



Formación Universitaria

E-ISSN: 0718-5006

citrevistas@gmail.com

Centro de Información Tecnológica

Chile

Gamarra, Margarita; Bertel, Francisco; Velásquez, Johnnys  
Herramienta de Software para el Aprendizaje de Sistemas Difusos en un Curso de  
Control Digital  
Formación Universitaria, vol. 9, núm. 4, 2016, pp. 33-40  
Centro de Información Tecnológica  
La Serena, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=373546601005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Herramienta de Software para el Aprendizaje de Sistemas Difusos en un Curso de Control Digital

**Margarita Gamarra\*, Francisco Bertel y Johnnys Velásquez**

Corporación Politécnica de la Costa Atlántica, Dpto. Ingeniería Electrónica, Carrera 38 #79A-167, Barranquilla - Colombia. (e-mail: mrgamarra22@gmail.com; francisco.bertel.romero@gmail.com; dir\_pelectronica@pca.edu.co)

\* autor a quien debe ser dirigida la correspondencia.

*Recibido Dic. 21, 2015; Aceptado Feb. 18, 2016; Versión final Mar. 13, 2016, Publicado Ago. 2016*

---

### Resumen

Este trabajo tiene como objetivo el desarrollo de una herramienta de software bajo la plataforma Matlab® que permite al estudiante la apropiación del conocimiento acerca de lógica difusa aplicada en el área de control industrial. Diversas investigaciones han demostrado que la implementación de algoritmos inteligentes mejora los resultados en ciertos procesos como optimización de parámetros, procesamiento de señales, y reconocimiento de patrones, entre otros. Sin embargo, su uso todavía no es muy difundido pues se trata de metodologías relativamente recientes y no todas las plataformas computacionales incluyen herramientas con algoritmos inteligentes o en su defecto son muy costosas. La herramienta presenta una metodología guiada paso a paso para facilitar la aplicación de los conceptos. Con esta herramienta el estudiante puede relacionar los conceptos teóricos sobre lógica difusa con la realidad industrial, poner a prueba sus conocimientos adquiridos y trabajar varios casos prácticos con el diseño del sistema difuso. Los estudiantes a través de una encuesta, asignaron una valoración positiva a la implementación de la herramienta.

*Palabras clave: lógica difusa; control difuso; herramienta de aprendizaje; algoritmos inteligentes.*

## Software Tool for the Learning of Fuzzy System in a Course of Digital Control

### Abstract

This paper aims to develop a software tool through the Matlab® platform which allows students to acquire relevant knowledge about fuzzy logic applied to the industrial control area. Several investigations have proven that the implementation of intelligent algorithms improve the results obtained in processes of parameter optimization, signal processing and pattern recognition, among others. However, these technologies are not widely used due the fact that they have been recently created, and not all of them include a toolbox with intelligent algorithms or technologies are still expensive. The tool presents a methodology guided step by step to facilitate the application of the concepts. Using this tool students can associate the theoretical concepts of fuzzy logic with the industrial reality, which leads to assess their knowledge through the development of study cases with fuzzy logic design. Through a survey, students positively assessed the implementation of this tool.

*Keywords: fuzzy logic; fuzzy control; learning tool; intelligent algorithms.*

## INTRODUCCIÓN

Con el avance vertiginoso de la tecnología la automatización de procesos industriales y el procesamiento de señales se han convertido hoy en día en una necesidad. Algunas actividades industriales que antes eran realizadas por operadores humanos, como la clasificación de productos, el control de calidad y operaciones repetitivas hoy han sido delegadas a operadores computarizados, mejorando criterios como el tiempo de producción, la cantidad de productos elaborados y la calidad de los mismos (Davidson et.al., 1999; Perfecto et.al., 2005). La implementación de tecnologías inteligentes permite simular el comportamiento humano desempeñando funciones que realiza un operador, de una manera más objetiva y rápida (Gamarra y Bertel, 2014).

