

Sistema de reconocimiento de expresión facial para para niños con autismo.

Facial expression recognition system for children with autism.

Álvaro Hernández Sol (1).

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, Chiapas, México.

ing_sol10@yahoo.com.mx.

Víctor Eduardo Simuta López (2), Estudiante TecNM campus Tuxtla Gutiérrez, eduardo.1092@hotmail.com.

Raúl Moreno Rincón (3). TecNM campus Tuxtla Gutiérrez. rmoreno@ittg.edu.mx.

José Ángel Zepeda Hernández (4). TecNM campus Tuxtla Gutiérrez. jzepeda@ittg.edu.mx.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos (5). TecNM campus Tuxtla Gutiérrez. aaguilarc@ittg.edu.mx.

Osbaldo Ysaac García Ramos (6). TecNM campus Tuxtla Gutiérrez. ogarcia@ittg.edu.mx.

Artículo recibido en agosto 15, 2018; aceptado en septiembre 25, 2018.

Resumen.

El presente artículo describe el diseño de un sistema neuronal para el reconocimiento de expresiones faciales para niños con problemas de autismo. Al utilizar este sistema en un prototipo gesticulador el niño podrá ver reflejado en la expresión facial que presente en todo momento, además el sistema le indicara por medio de voz cuál es su estado de ánimo en ese instante. El software diseñado para detectar las expresiones faciales realiza la adquisición, segmentación y reconocimiento de imágenes, utilizando para esto último una red neuronal con retropropagación. Se realizaron pruebas de laboratorio en las cuales se obtuvieron un 84.4% de aciertos en la identificación de la expresión facial capturada. La finalidad de este sistema es lograr integrar un prototipo que ayude a los niños con autismo a distinguir y reconocer los gestos emocionales para que se puedan comunicar a través de expresiones faciales con el resto de la sociedad.

Palabras claves: Expresión facial, redes neuronales, autismo.

Abstract.

This article describes the design of a neuronal system for the recognition of facial expressions for children with autism problems. By using this system in a gesticulating prototype, the child will be able to see his facial expression reflected at any time. In addition, the system will indicate by voice what is the state of mind of the child at that moment. The software designed to detect facial expressions performs the acquisition, segmentation and recognition of images, using a neural network with backpropagation for the latter. The results of laboratory tests show that 84.4% of correct answers were obtained in the identification of the captured facial expression. The purpose of this system is to integrate a prototype that helps children with autism to distinguish and recognize emotional gestures so that they can communicate through facial expressions with the rest of society.

Keywords: Facial expression, neural networks, autism.

1. Introducción.

La comunicación es fundamental para el desarrollo social del ser humano. De hecho, la vida en comunidad no puede concebirse sin la facultad de acceder a la información que se genera en los diferentes entornos. Entre las diversas formas de comunicación, la expresión fácil es la más común y acompaña a la persona, como herramienta de sociabilización, durante toda su existencia.

Cuando, por cualquier motivo, la persona se ve impedida para expresar sus emociones, en su rostro, esto limita de manera importante su integración al medio social en el cual se desenvuelve. La dificultad de las personas autistas para comunicar sus emociones disminuye, significativamente, su capacidad de interacción social; en consecuencia, su desarrollo educativo, profesional y humano queda restringido seriamente, lo que limita las oportunidades de inclusión que todo ser humano merece, y esto representa un acto discriminatorio.

Las estadísticas del Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática (INEGI, 2010) indican que en México existen 5,739,270 personas alguna discapacidad o problema de salud; de las cuales el 4.6% presentan problemas con el poner atención y la capacidad de aprender, siendo el estado de Chiapas el vigésimo estado con personas con esta discapacidad. Con una población de 4288 personas, superando a Querétaro (4056), Morelos (3909), Tabasco (3705), Zacatecas (3543), Durango (3489); Aguascalientes, Nayarit, Tlaxcala, Quintana Roo, Campeche, Colima y Baja California Sur (todos con menos de 3000 casos registrados).

Los niños autistas son personas con trastorno del desarrollo neurológico que afecta la comunicación, el aprendizaje y la vida social. Teniendo como actitud fundamental ser personas ensimismadas, que limita su interacción con el resto de la comunidad, en especial, con sus familiares cercanos. Es por esta razón que se pretende entender mejor su proceso de socialización y facilitar la integración a la sociedad.

