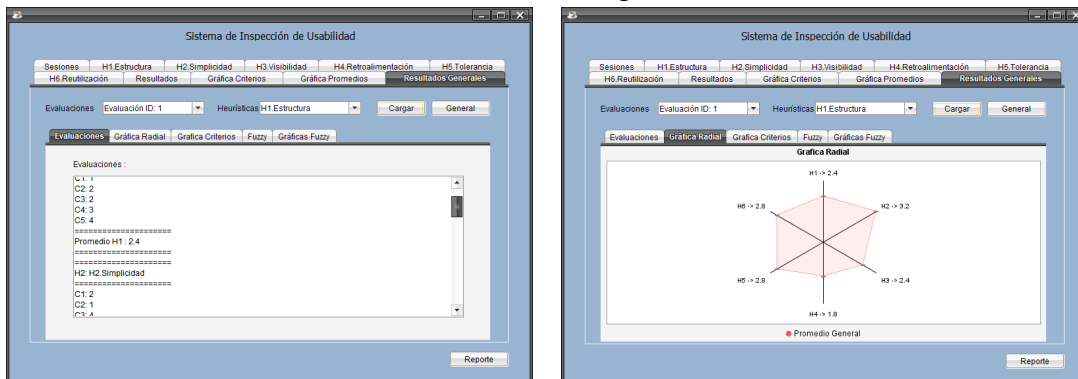


Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la pestaña “Resultados Generales” se cuentan con un conjunto de subpestañas, mediante las cuales es posible acceder a los datos almacenados en la base de datos y pertenecientes a cada sesión de inspección. De este modo, es posible consultar las valoraciones específicas y generales de los evaluadores, así como las gráficas radiales y de barras generales y específicas pertenecientes a cada evaluador o a la inspección en general (ver Figura 10).

**Figura 10**

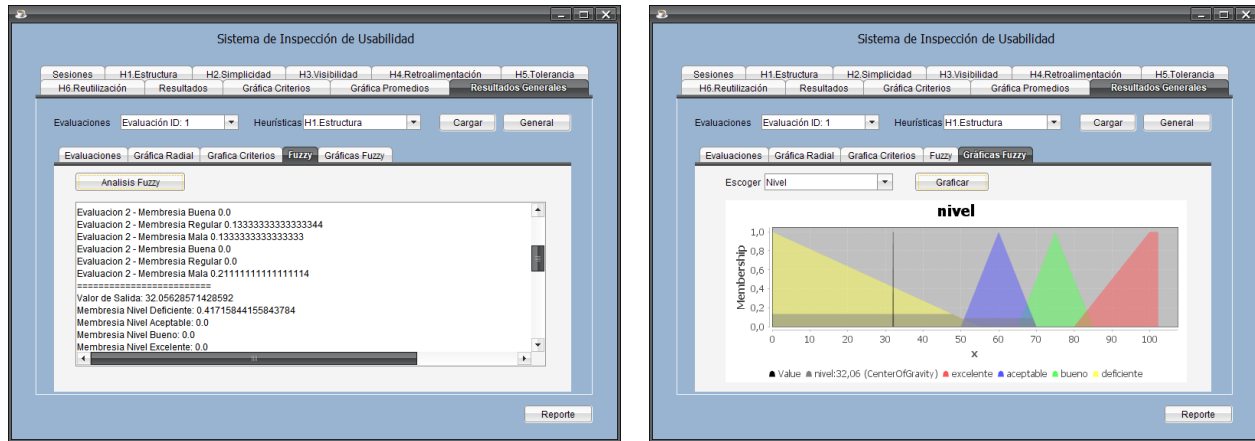
Pestaña de resultados generales



Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, en la pestaña de “Resultados Generales” es posible realizar el análisis difuso de una sesión que cuenta con 3 evaluaciones completas y mostrar las funciones de membresía de las evaluaciones y del nivel de usabilidad (Subpestañas “Fuzzy” y Gráficas “Fuzzy”). Lo anterior se realizó mediante la librería “jFuzzyLogic” de Java, la cual permite la configuración de las funciones de membresía de entrada y salida, así como las reglas de inferencia en el lenguaje FCL. Por ejemplo, a partir de la sesión de la Figura 11, es posible apreciar el nivel de pertenencia tanto de las diferentes evaluaciones, como del nivel de usabilidad de salida. De este modo, para este caso, el nivel de usabilidad tiene un valor de 32.056% y un grado de pertenencia de 0.42 a la categoría deficiente. Estos cálculos fueron realizados por la API a través del método de los centroides. Los anteriores resultados se pueden evidenciar en la subpestaña “Gráficas Fuzzy” en donde se aprecia la categorización gráfica de deficiente en la función de membresía del nivel de usabilidad.

