

# REVISTA IZTATL COMPUTACIÓN



1. Reconocimiento de Objetos con Realidad Aumentada para el Aprendizaje de inglés como Lengua Extranjera
17. Cuitláhuac: videojuego de las batallas de mexicas vs españoles
25. Aplicación móvil como apoyo en la enseñanza de algoritmos de ordenamiento con Realidad Aumentada
32. Sistema de lectura y mejoramiento de imágenes médicas bajo el estándar DICOM
42. Reconocimiento de rostros aplicando métricas de distancia
53. Ecuilización de imágenes aplicadas a Rayos X
61. Agrupamiento de Fluctuaciones Bursátiles con Redes Neuronales



Universidad Autónoma de Tlaxcala  
Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología

*Dr. Luis Armando González Placencia*  
Rector

*Dr. Enrique Vázquez Fernández*  
Secretario Académico

*Mtra. María Samantha Viñas Landa*  
Secretaria de Investigación Científica y Posgrado

*Mtro. Alejandro Palma Suárez*  
Secretario de Extensión Universitaria y Difusión Cultural

*Mtro. José Antonio Durante Murillo*  
Secretario Técnico

*Lic. Rosamparo Flores Cortés*  
Secretaria Administrativa

*Dr. Rodolfo Ortiz Ortiz*  
Secretario de Autorrealización

*Mtro. Roberto Carlos Cruz Becerril*  
Coordinador de la División de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología

*Dr. Sergio Eduardo Algarra Cerezo*  
Coordinador General de Cuerpos Académicos

*Dra. Friné López Medina*  
Directora de la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología

*Dr. Miguel Ángel Munive Rojas*  
Secretario de la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología

*Mtro. Marlon Luna Sánchez*  
Coordinador de Posgrados en Computación y Electrónica

*Mtra. Carolina Rocío Sánchez Pérez*  
Coordinadora de Ingeniería en Computación



## Comité Editorial

Dra. Marva Angélica Mora Lumbreras

M.C. Carolina Rocío Sánchez Pérez

M.I.A. Norma Sánchez Sánchez

## Revista Iztatl Computación

Revista Iztatl Computación, año 9, No. 18, julio-diciembre 2020, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Tlaxcala en coordinación con la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología. Calle del Bosque s/n Colonia Tlaxcala centro C.P. 90000, Tlaxcala, Tlax, México. Teléfono (246) 4621422, <https://ingenieria.uatx.mx/revistas.html>, [iztatl.computacion@gmail.com](mailto:iztatl.computacion@gmail.com). Editor Responsable: Marva Angélica Mora Lumbreras. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo 04-2016- 102413050300-203, ISSN: 2007-9958, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsables de la última actualización de este número, Universidad Autónoma de Tlaxcala en coordinación con la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología. Calle del Bosque s/n Colonia Tlaxcala centro C.P. 90000, Tlaxcala, Tlax, México. Teléfono (246) 4621422, Dra. Marva Angélica Mora Lumbreras, fecha de última modificación, 11 de noviembre de 2020.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Tlaxcala a través de la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología.

# Comité Revisor

Dr. Alberto Portilla Flores, UAT  
Dr. Brian Manuel González Contreras, UAT  
Dr. Carlos Sánchez López, UAT  
Dr. Francisco Javier Albores Velasco, UAT  
Dr. Ricardo Pérez Águila, UTM  
Dra. Claudia Zepeda Cortés, BUAP  
Dra. Leticia Flores Pulido, UAT  
Dra. María Enedina Carmona Flores, UAT  
Dra. Marva Angélica Mora Lumbreras, UAT  
Dra. Verónica Rodríguez Rodríguez, UDLAP  
M.C. Carlos Santacruz Olmos, UAT  
M.C. Carolina Rocío Sánchez Pérez, UAT  
M.C. Juventino Montiel Hernández, UAT  
M.C. Luis Enrique Colmenares Guillén, BUAP  
M.C. María del Rocío Ochoa Montiel, UAT  
M.C. Marlon Luna Sánchez, UAT  
M.I.A. Norma Sánchez Sánchez, UAT  
M.C. Patrick Hernández Cuamatzi, UAT

## Universidades

**BUAP.-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

**UAT.-Universidad Autónoma de Tlaxcala**

**UDLAP.-Universidad de las Américas, Puebla**

**UTM.-Universidad Tecnológica de la Mixteca**





Es un agrado presentar la edición 18 de la revista Iztatl Computación, los artículos que la integran son una contribución al área de Cómputo, producto de trabajos realizados por estudiantes y profesores de la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología.

Los artículos que conforman esta edición son:

1. *Reconocimiento de Objetos con Realidad Aumentada para el Aprendizaje de inglés como Lengua Extranjera* de Enrique Onofre Victorero y Marva Angélica Mora Lumbreras, en este trabajo se desarrolló una aplicación móvil de aprendizaje de vocabulario con realidad aumentada para estudiantes de inglés como lengua extranjera.
2. *Cuitláhuac: videojuego de las batallas de mexicas vs españoles* de Angel Ivan Piedras Navarrete, Elizabeth Zarate Sanchez, Marva Angélica Mora Lumbreras, Carolina Rocío Sánchez Pérez, Norma Sánchez Sánchez y Alberto Portilla Flores está enfocado en el desarrollo de un videojuego de rol (RPG) para el aprendizaje de historia de México, “Cuitlahuac”, específicamente en el primer encuentro entre Moctezuma II y Hernán Cortes, que llevó a la batalla de la noche triste y la batalla de Otumba.
3. *Aplicación móvil como apoyo en la enseñanza de algoritmos de ordenamiento con Realidad Aumentada* de Mario Garcia Escobar, Rubi Esmeralda Badillo Chavez, Xochipilli Acoltzi Xochitiotzi, Patricia Trejo Xelhuantzi y Marva Angélica Mora Lumbreras se enfoca en una aplicación que hace uso de Realidad Aumentada, mostrando animaciones con objetos 3D para cada uno de los algoritmos de ordenamiento: Burbuja y Quicksort, apreciando el funcionamiento de cada uno de ellos .

4. *Sistema de lectura y mejoramiento de imágenes médicas bajo el estándar DICOM* de Karla Kinéret Ramírez Tlahuitzo, Patrick Hernández Cuamatzi, Leticia Flores Pulido y Francisco Javier Albores Velazco, tiene como objetivo el desarrollo de un sistema que tuviera la capacidad de visualizar, mejorar la calidad de las imágenes médicas, con la intención de proporcionar una herramienta que permita a los profesionales de la salud facilitar su labor y que sea eficiente.
  
5. *Reconocimiento de rostros aplicando métricas de distancia* de Rodolfo Bautista-Cahuantzi, Jose de Jesus Sánchez-Báez, Ana Isabel Sanluis-Cervantes, Rodrigo Sosa Escalante, Leticia Flores-Pulido Patrick Hernández-Cuamatzi propone un sistema básico, para realizar un reconocimiento de rostros donde se utilizan dos tipos de métricas relacionadas con este tipo de reconocimiento de patrones, la "Distancia Euclidiana" y la "Distancia Minkowski".
  
6. *Ecuilización de imágenes aplicadas a Rayos X* de Daniela Munguía Núñez, Leticia Flores Pulido, Patrick Hernández Cuamatzi y Carlos Pérez Corona presenta el desarrollo de una herramienta que mejora la calidad de imágenes de Rayos X para extraer y visualizar patologías de lesiones y enfermedades con el fin brindar soporte a los especialistas en radiología, traumatología y ortopedia en los radiodiagnósticos.
  
7. *Agrupamiento de Fluctuaciones Bursátiles con Redes Neuronales* de Verónica Stephany Cirio García, Leticia Flores Pulido, Perfecto Malaquías Quintero Flores y Carlos Pérez Corona presenta el funcionamiento de una red neuronal como lo son los Mapas Auto-organizativos SOM (por las siglas en inglés de Self-Organizing Maps), en el cual este algoritmo fue aplicado para la clasificación de bancos que agrupan en la Bolsa de Valores.

Agradecemos a nuestros lectores su preferencia.

Marva Angélica Mora Lumbreras  
Editora responsable



# Índice

- 1, Reconocimiento de Objetos con Realidad Aumentada para el Aprendizaje de inglés como Lengua Extranjera  
*Enrique Onofre Victorero, Marva Angélica Mora Lumbreras*
  
17. Cuitláhuac: videojuego de las batallas de mexicas vs españoles  
*Ángel Iván Piedras Navarrete, Elizabeth Zarate Sanchez, Marva Angélica Mora Lumbreras, Carolina, Rocío Sánchez Pérez, Norma Sánchez Sánchez, Alberto Portilla Flores*
  
25. Aplicación móvil como apoyo en la enseñanza de algoritmos de ordenamiento con Realidad Aumentada  
*Mario García Escobar, Rubí Esmeralda Badillo Chávez, Xochipilli Acoltzi Xochitiotzi, Patricia Trejo Xelhuantzi, Marva Angélica Mora Lumbreras*
  
32. Sistema de lectura y mejoramiento de imágenes médicas bajo el estándar DICOM  
*Karla Kinéret Ramírez Tlahuitzo, Patrick Hernández Cuamatzi, Leticia Flores Pulido, Francisco Javier Albores Velasco*
  
42. Reconocimiento de rostros aplicando métricas de distancia.  
*Rodolfo Bautista-Cahuantzi, José de Jesús Sánchez-Báez, Ana Isabel Sanluis-Cervantes, Rodrigo Sosa Escalante, Leticia Flores-Pulido Patrick Hernández-Cuamatzi*
  
53. Ecuación de imágenes aplicadas a Rayos X  
*Daniela Munguía Núñez, Leticia Flores Pulido, Patrick Hernández Cuamatzi, Carlos Pérez Corona*
  
61. Agrupamiento de Fluctuaciones Bursátiles con Redes Neuronales  
*Verónica Stephany Cirio García, Leticia Flores Pulido, Perfecto Malaquías Quintero Flores, Carlos Pérez Corona*



## Reconocimiento de Objetos con Realidad Aumentada para el Aprendizaje de inglés como Lengua Extranjera

Enrique Onofre Victorero, Marva Angélica Mora Lumbreras  
Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y  
Tecnología  
Calzada Apizaquito, s/n, C.P 90300, Apizaco, Tlaxcala, México  
{enriqueveintidos, marva.mora}@gmail.com  
<http://www.uatx.mx/>

*Recibido 14 de septiembre de 2020, Aceptado 25 de septiembre de 2020,  
Versión final 02 de octubre de 2020*

**Resumen** En este trabajo se desarrolló una aplicación móvil de aprendizaje de vocabulario con realidad aumentada para estudiantes de inglés como lengua extranjera. Hoy en día, el acceso a oportunidades laborales depende en gran medida del dominio que los estudiantes tienen en este idioma. Por lo que el sistema pretende ser una herramienta útil que ayude a los estudiantes a introducirse en el estudio de esta lengua. El sistema, además, permite a los usuarios mandar capturas de objetos que el sistema no haya sido capaz de reconocer, para que otros usuarios puedan ayudar en la traducción al inglés de estos, y de esta manera ampliar la base de conocimiento mediante actualizaciones periódicas del sistema. En este artículo se explican los trabajos anteriores que han abordado este tema, la implementación de la aplicación y las pruebas realizadas.

**Abstract** In this work, a vocabulary learning mobile application was developed for students of English as a foreign language. Today, access to job opportunities depends largely on the proficiency that students have in this language. Therefore, the system aims to be a useful tool that helps students to enter

the study of this language. The system also allows users to send snapshots of objects that the system could not recognize so that other users can help in translating these into English and thus expand the knowledge base through periodic system updates. This article explains the previous work on this topic, the implementation of the application, and the tests performed.

**Palabras Clave:** Realidad Aumentada, Reconocimiento de Objetos, Aplicación Móvil, Aprendizaje de Lenguas, Inglés

**Keywords:** Augmented Reality, Object Recognition, Mobile Application, Language Learning, English

## 1. Introducción

Hoy en día existen dificultades entre la población estudiantil para aprender lenguas extranjeras y en especial, el idioma inglés. Esto limita las oportunidades que un estudiante puede tener en cuanto a su desarrollo académico y profesional, ya que la mayor parte del conocimiento científico y académico se produce en inglés. Además, el acceso a oportunidades laborales, fundamentalmente en carreras de ingeniería y tecnología, muchas veces depende del dominio que los nuevos egresados tengan en esta lengua.

En este trabajo se propone y desarrolla, un sistema de reconocimiento de objetos con realidad aumentada para que estudiantes de inglés puedan adquirir vocabulario. El sistema está dirigido a estudiantes de nivel A1 de inglés como lengua extranjera. El objetivo, es crear un sistema que sea capaz de identificar objetos en tiempo real a través de un dispositivo móvil, y que, además, pueda ampliar su capacidad de reconocer nuevos objetos mediante la colaboración de una comunidad activa de personas que se encargarían de retroalimentar el sistema con nuevos objetos y sus respectivos nombres.

## 2. Trabajos Relacionados

### 2.1 Glimpse: Continuous, Real-Time Object Recognition on Mobile Devices [1]

En este trabajo se implementó un sistema de reconocimiento de objetos en tiempo real en dispositivos móviles. Utiliza una

arquitectura cliente-servidor, en la cual se realiza la inferencia en un servidor web. Del lado del cliente se ejecutan las tareas de diferenciación de fotogramas y seguimiento de objetos. Para reducir el consumo de ancho de banda, se envían solo ciertos fotogramas “disparadores” al servidor. Estos fotogramas disparadores pueden ser aquellos cuando se detecta una falla en el seguimiento o se detectan cambios en la escena. Otra propuesta interesante de este proyecto es la de caché activa, en la cual se guardan todos los fotogramas subsecuentes al fotograma transmitido al servidor. Cuando el dispositivo móvil recibe los resultados, ejecuta el seguimiento de los objetos con los fotogramas almacenados en la caché. Los resultados de este experimento demuestran que se logra una mejora del desempeño de reconocimiento y seguimiento con las técnicas que aquí se proponen.

## **2.2 Convolutional Neural Networks for Object Recognition on Mobile Devices: a Case Study [2]**

En este trabajo se llevó a cabo un estudio para analizar la aplicación de algoritmos de Aprendizaje Automático, en especial Redes Neuronales Convolucionales en dispositivos móviles para tareas de reconocimiento de objetos. Se comparan diferentes arquitecturas de redes neuronales convolucionales tales como AlexNet, NIN y GoogLeNet. Los modelos CNN considerados se comparan contra técnicas superficiales como Máquinas de Soporte Vectorial, Bosques Aleatorios y Clasificadores Bayesianos Ingenuos. También se evalúa la complejidad de los modelos para tres tipos de implementación: CPU, GPU y dispositivos móviles. La implementación de las redes neuronales se realizó con la librería CAFFE en C++. Para la versión móvil se utilizó una versión de Objective-C modificada. Para los métodos superficiales se utilizó la interfaz para Matlab de la librería VLFeat. Las bases de datos de imágenes utilizadas fueron Caltech-101 y la base de datos del Museo Marino de Brest. En este estudio concluyen que la mejor arquitectura para hacer inferencia en dispositivos móviles es NIN, que tarda solo 300 segundos por fotograma y solo 29 MB de memoria.

## **2.3 Automatic Object Recognition in a Light-Weight Augmented Reality-based Vocabulary Learning**

### **Application for Children with Autism [3]**

En este trabajo se propone una aplicación de realidad aumentada con reconocimiento automático de objetos para el aprendizaje de vocabulario en niños con autismo. Para el desarrollo de esta aplicación se utilizó la plataforma de aprendizaje máquina Tensorflow. El sistema permite hacer el reconocimiento de los objetos sin la necesidad de acceder a internet. El diseño de la interfaz pasó por varias iteraciones con el fin de facilitar su uso por niños con trastornos del espectro autista. Cuenta con botones que al ser presionados muestran el nombre del objeto en chino o en inglés, según sea el caso. El sistema fue probado con siete juguetes de animales mostrando resultados muy satisfactorios.

### **2.4 ARbis Pictus: A Study of Vocabulary Learning with Augmented Reality [4]**

En este artículo se describe un estudio realizado que aborda los beneficios de utilizar Realidad Aumentada para realizar tareas de memorización como las que se usan en el aprendizaje de idiomas. Se desarrolló una herramienta con Realidad Aumentada para las gafas HoloLens de Microsoft y otra con tarjetas tradicionales de palabras en forma de aplicación web. En el estudio participaron 52 personas con un promedio de edad de 21 años. La modalidad de aprendizaje y los grupos de palabras se variaron sistemáticamente durante el estudio, resultando en un diseño de medidas con contrapeso de 2x2. El idioma utilizado en el estudio fue el euskera, mismo que ningún participante manifestó tener ningún dominio de este. Además, se realizaron pruebas de comprensión y memorización de palabras a los participantes en el estudio justo después de terminar la experiencia y cuatro días después de esta. Los resultados muestran que la RA superó a las tarjetas en los tests de comprensión y memorización realizados el mismo día por 7%. Esta diferencia aumenta hasta el 21% en las pruebas realizadas cuatro días después. Los estudiantes también reportaron que la experiencia de aprendizaje con RA fue más efectiva y agradable que el enfoque con tarjetas. Los investigadores creen que esto es una buena indicación de que la RA puede resultar beneficiosa para el aprendizaje de idiomas.

## **2.5 A Foreign Language Learning Application using Mobile Augmented Reality [5]**

El autor de este estudio presenta una aplicación de aprendizaje de lenguas extranjeras con realidad aumentada y gamificación, así como los resultados obtenidos después de probar la aplicación en diferentes escenarios. El sistema realiza reconocimiento de texto en unas tarjetas que contienen palabras de diferentes categorías mediante la técnica de reconocimiento óptico de caracteres para detectar el texto escrito. Además de un algoritmo para empatar los resultados del reconocimiento con las palabras disponibles en la base de datos. El algoritmo de empate consiste en checar si por lo menos el 80% de los caracteres reconocidos por el motor de OCR son idénticos y se encuentran en el mismo orden que los de una palabra disponible para la categoría seleccionada. El sistema de gamificación se basa en una clase que dibuja en la pantalla los objetos virtuales correspondientes a las palabras reconocidas. Además, también traduce los objetos reconocidos al idioma seleccionado por el usuario que puede ser inglés, francés o italiano. La API Text-to-Speech de Google se utiliza para pronunciar la palabra traducida. El uso de un sistema de gamificación aumenta la motivación de los estudiantes a utilizar la aplicación, debido al impacto que los videojuegos tienen en sus áreas emocionales, cognitivas y sociales.