Sin embargo, para estudiantes de Ingeniería Electrónica el conocimiento de cómo funcionan los algoritmos inteligentes es poco y más aún su implementación software y hardware. Además de los tradicionales ejercicios prácticos de laboratorio, los del tipo virtual-simulado tienen cada vez más importancia (Wang y Liu, 2008), en cuanto acercan al estudiante a su realidad profesional (Alam et.al., 2014) y de igual forma las prácticas del tipo experimental promueven el aprendizaje activo y propician el vínculo entre experiencias de aprendizaje y esquemas de significado (Vasquez et.al., 2015). De esta forma, el proyecto propuesto se enfoca en diseñar e implementar una herramienta computacional que permita al estudiante desarrollar habilidades para identificar los parámetros difusos a utilizar y cómo aplicarlos en procesos industriales. Esta herramienta se ha desarrollado teniendo en cuenta cómo aprenden los estudiantes y de acuerdo con Charre-Ibarra et.al. (2014) los estudiantes de Ingeniería tienden a ser receptivos, analíticos, y prefieren la aplicación de las ideas aprendidas en las aulas de clase.

Los entornos virtuales educativos y las herramientas software de aprendizaje utilizados en la educación superior promueven la participación de estudiantes más constructivos, además de un cambio sustancial en las metodologías tradicionales de enseñanza (Lechuga et.al., 2014.). En asignaturas que tienen un enfoque teórico-práctico tal como Control Digital es necesario utilizar herramientas de aprendizaje que permitan la aplicación de conceptos al entorno industrial (Charre-Ibarra et.al., 2014.). El proyecto a ejecutar presenta un impacto académico y a largo plazo en la industria, pues permite la capacitación de estudiantes en el manejo de algoritmos inteligentes y su aplicación en la industria, el desarrollo de una herramienta software para la implementación de algoritmos inteligentes y la posibilidad de que las empresas puedan incorporar dichos algoritmos en algunos de sus procesos.

Los sistemas inteligentes han sido ampliamente utilizados en los campos académicos, informáticos, industriales, médicos, entre otros, debido a la forma en como estos algoritmos tratan de simular el comportamiento humano con algunas ventajas adicionales como rapidez de procesamiento y eliminación de criterios subjetivos. En el artículo presentado por Santos (2011) se hace relación a la aplicación de técnicas inteligentes para abordar sistemas complejos de control. Estas aplicaciones han sido desarrolladas en un marco académico vinculado a procesos de investigación de reconocidas universidades. Entre estos se encuentran: control inteligente de un criostato, control inteligente de las aceleraciones verticales de un ferry, control inteligente de un cuatri-rotor, control inteligente de satélites en los puntos de Lagrange, control inteligente en agricultura de precisión y control inteligente de un puente grúa. De acuerdo con este autor, ciertos problemas no han sido tratados utilizando control inteligente debido a la falta de conocimiento en el desarrollo de estas técnicas, las restricciones que presenta cada situación para poder resolverse con métodos clásicos o la complejidad en el manejo de posibles soluciones; sin embargo los resultados obtenidos utilizando control inteligente han sido exitosos.

En el trabajo desarrollado por Muñoz et.al. (2007) se presenta una propuesta de enseñanza basada en problemas del control inteligente para los programas académicos de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la Universidad del Valle, con el uso de herramientas virtuales. La propuesta busca capacitar al estudiante en la aplicación de las redes neuronales, los sistemas difusos y neurodifusos por medio de programas de diseño asistido por computador (CAD), adquiriendo una posición crítica para el análisis y solución de problemas reales. De igual forma, Bacca et.al. (2011) han diseñado una herramienta remota de cálculo y multiusuario para el aprendizaje basado en problemas usando Matlab®. Esta herramienta está basada en JAVA y EJS (Easy Java Simulations), con un esquema cliente/servidor, soporte multi-usuario y acceso remoto a Matlab. Esta herramienta está siendo usada actualmente en la Universidad del Valle en los cursos de Control Automático de Procesos, Control Inteligente, Redes Neuronales Artificiales, Procesamiento de Señales y Tratamiento Digital de Imágenes como herramienta para el aprendizaje basado en problemas. Esta metodología desarrolla en el estudiante la capacidad de enfrentarse a problemas reales como futuro profesional y lo conduce a la búsqueda de información, desarrollo de competencias comunicativas y habilidades para trabajo en equipo. Esta metodología requiere el acceso a la información, análisis y herramientas de experimentación de una manera más flexible que otras metodologías de aprendizaje tradicionales, por tanto se requieren herramientas tecnológicas apropiadas para soportarla (Bacca et.al., 2011).

