

Optimización Bio-Inspirada de un Sistema de Inferencia Difusa para la Generación de Efectos Psicodélicos en Imágenes Digitales

Bio-Inspired Optimization of a Fuzzy System Inference for the Generation of Psychedelic Effects in Digital Images

Linda Rodríguez*, Iván Ponce**, Helbert Espitia***

RESUMEN

La generación de efectos en imágenes digitales a través de los computadores se ha convertido en una nueva era para distintas corrientes artísticas. En particular, la era digital ha tenido un impacto notable en el arte psicodélico. En este artículo proponemos un sistema de inferencia difusa para la manipulación del color en imágenes digitales con el propósito de modificar su estilo artístico. El sistema propuesto tiene como objetivo generar una combinación diferente de colores que genere una nueva sensación visual, como lo pretende la corriente de arte psicodélico. El sistema propuesto está dividido en dos partes. La primera parte del método consiste en un sistema de lógica difusa que a través de conjuntos difusos y reglas la modificación de color genera como resultado imágenes cuyos colores producen este efecto psicodélico. En la segunda parte, se utiliza el algoritmo de evolución diferencial para optimizar parámetros del sistema de inferencia propuesto y ajustar los resultados al estilo de arte psicodélico.

Palabras clave: Arte evolutivo, colorimetría, conjuntos difusos, lógica difusa, procesamiento de imágenes, optimización.

ABSTRACT

The generation of effects on digital images through computers has created a new age for different artistic trends. Particularly, the digital age has had a remarkable impact on psychedelic art. In this paper we propose a fuzzy

Fecha Recibido: Enero 7 de 2014

Fecha Aceptado: Abril 2 de 2014

* Miembro grupo de investigación Modelamiento en Ingeniería de Sistemas, Universidad Distrital Bogotá, Colombia. Correo: lsrodriguez@correo.udistrital.edu.co

** Miembro grupo de investigación, Modelamiento en Ingeniería de Sistemas, Universidad Distrital Bogotá, Colombia. Correo: ijponcef@correo.udistrital.edu.co

*** Miembro grupo de investigación Modelamiento en Ingeniería, de Sistemas, Universidad Distrital Bogotá. Correo: Colombia heespitiac@udistrital.edu.co



inference system for color manipulation in digital images with the purpose of modifying their artistic style. The proposed system aims to create a combination of different colors to generate a new visual sensation, much like the current psychedelic art. The proposed system is divided into two parts. The first part of the method consists in the creation of a fuzzy logic system that, through fuzzy sets, and rules of change generates color images that produced this psychedelic effect. In the second part, the differential evolution algorithm optimizes parameters of the proposed inference system and adjusts the results to the psychedelic art style used.

Keywords: Evolutionary art, colorimetry, fuzzy sets, fuzzy logic, image processing, optimization.

1. INTRODUCCIÓN

El campo del arte como expresión humana no es comúnmente asociado con áreas como las ciencias de la computación o la cibernética. Sin embargo existen líneas de investigación como el arte evolutivo que conectan dichas disciplinas mediante el diseño de sistemas de control. El arte evolutivo busca representar los procesos de creación humana con algoritmos que sintetizan el conocimiento humano [1]. Dichos algoritmos pueden ser verificados y evaluados por expertos u otros sistemas [1].

Parte de los desarrollos que comunican la computación con el arte se han dado en la detección y tratamiento de color en imágenes. Dentro de los trabajos recientes en este tema se encuentran: la selección automática de color para subtítulos en películas a color [3]; detección de fuego en imágenes captadas por cámaras de seguridad [4]; reconocimiento de objetos en fotografías por su color, para mejorar las búsquedas web [5]; reducción de ruido en imágenes a color [6]; optimización de procesamiento multimedia para reducir la complejidad al representar color real [7]; clasificación de color por segmentación de imágenes y algoritmos bio-inspirados para manejo del error [8].