## **2.6 Gamifying French Language Learning: a Case study examining a quest-based, augmented reality mobile learning-tool [6]**

Esta investigación consiste en el desarrollo e implementación de un prototipo de herramienta de aprendizaje llamada *Explorez*, en una clase de francés de primer año de universidad. Para desarrollar esta aplicación se utilizó el modelo ADDIE el cual es un sistema instruccional muy adecuado para guiar a los desarrolladores en la creación y evaluación de software de idiomas. Mediante GPS, la aplicación transforma el campus de Columbia Británica de la Universidad de Victoria en un mundo virtual francófono, donde los estudiantes interactúan con personajes, objetos y medios al mismo tiempo que mejoran sus habilidades en lengua francesa. En cada ubicación los jugadores

interactúan con personajes virtuales que los dirigen o les dan tareas con pistas u opciones. Estas interacciones se dan en la forma de textos escritos o grabaciones de audio y video que los estudiantes deben responder. Esto permite a los estudiantes mejorar tanto la producción y comprensión del lenguaje escrito y oral. Los estudiantes que participaron en el estudio progresaron en el sistema tal como se pretendía. En promedio los grupos de 2 o 3 estudiantes completaron las tareas en los 50 minutos asignados. Los estudiantes realizaron un gran esfuerzo por hablar en francés mientras manipulaban la interfaz, exploraban las tareas, su inventario y el mapa de juego, colaborando para decidir su siguiente paso en este.

### 3. Conceptos Básicos

- **Aprendizaje de lenguas extranjeras mediante dispositivos móviles**

El lenguaje es el medio por el que los seres humanos nos comunicamos entre sí. Un lenguaje se considera extranjero si se aprende principalmente en un salón de clases y no es hablado en la sociedad en donde se da el aprendizaje [7]. El aprendizaje de lenguas mediante dispositivos móviles (MALL, por sus siglas en inglés) es un campo del aprendizaje de lenguas que utiliza dispositivos móviles. Los estudiantes tienen la oportunidad de aprender otro idioma fuera del salón de clases en cualquier lugar [8].

- **Realidad aumentada**

Una aplicación de realidad aumentada es aquella que combina el mundo real con el mundo virtual, es interactiva y funciona en tiempo real, y es registrada en tres dimensiones [9]. Estas aplicaciones se suelen implementar en dispositivos portátiles como teléfonos inteligentes o gafas especiales. El objetivo de la realidad aumentada es dotar al usuario con información relevante según el contexto en el que utiliza la aplicación.

- **Reconocimiento de objetos**

El reconocimiento de objetos o patrones es un área de la visión por computadora que se encarga de clasificar objetos (clases) y

diferenciarlos unos de otros [10]. Una de las técnicas utilizadas para esta tarea es la de Redes Neuronales Artificiales, las cuales son entrenadas sobre un conjunto de muestras o ejemplos de entrenamiento que están etiquetadas como pertenecientes a una clase (o varias), de tal modo que cuando se les presenta una entrada parecida a las del entrenamiento, producen como respuesta una similar a la de la clase sobre la que les fue entrenada.

#### **4. Descripción de la Aplicación**

El desarrollo de este sistema se dividió en dos componentes principales: una aplicación móvil y un servidor. La aplicación móvil es capaz de reconocer los objetos del mundo real de manera local. El servidor, por otra parte, hace las veces de medio de comunicación entre aquellos usuarios que participan voluntariamente en enviar y traducir nuevos objetos para que después sean incorporados en la base de conocimiento mediante actualizaciones de la aplicación.

Para el módulo de reconocimiento de objetos se utilizó la arquitectura de red neuronal MobileNetV2 [11], específicamente, se utilizó la implementación proporcionada por Tensorflow. Esta red fue entrenada para reconocer 59 clases diferentes de objetos, entre los cuales se encuentran objetos de casa como librero, cortina o tapete. También hay objetos escolares, como mochila, bolígrafo o calculadora. Además de objetos que son dispositivos electrónicos, como teclado de computadora, microondas o laptop. El reconocimiento en el dispositivo móvil se lleva a cabo gracias a TensorFlow Lite, la cual es una implementación de la plataforma TensorFlow que permite realizar inferencias directamente en dispositivos móviles.

En lo que respecta al servidor de apoyo, cuando un usuario intenta reconocer un objeto con la aplicación, y después de varios intentos, el objeto no logra ser reconocido satisfactoriamente, la aplicación propone al usuario enviar una imagen de dicho objeto para que sea agregada a la base de conocimiento. Esto está diseñado con el objetivo de agregar nuevos objetos a la base de conocimiento, pero también funciona para aumentar los ejemplos de entrenamiento de objetos que ya se encuentran en la base, pero que no tienen una cantidad de ejemplos suficiente para poder ser reconocidos en la

mayoría de los casos. Luego de ser aceptado por el administrador del sistema, la imagen de dicho objeto se pone a disposición de todos los usuarios para que propongan y voten nombres para ese objeto. Con esto se busca automatizar lo más posible el proceso de selección de nuevos objetos para la base de conocimiento. Además de garantizar que dichos objetos son objetos con los cuales los usuarios están interactuando en casos de uso reales.

Para utilizar esta aplicación es necesario contar con un dispositivo móvil Android versión 5.1.1 o posterior. En caso de utilizar las funciones de asistencia de entrenamiento, es necesario contar, además, con una conexión a internet.

## 5. Interfaz de Usuario

En el diseño de la aplicación móvil, se priorizaron los conceptos de diseño intuitivo e inmersión del usuario. La pantalla principal mostrada en la Figura 1, es en la cual se realiza el reconocimiento de los objetos. El usuario solo tiene que centrar la cámara posterior del teléfono en el objeto del cual desea saber el nombre. En la parte inferior de la pantalla se muestra el nombre del objeto reconocido y la transcripción fonética del mismo. En una actualización posterior se pretende, además, agregar la posibilidad de escuchar la pronunciación de dicho objeto.

En la Figura 2 se muestra el módulo de asistencia de entrenamiento. Cuando el usuario entra a esta pantalla se le proporciona una lista con todos los objetos enviados por los usuarios. Aquí el usuario



Figura 1. Pantalla principal de la aplicación

puede proponer otro nombre para el objeto o votar algún nombre propuesto por otro usuario. Al terminar el periodo de entrenamiento, el nombre más votado será con el cual se entrenará ese objeto en la red neuronal.

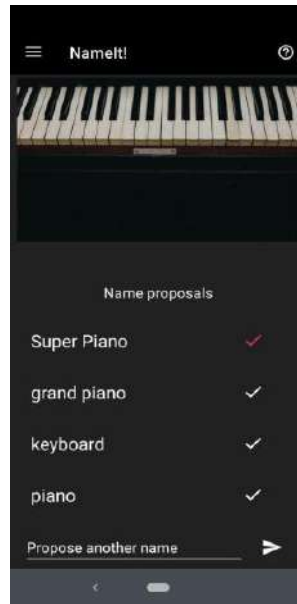


Figura 2. Pantalla del módulo de Asistencia de entrenamiento

Debido al carácter novedoso de la aplicación, se agregó una bienvenida para los usuarios que utilizan la aplicación por primera vez.

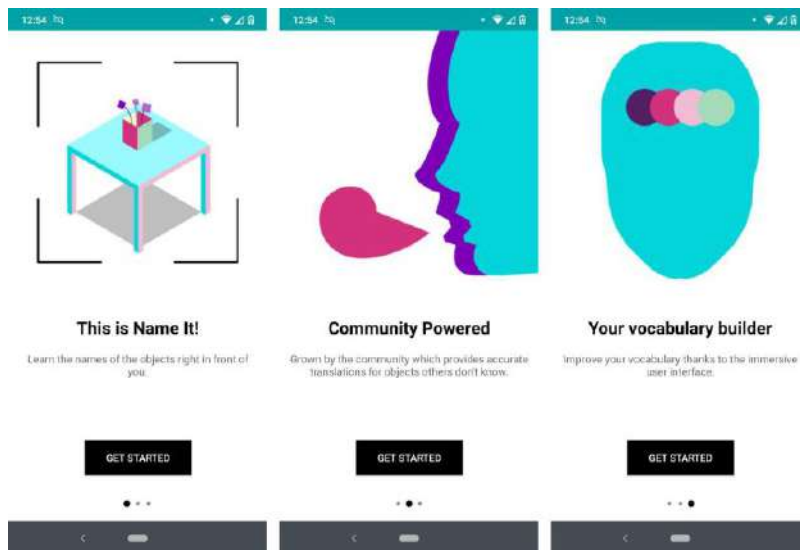


Figura 3. Pantallas de bienvenida

En esta bienvenida se presenta la aplicación (ver Figura 3) y sus características más relevantes. El usuario tiene la libertad de explorar las 3 pantallas a su ritmo y de terminar la bienvenida para pasar a la pantalla principal de la aplicación.

En la pantalla principal y en caso de utilizar la aplicación por primera vez, se muestra también, un tutorial explicativo de las funciones y botones de esta. Este tutorial también es explorado por el usuario a su ritmo y así como en la bienvenida, puede terminarlo en cualquier momento que desee (ver Figura 4).

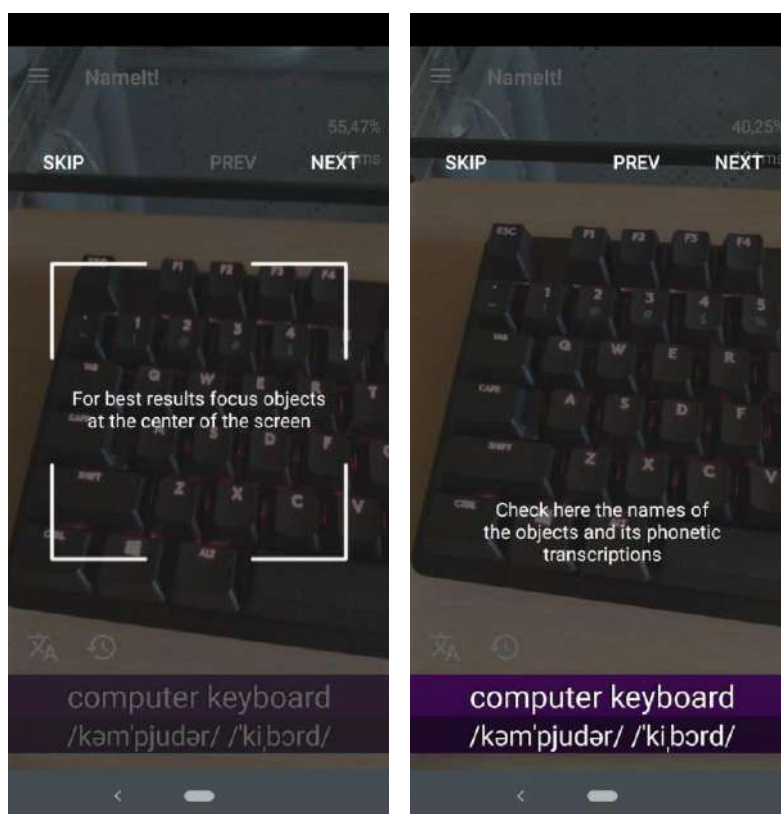


Figura 4. Primeras 2 pantallas del tutorial explicativo

## 6. Resultados y Pruebas

Se realizaron pruebas de la aplicación móvil en dos dispositivos diferentes con las características descritas en la Tabla 1.

Dispositivo	Especificaciones
Motorola One	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Procesador: Qualcomm Snapdragon 625 a 2.0 GHz Octa-core 64-bit</li> <li>▪ Gráficos: GPU Adreno 506 a 650 MHz</li> <li>▪ Memoria: 4 GB</li> <li>▪ Almacenamiento: 64GB</li> <li>▪ Sistema Operativo: Android 9.0 Pie</li> <li>▪ Pantalla: Resolución HD+ (720x1520 pixeles) 287 PPI. Tamaño 5.9"</li> </ul>
Lenovo Yoga Tab 3 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Procesador: Qualcomm Snapdragon 210 a 1.3 GHz Quad-core 64-bit</li> <li>▪ Gráficos: GPU Adreno 304</li> <li>▪ Memoria: 1 GB</li> <li>▪ Almacenamiento: 16 GB</li> <li>• Sistema Operativo: Android 6.0.1 Marshmallow</li> <li>• Pantalla: Resolución 800x1280 pixeles 149 PPI. Tamaño 10.1"</li> </ul>

**Tabla 1.** Dispositivos utilizados en las pruebas de sistema

A continuación, se muestran los resultados de las Pruebas de Sistema, las cuales tienen el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento de los casos de uso.

Caso de uso probado	Descripción de la Prueba	Descripción de Defecto
CU_01 Iniciar el modo de reconocimiento	El sistema es capaz de iniciar el sistema de reconocimiento de objetos	Sin defectos encontrados
CU_02 Reconocer objeto	El objeto es reconocido correctamente	Sin defectos encontrados

	o, si aplica, se solicita enviarlo para entrenamiento	
CU_03 Visualizar objetos previamente reconocidos	Los objetos se visualizan correctamente	Sin defectos encontrados
CU_04 Eliminar objeto previamente reconocido del historial	Se puede eliminar el objeto correctamente	Sin defectos encontrados
CU_05 Asistir en entrenamiento de IA	A) Se pueden proponer nuevos nombres para los objetos de entrenamiento. B) Se pueden votar los nombres propuestos de los objetos de entrenamiento	Sin defectos encontrados
CU_06 Reiniciar historial de reconocimiento	Se eliminan todos los objetos del historial	Sin defectos encontrados
CU_07 Reportar errores e incidentes	El reporte se envía al servidor	Sin defectos encontrados
CU_08 Consultar el	El manual de usuario está	Sin defectos encontrados

manual de usuario	completo y describe todas las funcionalidades del sistema	
CU_09 Enviar objeto para entrenamiento	Se pueden enviar nuevos objetos al servidor para ser entrenados	Sin defectos encontrados
CU_10 Aprobar objeto para entrenamiento	Los objetos son aprobados por el administrador del sistema	Sin defectos encontrados
CU_11 Integrar objeto entrenado	Los objetos son integrados a la base de conocimiento	Sin defectos encontrados

**Tabla 2.** Resultados de las pruebas de sistema

También se realizó un Test de Usabilidad corroborar la usabilidad de la aplicación y percepción de esta por parte de usuarios potenciales de la aplicación.

Pregunta	Sí	No
1. Todos los elementos de la pantalla de inicio están claramente enfocados en las tareas clave de los usuarios.	85%	15%
2. Supiste qué hacer primero en la aplicación.	71%	29%
3. Los nombres de los objetos reconocidos eran legibles.	85%	15%

4. Con un solo vistazo al software, el usuario que ingresa por primera vez puede entender por dónde comenzar.	85%	15%
5. El diseño del software está realizado profesionalmente y va a crear una primera impresión positiva.	100%	0%
6. Los colores o tonos utilizados en el diseño facilitan la visualización de los elementos de la aplicación	100%	0%
7. El manual de usuario describe claramente qué se puede hacer en la aplicación.	100%	0%
8. Entiendes claramente el funcionamiento del módulo de entrenamiento.	71%	29%
9. Los tipos y tamaños de letra utilizados a lo largo de la aplicación son adecuados.	71%	29%
10. El software es fácil de explorar.	100%	0%

**Tabla 2.** Resultados del Test de Usabilidad

Derivado de los resultados de este test se pudo identificar que una buena parte de los usuarios estaban teniendo problemas para saber qué hacer primero, por lo que se decidió crear una bienvenida (ver Figura 3). También se rediseñó la pantalla principal (ver Figura 1) y se aumentó el tamaño de los textos en general ya que muchos usuarios reportaron tener problemas con la lectura de los textos ya que eran poco legibles.

## 7. Conclusiones

Con este trabajo podemos concluir que, gracias a los avances en dispositivos móviles, derivado de su popularidad y del interés de los fabricantes en ofrecer cada vez dispositivos más potentes, se pueden crear aplicaciones móviles que utilizan inteligencia artificial de manera eficiente, esto es posible también gracias a la plataforma Tensorflow que es una plataforma de código abierto para el Aprendizaje Máquina.

Es importante mencionar que, aunque este sistema se encuentra en una fase inicial de desarrollo, ha tenido una buena aceptación por parte de los usuarios que participaron en las pruebas. Esto motiva en gran medida el desarrollo continuado de este sistema con el fin de dotarlo de funcionalidades nuevas y mejorar aquellas con las que el sistema ya cuenta.

Las aplicaciones educativas representan una gran oportunidad de crear aplicaciones que sean atractivas para los estudiantes que, por su parte, ya están acostumbrados a este tipo de tecnología, aunque principalmente la utilizan con fines de entretenimiento.

## Referencias

1. T. Y-H. Chen, L. Ravindranath, S. Deng, P. Bahl, H. Balakrishnan, Glimpse: Continuous, Real-Time Object Recognition on Mobile Devices, SenSys'15, Seúl, Korea del Sur; 2015.
2. L. Tobías, A. Ducournau, F. Rousseau, G. Mercier, R. Fablet, Convolutional Neural Networks for Object Recognition on Mobile Devices: a Case Study, 23<sup>rd</sup> International Conference on Pattern Recognition (ICPR). Cancún, México; 2016.
3. T. Y. Tang, J. Xu, P. Winoto, Automatic Object Recognition in a Light-Weight Augmented Reality-based Vocabulary Learning Application for Children with Autism.
4. A. Ibrahim, B. Huynh, J. Downey, T. Höllerer, D. Chun, J. O'Donovan, ARbis Pictus: A Study of Vocabulary Learning with Augmented Reality, Transactions on Visualization and Computer Graphics, Nueva Jersey, EUA; 2018.
5. A. Dita, A Foreign Language Learning Application using Mobile Augmented Reality, Informatica Economică, vol. 20, no.4, Bucarest, Rumanía; 2016.
6. B. Perry, Gamifying French Language Learning: a case study examining a quest-based, augmented reality mobile learning-tool, Procedia Social and Behavioral Sciences, 174, Victoria BC, Canadá; 2015.
7. A-M Manga, Lengua Segunda (L2) Lengua Extranjera (Le): Factores e Incidencias de Enseñanza/Aprendizaje, Escuela Normal Superior, Universidad de Yaundé I, Camerún; 2008.