Como menciona Polaino (1997), *“el proceso de integración de las personas con este comportamiento ha permitido generar programas de apoyo dirigido a los padres y familiares, que contribuyen a atenuar las discrepancias existentes entre el comportamiento del niño autista en el hogar y en la sociedad en general”*. En su artículo Leo Karnner (1943) menciona las dificultades que presentan para establecer relaciones interpersonales y con el mundo entero en general, y por otro lado de las alteraciones del lenguaje. García (2014) menciona que a estos niños *“Les cuesta entender las normas sociales y tampoco entienden las frases con doble sentido, bromas, lenguaje metafórico o muchas de las expresiones emocionales (tristeza, odio, alegría, enfado...) y presentan dificultades para establecer relaciones de amistad o amor”*.

Solucionar este problema es de gran importancia, con un software que sea capaz de usar expresiones faciales, el niño autista aprenderá a reconocer sus gestos emocionales y el significado de cada una de ellas, a través de su interacción con el prototipo. Las herramientas actuales con las que cuenta los institutos de Chiapas son un poco difíciles para el niño ya que tiene que interactuar con las personas la cual es algo complicado para ellos, debido a su timidez para relacionarse con los demás.

Implementando un software a través de una computadora y una cámara web; se creará una interfaz gráfica para el procesamiento digital de imágenes con la cual el niño autista podrá interactuar para que se obtengan algunas partes que serán de interés para el entrenamiento de redes neuronales como son los ojos, cejas y boca, todo esto se logrará a través del procesamiento de imágenes, redes neuronales y una programación en Matlab.

2. Métodos.

Procesamiento digital de imágenes.

El objetivo del procesamiento de imágenes es mejorar la calidad de las imágenes para su posterior utilización o interpretación a través de técnicas que se aplican a las imágenes digitales. Dicho procesamiento se efectúa dividiendo la imagen de un arreglo rectangular de píxeles. Los valores de la luminosidad de cada píxel, con sus coordenadas que

indican su posición, definen completamente la imagen, todos estos números se almacenan en la memoria de la computadora (Proakis, 2007). El siguiente paso a seguir es alternar los valores de la luminosidad de los píxeles mediante las operaciones o transformaciones matemáticas necesarias, a fin de hacer que resalten los detalles de la imagen que sean convenientes, el paso final es pasar la representación de estos píxeles con el fin de mostrar la imagen procesada, tal y como se puede observar en la figura 1.

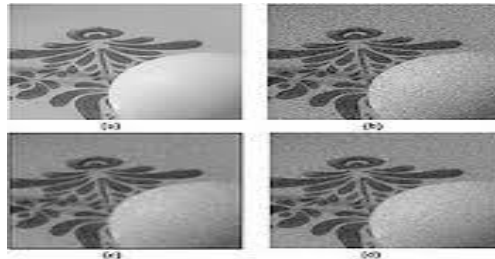


Figura 1. Procesamiento digital de una imagen

En la figura 2 se observan los componentes principales de todo procesamiento digital de imágenes, el cual depende en gran medida de sus componentes que lo forman, existiendo seis partes primordiales para que se obtenga un procesamiento adecuado de la imagen.

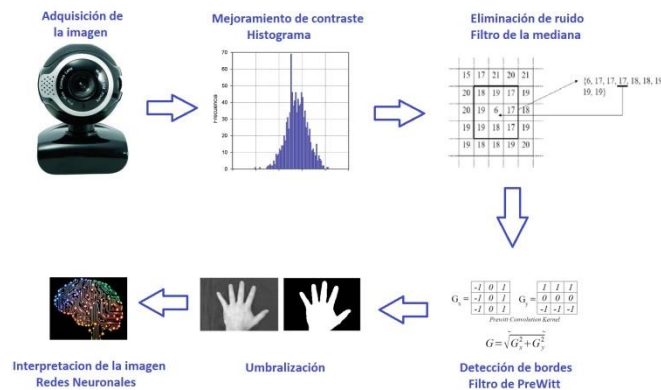


Figura 2. Etapas de un procesamiento de imágenes.