El arte y el manejo del color no pueden tratarse mediante técnicas que establezcan límites cerrados y dicotómicamente excluyentes como la lógica clásica. Esto llevaría a clasificaciones taxonómicas estrictas que harían pensar en colores que pertenecen o no a una categoría mientras se excluyen de otra [10].

En contraposición a la lógica clásica, la lógica difusa presenta ventajas para el tratamiento de color. Esta metodología permite manejar la incertidumbre existente en sistemas donde una clasificación no es inmediata ni cerrada [9]. Al establecer reglas y conjuntos con grandes rangos de pertenencia se permite difuminar las fronteras, incluyendo términos como “verde-rojizo” que trabaja con niveles de pertenencia a las categorías [11].

La inclusión de la lógica difusa en el arte puede evidenciarse en menor medida, mediante trabajos como: el reconocimiento de lenguaje natural para la descripción de un paisaje mientras se colorea de forma automática un cuadro [12]; la aplicación de nuevas estrategias de mapeo para la composición audiovisual y nuevas técnicas de síntesis de sonido que se introducen en el campo del arte evolutivo.

Para apoyar el uso de la lógica difusa, es de utilidad la adopción de un modelo de color. El modelo RGB permite clasificar el color a través de códigos que determinan la pertenencia a tres diferentes conjuntos: rojo, verde y azul [16].

El trabajo expuesto en este artículo tiene como eje central el procesamiento de imágenes, para la identificación de color y modificación de su expresión artística. De esta forma, se aplican transformaciones en obras de arte para cambiar su intención, aquello que buscan transmitir a través de diferentes combinaciones de colores y técnicas. Específicamente se propone la generación de características relacionadas con el arte psicodélico en imágenes digitales.

El término psicodélico fue acuñado por el psicólogo británico Humphry Osmond, quien afirmaba que su significado refería “lo que manifiesta la mente” [13]. Específicamente en la pintura, esta manifestación se expresa a través de visiones del mundo no convencionales donde las características propias del uso del color y las formas juegan un papel realmente importante. Dentro de estas características se encuentran el uso de patrones fractales, colores brillantes y con alto contraste, profundidad en los detalles, formas de tipo radial, espirales. La pintura psicodélica es adecuada para la presentación de resultados de la implementación presentada en este artículo, por la evidente transformación de los datos de entrada.

Considerando el estilo artístico descrito y el potencial del uso de la lógica difusa para la transformación del color, se propone un sistema compuesto de: variables de entrada y salida, funciones de pertenencia, reglas de inferencia. Mediante este sistema se realiza la modificación de los colores en imágenes digitales para adquirir los efectos deseados. Este trabajo constituye un primer paso hacia sistemas de modificación visual no acotados a un único estilo artístico.

2. SISTEMAS DE LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa es una técnica de inteligencia computacional caracterizada por manejar la incertidumbre y la ambigüedad del mundo real [14], [17].

Las funciones asociadas a los sistemas de inferencia difusa son conocidas como funciones de pertenencia. Estas representan las entradas y las salidas en términos de variables. Las variables se relacionan mediante un conjunto de reglas en un modelo que simula el comportamiento de la situación estudiada. Mediante estos elementos (variables, funciones y reglas) se busca establecer niveles de pertenencia de elementos concretos a conjuntos.

El desarrollo de un modelo de lógica difusa se divide en tres procesos principales: la fusificación, la inferencia lógica y la defusificación.

En la fusificación se obtienen las variables de entrada y salida junto con las funciones de per-

tenencia que describen su comportamiento. En este proceso se convierten los valores reales en valores difusos, además se asignan grados de pertenencia a cada variable en relación a los conjuntos difusos [22].

Posteriormente, mediante la etapa de inferencia lógica se establecen las reglas de implicación que llevan los datos de entrada a las salidas determinadas.

