



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

TESIS

**DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DETECTAR
MOVIMIENTO EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES
NEURONALES**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO DE SISTEMAS**

Autor (a) (es):

Bach. Torres Luna Eduardo Alfonso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2446-550X>

Asesor (a):

Mg. Tuesta Monteza Victor Alexci

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5913-990X>

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio ambiente

Pimentel – Perú

2022

APROBACIÓN DEL JURADO

DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DETECTAR MOVIMIENTO EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES NEURONALES

Bach. Torres Luna Eduardo Alfonso
Autor

Mg. Tuesta Monteza Víctor Alexci
Asesor Especialista

Mg. Bances Saavedra David Enrique
Presidente

Mg. Bravo Ruiz Jaime Arturo
Secretario

Mg. Mejía Cabrera Heber Iván
Vocal

DEDICATORIA:

A mis padres y hermanos, por la fe depositada en mí, así como por sus consejos y apoyo constante.

A mi hija por ser el pilar de mi esfuerzo y la motivación de querer ser cada día mejor.

AGRADECIMIENTO:

Gracias a Dios por las nuevas oportunidades y cada instante de vida.

A mis familiares ya que su completo apoyo fue determinante.

A mis asesores por los conocimientos brindados y por la exigencia académica, la cual hizo posible la realización de este trabajo.

RESUMEN

La detección de los movimientos de los ojos es una tecnología prometedora para el manejo y control de dispositivos, la cual ofrece innumerables posibilidades a personas con ciertas limitaciones físicas. En la sociedad actual existe una brecha que es necesario superar y obstáculos que es preciso quitar de en medio, en favor de las personas con ciertas discapacidades físicas, con el propósito de permitirles ejercer actividades en condiciones de igualdad ante los demás. Existen muchas personas con problemas de parálisis en las extremidades superiores e inferiores lo cual les impiden que por sus propios medios puedan llevar a cabo sus actividades más básicas, dependiendo para tal fin de la ayuda de terceras personas.

La presente investigación tiene como finalidad desarrollar un método, el cual permite la detección del movimiento de los ojos, haciendo uso de las redes neuronales artificiales. Dicho método consta de cuatro etapas, las cuales son: Catalogación de los movimientos físicos de los ojos; Tratamiento de imágenes; Diseño y entrenamiento de la red neuronal; y por último la Implementación de un prototipo y medición de desempeño de la red neuronal. El método desarrollado permitió la implementación de dos redes neuronales de distintas arquitecturas, a las cuales se realizó la evaluación del desempeño de dichas redes en base a la muestra, con su respectivo prototipo. La primera red neuronal alcanzó una exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad promedio del 100%. La segunda red neuronal alcanzó un promedio en exactitud del 99.38%, promedio en precisión del 98.55%, promedio en sensibilidad del 98% y promedio en especificidad de 99.61%. De acuerdo a la concordancia en base al índice de Kappa, ambas redes neuronales tienen una valoración "Casi perfecta" con 1 y 0.98 respectivamente.

Conforme a la investigación y los resultados, se logró observar que cumpliendo con las etapas del método desarrollado, es posible crear de manera rápida y a un bajo costo, redes neuronales artificiales que pueden detectar el movimiento de los ojos de manera eficiente.

Palabras clave: método de movimiento de ojos, red neuronal, medición de desempeño de red neuronal, tratamiento de imágenes.

ABSTRACT

The detection of eye movements is a promising technology for the management and control of devices, which offers innumerable possibilities to people with certain physical limitations. In today's society there is a gap that must be overcome and obstacles that must be removed in favor of people with disabilities, in order to allow them to carry out activities in conditions of equality with others. There are many people with paralysis problems in the upper and lower extremities which prevent them from being able to carry out their most basic activities by their own means, depending for this purpose on the help of third parties.

The objective of the present investigation is the development of a method, which allows to detect the movement of the eyes, making use of artificial neural networks. This method consists of four stages, which are: Classification of eye movements; Image processing; Neural network design and training; and finally the implementation of the prototype and performance measurement of the neural network. The developed method allowed the implementation of two neural networks with their respective test environments, through which the performance evaluation of said networks was carried out based on the sample. The first neural network achieved an average accuracy, precision, sensitivity and specificity of 100%. The second neural network achieved an average accuracy of 99.38%, average precision of 98.55%, average sensitivity of 98%, and average specificity of 99.61%. According to the concordance based on the Kappa index, both neural networks have an "Almost perfect" score with 1 and 0.98 respectively.