La primera etapa que se implementó para el procesamiento de imágenes del sistema de expresiones faciales fue la adquisición de la imagen, para lo cual se utilizó la cámara web de una computadora para capturar los rasgos faciales de una persona; la segunda etapa fue la mejora de contraste para lo cual se implementó el histograma ya que con el se propaga los valores de intensidad en todo el rango de la imagen y le da valores altos y bajos que dan lugar a un buen contraste. Como tercera etapa se hizo uso un filtro de mediana para eliminar ruido de la imagen, se utiliza este método ya que es más eficaz cuando el objetivo es reducir el ruido pero se quieren preservar los bordes. La cuarta etapa es la detección de bordes para la cual se utiliza Prewitt ya que con él se regresan bordes en aquellos puntos donde el gradiente de la imagen es máximo, la quinta etapa es la umbralización de la imagen con lo cual se convierte una imagen en escala de grises a una nueva con solo de dos niveles, de manera que los objetos queden separados del fondo. La sexta etapa es la interpretación de la imagen donde se obtiene el resultado del procesamiento de la imagen.

Redes neuronales artificiales.

Las Redes neuronales artificiales o RNA, son nuevos modelos de procesamiento de información, inspirados por la forma en que el cerebro procesa información, aunque son una simplificación de las redes neuronales biológicas. Se trata de un sistema de interconexión de neuronas que colaboran entre sí para producir un estímulo de salida (Freeman

J.,1993).

Elementos de una red neuronal artificial.

Medina A. (2013) menciona que “Una neurona artificial es un modelo simplificado de una neurona biológica; en este modelo, los elementos de la célula neuronal son representados por bloques que indican operaciones matemáticas con las señales”. Todas las señales que son representadas por flechas, son de tipo numérico real. Al igual que una neurona biológica, una neurona artificial posee muchas entradas y una sola salida, que se puede aplicar a muchas otras neuronas de la red.

En las redes neuronales artificiales, los valores de las conexiones sinápticas entre neuronas, son considerados como parte de la estructura de la neurona.

Así, las señales en las entradas de una neurona artificial, son tomadas directamente de las salidas de otras neuronas, luego, dentro de la neurona artificial, estas señales son modificadas según sus valores sinápticos.

Estructura de una red neuronal artificial.

Una neurona artificial posee diversas entradas ponderadas, un bloque sumador, una función de activación y su respectiva salida. En la figura 3, se muestra la estructura de una neurona artificial.

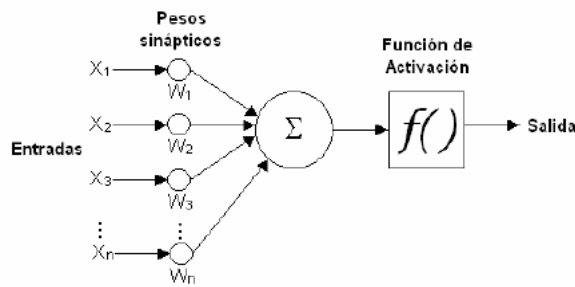


Figura 3. Estructura de una red neuronal.

Perceptron.

Las redes neuronales del perceptron son las más simples de implementar ya que tienen una arquitectura muy sencilla (figura 4). La salida de la red está dada por

$$a = \text{hardlim}(Wp + b) \tag{1}$$

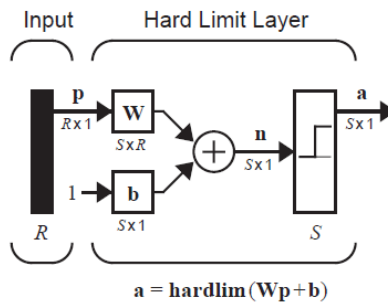


Figura 4. Arquitectura de red perceptron.

Contando con una matriz de pesos.

$$W = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,R} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,R} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{S,1} & w_{S,2} & \dots & w_{S,R} \end{bmatrix} \tag{2}$$

Con una matriz de pesos igual a.

$$W = \begin{bmatrix} 1w^T \\ 2w^T \\ \vdots \\ Sw^T \end{bmatrix} \tag{3}$$

Y un vector de la *i*-ésima salida definida como

$$a_i = \text{hardlim}(n_i) = \text{hardlim}(iW^T p + b_i) \tag{4}$$

De esta manera, si el producto de la *ith* fila de la matriz de pesos por el vector de entrada es más grande o igual a $-b_i$, la salida será 1, de otra manera será 0. Entonces cada neurona de la red divide el espacio de entrada en dos regiones (Freeman J.,1993).

Backpropagation.

La red neuronal de retropropagación es una de las redes neuronales multicapa como se puede ver en la figura 5.