**Figura 11**  
Análisis mediante lógica difusa.



Fuente: Elaboración propia.

## 5. Estudio de Caso

Con el fin de validar la utilidad de la lógica difusa y por ende de la herramienta automatizada propuesta en la ejecución de inspecciones heurísticas de usabilidad, en este trabajo se desarrolló un estudio de caso con tres evaluaciones y teniendo en cuenta los seis principios heurísticos de Constantine (Estructura, Simplicidad, Visibilidad, Retroalimentación, Tolerancia y Reutilización), a los cuales se les definieron un conjunto de cinco criterios de verificación de cumplimiento expresados en términos de pregunta. Para identificar de manera más clara el aporte de la lógica difusa se supusieron las valoraciones de la Tabla 2, en donde el promedio de las valoraciones del evaluador 1 y 2 están en el rango de 3 a 4 y el promedio del evaluador 3 está en el rango de 4 a 5.

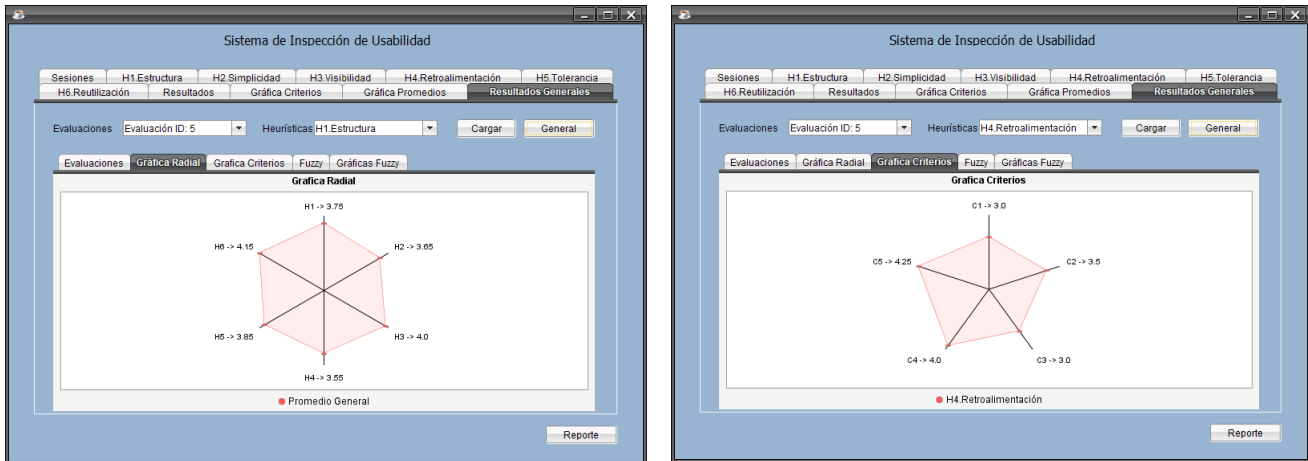
**Tabla 2**  
Reglas definidas para la determinación del nivel de usabilidad.