Un trabajo similar bajo la plataforma Matlab® es presentado por Foulloy et.al. (2006), en el cual se desarrolla una herramienta software libre, llamada FlouLib, diseñada con fines educativos y de entrenamiento en sistemas difusos y su implementación en controladores difusos. Esta herramienta es presentada como una librería gráfica, lo cual permite que el diseño de sistemas difusos y controladores difusos sea más fácil. El artículo desarrollado por Delgado y López (2009) presenta un laboratorio virtual de control inteligente implementado con Easy Java Simulations y diseñado para tres de las plantas existentes en la Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Colombia). Esta herramienta de enseñanza en control inteligente permite a los estudiantes acercarse al mismo usando una plataforma interactiva y de fácil uso. De igual forma Balestrino et.al. (2009) describen un telelaboratorio para robótica y sistemas de control, implementado en la ciudad de Pisa. El telelaboratorio es organizado como una colección de objetos de aprendizaje y tiene un acceso remoto basado en web, el cual puede ser usado como un ambiente de simulación o como una forma remota para desarrollar experimentos reales.

Los trabajos anteriormente mencionados demuestran cómo las herramientas computacionales facilitan el proceso de aprendizaje en asignaturas como Control Automático; la metodología de Aprendizaje Basada en Problemas (ABP) desarrolla ciertas competencias que debe tener el Ingeniero Electrónico de hoy en día. De esta forma, el proyecto en desarrollo es adecuado para implementarse en el programa de Ingeniería Electrónica del Politécnico de la Costa Atlántica, con miras a mejorar las metodologías aplicadas y la apropiación de nuevas tecnologías como herramientas de enseñanza.

## METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología propuesta se basa en analizar y desarrollar varios casos de estudio, donde el estudiante luego de apropiarse de nuevos conceptos se le presenta un caso en el que debe utilizar sus habilidades adquiridas, tanto conceptuales como en manejo de software, para la solución adecuada del problema. La herramienta software FuzzyPCA está diseñada bajo la plataforma Matlab®, ya que cuenta con un toolbox para la implementación de sistemas difusos, control difuso y elaboración de interfaz gráfica de usuario (Sivanandam et.al., 2007). La herramienta está diseñada para un aprendizaje autodidáctico, sin embargo debe desarrollarse bajo la supervisión de un tutor, quien es el que introduce el tema, su importancia y la metodología que se utiliza. La herramienta software de estudio consta de tres etapas: Aprender, Aplicar y Evaluar. Una vez iniciada la aplicación FuzzyPCA se despliega una ventana inicial con las tres opciones, como se muestra en la Fig. 1:

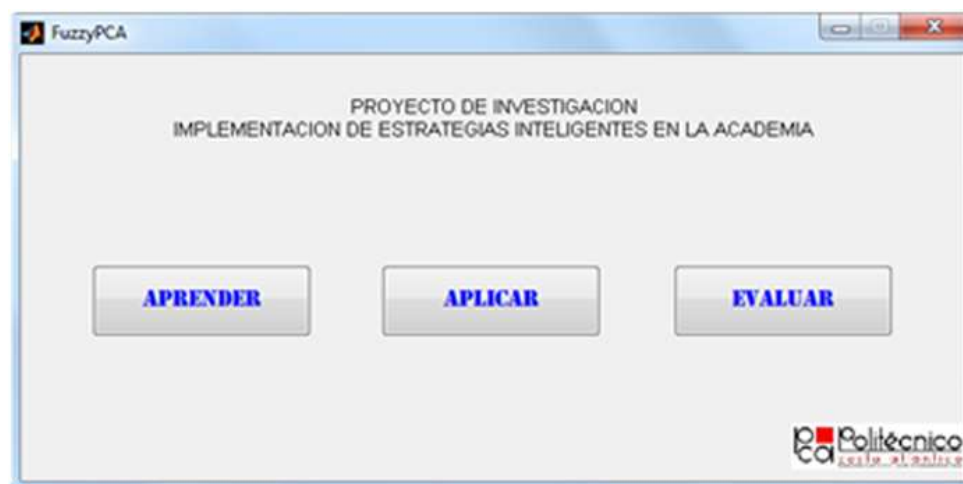


Fig. 1: Interfaz principal de la aplicación FuzzyPCA.

### APRENDER

El botón “Aprender” despliega una ventana donde el estudiante puede observar los temas que se abordan en un curso de lógica difusa. Cuando el estudiante señala una de las temáticas del ListBox, en el recuadro contiguo se visualiza un resumen del contenido temático, como se observa en la Fig. 2. En esta ventana el estudiante puede seleccionar 1 de 6 temas disponibles y se visualizará el resumen del tema en el recuadro contiguo. Si el estudiante desea descargar el documento con la información completa, presiona el botón Descargar.