Finalmente, para obtener de nuevo valores que tengan significado para el sistema del mundo real se lleva a cabo el proceso de defusificación. La defusificación adecúa a los datos obtenidos (valores difusos) a valores reales mediante la utilización de métodos como el Centroide o Promedio Ponderado [22].

La aplicación de la lógica difusa aporta soluciones a problemas que presentan complejidad que carecen de modelos matemáticos precisos. El conocimiento relacionado con estos problemas es de carácter subjetivo [14].

3. SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA PROPUESTO PARA LA MODIFICACIÓN DEL COLOR

En esta sección se relata el proceso de obtención de la solución propuesta en este trabajo. Inicialmente se describe la naturaleza del problema a tratar. Posteriormente, se evidencian las diferentes etapas asociadas a la definición de un sistema de lógica difusa.

3.1 Descripción del Problema

La selección de colores pertenecientes al estilo artístico psicodélico partiendo de imágenes con diferentes percepciones visuales es un proceso ambiguo. Se hace necesaria la definición de rangos de color objetivo. Dichos rangos pueden ser identificados a través de obras digitales mundialmente conocidas y producidas por artistas dentro del arte psicodélico.

Ejemplos de obras artísticas del estilo psicodélico se observan en la Figura 1 y la Figura 2, donde predominan colores de diferentes tonalidades de verdes, morados, azules, naranjas y fucsias.



Figura 1.
This is the
Top of the
Mountain.
Autor:
Larry Carlson
(2004).



Figura 2.
Bobcat on the Prowl.
Autor: Larry Carlson
(2012).

Considerando las anteriores obras y otras de diversos artistas, se propone un sistema de inferencia difusa para su luego ser optimizado.

3.2 Funciones de Pertenencia Propuestas

Para el sistema de inferencia propuesto se emplean tres variables correspondientes cada una a las componentes del modelo RGB (Red-Green-Blue) que pueden tomar valores entre 0 a 255. El universo discurso para la entrada del sistema

de inferencia difusa está dado por el color componente roja de cada pixel de la imagen a ser modificada.

En la Figura 3 (a) se observan las variables de entrada y variables de salida con tres funciones de pertenencia para cada una. Las funciones de pertenencia son de tipo gaussiana y representan tonos oscuros, medios y encendidos.

Las funciones de pertenencia de las variables de salida abarcan un determinado rango de valores con el fin de obtener los colores característicos del estilo artístico estudiado.

3.3 Reglas Propuestas

Basándose en el conocimiento del estilo artístico estudiado se determinan las tonalidades a ser reemplazadas y las combinaciones en los conjuntos difusos que llevarán a ciertos resultados. En la Tabla 1 se consignan la totalidad de las reglas establecidas, donde el antecedente corresponde al tono del color leído y el consecuente es el nuevo tono que tomará en cada componente RGB.

La principal particularidad en el estilo psicodélico es la saturación del color, es decir la mayor intensidad en una componente del modelo RGB. Los tonos medios se caracterizan por mantener la misma proporción de intensidad en cada componente y los tonos opacos por poseer valores muy bajos. Por tanto, se proponen reglas que detectaran las bajas intensidades para aumentar el valor en la componente predominante.