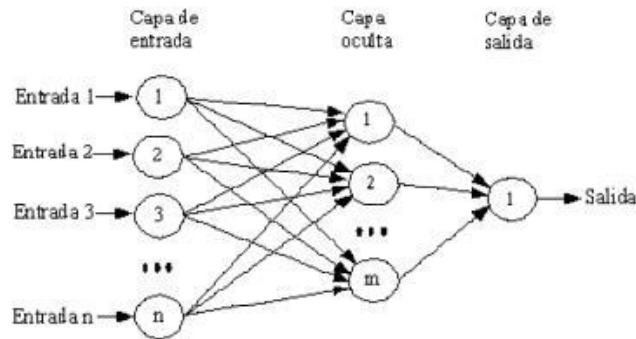


Figura 5. Red neuronal multicapa.

La salida que se obtiene en este tipo de red neuronal es la siguiente.

$$a^{m+1} = f^{m+1}(W^{m+1}a^m + b^{m+1}) \tag{5}$$

Para: $m=0, 1, \dots, M-1$.

Donde *M* es el número de capas de la red.

El algoritmo de retropropagación usa como índice de funcionamiento el error cuadrático medio.

$$\{p_1, t_1\}, \{p_2, t_2\}, \dots, \{p_Q, t_Q\} \quad (6)$$

Donde p_q es una de las entradas de la red y t_q es la salida correspondiente.

El algoritmo debe ajustar los parámetros de la red para minimizar el error cuadrático.

$$F(x) = E[e^2] = E[(t - a)^2] \quad (7)$$

Aproximando el error cuadrático medio por medio de.

$$F(x) = (t(k) - a(k))^T (t(k) - a(k)) = e^T(k)e(k) \quad (8)$$

Donde la expresión del error cuadrático ha sido remplazada por el error cuadrático de la iteración k . (Reed, 1999).

3. Desarrollo.

La implementación del procesamiento de imágenes fue programado utilizando Matlab R2013a versión 8.1.0.604, la adquisición, la segmentación, técnicas para tratamiento de la imagen y la visualización del proceso a través de una interfaz gráfica.

Para la creación del software de adquisición y segmentación de imágenes se utilizaron el toolbox de algoritmo de Viola-Jones de Matlab del sistema de visión que ayuda a detectar partes fundamentales del rostro que son fundamentales en una expresión facial como son las cejas, ojos y boca para que después estas imágenes detectadas sean segmentadas y finalmente se haga el procesamiento digital de las imágenes.

Se programó una interfaz gráfica a través de axes para poder visualizar cada una de las partes del rostro segmentado y procesados tal y como se puede observar en la figura 6.

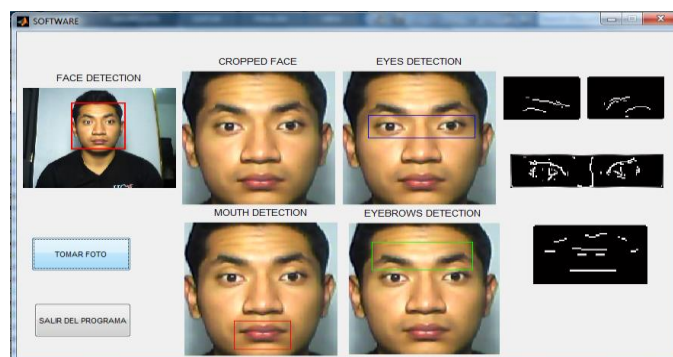


Figura 6. Interfaz gráfica de procesamiento y segmentación de imágenes.

Después del procesamiento digital de las imágenes y la segmentación de ojos, boca y ceja, se realizó el entrenamiento de la red neuronal con las imágenes capturadas. Para llevar a cabo este entrenamiento se utilizó el Neural Network Toolbox de Matlab. En este estudio para la creación, entrenamiento y simulación se utilizaron dos tipos de redes neuronales (Perceptron y Backpropagation).

Se implementa una red de perceptron simple para el reconocimiento de imágenes visuales, donde los pixeles que conforman la imagen serán usados como entradas a la red neuronal y los valores de la salida de esta red deben corresponder con la clase a la que pertenece esta imagen.

Se llevó a cabo el entrenamiento de las redes considerando tres tipos de expresiones faciales (serio, feliz, enojado). Para esto se tomó un conjunto variable de imágenes de cada clase para que la red obtenga las características de cada expresión; además se le implemento un tratamiento a la imagen antes de integrarse a la red neuronal para tener una mejor eficiencia de la red. Del rostro nos interesa la boca, cejas y ojos. En la figura 7 se pueden observar los doce tipos de imágenes del rostro de una persona que se utilizaran para entrenar la red neuronal.