8. T. Y. Miangah, A. Nezarat, Mobile-Assisted Language Learning, International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS), Vol. 3, No. 1, Yazd, Irán; 2012.
9. Moreno N.M., Leiva J.J., Galván M.C., López E. y García, F.J. (2017) Realidad aumentada y realidad virtual para la enseñanza-aprendizaje del inglés desde un enfoque comunicativo e intercultural. En Ruiz-Palmero J., Sánchez-Rodríguez J. y Sánchez-Rivas, E. (Edit.). *Innovación docente y uso de las TIC en educación*. Málaga: UMA Editorial.
10. J. A. Carrasco, J. F. Martínez Trinidad, Reconocimiento de patrones, Komputer Sapiens Revista de Divulgación de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial, Año 3, Vol. 2, Tonantzintla, Puebla, México; 2011.
11. M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, L-C. Chen, MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks, Google Inc., Mountain View, California, EUA; 2019.
12. M. X. Chávez-Zambrano, M. A. Saltos-Vivas, C. M. Saltos-Dueñas, La importancia del aprendizaje y conocimiento del idioma inglés en la enseñanza superior, Revista Científica Dominio de las Ciencias, Manabí, Ecuador; 2017.



## Cuitláhuac: videojuego de las batallas de mexicas vs españoles

Angel Ivan Piedras Navarrete, Elizabeth Zarate Sanchez, Marva Angélica Mora Lumbreras, Carolina Rocío Sánchez Pérez, Norma Sánchez Sánchez, Alberto Portilla Flores

Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Tecnología  
Calzada Apizaquito, s/n, C.P 90300, Apizaco, Tlaxcala, México  
angel98\_P08@outlook.com, marva.mora@gmail.com  
<http://www.uatx.mx/>

*Recibido 14 de septiembre de 2020, Aceptado 25 de septiembre de 2020,  
Versión final 02 de octubre de 2020*

**Resumen** Este artículo está enfocado en el desarrollo de un videojuego de rol (RPG) para el aprendizaje de historia de México, "Cuitláhuac", se enfoca en: el primer encuentro entre Moctezuma II y Hernán Cortes, que llevó a la batalla de la noche triste y la batalla de Otumba. La batalla de Otumba fue la batalla clave para que los españoles pudieran vencer y conquistar Tenochtitlan.

Al proyecto se le hicieron pruebas, se buscaron errores de despliegue del guion, de colisión, de transición entre los escenarios y que mostraba la información correcta sobre los sucesos ocurridos en la conquista y se encontró que el videojuego funcionaba de manera correcta.

**Abstract.** This paper is focused on the development of a role-playing video game (RPG) for learning Mexican history, "Cuitláhuac", focuses on: the first meeting between Moctezuma II and Hernan Cortes, which led to the battle of the sad night and the battle of Otumba. The battle of Otumba was the key battle for the Spanish to win and conquer Tenochtitlan.

During the tests of project carried out, mistakes were researched in the display of the script, collision, transition between the scenarios and that showed the correct information about the

events that occurred in the conquest and it was found that the video game was working correctly.

**Palabras Clave:** Videojuego, Educación, Tecnología, Historia, Jugabilidad

**Keywords:** Videogame, Education, Technology, History, Playability

## 1. Introducción

Los videojuegos forman parte de nuestra vida cotidiana y en la actualidad es muy sencillo poder acceder a ellos, por lo que resultan una buena opción para la enseñanza.

Tienen un gran efecto en los niños y en los adolescentes, según estudios, los videojuegos pueden volver violentos a los niños, sin embargo, si son usados como una herramienta para la educación, mantendrán la atención de los jóvenes y niños, ayudándolos a la retención de información mientras hacen uso de ellos, se puede mencionar un videojuego que ha ayudado a la enseñanza, "Assassin's Creed" en el que se puede aprender sobre diferentes épocas, como el Antiguo Egipto o el renacimiento italiano, donde se desarrollan las diferentes entregas de este título.

Lo que hace un buen videojuego, además de tener buenos gráficos, buena historia, es la jugabilidad, esto es lo que engancha a un usuario a continuar con el videojuego.

En este artículo se describe el desarrollo del videojuego "Cuitláhuac", como puntos importantes se tienen como fue encarcelado Moctezuma II, cuáles fueron las consecuencias que causaron la rebelión de los mexicas contra los españoles llevando a cabo la batalla de la noche triste y la batalla de Otumba, que esta última fue la batalla clave para que los españoles vencieran a los mexicas y así conquistar Tenochtitlan.

## 2. Trabajos Relacionados

El artículo [1] estudia el potencial de los videojuegos en general y de la saga de Assassin's Creed, en particular para el aprendizaje de la Historia. Para ello analiza las características de los videojuegos, su poder motivacional, sus tramas, los aspectos históricos que mejor ilustra y también sus limitaciones. Un buen ejemplo para el aprendizaje de historia es Assassin's Creed, que es un videojuego ambientado en distintos episodios históricos.

El proyecto de videojuego: Tlaxcala, el origen [2] es un ejemplo claro de lo que se quiere lograr con nuestro proyecto, ya que está enfocado a la enseñanza histórica, enfocada a el porque la unión de Tlaxcala con los conquistadores españoles, esto como influyo a la conquista de nuestro país.

En el artículo [3] se centra al estudio del videojuego para computadora World of Warcraft (WoW). Los videojuegos se han convertido en un entretenimiento que ofrece una puerta de entrada del mundo digital, este aprendizaje ofrece a las nuevas generaciones la adquisición de competencias y la oportunidad de alfabetizarse digitalmente a través de lo lúdico. Este videojuego no fue desarrollado para ser educativo, pero con el enfoque adecuado puede ser un videojuego enriquecedor para sus usuarios.

### **3. Descripción de la Aplicación**

El videojuego es de rol (RPG), el usuario podrá ganar experiencia, completar misiones, así como ir completando diferentes niveles y mapas, el videojuego se centra en los acontecimientos que provocaron que los mexicas se rebelaran contra los españoles, así que la historia del videojuego está dividida en tres capítulos:

- El primer capítulo se trata sobre el primer encuentro entre Moctezuma II y Hernán Cortes.
- El segundo capítulo se centra en los acontecimientos de la noche triste, tomando como personaje principal a Cuitláhuac.
- El tercer capítulo trata sobre la batalla de Otumba, volviendo como personaje principal a Hernán Cortes, para finalizar la conquista de México.

Al iniciar cada capítulo, se le muestra la información sobre los acontecimientos que llevaron a la situación actual del videojuego, esto para ayudar con la enseñanza de la historia, el usuario conocerá datos curiosos sobre la conquista que no son mencionados en clase.

#### **4. Videojuego de rol**

Un juego de rol o RPG es un juego que se caracteriza por el desarrollo estadístico de las habilidades y características de un personaje a través de la experiencia que se obtiene al completar misiones propuestas a través del juego, tomando ciertas decisiones o realizando ciertas acciones, personalizándolo al gusto del jugador. A menudo se emplea también el acrónimo CRPG (Computer Role Playing Game, Juego de Rol por Ordenador) [4].

En el artículo [1] se menciona que los videojuegos se han convertido en uno de los productos de ocio y entretenimiento de mayor alcance en los últimos años, superando a la industria del cine y la música. Lamentablemente, los estudios desarrollados en torno a las posibilidades educativas de los mismos han sido muy escasos y se han focalizado en un conjunto determinado de productos específicos.

#### **5. Conquista de México**

La conquista de México es el gran suceso donde se somete al pueblo mexicano por los españoles para apoderarse de su territorio y de su población. Hernán Cortes desembarca en las costas de Cozumel en Ferrero de 1519, pasa por Yucatán, Veracruz hasta llegar al territorio Azteca [5].

El tlatoani que recibió a los españoles fue Moctezuma y muere en sus manos, Cuitláhuac le sucede en el trono, pero muere rápidamente a consecuencia de viruela, la cuál fue introducida por los españoles, sube entonces al poder Cuauhtémoc, quien es hecho prisionero por los españoles, lo que significó la caída del gran imperio de Tenochtitlán, dando pauta al inicio del periodo conocido como la colonia.

Las referencias en las que se basó el videojuego son:

- 1.-La llegada de los españoles a la gran Tenochtitlan.
- 2.-Los conflictos entre los españoles y los mexicas, dando lugar a las batallas más representativas: la Noche triste y la batalla de Otumba.

## 6 Videojuego: Cuitláhuac

El videojuego Cuitláhuac, narra los acontecimientos de la conquista de México de forma que el usuario pueda divertirse mientras aprende; Este es un videojuego de rol, el usuario gana experiencia mientras recorre distintos mapas, teniendo distintos enfrentamientos con los enemigos.

El diseño del videojuego está desarrollado en 2D, consta de 9 niveles con un total de 12 mapas, en los que se le dará información y mostraran acontecimientos históricos.

En la Figura 1, se muestra el inicio del tutorial del videojuego, se le muestra mediante diálogo al usuario como son los movimientos y como son las batallas cuerpo a cuerpo en el videojuego.



Figura 1 Tutorial

Durante el videojuego se muestran diferentes puntos de control con información o datos curiosos sobre lo ocurrido en la conquista de México, como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2** Datos curiosos de la Conquista

En la Figura 3, se muestra una escena de la persecución de los mexicas a los españoles cruzando los canales que dividían las diferentes calzadas de Tenochtitlan.



**Figura 3** Noche triste

En la Figura 4, se muestra un punto del último nivel titulado Otumba, donde se lleva a cabo batalla de los españoles contra los mexicas, en la que los españoles vencen.



Figura 4 Batalla de Otumba

## 7. Resultados y Pruebas

Las pruebas que se llevaron a acabo fueron de funcionalidad, basándose en el funcionamiento de los diferentes eventos, para asegurar el que cada uno de ellos funcionen de manera correcta, facilitando la implementación de cada uno de los niveles del videojuego.

Pruebas	Resultados	Resultados
<b>Interacción con los mobs del videojuego</b>	El evento para que el usuario interactúe con los mobs y pueda obtener diferentes conocimientos.	Los diferentes mobs muestran la respectiva información de manera exitosa.
<b>Puntos de control</b>	Se tuvo que cambiar la iluminación del mapa para que el texto fuera legible.	La consulta de los puntos de control mostrando los datos curiosos fue exitosa.
<b>Batallas</b>	El cambio de pantalla para realizar las batallas se realizó con éxito	El evento programado para las batallas muestra la información correcta del usuario
<b>Experiencia</b>	Durante cada paso de misiones, el usuario aumentara de experiencia.	Por cada tipo de batalla completada, el nivel de experiencia es distinto e incrementa de manera correcta

Tabla 1 Pruebas del proyecto

## 8. Conclusiones

En la actualidad, los videojuegos están siendo utilizados para muchas más cosas que solo para entretener, sin embargo, no se cuenta con videojuegos para la enseñanza de las distintas disciplinas y que estén diseñados para el aprendizaje de las mismas, ya que en México no se cuenta con estas herramientas, es por esto que se decidió realizar este proyecto, tomando como tema para su desarrollo la conquista de México.

Este proyecto está enfocado en llamar la atención del usuario y poder ayudar en su educación de distintos temas, el desarrollo no fue sencillo, llevar a cabo un videojuego no es tarea fácil, se necesita creatividad para su desarrollo, pero eso no fue un impedimento para realizarlo.

## Referencias

1. Diego Téllez, Diego Iturriaga Barco, 2014, Videojuegos y aprendizaje de la historia: la saga de assasin's creed, Contextos educativos, Vol. 17.
2. Josué Hernández Flores, Christian Eduardo Sánchez Chimal, Héctor Sánchez Guzmán, 2012, Videojuego: Tlaxcala, El Origen, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ingeniería y Tecnología
3. Quesada Bernaus, Alodia Tejedor Calvo, Santiago, 2016, Revista de Medios y Educación, <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/38464>
4. Definición de RPG [en línea]. (16, marzo 2019). Recuperado de <http://www.gamerdic.es/termino/rpg>
5. La conquista de México. (2020). Retrieved 1 April 2020, from <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/la-conquista-de-mexico>



## Aplicación móvil como apoyo en la enseñanza de algoritmos de ordenamiento con Realidad Aumentada

Mario Garcia Escobar, Rubi Esmeralda Badillo Chavez, Xochipilli Acoltzi Xochitiotzi, Patricia Trejo Xelhuantzi, Marva Angélica Mora Lumbreras

Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniera y Tecnología

Calzada Apizaquito s/n. C.P. 90300 Apizaco, Tlaxcala, México  
marinjonh123@gmail.com, esmeraldac998@gmail.com, xochipiyi@gmail.com,  
patricia.trejo.x@uatx.mx, marva.mora@gmail.com  
<http://www.uatx.mx/>

*Recibido 14 de septiembre de 2020, Aceptado 25 de septiembre de 2020,  
Versión final 02 de octubre de 2020*

**Resumen** En Ciencias de la Computación un algoritmo de ordenamiento es una serie de pasos específicos que permiten ordenar un conjunto de datos en un orden específico. Un algoritmo de ordenamiento es indispensable para el manejo de fundamentos de la programación y estructura de datos. Debido a la naturaleza abstracta de un algoritmo de ordenamiento, se desarrolló una aplicación que hace uso de Realidad Aumentada, mostrando animaciones con objetos 3D para cada uno de los algoritmos de ordenamiento: Burbuja y Quicksort, apreciando el funcionamiento de cada uno de ellos con información adicional (descripción, pseudocódigo y video explicativo) que permite el aprendizaje de los mismos.

**Abstract** In computer science a sorting algorithm is a series of specific steps that allows ordering data into a specific order. A sorting algorithm is essential for the management of programming fundamentals and data structures. Due to the abstract nature of a sorting algorithm, it was developed an application that makes use of augmented reality, showing animations with 3D objects to each sorting algorithm: Bubblesort and Quicksort, appreciating the management of each of them with additional information (description, pseudocode and explanatory video) that allow the learning of them.

**Palabras Clave:** Algoritmo de ordenamiento, Realidad aumentada, Marcador, Aplicación móvil, Dispositivo móvil

**Keywords:** Sorting algorithm, Augmented reality, Marker, Mobile app, Mobile device

## 1. Introducción

Actualmente el conocimiento de los algoritmos de ordenamiento es indispensable para el aprendizaje de estructuras y manejo de los datos. Su enseñanza se ha dado de manera metódica por lo que no ha resultado una buena técnica de aprendizaje para los estudiantes. Por ello se pensó en una aplicación en la cual se implementa el método de Burbuja y Quicksort, haciendo uso de la Realidad Aumentada, proporcionando una herramienta de estudio a los alumnos que están aprendiendo este tópico en sus cursos actuales o como un medio de retroalimentación para reabarcarse el tema y así mismo que resulte de apoyo para reforzar los conocimientos aprendidos en clase, permitiéndoles realizar un análisis de su funcionamiento.

## 2. Trabajos Relacionados

Los estudiantes de la Universidad Nacional de Singapur toman varias clases de algoritmos y estructuras de datos, debido a ello en el año 2011 el Dr. Steven Halim conceptualizó una herramienta que les permitiera aprender los conceptos básicos por su cuenta y a su propio ritmo. La propuesta de solución fue crear una aplicación web que mediante el uso de animaciones en 2D y cuestionarios permita aprender sobre diversos algoritmos y estructuras de datos denominada VisualAlgo [1]. En cada pantalla correspondiente a un algoritmo u operación sobre estructura de datos, además de mostrar la animación en 2D se muestra el pseudocódigo correspondiente, indicando en todo momento en qué parte de este nos encontramos. Por último, la aplicación brinda una serie de controles que nos permiten controlar los parámetros de la animación.

Sorting es una aplicación implementada en el sitio web [sorting.at](http://sorting.at) que permite visualizar y ayudar a comprender cómo funcionan algunos de los algoritmos de ordenamiento más famosos [2]. Nació para crear representaciones visuales de los algoritmos de ordenamiento con la esperanza de encontrar patrones visuales. Proporciona dos puntos de vista, uno es el artístico y el otro es analítico. Desde el punto de vista artístico podemos observar mediante una animación en 2D con uso de círculos, como se ordena una serie de números de acuerdo a un algoritmo de ordenamiento. Desde el punto de vista analítico, se presenta una gráfica de barras

que nos permite observar en el eje X el número de operaciones que se han realizado (comparaciones y cambio de posición de un elemento) y el eje Y se encuentra una medida denominada inversión, que determina la distancia que tiene la secuencia de números hasta ser ordenada, dicho, en otros términos, indica el grado de desorden del conjunto de datos que se está ordenando.

Algorithm visualizer es una plataforma web interactiva en línea que permite visualizar algoritmos desde código. Además, posee una guía para que cualquiera que desee participar en el proyecto pueda agregar un nuevo algoritmo [3]. Dentro de la pantalla correspondiente a un algoritmo se hace uso de animaciones en 2D para así aprender y observar el comportamiento de los mismos. La animación consiste en representar una serie de números como una serie de rectángulos con tamaño proporcional y ordenarlos de acuerdo a el algoritmo definido en el código que se muestra en pantalla, cabe aclarar que la plataforma permite realizar modificaciones al código en tiempo real y observar cual es el impacto en la animación, esto último representa una gran herramienta para el análisis de los algoritmos.

Algorithm Animations and Visualizations es una aplicación web que permite visualizar una serie de algoritmos de ciencias de la computación. Además de permitir aprender temáticamente acerca de los mismos [4]. La aplicación contiene diversos algoritmos de ordenamiento, operaciones sobre estructuras de datos, así como algoritmos fundamentales como: Buscar el valor máximo/mínimo de un arreglo. Para cada uno de los tópicos mencionados anteriormente la aplicación puede incluir uno o más de los siguientes puntos: Una animación en 2D realizada con la tecnología JavaScript o Adobe Flash Player, un puzle que solicitará que ordenes el arreglo de números de acuerdo al algoritmo que se indique, un video explicativo. Adicionalmente un usuario puede registrarse para poder calificar el contenido, así como agregarlo a sus favoritos para que en posteriores accesos pueda acceder rápidamente a este.