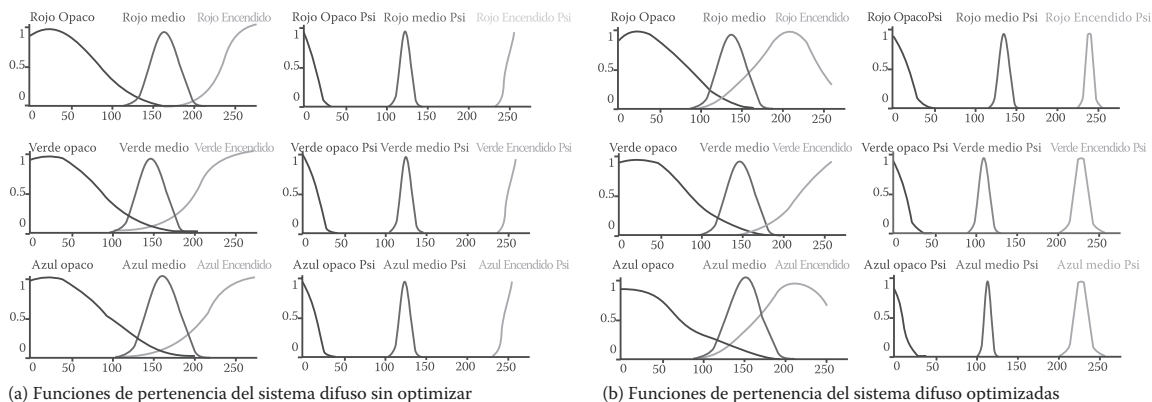


Figura 3. Funciones de pertenencia del sistema de inferencia.

Tabla 1. Reglas de inferencia para el sistema difuso

N.	Antecedente					Consecuente		
	Rojo	Op.	Verde	Op.	Azul	Rojo	Verde	Azul
1	Encendido	and	Opaco	and	Opaco	Encendido	Opaco	Opaco
2	Opaco	and	Encendido	and	Opaco	Opaco	Encendido	Opaco
3	Opaco	and	Opaco	and	Encendido	Opaco	Opaco	Encendido
4	Opaco	and	Opaco	and	Opaco	Opaco	Opaco	Opaco
5	Encendido	and	Encendido	and	Encendido	Encendido	Encendido	Encendido
6	Medio	and	Medio	and	Encendido	Opaco	Opaco	Encendido
7	Opaco	and	Encendido	and	Encendido	none	Medio	Encendido
8	Medio	and	Opaco	and	Opaco	Encendido	Medio	Opaco
9	Medio	and	Opaco	and	Opaco	Encendido	Opaco	Opaco
10	Encendido	and	Medio	and	Medio	Encendido	Opaco	Medio
11	Medio	and	Medio	and	Opaco	Encendido	Encendido	Opaco
12	Medio	and	Opaco	and	Encendido	Encendido	Opaco	Encendido
13	Medio	and	Encendido	and	Opaco	Opaco	Encendido	Opaco
14	Encendido	and	Encendido	and	Opaco	Encendido	Encendido	Opaco
15	Encendido	and	Opaco	and	Encendido	Encendido	Opaco	Encendido
16	Medio	and	Opaco	and	Medio	Encendido	Opaco	Encendido
17	Opaco	and	Medio	and	Medio	Opaco	Encendido	Encendido

A manera de ejemplo, en la regla número 17 el antecedente representa tonalidades de color azul verdoso opaco, dado por el producto de una componente roja de tipo rojo opaco, una componente verde de tipo verde medio y una componente azul de tipo azul medio. Lo cual el consecuente transformará el color en tonalidades turquesa, al aumentar los valores de las componentes verde y azul del código RGB, disminuyendo aun más la componente roja.

4. AJUSTE DEL SISTEMA

Las características del sistema difuso propuesto se determinaron considerando la información inicial del estilo de arte estudiado. Para validar y ajustar dicho modelo a partir de los resultados obtenidos, se diseña una función objetivo o de desempeño que se optimiza aplicando el algoritmo evolución diferencial.

El algoritmo de Evolución Diferencial (DE) fue propuesto por Storm y Price [20], [21]. El algoritmo se enfatiza en el proceso de mutación empleando un operador de cruce o recombinación luego de cada mutación.

Como se muestra en la Figura 4 la técnica de optimización se compone de 4 pasos: (1) inicializar de la población de forma aleatoria, (2) aplicar el operador de mutación diferencial, (3) emplear el operador de recombinación y (4) realizar el proceso de selección. Desde el paso (2), el algoritmo se repite hasta cumplir el criterio de finalización.