Heurística	Evaluador 1					Evaluador 2					Evaluador 3				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
H1	2	3	4	3	4	5	5	1	1	3	4	4	5	4	5
H2	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	5
H3	2	2	3	4	4	3	3	3	5	5	4	5	4	5	5
H4	2	2	3	5	5	4	4	3	3	2	3	4	3	4	5
H5	4	4	2	5	3	4	4	4	4	3	4	4	4	3	5
H6	5	5	2	2	2	5	5	5	3	3	5	5	5	4	4
<b>Promedios</b>	<b>3.3</b>					<b>3.6</b>					<b>4.2</b>				
<b>Promedio</b>	<b>3.7</b>														

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos de la Tabla 2, en la Figura 12 se puede apreciar una gráfica radial general que muestra el promedio de las heurísticas obtenido en las 3 evaluaciones consideradas y la gráfica radial general de los criterios asociados a la heurística H4. Así de acuerdo a la Figura 12, la heurística que mejor se cumple es la H6 que en promedio tiene una valoración general (tres evaluaciones) de 4.16, mientras que la heurística que menos se cumple es la H4, la cual tiene una valoración general de 3.55. Del mismo modo, con respecto a la heurística H4 el criterio que mejor se cumple es el C5 y los que menos se cumplen son el C1 y el C3.

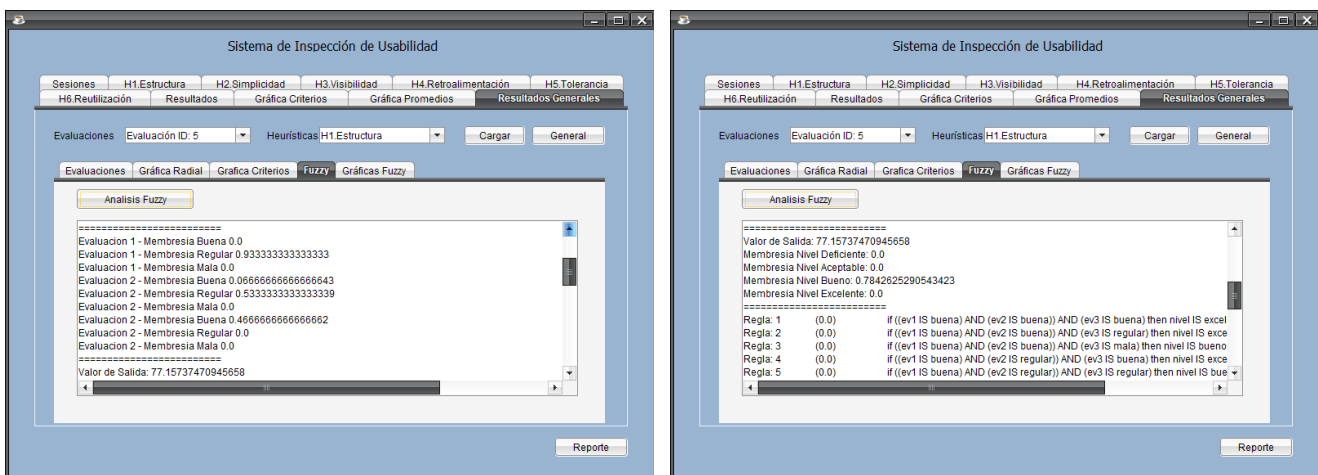
**Figura 12**  
Gráfica radial general y específica



Fuente: Elaboración propia

De igual manera, en la Figura 13 se presenta el análisis difuso obtenido a partir de las valoraciones promedio obtenidas en las 3 evaluaciones supuestas. En la Figura 13 se puede apreciar como la evaluación 1 tiene un nivel de pertenencia de 0.9333 con la categoría regular, la evaluación 2 tiene un grado de pertenencia de 0.066 con la categoría buena y un grado de pertenencia de 0.5333 con la categoría regular, la evaluación 3 por su parte tiene un grado de pertenencia de 0.4666 con la categoría buena. Del mismo modo, en cuanto al nivel de usabilidad de salida tiene un valor de 77.157 %, lo que según el análisis difuso tiene un grado de pertenencia de 0.7842 con el nivel de usabilidad bueno.