Cada una de las expresiones que se requieren identificar tiene asignado una combinación binaria como salida. La combinación de estas salidas son usadas para determinar la expresión facial presentada en la imagen capturada.

Se utilizaron 1000 imágenes en total tanto para el entrenamiento de la red perceptron así como para la red Backpropagation. de las cuales sólo se entrenaron 900 imágenes y las restantes se usan para comprobar la funcionalidad que tiene la red para detectar los diferentes tipos de cejas, ojos y boca que se obtienen después de la captura de las imágenes con la cámara web de la computadora.

En este caso se diseñó dos perceptron y dos redes de retropropagación multicapa (tres capas), con una capa de entrada de acuerdo al tamaño de pixeles de cada una de las características a identificar. Una capa oculta de 5 y de 25 neuronas y una capa se salida de 2 neuronas. Ver tabla 1.








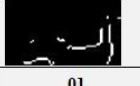




BOCA		
BOCA ENOJADA	BOCA NORMAL	BOCA FELIZ
		
00	01	11
CEJA DERECHA		
CEJA NORMAL	CEJA ENOJADA	CEJA ARQUEADA
		
00	01	11
CEJA IZQUIERDA		
CEJA NORMAL	CEJA ENOJADA	CEJA ARQUEADA
		
00	01	11
OJOS		
OJOS ABIERTOS	OJO DERECHO CERRADO	OJO IZQUIERDO CERRADO
		
00	01	11

Figura 7. Imágenes de cejas, ojos y boca para el entrenamiento de la red perceptron.

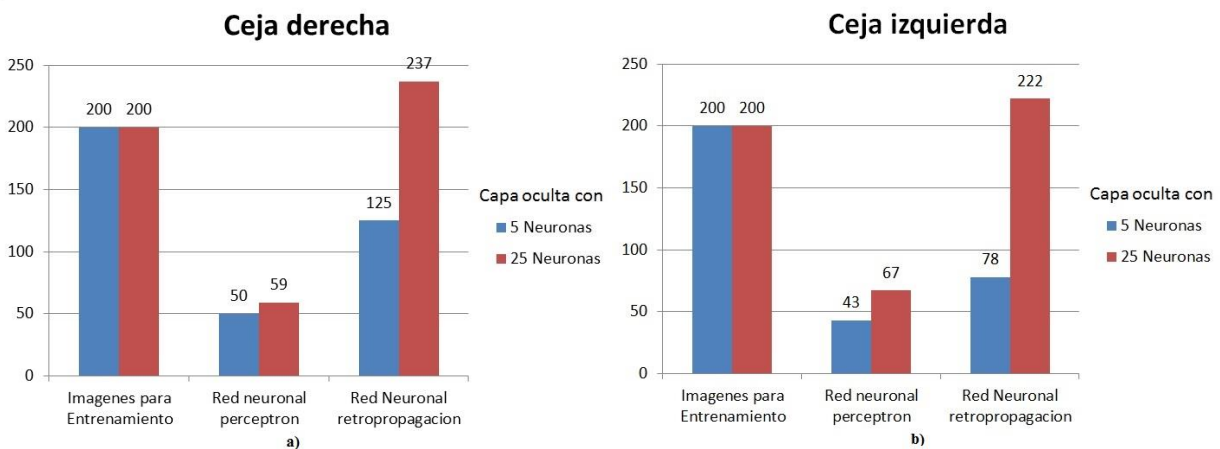
Tabla 1. Número de neuronas.

Característica	Capa			
	entrada	Oculta		Salida
		1ª red	2ª red	
Boca	5000	5	25	2
Ceja derecha	3600	5	25	2
Ceja izquierda	3600	5	25	2
Ojos	4500	5	25	2

Pruebas.

Para el entrenamiento de la ceja derecha se utilizaron 250 imágenes para las cuales se entrenaron 200 imágenes con la red neuronal (perceptrón y retropropagación) y las 50 restantes se utilizaron para comprobar la funcionalidad de la red. A usar el perceptrón y el de retropropagación con una capa oculta de 5 neuronas solo se pudieron reconocer 50 y 125 cejas respectivamente. Al ver el pobre resultado se diseñó de nuevo con otras redes que tuvieran 25 neuronas en la capa oculta, logrando un incremento en las imágenes reconocidas (59 y 237 respectivamente). Tal y como se muestra en la figura 8.a).