Un desarrollo similar al presentado en este documento donde se emplean algoritmos genéticos se puede apreciar en [19]. Estos últimos buscan emular el proceso que realiza la naturaleza, mejorando una especie al pasar el tiempo [18]. Sin embargo con el enfoque de evolución diferencial la población siguiente (por iteraciones del algoritmo) se establece considerando la diferencia entre individuos de la población actual.

La población es inicializada (primera generación) aleatoriamente, considerando los valores mínimos y máximos de cada variable. Mediante la mutación diferencial se añade la diferencia proporcional de dos individuos (q_1 , q_2) elegidos aleatoriamente de la población a un tercer individuo q_3 . El nuevo individuo corresponde a la mutación: $p_i = q_1 + \mu(q_1, q_2)$.

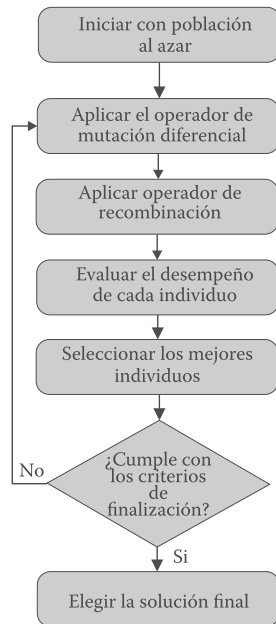


Figura 4. Algoritmo de Evolución Diferencial.

Mediante la constante de mutación $\mu > 0$ se establece el rango de diferenciación entre los individuos con el objetivo de evitar el estancamiento en el proceso de búsqueda.

Después de la mutación, se realiza una operación de recombinación sobre cada individuo q_i para generar un individuo u_i el cual se construye mezclando las componentes de p_i y q_i empleando la siguiente ecuación:

$$u_i(l) = \begin{cases} u_i(l), & \text{si } rand < P; \\ q_i(l), & \text{de lo contrario.} \end{cases} \quad (1)$$

Siendo $P \in [0, 1]$ un valor de probabilidad predefinida. Finalmente el operador de selección mediante el valor de la función objetivo determina si el individuo intermedio u_i es aceptado y reemplaza al individuo objetivo q_i , o si por el contrario se mantiene este individuo en la siguiente generación.

Mediante la aplicación de la técnica se ajusta los valores asociados a las funciones de pertenencia de cada variable. La optimización del sistema utiliza el error expresado en la información de una función objetivo o índice de desempeño. Esta función de desempeño se obtiene de comparar

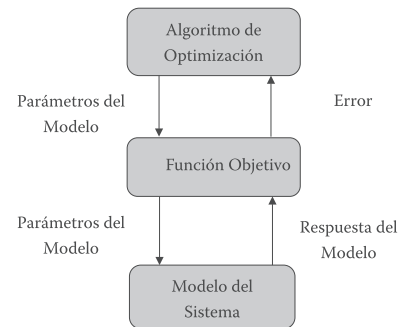


Figura 5. Proceso para la identificación de parámetros del modelo.

los datos resultantes del sistema propuesto o datos simulados contra datos reales suministrados por expertos en el campo del arte (docentes universitarios de artes).

Los datos reales se obtuvieron con la distinción de colores expresados en código RGB (ubicados a lo largo de todo el espectro de color). Con la ayuda de expertos se generó el equivalente de estos colores en el estilo artístico psicodélico. Tanto los datos reales como los simulados comparten la misma información de entrada correspondiente a los casos de prueba mencionados.

La función objetivo obtenida representa el error generado de la estimación de valores para los rangos de color. Por esta razón, el ajuste corresponde a una optimización que minimiza el error. En la Figura 5 se presenta el método empleado para realizar la identificación de parámetros del modelo y finalmente en la Figura 3 (b) se observa el ajuste de las funciones de pertenencia optimizadas.