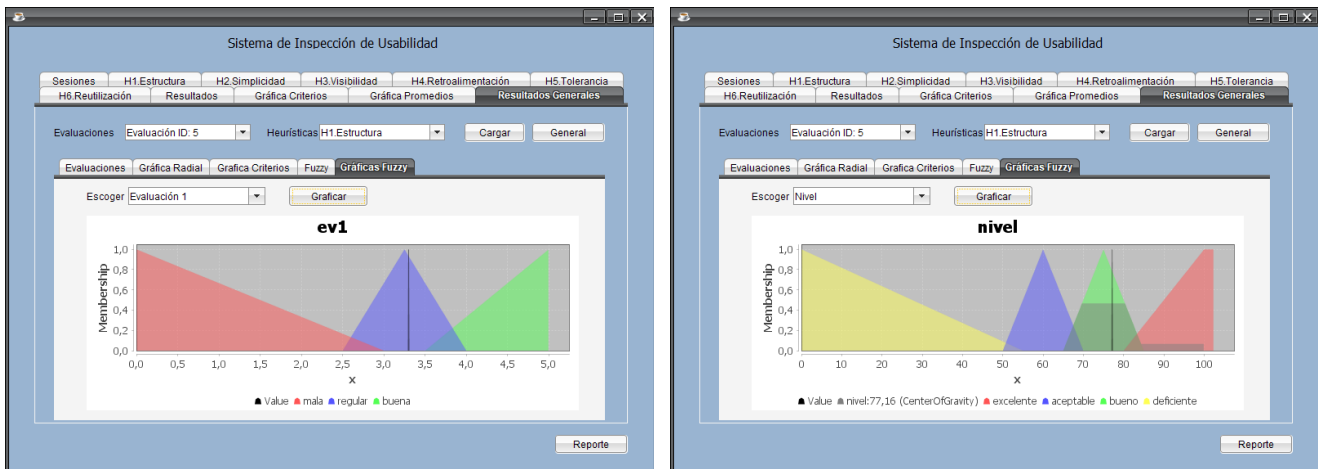
**Figura 13**  
Análisis difuso caso de estudio



Fuente: Elaboración propia

Además, la herramienta permite obtener el nivel de cumplimiento de cada una de las reglas definidas en la Tabla 1, de tal modo que se obtiene que la regla 10 (IF ev1 IS regular AND ev2 IS buena AND ev3 IS buena THEN nivel IS excelente) tiene un nivel de cumplimiento de 0.066 y la regla 13 (IF ev1 IS regular AND ev2 IS regular AND ev3 IS buena THEN nivel IS bueno) tiene un nivel de cumplimiento de 0.466. Finalmente, en la Figura 14 se muestran las funciones de membresía de la evaluación 1 de entrada y del nivel de usabilidad de salida.

**Figura 14**  
Funciones de membresía resultantes.



Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la Figura 14 tanto en la función de membresía de la evaluación 1 como en la del nivel de usabilidad de salida una línea vertical que indica el valor numérico de la evaluación 1 (3.3) y del nivel de usabilidad (77.157%). Del mismo modo la línea vertical indica el nivel en que se han categorizado la evaluación 1 (regular) y el nivel de usabilidad de salida (bueno). Todo lo anterior demuestra que la herramienta desarrollada hace más fácil y eficiente el proceso de análisis de inspección de heurísticas de usabilidad.

De los resultados arrojados por el estudio de caso a partir de las evaluaciones propuestas, se puede afirmar que la utilización de un algoritmo difuso (sistema experto), hace una ponderación acorde a la usabilidad de un determinado software, dándole un mejor criterio a los desarrolladores para mejorar su implementación en futuras versiones que puedan salir al mercado.

## 7. Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se propuso como aporte una herramienta para la conducción de inspecciones de usabilidad, la cual tiene como contribución principal no solo automatizar el proceso de inspecciones heurísticas sino también la aplicación de lógica difusa en la obtención del nivel de usabilidad. Esto permite proporcionar información de valor agregado con respecto a la forma tradicional en la que se ejecutan las inspecciones de usabilidad, haciendo adecuado y eficiente el proceso de análisis de inspección de heurísticas de usabilidad, como quedó demostrado en el estudio de caso.

A diferencia de la forma tradicional en la que se realizan las inspecciones de usabilidad, en las que el valor de salida suele ser un valor promedio, mediante el uso del análisis difuso es posible obtener a partir de funciones de membresía y reglas de inferencia un nivel de usabilidad de salida expresado en términos lingüísticos. Lo anterior, permite apoyar la toma de decisiones en escenarios como el de las evaluaciones heurísticas donde es necesario contrastar las valoraciones otorgadas por diferentes evaluadores y de esta manera lograr una mejor realimentación en cuanto a mejorar el software para futuras versiones que puedan salir al mercado.