Se ha realizado una búsqueda de material adecuado para un curso básico en lógica difusa y se tomaron las presentaciones desarrolladas por Galindo (2013) en el Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga. Este material recopila información sobre conjuntos y sistemas difusos, lógica difusa y sus aplicaciones.

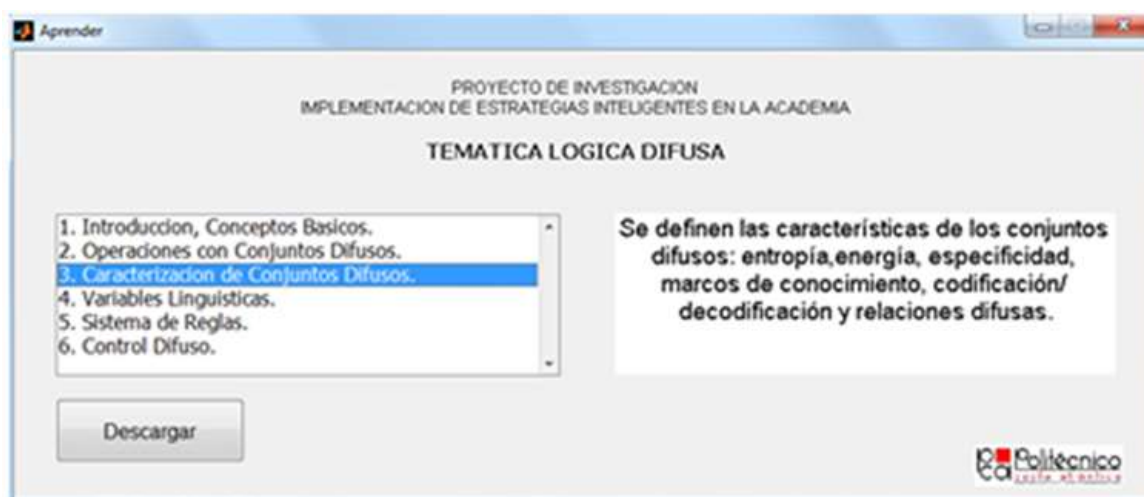


Fig. 2: Interfaz para realizar la actividad “Aprender”. Visualización de resumen temático.

## APLICAR

En esta ventana el estudiante puede realizar 3 ejemplos diferentes donde se muestra paso a paso cómo implementar un sistema difuso con Matlab®. También se ha realizado una búsqueda de información relativa a ejemplos adecuados para que el estudiante pueda desarrollar de una manera didáctica y se le facilite el proceso de aprendizaje de la lógica difusa (Kouro y Musalem, 2002; Fonseca et. al., 1999; Rugeles, 2014). Esta documentación estará disponible en la ventana Aplicar mostrada en la Fig. 3, con indicadores paso a paso del proceso de creación de un sistema difuso en Matlab®. El primer ejemplo incluye el caso de estudio *Diseño de un sistema difuso para el control de calidad en el procesado de frutas* donde se explica paso a paso cómo diseñar un sistema de reglas difusas (Fig. 4).

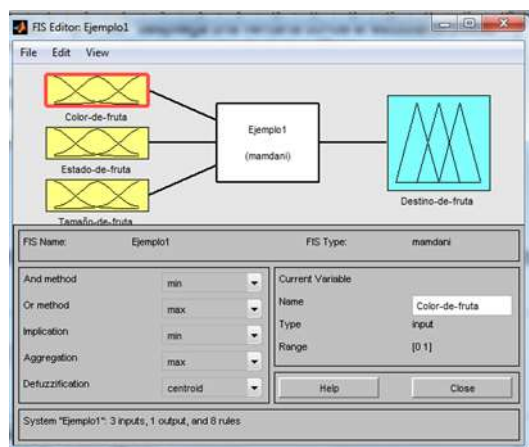


Fig. 3: Interfaz para realizar la actividad “Aplicar”.