AR-Learning hace uso de la Realidad Aumentada para el apoyo a las clases de Música a nivel de educación primaria, teniendo como objetivo el apoyo al aprendizaje de los principios básicos de la música al alumnado, visualizando en tres dimensiones instrumentos, así como escuchando su sonido característico cuando interactúen con ellos [5].

### **3. Descripción de la Aplicación**

En la Figura 1, se muestra el flujo de la aplicación. En primer lugar, se muestra el usuario, el cual debe poseer un dispositivo móvil

con el sistema operativo Android con versión igual o mayor a la 6.0, este dispositivo utiliza la cámara para detectar uno de los marcadores correspondientes a los algoritmos de ordenamiento: Burbuja o Quicksort. Los marcadores se encuentran en una base de datos alojada en el dispositivo móvil y a su vez descargados desde la nube en la página oficial de vuforia. Posteriormente se reconocerá alguno de los marcadores para que sea renderizada la animación del algoritmo correspondiente.

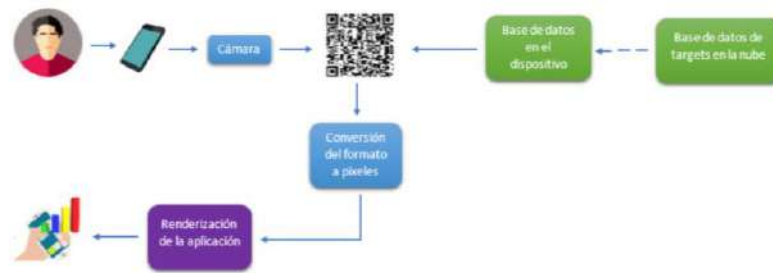


Figura 1. Flujo general de la aplicación.

#### 4. Conceptos Básicos

Algoritmos de ordenamiento: es un procedimiento cuyo objetivo es reorganizar los elementos de forma que sus claves se ordenen de acuerdo con alguna regla de ordenación bien definida [6]. A continuación, se presenta el problema que resuelven varios algoritmos de ordenamiento:

*Entrada:* Una secuencia de números  $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ .

*Salida:* Una permutación (reordenamiento)  $\langle a'_1, a'_2, \dots, a'_n \rangle$  de la secuencia de entrada tal que  $a'_1 \leq a'_2 \leq \dots \leq a'_n$ .

La secuencia de entrada suele ser un arreglo de  $n$  elementos, aunque puede estar representada de alguna otra manera, como una lista enlazada [7].

Realidad aumentada: la realidad aumentada permite al usuario ver el mundo real, con objetos virtuales superpuestos o compuestos con el mundo real. Por lo tanto, la realidad aumentada complementa la realidad, en lugar de reemplazarla por completo. Idealmente, le parecerá al usuario que los objetos virtuales y reales coexisten en el mismo espacio. Los objetos virtuales muestran información que el usuario no puede detectar directamente con sus propios sentidos. La información transmitida por los objetos virtuales ayuda al usuario a realizar tareas del mundo real [8].

Marcador: imágenes que se pueden reconocer fácilmente cuyo propósito es servir como punto de referencia. Típicamente transmiten dos piezas de información al sistema de realidad

aumentada. La primera es designar que objetos gráficos por computadora se deben mostrar y el segundo es en qué punto deben mostrarse [9].

## 5. Interfaz de Usuario

El usuario ingresa a la aplicación AORA dando clic en el botón de “practicar” que dirigirá a la vista donde se puede observar la animación de los algoritmos de ordenamiento. Posiciona la cámara de su dispositivo móvil sobre el marcador para que la aplicación le muestre los objetos en 3D que se ordenaran.

En la Figura 2, se visualizan los botones que la aplicación mostrará, entre los que el usuario puede elegir:

Play, para reproducir la animación del algoritmo de ordenamiento.

Cambio de elementos, para crear una nueva serie de números aleatorios y a partir de ellos renderizar nuevos objetos en 3D con tamaño proporcional.

Configuración, para cambiar la velocidad de la animación, cantidad de elementos a ordenar y el rango en el cual se encontrará el valor de los elementos.

Código, para mostrar el código del algoritmo, escrito en el lenguaje de programación Python.

Vídeo explicativo, para visualizar una explicación visual del algoritmo.

Salir, para abandonar la aplicación.



**Figura 2.** Vista de animación del algoritmo Burbuja en la aplicación AORA

En la Figura 3, se presenta la vista de configuración de la animación, donde la aplicación le permitirá al usuario modificar los siguientes parámetros de la animación: velocidad, cantidad de elementos a ordenar y rango en el cual se encontrará el valor de los elementos, brindándole la oportunidad de guardar los cambios o cancelarlos.



Figura 3. Panel de configuración de la animación del algoritmo

## 6. Resultados y Pruebas

Para verificar la usabilidad del prototipo se aplicó un formulario a 10 estudiantes de la Licenciatura de Ingeniería en Computación de la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología. Para aplicar dicho formulario en primer lugar se mostró a cada uno los estudiantes la aplicación y una ejecución del flujo de la misma, mostrando en primer lugar la vista principal para posteriormente dirigirse a la vista de la animación donde se mostró la animación con objetos 3D del algoritmo de ordenamiento, así como las diferentes opciones con las que se cuentan en el panel de opciones.

Una vez recopilados los resultados de la aplicación del formulario, se muestra en la Figura 4 el resultado en cada rasgo de usabilidad. Podemos observar que el resultado obtenido es favorable para cada uno de los rasgos y este ha permitido obtener retroalimentación sobre las mejoras que se deben implementar en la aplicación.

Por último, mencionar que dadas las calificaciones obtenidas en cada uno de los rasgos de usabilidad se observa que la aplicación permitirá aprender dinámicamente algoritmos de ordenamiento con una interfaz que facilitará el uso de la aplicación.



Figura 4. Gráfica de barras que muestra el resultado de aplicar las pruebas de usabilidad

## 7. Conclusiones

Dentro del marco de los trabajos relacionados a este proyecto se observó que existe una pequeña cantidad de trabajos que enseñan los algoritmos de ordenamiento, todos ellos hacen uso de animaciones y contenido en 2D.

El uso de la realidad aumentada introduce un nuevo paradigma para la enseñanza en diversos campos, incluyendo a las Ciencias de la Computación, permitiéndole al usuario la adquisición de conocimiento a través de la yuxtaposición de elementos del mundo real y objetos generados por computadora.

El prototipo presentado a lo largo de este artículo apoyará en el aprendizaje dinámico de un tema cuya naturaleza es abstracta y que normalmente es de difícil aprendizaje para los alumnos que cursan las materias de fundamentos de programación y/o estructura de datos.

Por último, mencionar que como trabajos futuros se encuentra implementar una mayor cantidad de algoritmos de ordenamiento, tales como Shellsort y Mergesort.

## Referencias

1. Halim, S. (2015). VisuAlgo – Visualising Data Structures and Algorithms Through Animation. *Olympiads in Informatics*, Vol. 9, 243–245
2. Zapponi, C. (2014). Obtenido de Sorting: <http://sorting.at>
3. (s.f.). Obtenido de Algorithm Visualizer: <https://algorithm-visualizer.org>
4. Végh, L. (2020). Obtenido de Algorithm Animations and Visualizations: [www.algoanim.ide.sk/index.php](http://www.algoanim.ide.sk/index.php)
5. Gallego Delgado, R., Saura Parra, N., & Núñez Trujillo, P. M. (2013). AR-Learning: libro interactivo basado en realidad aumentada con aplicación a la enseñanza. *Tejuelo: Comunicación social y Educación*, 74-88.
6. Sedgewick, R. (1998). *Algorithms in C++, Parts 1-4: Fundamentals, Data Structure, Sorting, Searching, Third Edition*. Addison-Wesley.
7. Cormen, T., Leiserson, C., Rivest, R., & Stein, C. (2009). *Introduction to Algorithms third edition* (págs. 147-149). MIT Press.
8. Azuma, R. T. (1997). A survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(2). 355-385.
9. Craig, A. B. (2013). *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications* (págs. 41-43). Elsevier.



## Sistema de lectura y mejoramiento de imágenes médicas bajo el estándar DICOM

Karla Kinéret Ramírez Tlahuitzo<sup>1</sup>, Patrick Hernández Cuamatzi<sup>2</sup>,  
Leticia Flores Pulido<sup>3</sup>, Francisco Javier Albores Velazco<sup>4</sup>

Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología  
Dirección Calle, No, C.P 9000, Estado, México  
{kgenezaret, aicitel.flores, javier.albores}@gmail.com<sup>134</sup> patrick.hernandez.c@uatx.mx<sup>2</sup>  
<http://www.uatx.mx/>

*Recibido 28 de abril de 2020, Aceptado 05 de mayo de 2020,  
Versión final 08 de mayo de 2020*

**Resumen** DICOM (Digital Imaging and Communication On Medicine, en español Imágenes Médicas y Comunicaciones en Medicina) es el estándar internacional para transmitir, almacenar, recuperar, imprimir, procesar y mostrar información de imágenes médicas, sin embargo, debido a su poca implementación en los hospitales públicos el uso de este protocolo es muy poco utilizado, aunado a ello las imágenes no se pueden leer en cualquier dispositivo. El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un sistema con la capacidad de visualizar y mejorar la calidad de las imágenes médicas, con la intención de proporcionar una herramienta que sea eficiente y que permita a los profesionales de la salud facilitar su labor. Este proyecto se ha denominado como Sistema de Procesamiento Digital en Imágenes Médicas, está elaborado en el lenguaje de programación MATLAB, permite la lectura de archivos DICOM y JPGE aplicando filtros a estas imágenes.

**Abstract** DICOM (Digital Imaging and Communication On Medicine, in Spanish Medical Images and Communications in Medicine) is the international standard for transmitting, storing, retrieving, printing, processing and displaying medical image information, however, due to its poor implementation in hospitals The use of this protocol is very little used in public and, in addition, the images cannot be read on any device. The objective of this work was the development of a system that had the ability to visualize, improve the quality of medical images, with the intention of providing an efficient tool that allows health professionals to facilitate their work.

This project has been named as a Digital Processing System in Medical Images, it is elaborated in the MATLAB programming

**Palabras Clave:** DICOM, imágenes médicas, jpg, filtrado de imágenes, procesamiento digital de imágenes.

**Keywords:** DICOM, medical images, jpg, image filtering, digital image processing.

## 1. Introducción

En la medicina, uno de los sentidos primordiales que ha permitido el avance científico es sin lugar a dudas la vista, sin embargo, dentro del cuerpo humano existen muchos órganos, huesos, etc., que el ojo humano no puede ver a simple vista, así surgieron inventos como los rayos-x, las tomografías, etc., que han permitido a los médicos realizar diagnósticos oportunos sobre algún tipo de enfermedad o trauma a nivel de sistema óseo.

Desde el año 2009 el sistema de salud mexicano, implementó dentro de sus políticas de excelencia tecnológica el Sistema para Archivos y Comunicación de Imágenes (PACS por sus siglas en inglés) [4], el cual contempla dentro de sus normas, el uso del formato DICOM creado en 1993 por una comisión conjunta de universidades y productores de equipo de imagen y avalado por la NEMA (National Electrical Manufacturers Association), cuyo estándar permite el intercambio de imágenes médicas, pensado para su manejo, visualización, almacenamiento, impresión y transmisión, la cual incluye la definición de un formato de fichero y de un protocolo de comunicaciones de red (TCP/IP).

Un archivo DICOM está compuesto por dos campos: el primero una cabecera formada a su vez por otros campos que especifican tanto datos administrativos como de la imagen, y el cuerpo con la imagen, la cual puede estar comprimida con distintos estándares.

## 2. Trabajos Relacionados

**Makoa: Aplicación para visualizar imágenes médicas formato DICOM en dispositivos móviles iPad [1].** Es una aplicación que tiene la capacidad de visualizar imágenes médicas, el objetivo de este desarrollo es proporcionar una herramienta que permita a los profesionales de la salud facilitar su labor y a su vez desarrollarla de manera más eficiente, ya que el estándar DICOM no es un fichero común de almacenamiento de información, y este tipo de imágenes

no se lee en cualquier dispositivo.

Esta aplicación fue hecha para la plataforma Apple, AppStore, permite a los usuarios de iPad poder trabajar en ella sin el menor problema. Dado que Mako se plantea como una agenda médica, es posible visualizar las imágenes y abrirlas desde la nube de Dropbox o acceder a una lista de pacientes almacenados. Permite abrir las imágenes y aplicar algunas operaciones de procesamiento digital de imágenes para mejorarlas, operaciones como:

- Ajuste del brillo.
- Saturación y ecualización de histograma.

**Aplicación para la lectura y conversión de formatos DICOM no estándar y Genesis [2].** Es una aplicación con la capacidad de abrir y visualizar correctamente las imágenes obtenidas con el escáner X Toshiba XVision 6X y el resonador GE Signal Horizon LX 8.2. La aplicación permite la apertura de imágenes DICOM estándar y algunas modificaciones de este, al igual que el formato Genesis de General Electric (GE). Las imágenes visualizadas con el software son de igual calidad a las observadas en los equipos de adquisición. Además, se realizaron pruebas con imágenes de distintas modalidades, descargadas de Internet, permitiendo asegurar un comportamiento estable bajo un gran número de situaciones distintas. La aplicación permite exportar los archivos a otros formatos gráficos permitiendo que las imágenes puedan ser procesadas por otras aplicaciones y ser revisadas por los médicos sobre cualquier computador permitiendo su estudio en casa o consultorio.

**Aplicación Web para la visualización de imágenes médicas MEDICOMWEB [3].** Es un sistema Web enmarcado en la línea de la telemedicina, desarrollado para brindar a los especialistas de la medicina la oportunidad de acceder a las imágenes digitales de forma rápida y segura, para un intercambio de conocimiento en todas las ramas de la medicina que hacen uso de dichos exámenes. Se desarrolló con una estructura de datos basada en el modelo del estándar DICOM, un conjunto de herramientas (aumento, medidas, filtros) para visualización y análisis, un sistema de exploración y navegación intuitiva de la colección de imágenes, accesible a través de la Web con cualquier navegador y otros valores agregados. Está hecho en Java y JSP, sobre un servidor de aplicaciones con soporte para aplicaciones JSP. Para la dinámica de la página se utilizó Ajax y JavaScript para realizar operaciones asíncronas con el servidor.

### 3. Descripción de la Aplicación

Nuestra propuesta lee imágenes médicas en formatos DICOM y JPG, pasando por un proceso de filtrado para mejorar la calidad de la imagen con el propósito de que cada filtro mejore la imagen o resalte ciertas regiones que ayuden al médico o especialista a dar un mejor diagnóstico.

Los filtros que se utilizaron fueron los siguientes:

- **Detección y realce de bordes: Sobel y Prewitt, ver Figura 1.**

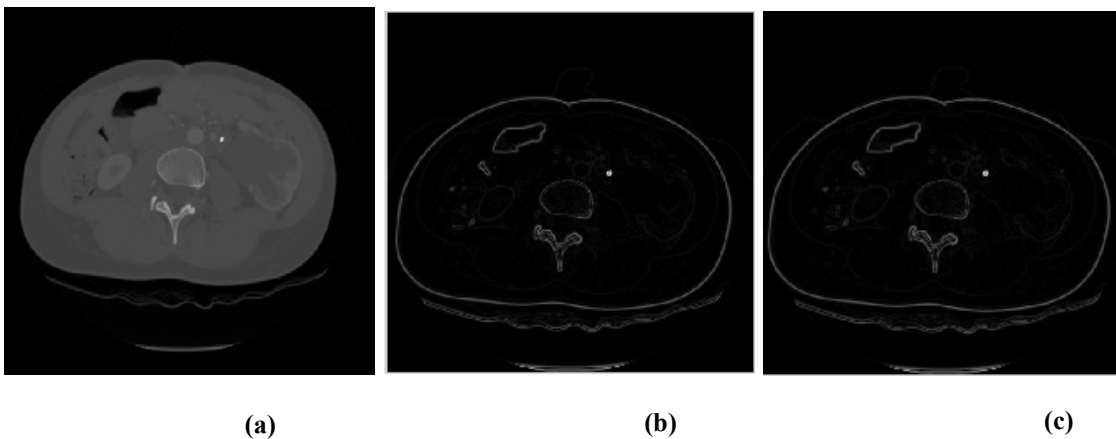


Figura 1. Realzado de bordes: (a) Imagen original. (b) Detección de bordes con gradiente Sobel. (c) Detección de borde con gradiente Prewitt.

La detección de bordes ayuda a la segmentación de regiones en las imágenes, al encontrar la variación en escala de grises dentro de una escena, lo que permite a simple vista resaltar los detalles de distintas regiones, sin embargo, queda la posibilidad de que las variaciones sean a causa de ruido en la imagen, ya sea por defectos del dispositivo de captura, por errores humanos en la captura o por problemas de calidad en la toma. Si bien, existen varios algoritmos para la detección de bordes o filtros de gradiente, los que mejor resultados arrojaron fueron los de Sobel y Prewitt, al lograr resaltar mejor de manera visual las distintas regiones de las imágenes médicas, lo que permite al especialista médico tener una mejor visualización para dar un diagnóstico

En general, podemos decir que los pasos fundamentales en la detección de bordes son:

1. Realizar un suavizado de la imagen para reducir el ruido.
2. Detectar los posibles candidatos a ser puntos del borde.
3. Seleccionar, de entre los candidatos, aquéllos que pertenecen realmente al borde.