El caso de estudio realizado permitió demostrar la utilidad de la herramienta automatizada para el análisis de los resultados de una inspección heurística de usabilidad a nivel gráfico y a nivel de la lógica difusa. En este sentido a partir de tres evaluaciones promedio de entrada (ver Tabla 2), la herramienta categorizó dichas evaluaciones como regular, regular y buena de manera respectiva. En cuanto al nivel de usabilidad de salida, la herramienta obtuvo un valor de 77.157%, el cual fue categorizado de manera predominante como bueno. Los anteriores

resultados son de gran utilidad de cara a la obtención de conclusiones de mejora o utilidad del software inspeccionado.

La API “jFuzzyLogic” de Java es una librería adecuada a nivel de diseño y desarrollo, puesto que permite la optimización flexible de aplicaciones haciendo uso del lenguaje FCL. En este sentido, mediante este lenguaje es posible configurar en un archivo de texto plano las funciones de membresía de entrada y salida, así como las reglas de inferencia que permiten relacionar las entradas y las salidas. Lo anterior hace que se pueda aplicar de manera sencilla el análisis difuso para la toma de decisiones en diferentes contextos de aplicación.

Como trabajo futuro derivado de la presente investigación, se pretende usar el análisis difuso en la conducción de evaluaciones de accesibilidad, teniendo en cuenta los principios considerados en las normas WCAG 2.1 y WCAG 2.2.

---

## Referencias bibliográficas

- Chanchí, G., Pérez, D., & Campo, W. (2019). Automation of Usability Inspections for Websites. *HCI-COLLAB 2019* (págs. 124-137). Puebla-México: Springer.
- Delgado, D., Girón, D., Chanchí, G., & Márceles, K. (2018). Propuesta de una herramienta para la estimación de la satisfacción en pruebas de usuario, a partir del análisis de expresión facial. *Revista Colombiana de Computación*, 19(2), 6-15.
- Díaz, J., Coba, E., & Navarrete, P. (2017). Lógica difusa y el riesgo financiero. Una propuesta de clasificación de riesgo financiero al sector cooperativo. *Contaduría y Administración*, 62(5), 1670-1686.
- Enriquez, J., & Casas, S. (2013). Usabilidad en Aplicaciones Móviles. *Informe Técnico UNPA*, 5(2), 25-47.
- Garrett, J. (2010). *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*. Berkeley: New Riders Press.
- González-Sánchez, J., Montero-Simarro, F., & Gutierrez-Vela, F. (2012). Evolución del concepto de usabilidad como indicador de la calidad del software. *El Profesional de la Información*, 529-536.
- Gupta, D., & Ahlawat, A. K. (2016). Usability Determination Using Multistage Fuzzy System. *Procedia Comput Sci*, 78, 263-270.
- Hentati, M., Trabelsi, A., Ammar, L., & Mahfoudhi, A. (2016). A fuzzy-logic system for the user interface usability measurement. *IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)*, 133-138.
- Hub, M., & Zatloukal, M. (2008). Methodology of fuzzy usability evaluation of Information systems. *WSEAS Transactions on Information Science & Applications*, 5(11), 1573-1583.
- Hub, M., & Zatloukal, M. (2010). Model of Usability Evaluation of Web Portals Based on the Fuzzy Logic. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 7(4), 522-531.
- Kumar Dubey, S., Sharma, A., & Rana, A. (2012). Usability Evaluation of Object Oriented Software System using Fuzzy Logic Approach. *International Journal of Computer Applications*, 43(19), 1-6.
- Pérez-Medina, J., Vanderdonck, J., & Villareal-Narvaez, S. (2019). CROSSIDE: A Design Space for Characterizing Cross-Surface Collaboration by Sketching. *Journal of Visual Language and Computing*, 1(1), 29-41.
- Ruvalcoba, F., & Vermonden, A. (2015). Lógica difusa para la toma de decisiones y selección de personal. *Universidad y Empresa*, 17(29), 239-256.
- Zadeh, L. A. (1994). Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing. *Communication of ACM*, 37(3), 77-84.