En el caso del reconocimiento de la ceja derecha, boca y ojos también se usaron 250 imágenes en total, 200 de ellas fueron usadas para entrenar a la red. Teniendo como resultados los presentados en las figuras 8.b) y 9.

**Figura 8.** Reconocimiento de cejas. a) Derecha. b) Izquierda.

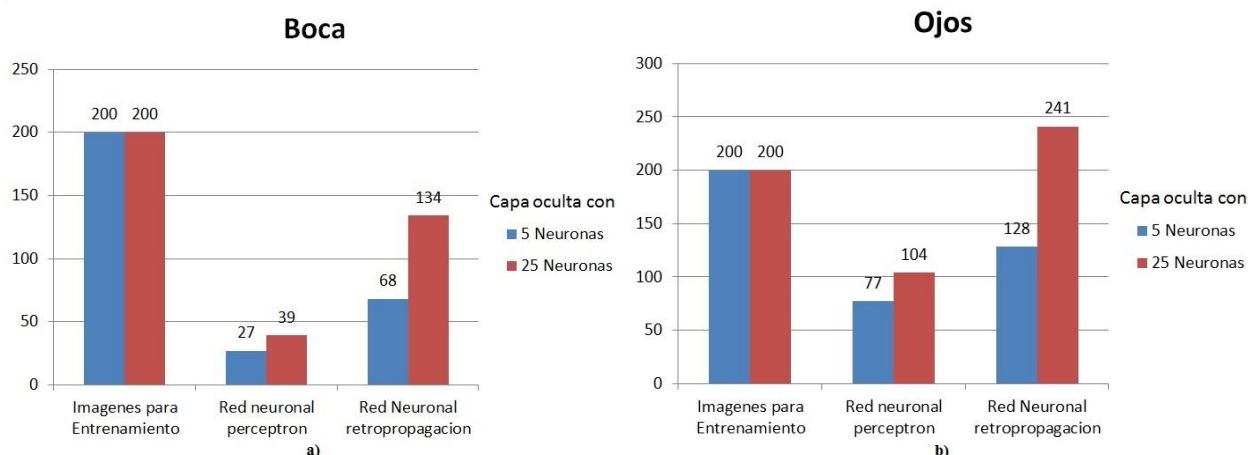


Figura 9. Reconocimiento. a) Boca. b) Ojos.

Resultados.

Tomando en cuenta las gráficas presentadas se puede observar que con la red perceptron sólo se obtuvo un incremento del 19.7% de imágenes reconocidas al 26.9% cuando se incrementaba las neuronas de la capa oculta. Mientras que en la red de retropropagación el incremento fue del 39.9% al 83.4% de imágenes reconocidas.

Como se puede observar en la red perceptron el incremento en la eficiencia fue poca ya que el porcentaje sólo se incrementó en un 7.2%, mientras que en la red de retropropagación se vio un incremento del 43.5% de imágenes reconocidas por el sistema, todo esto al incrementa de 5 a 25 las neuronas dentro de la capa oculta de la red.

Conclusiones.

Con las herramientas de redes neuronales y de procesamiento de imagen de toolbox de Matlab se hacen simulaciones y entrenamientos de una manera más rápida y sencilla, permitiendo por ejemplo definir el número de capas de nuestro entrenamiento, regla de aprendizaje, función de activación entre otras cosa así como usar los diferentes tipos de tratamientos para mejorar la imagen adquirida o detectar bordes e inclusive crear interfaz gráficas para el usuario para hacer los programas más impactantes.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto 6847.18-P, de la convocatoria de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica 2018-2 y las facilidades del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez para la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas.

- Freeman, James A. y Skapura, David M. (1993).** “Redes Neuronales. Algoritmos, aplicaciones y técnicas de programación”. Estados Unidos: Editorial Addison Wesley Iberoamericana.
- García H., Laura. (2014).** “Trastorno del espectro autista en el aula de educación especial durante la etapa infantil: propuesta de intervención”. España. Tesis de Grado. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6786/1/TFG-L625.pdf>

Hagan, Martin T.; Demuth, Howard B. y Beale Mark H. (2014). “Neural Network Design”. 2ª edición. Oklahoma State University.