- **Ajuste de contraste: Negativo de una imagen, ver figura 2.**

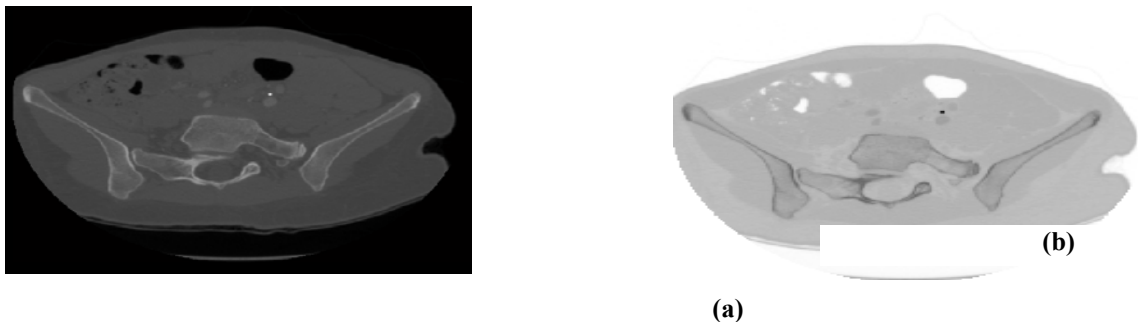


Figura 2. Negativo de una imagen: (a) Imagen original. (b) Negativo de la imagen original.

El ajuste de contraste reasigna los valores de intensidad de la imagen al rango de visualización completo del tipo de datos. Una imagen con buen contraste tiene marcadas diferencias entre blanco y negro. El negativo de una imagen aumenta el contraste asignando los valores de la imagen de intensidad de entrada a nuevos valores de modo que, de forma predeterminada, el 1% de los datos se satura a intensidades bajas y altas de los datos de entrada.

Se usaron estas técnicas de Procesamiento digital de Imágenes como filtros de mejoramiento. Las imágenes médicas son en escala de grises, estos filtros principalmente se usan para ese tipo de tonos. A diferencia de otros, en el punto de vista de una especialista radióloga, se eligió estos filtros porque hacían una mejora en la imagen, así que también se llegó a la conclusión de que no todos los filtros pueden aplicarse a todas las imágenes, y que pueden apoyar

en visualizar partes importantes que posiblemente en la imagen original no se muestren.

#### **4. Conceptos Básicos**

**DICOM** (Digital Imaging and Communications On Medicine, Imágenes Médicas y Comunicaciones en Medicina) es un estándar para el manejo, almacenamiento, impresión y transmisión de información en imágenes médicas. Incluye una definición de formato de archivo y un protocolo de comunicaciones de red.

La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA) posee los derechos de autor de esta norma. Fue desarrollado por el Comité de Normas DICOM, cuyos miembros también son en parte miembros de NEMA.

**Realce y detección de bordes:** El borde en una imagen se define como un salto brusco en los valores de intensidad de la imagen e indica las fronteras o líneas de separación entre los distintos objetos presentes en ella. Los bordes de los objetos se ven en la imagen como discontinuidades de ciertas propiedades: intensidad, color, textura.

**Negativo de una imagen:** Esta técnica consiste en convertir aquellas porciones de la imagen que son claras en oscuras y las que son oscuras en claras. Es útil cuando se quiere apreciar los detalles en las porciones brillantes de una imagen porque el ojo humano tiene mayor capacidad de discernir los detalles en las áreas oscuras de una imagen que en las áreas más brillantes. Para ello se resta a cada pixel el máximo valor posible de intensidad.

**Procesamiento Digital de Imágenes:** El procesamiento de imágenes digitales es el conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información.

**Proceso de filtrado:** Es el conjunto de técnicas englobadas dentro del preprocesamiento de imágenes cuyo objetivo fundamental es obtener, a partir de una imagen origen, otra final cuyo resultado sea más adecuado para una aplicación específica mejorando ciertas

características de la misma que posibilite efectuar operaciones del procesado sobre ella.

## 5. Interfaz de Usuario

La Figura 3 muestra la interfaz principal, donde inicialmente hay un menú que permite elegir el filtro a aplicar.

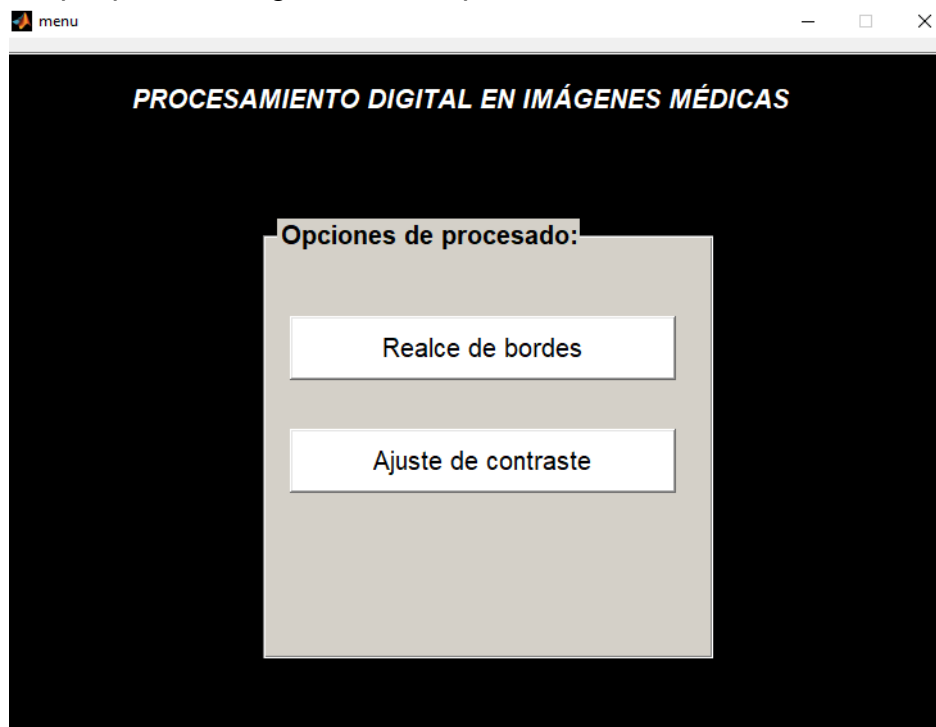


Figura 3. Menú principal

La figura 4 muestra la interfaz cuando se elige un filtro, se lee la imagen ya sea en formato DICOM o JPG de ese modo en un **axes** se visualiza la imagen original.

En la Figura 5 se muestra el resultado del filtro en un **figure** que es parte de las herramientas en Matlab.



Figura 4. Interfaz de lectura y aplicación de filtro

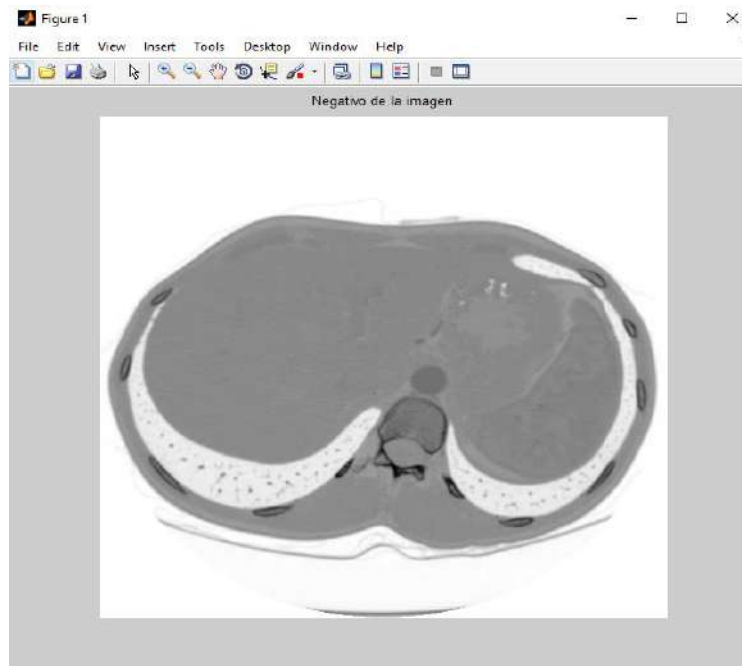


Figura 5. Resultado final del filtro

## 6. Pruebas y resultados

En base a una investigación de varios filtros posibles de aplicar en este tipo de imágenes, solo tres filtros son los que realmente mejoraron las imágenes médicas, como se puede ver en la Tabla 1, donde se muestran los resultados de los filtros que se aplicaron.


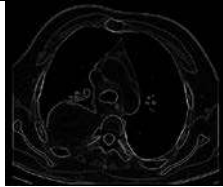
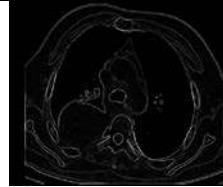



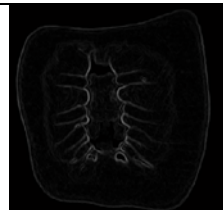
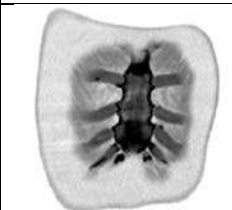

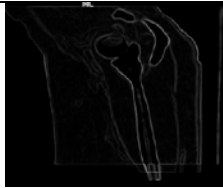


Imagen original	Gradiente Sobel	Gradiente Prewitt	Negativo de la imagen
			
			
			

Tabla 1. Los tres filtros que se aplicaron en nuestra propuesta.

Es importante mencionar que los resultados fueron parcialmente validados por una especialista radióloga, del Hospital General de Tlaxcala, sin embargo, derivado de la contingencia sanitaria por la pandemia de COVID-19 no fue posible realizar más pruebas, por otro lado, los filtros aquí presentados si aportaron mejoras en las imágenes de acuerdo a la experiencia de la especialista.

## 7. Conclusiones

Este proyecto permitió descubrir que se pueden mejorar las imágenes médicas utilizando filtros de procesamiento digital de imágenes, sin embargo, aún queda mucho campo por estudiar y mejorar ya que no todos los filtros que se investigaron y probaron obtienen buenos resultados sobre este tipo de imágenes. Otro factor importante a considerar es el hecho de que la especialista radióloga que validó los resultados ya no pudo continuar por cuestiones de carga de trabajo derivadas de la pandemia de COVID-19.

Como se puede ver en los resultados, los filtros de procesamiento digital de imágenes mejoraron la calidad de la imagen, el detalle es que el tamaño de resolución es una característica importante para poder ver el resultado final; la mejora con el filtro que se aplicó y la visualización para que el medico de un mejor diagnóstico.

## 8. Referencias

- [1] *Josué Daniel Escamilla Olvera (2015). Makoa: aplicación para visualizar imágenes médicas format DICOM en dispositivos móviles ipad. UNAM.*
- [2] *Carlos René Angarita Sanguino, Nelson Beltrán Galvis. (Diciembre 2008). Aplicación Web para la visualización de imágenes médicas MEDICOMWEB. Colombia.*
- [3] *M.G. Forero, W.J. Sarmiento, G.M. Díaz. (Mayo 2001). APLICACIÓN PARA LA LECTURA Y CONVERSIÓN DE FORMATOS DICOM NO ESTÁNDAR Y GENESIS. La Habana, Cuba: Memorias II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica.*
- [4] *Colaboradores de Wikipedia. (2020, marzo 27). DICOM. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/DICOM>*



## Reconocimiento de rostros aplicando métricas de distancia.

Rodolfo Bautista-Cahuantzi, Jose de Jesus Sánchez-Báez, Ana Isabel Sanluis-Cervantes, Rodrigo Sosa-Escalante, Leticia Flores-Pulido, Patrick Hernández-Cuamatzi

Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ciencias Básicas Ingeniería y Tecnología,  
Calzada Apizaquito s/n. C.P. 90300 Apizaco, Tlaxcala, México

rodolfozuka07@gmail.com, Sanluis.isa05@gmail.com, jjsbaez98@gmail.com,  
sosaescalante4171@gmail.com, aicitel.flores@gmail.com, patrick.hernandez.c@uatx.  
mx

<http://www.uatx.mx/>

*Recibido 28 de abril de 2020, Aceptado 6 de mayo de 2020, Versión final 16 de mayo 2020*

**Resumen** En este artículo analizaremos los avances recientes en el campo de procesamiento digital de imágenes y propondremos un sistema básico, para realizar un reconocimiento de rostros donde se utilizan dos tipos de métricas relacionadas con este tipo de reconocimiento de patrones, el primero se trata de la "Distancia Euclidiana", esta métrica calcula la distancia entre dos puntos, en este caso entre dos características de un rostro. Otra de las métricas aplicadas es el de "Distancia Minkowski", que al igual que la "Distancia Euclidiana", calcula la distancia de un punto a otro. Con ayuda de estas dos métricas se conocerá la distancia entre cada característica y esto ayudará a reconocer el rostro de una persona, y saber e incluso cuales son los rostros más parecidos, a lo que se le puede llamar "vecinos más cercanos".

**Abstract** In this article we will analyze recent advances in the field of digital image processing and propose a basic system to perform face recognition where two types of metrics related to this type of pattern recognition are used, the first is "Euclidean Distance", this metric calculates the distance between two points, in this case between two characteristics of a face. Another of the applied metrics is the "Minkowski Distance", which, like the "Euclidean Distance", calculates the distance from one point to another. With the help of these two metrics the distance between each characteristic will be known and this will help to recognize the face of a person, and to know and even which are the most similar faces, which can be called "Closest neighbors".

**Palabras Clave:** Reconocimiento, Minkowski, Segmentación, Vecinos más cercanos, Euclidiana.

**Keywords:** Recognition, Minkowski, Segmentation, Nearest Neighbors, Euclidean.

## 1. Introducción

En este trabajo se llevará a cabo el análisis del proceso de reconocimiento de rostros. El cual será implementado mediante el uso de dos métricas involucradas en este ámbito de reconocimiento de patrones. Para ello se analizarán las definiciones de cada métrica las cuales son “Distancia euclidiana“ y “Métrica Minkowski“ y se aplicaran las fórmulas que ambas métricas tienen definidas, esto se hará con los datos extraídos de cada rostro a reconocer, por ejemplo, se obtendrá la distancia de un ojo al otro, o de una ceja a la otra, así mismo la distancia de la nariz a la boca, todos estos ejemplos mencionados son dos puntos y/o características de un rostro, de esta manera se podrá obtener la distancia que existe entre cada punto que se desee, y en base a dichos resultados estos serán clasificados por clases. Durante el desarrollo de este análisis y aplicación de métricas podrá realizarse lo que se tiene definido como objetivo principal de este artículo llevar a cabo el reconocimiento de rostros.

## 2. Trabajos Relacionados

Algunos de los trabajos realizados en esta área son los siguientes.

**Sistema de Reconocimiento de Rostros usando Visión Estéreo.**

El reconocimiento de rostros biométrico planea usar imágenes estereo para diferenciar los rostros reales 3D de las imágenes de los rostros en 2D. A cada foto estereo de le aplica una extracción de características convencional seguida de una fusión para combinar dicha información, a la cual se le aplica transformación ondícula discreta para su posterior clasificación y obtener los mejores resultados posibles.[7]

**Sistema de Reconocimiento de Rostros.**

El reconocimiento de rostros cuenta con cinco fases: Adquisición de la imagen, Pre-procesamiento de la imagen, Extracción de Característica, Entrenamiento, Reconocimiento. Para la implementación de dicho sistema se necesita de dos conjuntos de datos, el conjunto de entrenamiento

donde la población debe ser lo más diferente posible, y el conjunto de prueba donde comienza la etapa de reconocimiento de rostros.[5]

### **Aplicación práctica de la visión artificial para el reconocimiento de rostros de una imagen, utilizando redes neuronales y algoritmos de reconocimiento de objetos de la biblioteca opencv.**

La visión computacional intenta crear sistemas que pueden reconocer ciertos objetos de una imagen, en este caso rostros. Aunque esto representa un reto debido a las variaciones de un mismo rostro que cambian con los gestos, la intensidad de luz, peinados o accesorios. Es por eso que se utilizan diferentes métodos y algoritmos de reconocimiento para entrenar una aplicación con el fin de reconocer el rostro de una persona de cualquier imagen.[4]

### **Sistema de Reconocimiento de Patrones de Rostros en la Nube.**

El sistema consiste en implementar servicios en la nube para aplicar los algoritmos más avanzados de detección y reconocimiento de rostros en la plataforma Microsoft Azure. Durante el desarrollo se emplearon pruebas para evaluar las fortalezas y debilidades del sistema, además de que se centra en observar el potencial de exactitud, la eficiencia y rapidez del servicio.[3]

### **Procesamiento de imágenes para la identificación de personas como sistema de seguridad en zonas domiciliarias.**

El objetivo de la implementación es realizar un reconocimiento facial en entornos reales, en este caso un domicilio. Pero ello se utilizaron técnicas de proximidad estadística para la clasificación. Con el desarrollo de estos algoritmos en Matlab se obtuvieron en los resultados con 48 imágenes de entrenamiento mayores al 90 % con 48 y del 50 % al 80 % en condiciones normales de un domicilio.[8]

## **3. Descripción de la Aplicación**

El sistema de reconocimiento de rostros propuesto está constituido por ocho etapas. En la Figura 1 se presenta el diagrama del sistema con dichas etapas. A continuación explica de forma breve el proceso de cada etapa.

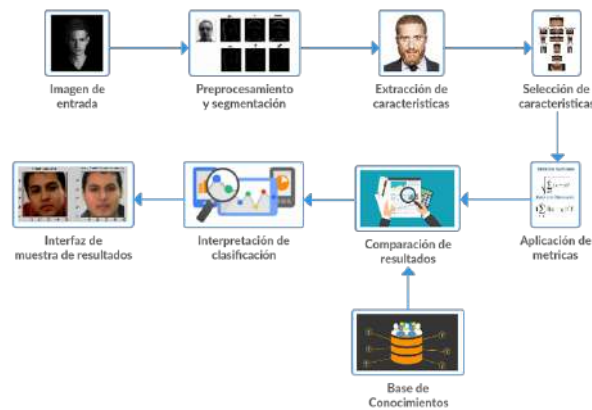


Figura 1: Diagrama del sistema de reconocimiento de rostros.

**Entrada de imagen:** es la obtención de la imagen a la que queremos aplicar el reconocimiento.

**Preprocesamiento y segmentación:** proceso de eliminar el ruido que puede llegar a contaminar la imagen, así como segmentar (dividir) la imagen.

**Extracción de características:** obtención de la información para distinguir entre las caras de diferentes personas según variaciones geométricas.