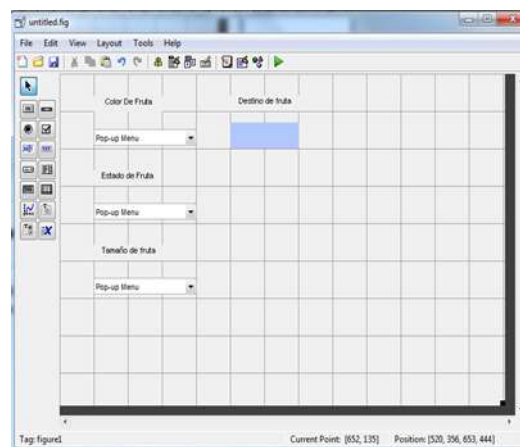
En la Fig. 4.a) se muestran las variables de entrada y salida del sistema. El ejemplo 2 incluye los resultados del ejemplo 1 y consiste en la realización paso a paso del diseño de una interfaz gráfica de usuario básica, donde el estudiante podrá manejar y programar dicha interfaz, como se muestra en la Fig. 4.b). El ejemplo 3 consiste en la aplicación de lógica difusa a un sistema de control utilizando la herramienta Simulink de Matlab®, como se muestra en la Fig. 4.c).

## EVALUAR

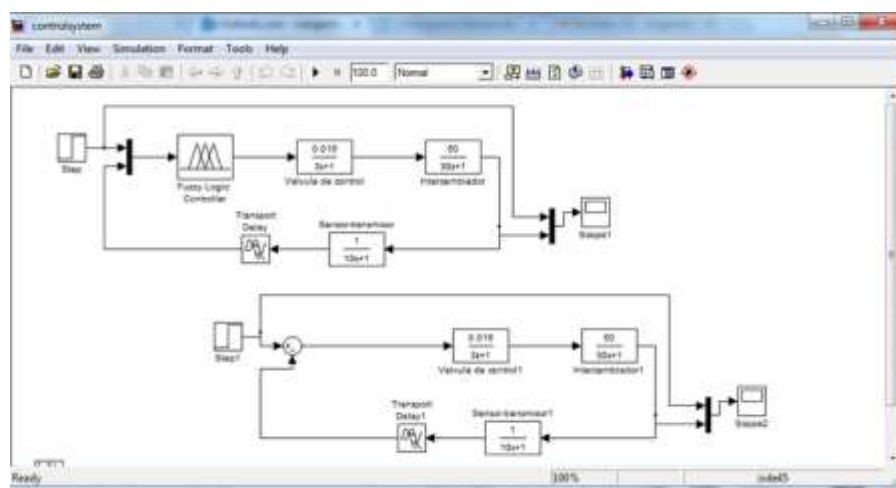
En esta ventana el estudiante puede realizar una evaluación teórica sobre cada tema propuesto y obtener su puntuación o de igual forma puede realizar varios casos de estudio de aplicación, como se muestra en la Fig. 5.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4: Ejemplos de la actividad “Aplicar”.

The screenshot shows the 'Evaluar' window. It has a title bar and a main area with the text 'PROYECTO DE INVESTIGACION IMPLEMENTACION DE ESTRATEGIAS INTELIGENTES EN LA ACADEMIA'. Below this, there are two sections: 'Evaluacion Teorica' and 'Casos de Estudio'. Each section contains a dropdown menu for selecting a topic or case study, and a button ('INICIAR' or 'DESCARGAR'). The bottom right corner features the logo of 'Politécnico Costa Rica'.

Fig. 5: Interfaz para realizar la actividad “Evaluar”.

En cada tema evaluado se incluyen tres preguntas teóricas de selección múltiple y el puntaje obtenido, como se muestra en la Fig. 6. En los casos de estudio el estudiante descarga un documento con una situación donde debe aplicar los conocimientos adquiridos.

## PRUEBAS Y RESULTADOS

El principal producto de este proyecto es la herramienta software FuzzyPCA, donde el estudiante aprende a utilizar el toolbox de lógica difusa de Matlab® y relaciona los conceptos aprendidos con casos prácticos. Para validar la funcionalidad de la aplicación académica, se socializó la herramienta con 40 estudiantes de la asignatura Control Digital de IX semestre de Ingeniería Electrónica de la Corporación Politécnico Costa

Atlántica, durante el desarrollo de la temática de lógica difusa. Por grupos se desarrolló el Ejemplo No.1 propuesto en la herramienta, el cual indica paso a paso cómo realizar un sistema difuso en Matlab®, mediante la interfaz FuzzyPCA. Previamente al desarrollo de este taller se realizó una breve introducción teórica de la lógica difusa y su aplicación en sistemas de control. Teniendo en cuenta que los estudiantes realizaron el taller en el tiempo asignado, se realizó una encuesta virtual para evaluar la interfaz académica FuzzyPCA, con las siguientes preguntas:

1. ¿La herramienta FuzzyPCA es clara es los procedimientos?
2. ¿Es necesario tener un conocimiento previo de Matlab® para manejar la herramienta FuzzyPCA?
3. ¿Es necesario tener un conocimiento previo de los conceptos de lógica difusa para manejar la herramienta FuzzyPCA?
4. ¿Considera necesaria la ayuda de un profesor para manejar la herramienta FuzzyPCA?
5. ¿Usted podría desarrollar un sistema difuso en Matlab® a partir del conocimiento adquirido?
6. ¿Considera que la herramienta FuzzyPCA es una herramienta didáctica de aprendizaje?
7. Asigne una calificación para evaluar en general a la herramienta FuzzyPCA
8. Asígnese a usted mismo una calificación donde evalúe los conocimientos adquiridos.

En la lista de opciones para las preguntas 1 a la 5 se encontraba: Totalmente, Medianamente y Muy Poco. El resto de preguntas se evaluó en una escala de 1(deficiente) a 5 (Excelente). Las cinco primeras preguntas se enfocaron en asignar una valoración cualitativa a la herramienta y qué tan necesario es el conocimiento previo de algunos temas para poder manejarla. Los resultados se presentan en la Fig. 7. De acuerdo con estos resultados, más del 75% de los estudiantes evaluados consideraron que FuzzyPCA es una herramienta didáctica y que es clara en los procedimientos a seguir que presenta como ejemplos y más del 80% considera que es necesario total o medianamente, tener un conocimiento previo sobre lógica difusa y en el uso de Matlab® para utilizar la herramienta software propuesta, además de considerar necesario el apoyo de un profesor para su manejo.

Fig. 6: Preguntas para evaluar el tema 1.

En la Fig. 8 se muestran los resultados para las preguntas cuantitativas, las cuales pretenden asignar una calificación a la herramienta y al desempeño del estudiante ante este u otros casos de estudio. De acuerdo con los resultados, más del 90% de los estudiantes evaluados asignaron una calificación superior a 4.0 tanto para la herramienta FuzzyPCA como para la valoración propia. Sin embargo el 42% de los estudiantes no se sienten en la capacidad de desarrollar un sistema difuso de forma independiente, a partir del conocimiento adquirido. Esto demuestra que FuzzyPCA es una herramienta de estudio y desarrollo de habilidades tanto en la temática de lógica difusa como en el manejo de Matlab®, pero el estudiante debe tener un mayor seguimiento y preparación para lograr una aprehensión completa de los temas.

A pesar de que los trabajos relacionados con la educación en algoritmos inteligentes se han incrementado en los últimos años, su aplicación en el control digital aún es incipiente. En nuestra búsqueda no se ha encontrado algún ejemplo completo donde se aplique la lógica difusa a los sistemas de control digital utilizando el aprendizaje basado en problemas y guiado paso a paso para su desarrollo en Matlab®.