Kanner L. Autistic disturbances of affective contact. Nerv Child 1943; 2: 217-50.

Medina Santiago, Alejandro. 2013. “Introducción a las redes neuronales con aplicación al control”. ITTG.

Polaino L., Aquilino y Domenech L., Edelmira. (1997). “El impacto del niño autista en la familia”. España. Editorial Rialp.

Proakis John G.; Manolakis Dimitris G. 2007. “Tratamiento digital de señales. principios, algoritmos y aplicaciones”. 4ª. Edición. Editorial Pearson-Prentice Hall.

Reed Russell D; Marks II Robert J. 1999. “Neural Smithing. Supervised Learning in Feedforward artificial Neural Networks”. A Brandford Book. The MIT press.

Referencias páginas de internet

Instituto nacional de estadística, geografía e informática (INEGI). (2017). “*Estadísticas de salud, discapacidad y seguridad social*”.

Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mdis03&s=est&c=35212>.

Información de los autores.



Álvaro Hernández Sol, es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Siendo Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundó y asesora el “Club de robótica del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en “Robótica” y es parte del cuerpo académico “sistemas de control inteligentes”. Ha realizado investigaciones en el área de los sistemas alternativos de comunicación y en sistemas robóticos, Así como en sistemas traductores de lenguaje.



Víctor Eduardo Simuta López es ing. Electrónico egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Durante su etapa académica fue parte del Club de Robótica del I.T.T.G., siendo parte del equipo de diseño y construcción para los concursos del torneo de VEX ROBOTIC temporada 2012-2015. En la actualidad tiene a su cargo el área de ciencias experimentales en el

telebachillerato comunitario de Francisco Villa en la Trinitaria, Chiapas. Es asesor de los alumnos que participan en concursos de matemáticas. Además de desarrollar e implementar proyectos comunitarios tales como “Recursos de Energía Alternativa”. Se especializa en el desarrollo de aplicaciones. Experto en programación en Matlab.



Raúl Moreno Rincón, Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, egresado de la ESIME-IPN, en la ciudad de México, D.F. Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca. Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Docencia de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 1999 y Colabora en la línea de investigación “Robótica” de Ingeniería electrónica y es parte del cuerpo académico en formación “sistemas de control inteligentes”. Ha realizado proyectos como: Sistema de alarma para personas con deficiencia auditiva basado en XBEE, robot de cafetería, araña hexápoda, sistema de control de animatronic, entre otros.



José Ángel Zepeda Hernández, es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999, Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de Diseño con Transistores y Electrónica Básica respectivamente. Líder del cuerpo académico en formación “sistemas de control inteligentes”.



Aldo Esteban Aguilar Castillejos, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en el 2011 y el título de Ingeniero en Electrónica en el mismo Instituto, con especialidad en Instrumentación y Control. Certificado en SolidWorks Associate y SolidWorks Professional Avanzado, con Diplomado en Competencias para la enseñanza de las ciencias, Diplomado en Unreal Engine. Actualmente es parte del cuerpo académico en formación “sistemas de control inteligentes” del I.T.T.G. y parte del grupo de investigación en la Universidad del Valle de México, con desarrollos de proyectos financiados por CONACyT y empresas privadas. Con campos de interés en: dispositivos opto-mecatrónicos, manufactura, sensores de fibra óptica, instrumentación y control.



Osbaldo Ysaac García Ramos, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Académico de Tiempo Completo en UVM desde 2005. Tiene 12 años de experiencia docente. Tiene Cursos especialización en Mecatrónica en Universidad de Esslingen Alemania, en la empresa Emco Salzburgo Austria, en la empresa Festo Estados Unidos y Festo México. Responsable técnico del proyecto de investigación “Consolidar un centro de investigación y desarrollo de vehículos eléctricos funcionales y confortables e impulsados por energía limpia” junto con la empresa Invemex S.A de C.V., 2015. Ha desarrollado proyectos de investigación como ‘Sistema de medición de hélices de barco para la secretaria de marina financiado por Conacyt y Semar’, ‘Diseño y caracterización de Biomateriales a partir de macromicetos como alternativa al uso del unicef’ en el año 2014 (financiados por Conacyt). Tiene participaciones en congresos internacionales como congreso Tecnolaser Habana Cuba 2013 con artículo y ponencia ‘Método de registro automático de imágenes de rango tridimensionales para restauración de piezas arqueológicas’.