**Selección de características:** identificar la información de las características obtenidas previamente con las que se desea trabajar.

**Aplicación de métricas:** realización del cálculo dependiendo de la métrica utilizada, haciendo uso de las características ya seleccionadas.

**Comparación de resultados:** comparar los resultados obtenidos al realizar el cálculo de la métrica con una base de conocimientos.

**Interpretación de la clasificación:** interpretar los resultados obtenidos en la comparación para mostrar una decisión acerca del reconocimiento hecho.

**Interfaz de muestra de resultados:** mostrar de forma gráfica los resultados de la interpretación.

#### 4. Segmentación de Imágenes

La segmentación se puede entender como: "la subdivisión de una imagen en sus partes constituyentes u objetos, con el fin de separar las partes de interés del resto de la imagen"[10]. Otra definición considera a la segmentación como "la clasificación de los puntos de la imagen (píxeles), indicando las clases a la que pertenecen los diferentes píxeles"[10]. Dos

alternativas básicas son: encontrar bordes o determinar las regiones. En la Figura 2 se puede observar la segmentación de un objeto.

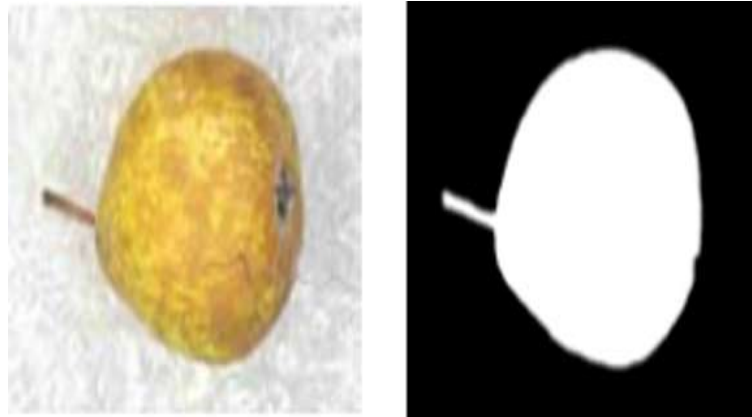


Figura 2: Segmentación de una imagen.

## 5. Extracción de Características

En la extracción de características se obtiene la información en particular de un objeto o un conjunto de ellos con el objetivo de distinguirlos de otro según variaciones geométricas. Algunas de las características que pueden ser extraídas son el área y el perímetro.

En el reconocimiento de rostros el área de un rostro está definida por los diferentes rasgos físicos de cada persona, por ejemplo ojos, boca, orejas, cejas, etc. Teniendo en cuenta esto, un área asociada con el reconocimiento facial, calcula cuidadosamente hasta qué punto dicha imagen se parece a un rostro. Para cada rostro se define un área, por ejemplo teniendo en cuenta el área de dos personas se define de la siguiente manera:

$$Area1 = 25 \quad Area2 = 35$$

En cuanto al perímetro de un rostro de igual manera es definido a través de los rasgos físicos de cada persona y para cada rostro se define un perímetro, siendo estos diferentes ya que se tiene en cuenta que los rostros no son los mismos. El perímetro se define como:

$$Perimetro1 = 25 \quad Perimetro2 = 35$$

Pero para realizar el reconocimiento de rostros en base a estas características utilizamos dos clasificadores como lo son la Métrica Euclidiana y la Métrica Minkowski que “se tratan de funciones no negativas usadas en diversos contextos para calcular la distancia entre dos puntos, primero en el plano y luego en el espacio. También sirven para definir la distancia entre dos puntos en otros tipos de espacios de tres o más dimensiones. Y para hallar la longitud de un segmento definido por dos puntos de una recta, del plano o de espacios de mayor dimensión” [6]. Estas métrica son utilizadas para encontrar la distancia entre dos puntos, utilizando los valores definidos en el área y perímetro de los rostros, haciendo el cálculo entre dos rostros de las siguientes maneras:

#### **Distancia Euclidiana:**

$$DE = \sqrt{(Area1 - Area2)^2 + (Perimetro1 - Perimetro2)^2}$$

#### **Métrica Minkowski:**

$$M_K(Rostro1, Rostro2) = (|Perimetro1 - Perimetro2|^k + |Area1 - Area2|^k)^{\frac{1}{k}}$$

## **6. Máquinas de Soporte Vectorial**

“Es un algoritmo de aprendizaje que utiliza la clasificación, principalmente la binaria, pero esta no es aplicable en todos los casos. Debido a que algunos elementos a clasificar, las máquinas de soporte vectorial reajustan los parámetros de clasificación para obtener un mayor porcentaje de precisión” [11].

A continuación, se explican los pasos del Algoritmo de MSV.

#### **Paso 1:**

Inicializar los pesos y Bias. Aquí es donde se establece la rapidez con la que se desea que aprenda el algoritmo, los pesos iniciales y parámetros de clasificación.

$$\begin{aligned} & \text{Kernel} = \text{Perceptron} \\ & \text{Parámetro de aprendizaje } \alpha \\ & \text{Pesos iniciales } w_{11} \ w_{21} \\ & \text{Bias } , \theta \end{aligned}$$

#### **Paso 2:**

Se inicia un ciclo para clasificar; este repetirá los pasos de clasificación

(3-5), en caso de que un elemento no sea clasificado será tomado como vector para la siguiente clasificación .

**Paso 3:**

Activar las unidades de entrada; este es el paso donde se asignan los valores a los parámetros de entrada.

$$\begin{array}{ll} x_1 = x_1 \text{ del patrón a clasificar.} & x_2 = x_2 \text{ del patrón a clasificar.} \\ w_{11} = \text{ultimo } w_{11} \text{ asignado.} & w_{21} = \text{ultimo } w_{21} \text{ asignado} \end{array}$$

**Paso 4:**

Calcular la respuesta de salida; en este paso se calculan y clasifican los resultados. También en este paso se actualizan los pesos en caso de que la clasificación no sea correcta, para aumentar el porcentaje de precisión, para saber si la clasificación fue correcta se compara el target (T) asignado del patrón a clasificar con una regla.

Fórmula para calcular unidad de salida:

$$Y_{IN} = Bias + (w_{11} \cdot x_1) + (w_{21} \cdot x_2) \quad (1)$$

Regla de comparación.:

$$Y_{ACT} = \begin{cases} 1 & \text{si } Y_{IN} > 0 \\ 0 & \text{si } \theta \geq Y_{IN} \leq \theta \\ -1 & \text{si } Y_{IN} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Comparar

$$Y_{ACT} == T$$

**Nota:** Si al comparar tenemos un resultado verdadero los pesos no se actualizan en caso contrario se actualizan.

Fórmula para actualizar pesos:

$$w_{11(nuevo)} = w_{11(viejo)} + \alpha \cdot T \cdot x_1 \quad (3)$$

$$w_{21(nuevo)} = w_{21(viejo)} + \alpha \cdot T \cdot x_2 \quad (4)$$

**Paso 5:**

Repetir la clasificación; en el caso de los elementos no clasificados, se repetirá cuantas veces sea necesario.

**Paso 6:**

Fin.

En la Figura 3 podemos observar la representación gráfica de una clasificación por máquina de soporte vectorial.

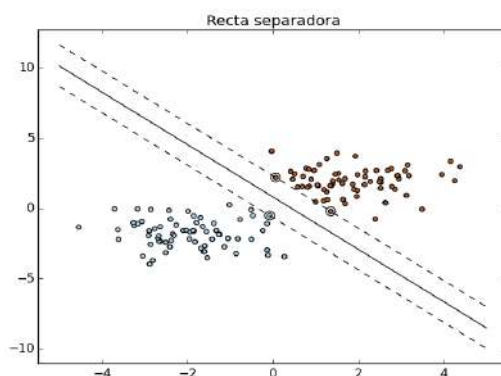


Figura 4: Representación en el plano cartesiano

## 7. Implementación del Reconocedor de Rostros

En la Figura 4 se observa la clasificación de la matriz de confusión la cual permite la visualización del desempeño del algoritmo que se emplea en aprendizaje supervisado. Es decir, la matriz de confusión nos permite observar si el sistema está confundiendo las diferentes clases o resultados de la clasificación, contabilizando el número de aciertos y errores de cada una de las clases en la clasificación. En este caso nos proporciona información si el sistema está teniendo confusiones a la hora del reconocimiento de un rostro.

0	49.3725	50.0704	53.0004	55.7713	35.3163	32.9369	34.5172	27.6449	44.5583	54.5183	41.4541
49.3725	0	2.2361	4.1231	14.7648	14.2127	31.1448	27.074	22.0227	7	6.0828	10.198
50.0704	2.2361	0	5.099	16.6433	15.2643	33.0606	29.0172	23.0217	6.3246	7.0711	12.0416
53.0004	4.1231	5.099	0	12.0416	17.6918	32.7567	28.6356	25.4558	11.0454	2	12.53
55.7713	14.7648	16.6433	12.0416	0	22.3607	28.8444	25	28.7924	21.1896	10.6301	15.2971
35.3163	14.2127	15.2643	17.6918	22.3607	0	20.8806	17.4642	7.8102	11.1803	19.2094	7.0711
32.9369	31.1448	33.0606	32.7567	28.8444	20.8806	0	4.1231	17.8045	31.257	33.2415	21.0238
34.5172	27.074	29.0172	28.6356	25	17.4642	4.1231	0	15.6205	27.4591	29.1204	17
27.6449	22.0227	23.0217	25.4558	28.7924	7.8102	17.8045	15.6205	0	18.3848	26.9072	13.8924
44.5583	7	6.3246	11.0454	21.1896	11.1803	31.257	27.4591	18.3848	0	13.0384	11.1803
54.5183	6.0828	7.0711	2	10.6301	19.2094	33.2415	29.1204	26.9072	13.0384	0	13.6015
41.4541	10.198	12.0416	12.53	15.2971	7.0711	21.0238	17	13.8924	11.1803	13.6015	0

Figura 6: Matriz de Diferencias de Rostros

En la Figura 5 se puede apreciar la gráfica por medio de máquina de soporte vectorial, podemos observar que no existen dos grupos por

completo separados, lo que significa que en un plano tridimensional se apreciaría mejor la separación de grupos, aunque aún existen vectores de soporte que deben de ser clasificados, una vista en tercera dimensión nos ayudará en comprender mejor la clasificación de este ejemplo.

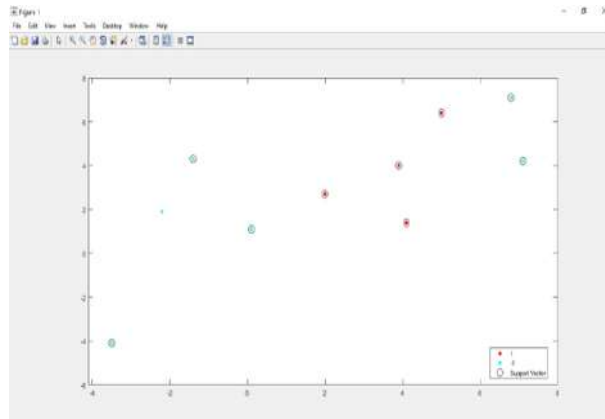


Figura 8: Gráfica de clasificación por Máquina de Soporte Vectorial

En la Figura 6 se observa la matriz de diferencias de los rostros por medio de distancia Minkowski la cual permite la visualización de la comparación de un rostro con los demás mostrando que rostros son iguales o parecidos.

Mat =

0	40.1428	40.6873	43.3102	49.2958	35.0583	32.8000	33.8026	22.9332	36.5523	44.7835	33.8820
40.1428	0	2.0123	4.0008	13.1156	9.0000	31.0001	27.0000	18.1279	7.0000	6.0002	20.0000
40.6873	2.0123	0	5.0003	14.2947	8.0116	33.0000	29.0000	19.5384	6.0049	7.0001	22.0000
43.3102	4.0008	5.0003	0	9.8307	13.0002	32.0032	28.0025	20.6766	11.0000	2.0000	21.0080
49.2958	13.1156	14.2947	9.8307	0	22.0066	24.6012	20.8701	27.0375	20.0210	8.6907	16.2430
35.0583	9.0000	8.0116	13.0002	22.0066	0	30.0019	26.0074	16.0095	2.0123	15.0001	19.0257
32.8000	31.0001	33.0000	32.0032	24.6012	30.0019	0	4.0008	14.7530	31.0002	32.0113	11.0000
33.8026	27.0000	29.0000	28.0025	20.8701	26.0074	4.0006	0	12.8388	27.0012	28.0107	7.0000
22.9332	18.1279	19.5384	20.6766	27.0375	16.0095	14.7530	12.8388	0	17.0401	21.9450	12.0023
36.5523	7.0000	6.0049	11.0000	20.0210	2.0123	31.0002	27.0012	17.0401	0	13.0000	20.0039
44.7835	6.0002	7.0001	2.0000	8.6907	15.0001	32.0113	28.0107	21.9450	13.0000	0	21.0336
33.8820	20.0000	22.0000	21.0080	16.2430	19.0257	11.0000	7.0000	12.0023	20.0039	21.0336	0

Figura 10: Matriz de Diferencias de Rostros

## 8. Conclusiones

Durante el desarrollo de este proyecto, se logró obtener muchos conocimientos respecto al tema de reconocimiento de rostros, comenzando por entender los conceptos principales referentes a dicho tema, y así poder llevar a cabo la programación para la clasificación de rostros, extrayendo las características de los rostros, y a su vez se logró implementar la distancia euclidiana y el algoritmo de máquina de soporte vectorial, lo que nos sirvió para clasificar los rostros, esto por medio de las fórmulas que cada método usado tiene definidas.

Para mejorar nuestro sistema de reconocimiento de rostros, podríamos incluir más características como el tono de piel, el grosor de las pestañas, el tamaño y posición de las orejas. Además de que ya existen diferentes algoritmos para reconocimiento de rostros en los cuales nos podemos basar para mejorar nuestro sistema, uno de ellos es el Principal Component Analysis (PCA) el cual se enfoca en las formas, la apariencia y el movimiento, y que ha sido utilizada para fines de reconocimiento.

Con respecto al desarrollo del sistema se encuentra en fase de planeación, por lo que aún se está trabajando en las técnicas de reconocimiento y en la base de conocimiento con la cual trabajaremos. Mientras que en la parte de la clasificación de los datos se tiene un mayor avance por lo tanto se podrá trabajar más en el reconocimiento de los rostros, generando una interfaz para que dicha clasificación sea más representativa, de igual manera hace falta la recopilación de las fotos de los rostros y generar la segmentación de las mismas, por lo tanto, el trabajo seguirá en desarrollo.

## Referencias

1. ASALE, R. (2020). área | Diccionario de la lengua española. Recuperado el 22 de marzo de 2020, de <https://dle.rae.es/%C3%A1rea>.
2. ASALE, R. (2020). perámetro | Diccionario de la lengua española. Recuperado el 22 de marzo de 2020, de <https://dle.rae.es/per%C3%ADmetro>.
3. Austria-Cornejo, A., & Domínguez-Ramírez, O. (2020). Vista de Sistema de Reconocimiento de Patrones de Rostros en la Nube. Recuperado el 11 febrero de 2020, de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/3540/6485>.
4. Caballero-Barriga, E. (2017). APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL RECONOCIMIENTO DE ROSTROS EN UNA IMAGEN, UTILIZANDO REDES NEURONALES Y ALGORITMOS DE RECONOCIMIENTO DE OBJETOS DE LA BIBLIOTECA OPENCV. Recuperado el 11 febrero de 2020, de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6104/1/CaballeroBarrigaEdisonRene2017.pdf>.
5. Correa, M., Chichizola, F., De Giusti, A., & Naiouf, M. (2020). Sistema de Reconocimiento de Rostros. Recuperado 11 de febrero de 2020, de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/23346/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/23346/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

6. Distancia euclídea - EcuRed. (2020). Recuperado el 22 de marzo de 2020, de [https://www.ecured.cu/Distancia\\_eucl%C3%ADdea](https://www.ecured.cu/Distancia_eucl%C3%ADdea).
7. García-Rios, E., Escamilla-Hernández, E., Nakano-Miyatake, M., & Pérez-Meana, H. (26 de marzo de 2014). Sistema de Reconocimiento de Rostros usando Visión Estéreo. Recuperado el 11 de febrero de 2020, de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642014000600015](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000600015).
8. Granja, I., Moreno, D., Cabrera, F., & Valle, P. (2020). Procesamiento De Imágenes Para La Identificación De Personas Como Sistema De Seguridad En Zonas Domiciliarias/Image Processing for identification of people as a security system in domiciliary zones | KnE Engineering. Recuperado el 11 febrero de 2020, de <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/6233/11605>.
9. Heras, J. (2020). Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) - IArtificial.net. Recuperado el 22 de marzo de 2020, de <https://iartificial.net/maquinas-de-vectores-de-soporte-svm/>.
10. La Serna Palomino, N., & Román Concha, U. (2009). Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes. Revista De Ingeniería De Sistemas E Informática, 6(2), 11.
11. Máquina de vectores de soporte (SVM). (2020). Recuperado el 22 de marzo de 2020, de <https://la.mathworks.com/discovery/support-vector-machine.html>.



# Ecualización de imágenes aplicadas a Rayos X

Daniela Munguía Núñez, Leticia Flores Pulido, Patrick Hernández Cuamatzi, Carlos Pérez Corona.

Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ingeniería y Tecnología,  
Calzada Apizaquito s/n. C.P. 90300 Apizaco, Tlaxcala, México  
{dannimun, aicitel.flores, cperezcorona}@gmail.com  
patrick.hernandez.c@uatx.mx  
<http://www.uatx.mx/>

*Recibido 13 de octubre de 2020, Aceptado 20 de octubre de 2020, Versión final 23 de octubre de 2020*

**Resumen** En este artículo se presenta el desarrollo de una herramienta que mejora la calidad de imágenes de Rayos X para extraer y visualizar patologías de lesiones y enfermedades con el fin brindar soporte a los especialistas en radiología, traumatología y ortopedia en los radiodiagnósticos. Aplicando técnicas de procesamiento digital de imágenes como sustracción, transformación de intensidad, función logarítmica y ecualización de histograma(LAHE) bajo el entorno de MATLAB.