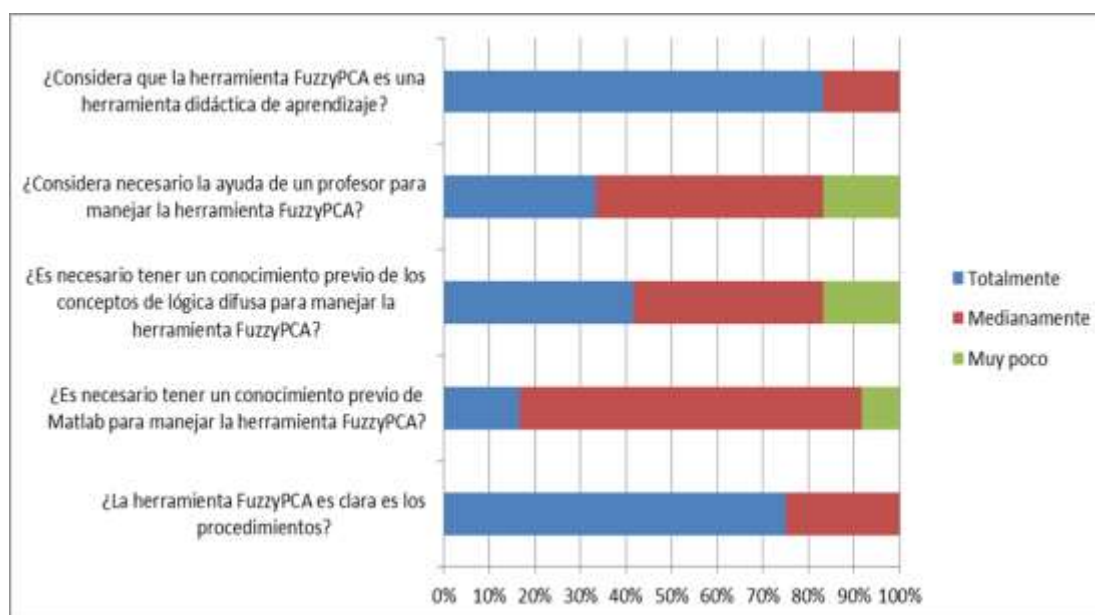


Fig. 7: Resultados para preguntas cualitativas.

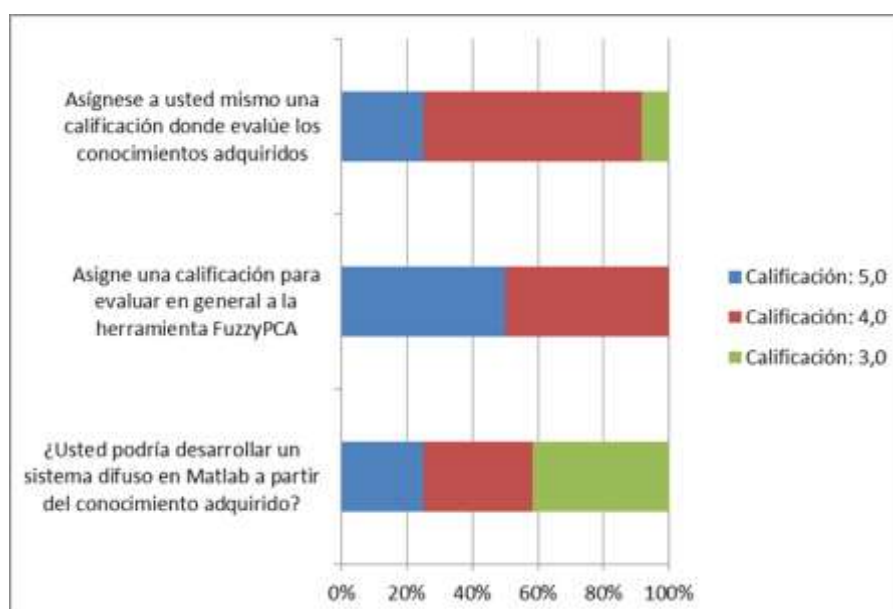


Fig. 8: Resultados para preguntas cuantitativas.

## CONCLUSIONES

Se diseñó una herramienta software bajo la plataforma Matlab® para el estudio, aplicación y evaluación de sistemas difusos aplicados a casos de estudios. La herramienta FuzzyPCA fue presentada a estudiantes de IX semestre cursando la asignatura Control Digital en la institución Politécnico de la Costa y se realizó una encuesta para la valorización de la herramienta. A partir de los resultados se puede concluir que la herramienta diseñada tiene una funcionalidad didáctica, con documentos guías para el estudiante basado en casos de estudio. Sin embargo es necesario tener un conocimiento previo sobre la teoría de la lógica difusa y un manejo básico de Matlab® para poder utilizar y comprender lo expuesto en la herramienta FuzzyPCA. Además FuzzyPCA constituye una herramienta de apoyo para el docente en cuanto al desarrollo de temas relacionados con sistemas difusos, y luego de utilizar la herramienta debe hacerle un seguimiento al estudiante para afianzar los conocimientos adquiridos.

## REFERENCIAS

Acevedo, D., S. Cavadia y A. Alvis, *Estilos de Aprendizaje de los Estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena (Colombia)*, doi: 10.4067/S0718-50062015000400003, Formación universitaria, 8(4), 15-22 (2015)



Alam, F., R. Hadgraft y A. Subic, *Technology-Enhanced Laboratory Experiments in Learning and Teaching. Using Technology Tools to Innovate Assessment, Reporting, and Teaching Practices in Engineering Education*, Advances in Higher Education and Professional Development, IGI Global, 1 edition, 289-302 (2014)