5. RESULTADOS

Mediante el uso de la herramienta de software MATLAB se implementó el sistema difuso de tipo Mandani usando el Fuzzy Logic Toolbox, además de un algoritmo que recorre cada pixel de la imagen de entrada, con el fin de aplicarlo en el sistema difuso sin optimizar y el sistema difuso optimizado, obteniendo la imagen de salida modificada al estilo psicodélico.

La optimización también se implementó en MATLAB con los siguientes parámetros en el algoritmo de evolución diferencial: 100

generaciones, 20 poblaciones, factor de cruce 1 y constante de mutación 0.85.

En la Figura 6 se presenta en la parte superior, la imagen original ingresada al sistema difuso; en la parte izquierda se observa el resultado generado luego aplicar el sistema difuso sin optimizar, es decir con las funciones de pertenencia expuestas en la Figura 3 (a) y en la parte derecha se expone el resultado de la aplicación del sistema difuso optimizado, cuyas funciones de pertenencia son las presentadas en la Figura 3 (b). Igualmente en la Figura 7 se presenta en la izquierda la imagen original, en el centro la imagen resultante con el sistema difuso sin optimizar y a la derecha la imagen resultante con el sistema difuso optimizado.

Una distinción general entre los resultados obtenidos en el sistema difuso mejorado, destaca la continuidad del color y la conservación de los detalles de la imagen original, aspectos que no son evidentes en el sistema difuso inicial. Además evidencia aumento en la intensidad del color y la alteración de colores, como por ejemplo el paso de un amarillo quemado a un naranja saturado.

6. CONCLUSIONES

De las consultas realizadas a los expertos se estableció que la escala de colores del estilo artístico psicodélico se encuentra sobre tonalidades encendidas o tonos altos, donde la transformación a dichas tonalidades se realiza mediante la saturación de colores que posean una o dos componentes mayores que las demás. Los dos sistemas de inferencia difusa construidos lograron capturar dichas características, evidenciadas en los resultados correspondientes en las Figuras 6 y 7.

Este trabajo se puede tomar como referencia para realizar desarrollos en el campo del arte evolutivo para la modificación de la forma de las imágenes digitales considerando estilos de arte visual como *op art* (optical art) y arte cinético.

En un trabajo futuro se busca la creación de un algoritmo inteligente que detecte zonas o regiones de colores semejantes, para modificar su color. Esto mejorará la percepción visual de la imagen en el estilo artístico estudiado, al sobresaturar el color. En cuanto a posibles aplicaciones podría



Figura 6. Resultado 1. (original - sin optimizar - optimizado). Seres de Fantasia Vol 2: Sakimichan@.



Figura 7. Resultado 2. (original - sin optimizar - optimizado). Seres de Fantasia Vol 2: Sakimichan@.

incorporar a las suites de software de edición de imágenes digitales o partes exclusivas que elija el usuario de la imagen. Con el fin de modificar el estilo artístico generando nuevos efectos y en un tiempo de computo insignificante. Esta aplicación puede ser de utilidad en el campo de la publicidad, diseño gráfico y afines.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los artistas Larry-Carlson, por permitir el uso de su obra artística, pues su gentileza y oportuno interés apoyaron en gran medida el desarrollo del presente artículo. Además se agradece al profesor de planta de la Facultad de Arte de la Universidad Distrital, Ricardo Forero Cardenas y al profesor de honores de la Facultad de Arte de la Universidad Distrital, Alberto Díaz Lara por su orientación en el campo artístico y manejo de color digital.

REFERENCIAS

- [1] S. Dipaola, L. Gabora. "Incorporating Characteristics of Human Creativity into an Evolutionary Art Algorithm". *Genetic Programming and Evolvable Machines*, Vol 10, No 2, pp 97-110. June 2009.