**Abstract** This article presents the development of a tool that improves the quality of X-ray images to extract and visualize pathologies of lesions and diseases in order to support specialists in radiology, traumatology and orthopedics in radiodiagnostics. Applying digital image processing techniques such as subtraction, intensity transformation, logarithmic function, and histogram equalization (LAHE) under the MATLAB environment.

**Palabras Clave:** Rayos X, Realce de Contraste, Procesamiento Digital, Ecualización de Histograma por Área Local, Sustracción, Función Logarítmica.

**Keywords:**

X-Rays, Contrast Highlight, Digital Processing, Local-Area Histogram Equalization, Subtraction, Logarithmic Function.

## 1. Introducción

Las imágenes en Rayos X son el estudio por excelencia para la visualización de estructuras internas del cuerpo, sin embargo durante la adquisición de las imágenes digitales existen factores físicos difíciles de controlar que provocan que estas no sean de buena calidad por ser poco nítidas, tener ruido granuloso, bajo contraste y un alto contenido de información no deseada provocando confusión en el diagnóstico.

Este trabajo tiene como objetivo el desarrollo de una interfaz que utilice técnicas de procesamiento digital para modificar una imagen mejorando su apariencia o para destacar algún aspecto de la información contenida en la misma, de modo que facilite su posterior análisis ya sea por parte de un usuario o sistema de visión artificial.

## 2. Trabajos Relacionados

Las mamografías digitales son una modalidad de la radiología que sirve como herramienta para diagnosticar el cáncer de seno, el artículo de Álvarez et al. [1], presenta una metodología para el preprocesamiento de estas imágenes la cual se divide en tres pasos: reducción del área de trabajo, reducción de ruido y técnicas de realce de contraste por ecualización adaptativa del histograma con el propósito de incrementar la visibilidad de las lesiones y características de interés sin que se vea afectado el tamaño y la forma de la imagen.

Por otra parte el artículo de Estrada et al. [3], tiene como propósito mostrar el desarrollo de una interfaz que detecta, clasifica y visualiza fracturas bajo el entorno de LabView, el algoritmo comienza cuando el usuario abre una imagen desde el navegador de archivos, define una zona de interés dentro de la imagen para comparar con imágenes previamente procesadas como patrón con el propósito de buscar coincidencias, en caso de no encontrar alguna coincidencia se indica que no encontró fractura. Al encontrar coincidencias se despliega la imagen marcando la fractura y se clasifica.

De acuerdo con el artículo de Medina et al. [4], una imagen digital corresponde a un arreglo de dos dimensiones (2D) esta tiene un tamaño de  $N \times M$  píxeles. Las técnicas de PDI más utilizadas que son: realce de

imágenes por modificación del contraste en donde el contraste de una imagen, puede mejorarse mediante el re-escalamiento de la intensidad de cada píxel, detección de contorno, útil en diferentes contextos, en particular la detección de contornos es una de las etapas del proceso de segmentación cuyo objeto es particionar la imagen en regiones asociadas a los diferentes elementos que componen la escena.

En el trabajo de Pérez et al. [5], se presenta una técnica de segmentación automática de huesos en imágenes TAC sencilla y muy rápida que permite implementar la segmentación de volúmenes TAC en cuestión de pocos segundos. La técnica está basada en detección de bordes y análisis de regiones facilitando a los profesionales en el análisis y localización de fracturas, enfermedades óseas y en la planeación de intervenciones quirúrgicas a pesar de las enfermedades que dificultan la visualización.

El trabajo de Barrios [8], fue desarrollado bajo el entorno de MATLAB utilizando técnicas de normalización, suavizado para contornos, eliminación de ruido, segmentación y filtrado espacial para brindar ayuda y soporte al especialista de los diagnósticos de patologías y enfermedades que a través de algunas características de las imágenes médicas permiten al especialista dar un diagnóstico más claro y preciso.

### 3. Descripción de la Aplicación

La interfaz de este proyecto fue desarrollada en el entorno de MATLAB para mejorar la calidad de las imágenes de Rayos X utilizando técnicas de procesamiento digital, con el propósito de ayudar al personal médico. La metodología propuesta se muestra en la Figura 1, la cual se divide en fases generales que son: recolección del corpus de 200 imágenes en formato digital, mostrar la imagen a trabajar en la interfaz, aplicación del método de reducción del área de trabajo, eliminación de objetos aislados y fondo, la siguiente fase consiste en realzar el contraste donde se puede elegir tres técnicas, por ejemplo, transformación de intensidad, función logarítmica o ecualización por área local. Por último se elimina el ruido y se visualizan los detalles en la interfaz final.

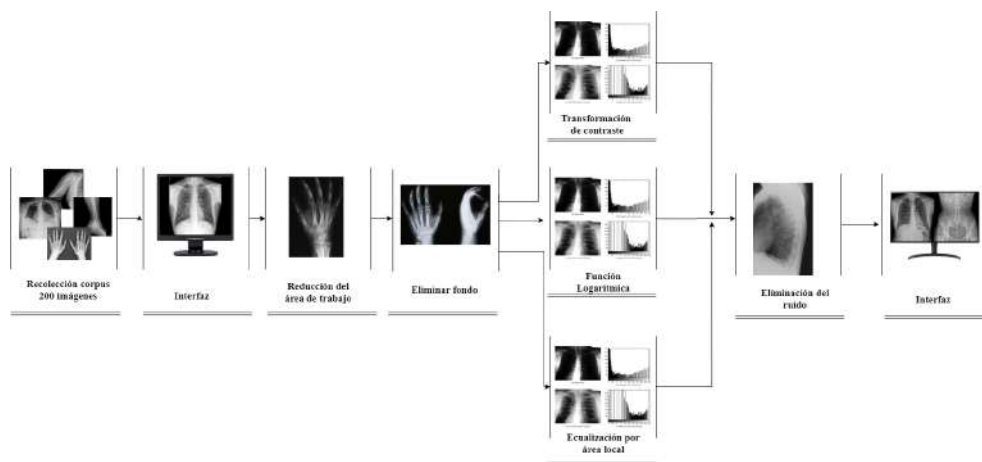


Figura 1. Arquitectura general de la metodología propuesta en esta investigación.

#### 4. Implementación

En la primera fase se recolectó el corpus de 200 imágenes en rayos X, obtenidas del Hospital General de Huamantla del área de Radiología por la Técnico Profesional Asociado en Imagenología Brenda Munguía Nuñez y Guadalupe Hernández Cortez con muestras bajo el formato JPG con las dimensiones de 1105 píxeles por 640 píxeles. A continuación se muestra el corpus de imágenes en rayos X de distintas partes del cuerpo que serán utilizadas como se observa en la Tabla 1.

Corpus.	
Descripción. Formato: JPG ; Tamaño: 1105* 640 píxeles; Normalizada; 640*640 píxeles	

Tabla 1. Corpus de imágenes

La segunda fase consiste en reducir tiempos de procesamiento eliminando información no importante y simplificando la imagen a la región que corresponde al objeto de interés. Para reducir el área se divide en tres pasos: binarizar la imagen, eliminar objetos aislados utilizando la función de MATLAB *bwareaopen* y corte automático con la ayuda de la función *imcrop* para simplificar la región

que corresponde al objeto de interés.

La siguiente fase es eliminar el fondo para ayudar a percibir las estructuras internas; es necesario aplicar el método de sustracción que consiste en restar dos imágenes que produce como salida una tercera imagen en la cual cada valor de píxel es la resta de los valores de los píxeles, la fórmula es:

$$C(x, y) = A(x, y) - B(x, y) \quad (1)$$

El proceso de eliminar el fondo consiste en convertir la imagen a escala de grises, después se aplica la función de MATLAB *imsubtract(I, background)* para eliminar el fondo debido a que no proporciona información importante.

Consideremos ahora la siguiente fase que consiste en realzar el contraste, cabe mencionar que existen diferentes técnicas como transformación de intensidad la cual asigna valores de intensidad de la imagen en escala de grises a nuevos valores mejorando la calidad de la imagen y aumentando el contraste. La función utilizada en MATLAB es *imadjust*.

Ahora veamos la función logarítmica que expande los valores de píxeles oscuros a píxeles más claros en una imagen mientras se comprimen los valores de alto nivel. La fórmula es:

$$s = C \log(1 + r) \quad (2)$$

En la implementación de este método se asignaron valores entre de 0.2 a 0.9.

De igual manera existe LAHE (local-area histogram equalization) es una técnica que toma en cuenta la zona que corresponde con el entorno de vecindad del píxel en cuestión. Una vez que se ha realizado la transformación del píxel se pasa al siguiente píxel y se realiza de nuevo el mismo proceso, esto provoca que el método LAHE sea muy lento por lo cual se han efectuado distintas variaciones, se considera ecualizado si todos los niveles de intensidad tienen una frecuencia lo más similar posible. La función  $E = \text{adaphisteq(imagen)}$  es utilizada en MATLAB para mejorar el contraste de la imagen transformando los valores.

Para terminar con el mejoramiento de la calidad se debe eliminar el ruido que se puede introducir en una imagen aplicando el filtro de la

mediana con el fin de preservar los bordes se reemplaza cada píxel de la imagen por la mediana de los píxeles que se encuentran dentro de su ventana de vecindad utilizando la función *Kmedian* en MATLAB.

## 5. Interfaz de Usuario

Bajo el entorno de MATLAB fue desarrollada la interfaz gráfica del sistema de mejoramiento la cual permite abrir una nueva imagen desde el explorador de archivos de Windows, configurar las técnicas para mejorar la calidad de las imágenes radiológicas, extraer y visualizar la imagen original y filtrada, así como exportar los resultados bajo el formato JPG. Ver figura 2.



**Figura 2.** Interfaz gráfica para mejoramiento de imágenes por medio de ecualización en MATLAB. Fuente: Elaboración propia.

La interfaz cuenta con más de cinco botones en el menú de herramientas: importar, guardar, aumentar zoom, disminuir zoom, mover, eliminar fondo, ecualizar y aplicar.

## 6. Resultados y Pruebas

Las pruebas realizadas consistieron en evaluaciones por especialistas, las cuales fueron evaluando su funcionamiento y proporcionando críticas constructivas acerca de como mejorar las imágenes. En la primera fila de la Tabla 2 se aplican los métodos de sustracción y transformación de intensidad lo que provoca que aumente el brillo de la imagen mejorando

la calidad y visualización de la silueta del hueso. En la segunda fila se muestran los resultados de utilizar las técnicas de ecualización de histograma AHE y LAHE; como regla general se considera que una imagen tiene un buen contraste si su histograma se extiende ocupando casi todo el rango de tonos, si la gráfica tiene a desplazarse a la izquierda la imagen tiene muchas zonas totalmente negras, es decir, es demasiado oscura para su visualización, si una imagen está sobreexpuesta o que tienen zonas quemadas es porque la gráfica tiene a desplazarse a la derecha. Por lo tanto la técnica de LAHE ocupa casi todo el rango de tonos, en otras palabras, tiene un buen contraste mientras que por histograma adaptativo no favorece a la imagen. Finalmente la última fila se observa en los histogramas de función logarítmica que tienden a desplazarse a la izquierda por lo que las imágenes son muy oscuras, sin embargo la aplicación con la constante de 0.5 y 0.7 mejora la iluminación de la imagen brindando apoyo a los especialistas para una mejor visualización en partes blandas.

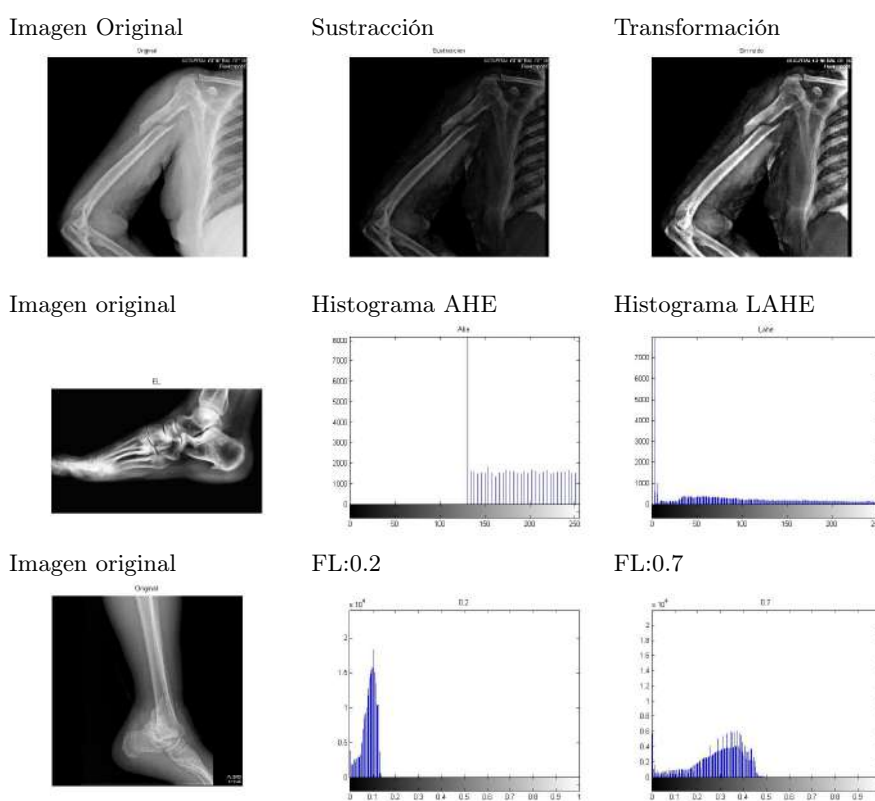


Tabla 2. Resultados

## 7. Conclusiones

Finalmente se creó una herramienta para especialistas en radiología, traumatología y ortopedia que no tienen conocimiento de programación, bajo la plataforma de MATLAB, con una interfaz gráfica de usuario que permite configurar de forma rápida y concisa algoritmos para mejorar la calidad, extraer y visualizar tejidos blandos, duros y patologías de interés además de exportar los resultados bajo el formato JPG con la finalidad de disminuir tiempos y sustituir los CD y las películas de Rayos X.

## Referencias

1. [Álvarez et al., 2006] Damián A. Álvarez G., Marta L. Guevara G., Germán A. Holguín L., (2006). Preprocesamiento de imágenes aplicadas a mamografías digitales. 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.
2. [amexcomp , 2017] Academia mexicana de computación, A.C., (2017). La computación en México por especialidades académicas / Análisis de señales y Reconocimiento de patrones Capítulo 7 pp.232-247
3. [Estrada et al., 2016] García Estrada Héctor, Ramírez Sotelo María Guadalupe, Cabrera Llanos Agustín Ignacio, (2016). Interfaz para detección, clasificación y visualización de fracturas en LABVIEW. Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México D.F 2 Departamento de Bioingeniería, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México D.F aicllbuda@yahoo.com
4. [Medina et al., 2006.] Rubén Medina, Jesús Bellera, (2006). Bases del Procesamiento de Imágenes Médicas. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Grupo de Ingeniería Biomédica de la ULA (GIBULA), Av. Tulio Febres Cordero, Mérida 5101, Venezuela. pp.1-34.
5. [Pérez et al., 2014] J.A. Pérez Carrasco, Suarez Mejías, C., Acha, B., Olías Sánchez, F. J., & Serrano, C., (2014). Segmentación rápida de huesos basada en bordes y regiones de imágenes TAC. Dpto de Teoría de la señal y Comunicaciones, Universidad de Sevilla.
6. [Gonzalez & Woods, 2008] Rafael C. Gonzalez & Richard E. Woods, (2008). Digital Image Processing. Tercera edición. University of Tennessee. pp 1-31.
7. [Mejía, 2005] José Ramón Mejía Vilet, (2005). Procesamiento Digital de Imágenes. Facultad de ingeniería UASLP San Luis Potosí. [http://read.pudn.com/downloads159/ebook/711796/Procesamiento Digital de Imágenes.pdf](http://read.pudn.com/downloads159/ebook/711796/Procesamiento%20Digital%20de%20Imágenes.pdf)
8. [Barrios, 2017] Sofía Barrios Arboleda, (2017). Revisión del procesamiento digital de imágenes a través de neuroimágenes. Universidad Militar Nueva Granada. pp 1-14



# Agrupamiento de Fluctuaciones Bursátiles con Redes Neuronales

Verónica Stephany Cirio García, Leticia Flores Pulido, Perfecto  
Malaquías Quintero Flores, Carlos Pérez Corona

Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Ingeniería y Tecnología,  
Calzada Apizaquito s/n. C.P. 90300 Apizaco, Tlaxcala, México  
{veronicacirio6d,aicitel.flores,cperezcorona}@gmail.com{malakaz\_81}@hotmail.  
com  
<http://www.uatx.mx/>

*Recibido 13 de octubre de 2020, Aceptado 20 de octubre de 2020, Versión final 28 de  
octubre de 2020*

**Resumen** En este artículo se presenta el funcionamiento de una red neuronal como lo son los Mapas Auto-organizativos **SOM**(por las siglas en inglés de Self-Organizing Maps), en el cual este algoritmo fue aplicado para la clasificación de bancos que agrupar en la Bolsa de Valores, como lo son: **Grupo Financiero Santander, Grupo Financiero Banorte, Grupo Financiero Famsa, Grupo Financiero Inbursa y Grupo Financiero Banregio**, de los cuales obtenemos como resultado el agrupamiento entre los tipos de cotización ya sea, alto, medio o bajo dependiendo del banco y sus datos históricos.

Para obtener el agrupamiento adecuado de cada uno de los bancos se implementó una Red neuronal enfocada en los Mapas Auto-organizativos en los cuales se recolectaron los datos históricos (Apertura, Cierre, Máximo, Mínimo, Volumen y Valor en riesgo) de cada uno de los bancos por un año. De esta forma se normalizan los datos para la red neuronal y que esta pueda entrenar y validar los datos para su agrupamiento. La red arroja los Plots de los cuales, para la agrupación de la colección de datos, se toma la ayuda de 4 plots: **SOM Neighbord Distance, SOM Input Planes, SOM Sample Hits, SOM Weight Positions**, los cuales nos ayudan a definir en que momento del año este banco cotiza **Alto, Medio o Bajo**.