Bacca, B., E. Caicedo y J. Ramírez, *JMat – Herramienta remota de cálculo y multiusuario para el aprendizaje basado en problemas usando Matlab*.  
<http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/13771>; ISSN: 2422-2844, Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia, 59, 158-169 (2011)

Balestrino, A., A. Caiti y E. Crisostomi, *From Remote Experiments to Web-Based Learning Objects: An Advanced Telelaboratory for Robotics and Control Systems*, doi: 10.1109/TIE.2008.2006941 IEEE Transactions On Industrial Electronics, 56(12), 4817-4825 (2009)

Charre-Ibarra, S., J. Alcalá-Rodríguez, N. Lopez-Luiz, y M. Durán, *Sistema Didáctico de Control de Presión*, doi: 10.4067/S0718-50062014000500005, Formación Universitaria, 7(5), 33-40 (2014)

Davidson, V., T. Chut y J. Ryks, *Fuzzy methods for automated inspection of food products*. Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS. 18th International Conference of the North American New York, 909-912 (1999)

Delgado, M. y J. López, *Laboratorio Virtual de Control Inteligente*.  
<http://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/86>; ISSN: 1900-8260, Revista Educación en Ingeniería, 8, 102-110 (2009).

Fonseca, J., J. Afonso, y J. Martins, *Evaluación de la Aplicación de Técnicas de Lógica Difusa en el Control de Máquinas Eléctricas*. Portugal, Universidade do Minho (1999)

Foulloy, L., R. Boukezzoula, y S. Galichet, *An Educational Tool for Fuzzy Control*, doi: 10.1109/TFUZZ.2005.864084, IEEE Transactions On Fuzzy Systems, 14 (2), 217-221 (2006)

Galindo, J., *Curso Introductorio de Conjuntos y Sistemas Difusos*, (2013),  
<http://www.lcc.uma.es/~ppgg/FSS/>, acceso:24 de Noviembre 2014

Gamarra, M. y F. Bertel, *Clasificación De Piezas Metalmecánicas Basado En Algoritmos Inteligentes Implementando Procesamiento Digital De Imágenes*. Guayaquil, Ecuador, Laccei 2014, (2014)

Kouro, S. y R. Musalem, *Control Mediante Lógica Difusa*, (2002)  
<http://www2.elo.utfsm.cl/~elo377/documentos/Fuzzy.pdf>, acceso:24 de Noviembre 2014

Lechuga, M., A. Fernandez, F. Rios, y M. Fernandez, *Utilización de Entornos Virtuales Educativos y Recursos Educativos Abiertos (OpenCourseWare) en cursos de Ingeniería Química de la Universidad de Granada, España*, doi: 10.4067/S0718-50062014000400002, Formación Universitaria, 7(4), 3-14 (2014)

Muñoz, M., J. López, y E. Caicedo, *Una Propuesta para la Enseñanza del Control Inteligente Basada en Problemas*, Cali, Colombia: Universidad del Valle (2007)

Perfecto, M., V. Pastoriza, M. Santamía, y E. Martínez, *Fuzzy Image Processing in Quality Control Application*, España, Univertiy of Vigo, (2005)

Rugeles, A., *Diseño de un Controlador Difuso a Través de la Herramienta Fuzzy de MATLAB*, (2014)  
<http://d3ds4oy7g1wrqq.cloudfront.net/ing-andresvargas/myfiles/Dise%C3%B1o-controlador-difuso.PDF>  
acceso: 22 de Noviembre 2014

Santos, M., *Aplicaciones Exitosas de Control Inteligente a Casos Reales*.  
<http://www.journals.elsevier.com/revista-iberoamericana-de-automatica-e-informatica-industrial-riai/>; ISSN: 1697-7912, Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, 1-8 (2011)

Sivanandam, S.N, S. Sumathi, S.N. Deepa, *Introduction To Fuzzy Logic Using Matlab*, 1º Edición, Springer Berlin Heidelberg, Londres, Inglaterra (2007)

Vásquez, R., N. Posada, y F. Castrillon, *Desarrollo de una Estación Experimental Multipropósito para la Enseñanza en Control de Procesos*, doi: 10.4067/S0718-50062015000500004, Formación Universitaria, 8(5), 25-34 (2015)

Wang, S.C., Y.H. Liu, *Software-Reconfigurable e-Learning Platform for Power Electronics Courses*, doi: 10.1109/TIE.2008.922592, IEEE Transactions On Industrial Electronics, 55(6), 2416-2424 (2008)