- [2] L. Yang, "Adaptive learning evaluation model for evolutionary art," *2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pp.1,8, 10-15 June 2012
- [3] M. Davoudi, M. Davoudi, N. Seifnaraghi, "Adaptive Subtitle and Caption Coloring Using Fuzzy Analysis", 2009 WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering, vol.4, pp.764,768, 2009.
- [4] T. Celik, H. Ozkaramanli, H. Demirel, "Fire Pixel Classification using Fuzzy Logic and Statistical Color Model" IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007. , vol.1, pp.I-1205,I-1208, April 2007
- [5] C. Millet, I. Bloch, A. Popescu, "Using the Knowledge of Object Colors to Segment Images and Improve Web Image Search", *Large Scale Semantic Access to Content (Text, Image, Video, and Sound)*, Le Centre De Hautes Etudes Internationales D'informatique Documentaire. ACM Special Interest Group on Information Retrieval. Pp 569-584.
- [6] M.E. Yuksel, A. Basturk, "Application of Type-2 Fuzzy Logic Filtering to Reduce Noise in Color Images" *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol.7, no.3, pp.25,35, Aug. 2012
- [7] F. Chung, B. Fung, . "Fuzzy Color Quantization and its Application to Scene Change Detection". *Conference International Multimedia Conference ACM*. New York, NY, USA, 2003.
- [8] A. Borji, M. Hamidi, "Evolving a Fuzzy Rule-Base for Image Segmentation". *International Journal of Intelligent Technology*. No 2, Vol 3, pp 471-476, 2007.
- [9] P. Khanale, A. Kurhe. Color Perception of Images Using Fuzzy Logic. *Advances in Computational Sciences and Technology*. Vol 4, No 1 , pp 1-8, 2011.
- [10] O. Jung-Min, B. Bang, G. Lee. "Personal Color Decision System Using Fuzzy Logic". *International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*. Daejeon. Pp 790-795,2008.
- [11] Universidad de Extremadura. (2012). "Aplicaciones de la lógica difusa a la colorimetría". *Revista Hiperenciclopédica de Divulgación del Saber*, Vol 6, No 4.
- [12] T. Terano, S. Masui, H. Watanabe. "Coloring of a Landscape by Fuzzy Logic". *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp 13-20,1992.
- [13] E. Luft. *Die at the Right Time! A Subjective Cultural History of the American Sixties*. United States: United Book Press, 1952.
- [14] C. D 'Negri, E. De Vitro. "Introducción al Razonamiento Aproximado: Lógica Difusa". *Revista Argentina de Medicina Respiratoria*. Vol 4, pp 126-136, 2006.
- [15] E. Alba, M. Laguna, R. Martí. "Métodos evolutivos en problemas de optimización". *Revista INGENIERÍA UC*, Vol 10, No 3, pp 80-89, 2003.
- [16] T. Young. "The Bakerian Lecture: On the Theory of Light and Colours". *Phil. Trans. R. Soc. Lond*, pp 12-48, 1802.
- [17] L. Zadeh. "Fuzzy Sets". *Information and Control*. Vol 8. Pp 338- 353, 1965.
- [18] T. Weise. *Global optimization algorithms theory and application*. Self-Published Thomas Weise, 2009.
- [19] L. Rodríguez, I. Ponce, H. Espitia. "Propuesta y Ajuste de un Sistema de Inferencia Difusa para la Generación de Efectos Psicodélicos en Imágenes Digitales". *XVIII STSIVA*, 2013.
- [20] R. Storn, K. Price. "Differential evolution a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces". *Journal of Global Optimization*, Vol 11, No 4, pp 341-359, 1997.
- [21] K. Price, R. Storn, J. Lampinen. "Differential Evolution A Practical Approach to Global Optimization". *Natural Computing Series*. Springer-Verlag, Berlin, 2005.
- [22] O. Ramírez. "Simulación en simmechanics de un sistema de control difuso para el robot udlap". Tesis Licenciatura. Ingeniería Mecatrónica. Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla. Junio 2008.