**Abstract** This article introduces the operation of a neural network such as **SOM** Self-Organizing Maps, in which this algorithm was applied for the sorting of banks to group on the Stock Exchange, as it are: Grupo Financiero

Santander, Grupo Financiero Banorte, Grupo Financiero Famsa, Grupo Financiero Inbursa and Grupo Financiero Banregio, of which we obtain as a result the grouping between the either high, medium or low quote rates depending on the bank and its historical data. To get the right grouping of banks, a neural network focused on the Self-Organizational Maps was implemented in which historical data (Opening, Closing, Maximum, Minimum, Volume and Risk Value) were collected from each bank for one year. In this way, normalize data for the neural network so that it can train and validate data for grouping. The net throws the Plots of which, for the grouping of the data collection, takes the help of 4 plots: SOM Neighbord Distance, SOM Input Plans, SOM Sample Hits, SOM Weight Positions, which will help us define at what time of year this bank is listed High, Medium or Low.

**Palabras Clave:** Bolsa de valores, Red Neuronal, Mapas Auto-organizativos, Agrupamiento, Cotización.

**Keywords:** Stock exchange, Neural Network, Self-organizational maps, Grouping, Quote.

## 1. Introducción

La Bolsa de Valores es una organización privada que ofrece ciertas condiciones para que empresas que necesitan capital y/o personas y empresas que disponen de capital, realicen transacciones de compra y venta de valores tales como acciones de sociedades o compañías anónimas. La bolsa de valores es un intercambio de una institución, asociación u organización que permite negociaciones de acciones, bonos o cualquier producto básico. Los Mapas Auto-organizativos es un tipo de red neuronal de aprendizaje no supervisado. Estos mapas son diferentes a otras redes neuronales artificiales, estos usan una función de vecindad para conservar las propiedades topológicas del espacio de entrada. Los Mapas Auto-organizativos son un tipo de algoritmo para agrupar rasgos comunes, regularidades, correlaciones o categorías en los datos de entrada.

La vitalidad de la Bolsa de Valores es el reflejo de lo que sucede en un país tomando un papel de columna vertebral de la infraestructura económica de una nación moderna. Por ende, la Bolsa de Valores fomenta el ahorro y la inversión a largo plazo, fortaleciendo el mercado de capitales e impulsando el desarrollo económico y social de los países donde funcionan.

## 2. Trabajos Relacionados

El trabajo [4] muestra la implementación de una serie de algoritmos SOM donde se desarrollaron en varios paquetes de software, el cuál per-

mite su uso mediante una interfaz para el mayor entendimiento del SOM.

De acuerdo con el artículo de [5] se relizo el pronóstico de datos de la bolsa de valores colombiana realizando una comparación entre el funcionamiento de una red neuronal y una red neuro-difusa y como resultados se obtuvo que la red neuronal tiene mayores aciertos que la neuro-difusa aunque el error promedio de la neuro-difusa puede ser menor. Pero, es importante mencionar el tiempo de entrenamiento de una red neuronal es de solo unos cuantos minutos (1-5 min.), mientras que una red neuro-difusa puede tardar algunas horas en su entrenamiento (3-10 hrs.).

El trabajo [6] describe la problemática asociada a la predicción de degradación de baterías mediante métricas clásicas, proponiendo como metodología las redes neuronales SOM para clasificar las celdas según condiciones de uso distintas asociadas a los valores de profundidad de descarga, temperatura ambiente y corriente de descarga, donde la idea inicial es la clasificación de las celdas en funcionamiento de la aplicación a la que sirven en sus ciclos pasados, de manera que se pueden dar una predicción de la vida útil.

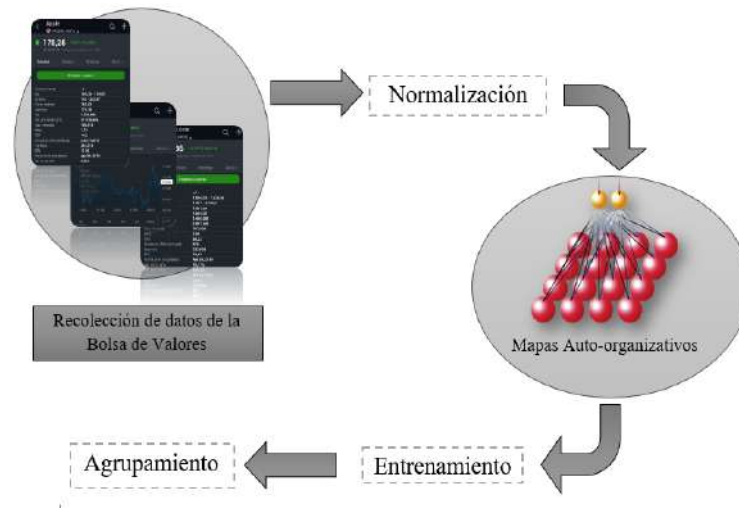
En el artículo [7] se realiza el modelo del precio en promedio mensual del café colombiano en la Bolsa de Nueva York, usando varios modelos alternativos, dando como conclusión un modelo final seleccionado, el cual está compuesto por un componente lineal autoregresiva, más una red neuronal artificial tipo perceptron multicapa con dos neuronas en la capa oculta, que permite representar la dinámica de los residuales especificada, usando un proceso heterocedástico condicional auto-regresivo de primer orden.

En el trabajo [8] se desarrolla la implementación de una plataforma para el análisis de acciones en la bolsa de valores de Colombia, que además provee una recomendación de cuando invertir, para que los inversionistas puedan decidir donde invertir su dinero en determinado momento. Esto se realiza a través de la integración de metodologías para el análisis de series de tiempo, modelos de redes neuronales y sistema multi-agentes.

### 3. Descripción de la Aplicación

La metodología propuesta es la que se puede observar en la Figura 1. En ella se pueden observar las fases generales: la recolección de los datos

estadísticos de la bolsa de valores, la normalización, los mapas auto-organizativos, el entrenamiento y el agrupamiento de los datos finales.



**Figura 1.** Diagrama General del Sistema Predictivo de Fluctuación de la Bolsa de Valores usando Mapas Auto-organizativos.

El Diagrama General nos muestra el trayecto que se lleva a cabo en todo el proyecto. Indicándonos, como primera instancia, la recopilación de los datos estadísticos de la Bolsa de Valores (Apertura, Cierre, Máximo, Mínimo, Volumen y Var.(Valor en riesgo)). Una vez teniendo el conjunto de datos de las 5 mencionadas anteriormente, se normalizarán los datos reunidos. Teniendo todos los datos normalizados, lo siguiente es plasmar esos datos ya normalizados a la red neuronal (Mapa Auto-organizativo) para obtener el reconocimiento de patrones, obteniendo como resultado el entrenamiento de estos datos. Y así, posteriormente hacer el agrupamiento de nuestra colección de datos.

#### 4. Implementación del Reconocedor

**Mapas Auto-organizativos** Este modelo se basa en la analogía de un mapa topográfico. Esta propiedad es observada en el cerebro, dicha propiedad no se encuentra en otros modelos de Redes neuronales artificiales. Los mapas auto-organizativos tiene  $n$  unidades de grupos dentro

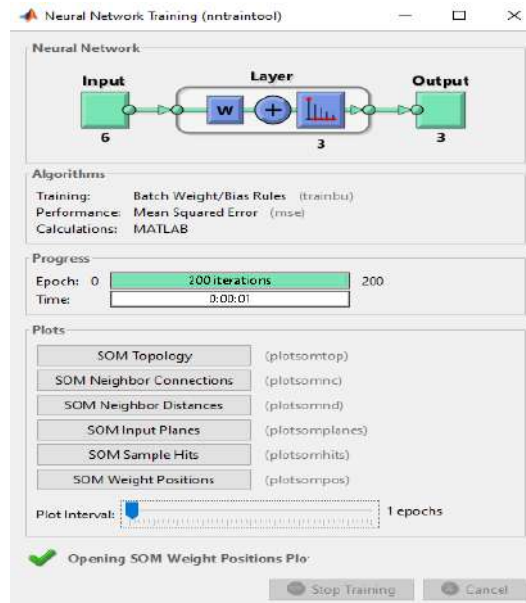
de un arreglo en 1 y 2 dimensiones. Durante el proceso de entrenamiento (auto-organización), se elige como ganador aquel vector que más se parezca al patrón de entrada por medio de una métrica **Euclidiana**. A continuación se presenta el siguiente algoritmo de Redes Neuronales:

<b>Algoritmo Mapas Auto-organizativos de Kohonen</b>
<p>Paso 0. Iniciar los pasos <math>w_{ij}</math>, la entrada, <math>m</math> (número de grupos), <math>\infty</math>, <math>R</math> (Radio inicial). Dentro del Paso 0, se debe indicar el número de categorías <math>j</math>, para este ejemplo se desea formar dos grupos y se inicia la matriz de pasos. Observando que los patrones de entrada son binarios. Y que los pasos son con valores reales entre 0 y 1.</p>
<p>Paso 1. Mientras la condición de paro no se cumpla, entrenar.</p>
<p>Paso 2. Para cada vector de entrada, hacer los pasos del 3-5.</p>
<p>Paso 3. Para cada <math>J</math>, calcular: <math>D(j) = \sum_i (w_{ij} - x_i)^2</math></p>
<p>Paso 4. Encontrar la distancia mínima.</p>
<p>Paso 5. Actualizar pasos: <math>w_{ij}(nuevo) = w_{ij}(viejo) + \alpha [x_i - w_{ij}(old)]</math>. Se actualizan los pasos de la unidad ganadora, es decir, si <math>J = 2</math>, la unidad ganadora fue <math>Y_2</math>, entonces los pasos de <math>Y_1</math> quedan sin cambios.</p>
<p>Paso 6. Actualizar el parámetro de aprendizaje.</p>
<p>Paso 7. Final de algoritmo, hasta que todos los patrones se hayan metido a la red neuronal.</p>

**Tabla 1.** Algoritmo Mapas Auto-organizativos de Kohonen

El entorno en el cual se desarrolló el sistema predictivo de la bolsa de valores, en donde se pone a prueba la clasificación que realizan los mapas Auto-organizativos es MatLab. MatLab cuenta con Toolbox, la cual proporciona funciones para crear, entrenar y simular redes neuronales, este facilita el desarrollo de redes neuronales para tareas tales como la clasificación, la regresión (incluida la regresión de series temporales) y el clustering. Para este proyecto se utilizó Toolbox para redes neuronales SOM, en el que se mandó a traer la base de datos para que así el Toolbox pudiera realizar la normalización, entrenamiento y agrupación, Figura 2.

Toolbox arroja las iteraciones que se tuvieron que ejecutar para poder realizar el entrenamiento y el tiempo que tomo para poder realizar estas iteraciones. De igual forma Toolbox genera **plots** los cuales muestran las topología, conexiones, distancias, planos de entrada, golpes de muestra y posiciones de peso. En nuestro caso, tomaremos en cuenta solo



**Figura 2.** Interfaz especializada para redes neuronales, Toolbox. Este sistema que clasifica los datos ingresados del banco utilizando Mapas Auto-organizativos.

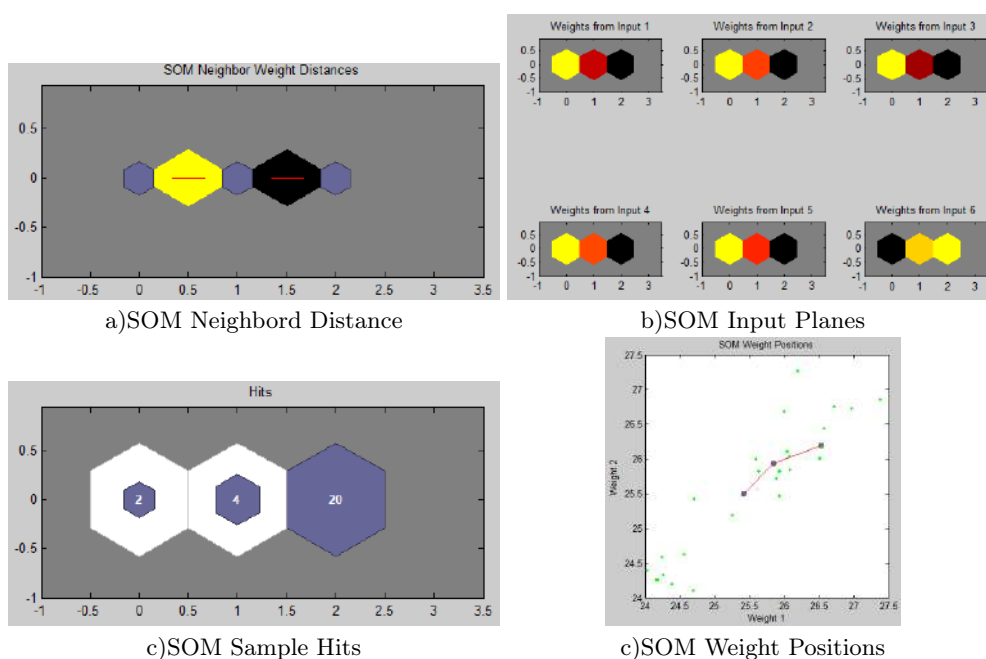
4 de 6 plots, los cuales son: **SOM Neighbor Distance, SOM Input Planes, SOM Sample Hits, SOM Weight Positions**

- a) Muestra las neuronas como hexágonos gris azulados y sus relaciones vecinas directas con líneas rojas. Los hexágonos vecinos se colorean de negro a amarillo para mostrar qué tan cerca está el vector de peso de cada neurona de sus vecinos.
- b) Genera un conjunto de subramas. Cada subplano muestra los pesos de la subentrada de las capas de la neurona, con las conexiones más negativas como negras, las conexiones cero como rojas y las conexiones más fuertes como amarillas.
- c) Traza una capa de red con cada neurona mostrando el número de vectores de entrada que clasifica.
- d) Traza los vectores de entrada como puntos verdes y muestra como clasifica el espacio de entrada mostrando puntos azul-grises para el vector de peso de cada neurona y conectando las neuronas vecinas con líneas rojas.

## 5. Resultados

Se toman los resultados obtenidos del agrupamiento que realizó la red neuronal y se observa en que capa de salida se agruparon la mayoría

de los datos introducidos . Entonces, la red neuronal agrupa los datos de entrada, como se puede observar en la Tabla 2. Estos resultados prtenecen a las pruebas del mes 12 del Grupo Financiero Santander. Se tiene que de los 26 datos que se introducen, 2 de ellos caen en la cotización baja, 4 en la cotización media y 20 en la cotización alta. Esto quiere decir, que de los datos introcuidos del mes 12, hay un mayor agrupamiento de datos en la capa definida como **Cotización Alta**, en pocas palabras, el Grupo Financiero Santander tuvo una cotización alta en el mes 12.



**Tabla 2.** Desempeño de la Red Neuronal del mes 12 del Grupo Financiero Santander.

## 6. Conclusiones

En este artículo se puso en práctica y a prueba el uso de redes neuronales como lo son los mapas auto-organizativos con el fin de poder clasificar empresas que cotizan en la bolsa de valores. Al aplicar el funcionamiento de este tipo de red neuronal para la agrupación de datos, se lleva el tiempo necesario de realizar las suficientes pruebas con una variedad de datos estadísticos, por el momento aún no se concluyen las

pruebas necesarias para poder agrupar las cotizaciones de la bolsa en altas, medianas y bajas, es decir, que empresa cotizó alto, medio o bajo en todo el año. El uso de Toolbox facilita el manejo y entendimiento de las redes neuronales, ya que con el simple hecho de crear tu matriz de datos, el toolbox automáticamente genera la red neuronal, la cuál muestran las topología, conexiones, distancias, planos de entrada, golpes de muestra y posiciones de peso. Para concluir con las pruebas, es necesario ingresar los datos por bimestre, semestral y después por 1 año de cada empresa al Toolbox y hacer una comparación de resultados de cada una.

## Referencias

1. [Blog Fundación UNAM], Febrero 2015, Bolsa de Valores. <http://www.fundacionunam.org.mx/humanidades/que-es-la-bolsa-de-valores-y-como-funciona/>.
2. [M. Gonzalez] M. Gonzalez. Mapas Autoorganizativos. <http://avellano.fis.usal.es/lalonso/RNA/introSOM.htm>.
3. [GBMV. (2015)] GMV. Obtenido de [https://www.bmv.com.mx/docs-pub/MI\\_EMPRESA\\_EN\\_BOLSA/CTEN\\_MINGE/Bolsa\\_Mexicana.pdf](https://www.bmv.com.mx/docs-pub/MI_EMPRESA_EN_BOLSA/CTEN_MINGE/Bolsa_Mexicana.pdf).
4. [Jímenez, A., Villaseñor - García, E., Martínez de la Escalera, N., Cruz Ramírez, N., & Carrillo, H.] (2017). Una Herramienta computacional para el análisis de mapas autoorganizados . (pág. 6). Cuernavaca, Morelos.
5. [Toro Ocampo, E., Molina Cabrera, A., & Garcés Ruiz, A.] (2006). Pronóstico de bolsa de valores empleando técnicas inteligentes .(pág. 10).
6. [Pastor Flores, P., Martín del Brío, B., Bernal Ruiz, C., & Sanz Gorrachategui, I.] (s.f.). Mapas Auto-Organizados (SOM) para la detección de envejecimiento en baterías . 2019.
7. [Velásquez Henao, J. D., & Aldana Dumar, M. A.] (2007). MODELADO DEL PRECIO DEL CAFÉ COLOMBIANO EN LA BOLSA DE NUEVA YORK USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES . Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín.
8. [Jessie Steve Camargo Cantillo, J. c.] (s.f.). Arquitectura multi-agente con redes neuronales artificiales para el análisis de acciones en la bolsa de valores de Colombia.
9. MatWorks. (s.f.). Obtenido de [la.mathworks.com](http://la.mathworks.com)
10. [Erik. (2020).] Mat Works. Obtenido de [https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/70481metaheuristicalgorithmmandmachinelearning?s\\_tid=srchtitle](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/70481metaheuristicalgorithmmandmachinelearning?s_tid=srchtitle)



**IZTATL**  
COMPUTACIÓN