The results of the research allowed us to observe that by complying with the stages of the developed method, it is possible to quickly and cheaply create artificial neural networks that can detect eye movement efficiently.

Key words: eye movement method, neural network, neural network performance measurement, image processing.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	12
1.1.	Realidad Problemática	12
1.2.	Antecedentes de Estudio	24
1.3.	Teorías Relacionadas al Tema.....	32
1.4.	Formulación del Problema	44
1.5.	Justificación e Importancia del Estudio.....	45
1.6.	Hipótesis	45
1.7.	Objetivos.....	46
1.7.1.	Objetivo General	46
1.7.2.	Objetivos Específicos	46
II.	MATERIAL Y MÉTODO	47
2.1.	Tipo y Diseño de Investigación.....	47
2.1.1.	Tipo de Investigación	47
2.1.2.	Diseño de Investigación	47
2.2.	Población y Muestra.....	47
2.2.1.	Población	47
2.2.2.	Muestra	47
2.3.	Variables, Operacionalización	48
2.3.1.	Variable Independiente: Desarrollo de un método.....	48
2.3.2.	Variable Dependiente: Detección de movimientos de los ojos utilizando redes neuronales.	49
2.3.3.	Operacionalización de Variables.	50
2.4.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad.	52
2.4.1.	Técnicas.....	52
2.4.2.	Instrumentos	52
2.4.3.	Validez	53
2.5.	Procedimiento de Análisis de Datos.....	54

2.6. Criterios Éticos.....	54
2.7. Criterios de Rigor Científico	55
III. RESULTADOS	56
3.1. Resultados en Tablas y Figuras.....	56
3.1.1. Desarrollo del Método:	56
3.1.1.1. Primera Etapa: Catalogación de los movimientos físicos de los ojos.....	58
3.1.1.2. Segunda Etapa: Tratamiento de imágenes.....	61
3.1.1.3. Tercera Etapa: Diseño y entrenamiento de la red neuronal.....	67
3.1.1.4. Cuarta Etapa: Implementación de prototipo y medición de desempeño de la red neuronal.....	82
3.2. Discusión de Resultados.....	97
3.3. Aporte Práctico	102
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
4.1. Conclusiones	105
4.2. Recomendaciones	108
REFERENCIAS	110
ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de confusión	38
Tabla 2: Valoración de coeficiente de Kappa	40
Tabla 3: Catalogación de los movimientos físicos de los ojos	60
Tabla 4: Matriz de respuestas deseadas.....	61
Tabla 5: Esquema de los cinco movimientos de los ojos	75
Tabla 6: Resultados de entrenamiento de la primera red neuronal	77
Tabla 7: Cadena de respuestas deseadas.....	80
Tabla 8: Resultados de entrenamiento de la segunda red neuronal.....	81
Tabla 9: Resultados de evaluación de la primera red neuronal.....	88
Tabla 10: Matriz de confusión de los resultados de la primera red neuronal	89
Tabla 11: Cálculo de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad, de la primera red neuronal.....	89
Tabla 12: Resultados en porcentajes de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad, de la primera red neuronal.....	90
Tabla 13: Matriz de confusión de los resultados de la primera red neuronal para calcular índice de Kappa.....	91
Tabla 14: Resultados de evaluación de la segunda red neuronal	93
Tabla 15: Matriz de confusión de los resultados de la segunda red neuronal	94
Tabla 16: Cálculo de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad, de la segunda red neuronal	94
Tabla 17: Resultados en porcentajes de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad, de la segunda red neuronal	95
Tabla 18: Matriz de confusión de los resultados de la segunda red neuronal para calcular índice de Kappa.....	96
Tabla 19: Resultados de la clasificación de los movimientos oculares detectados por la primera red neuronal ejecutado por la aplicación prototipo en base a la muestra.	151
Tabla 20: Resultados de la clasificación de los movimientos oculares detectados por la segunda red neuronal ejecutado por la aplicación prototipo en base a la muestra.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Porcentaje de personas con algún tipo de discapacidad a nivel mundial.	12
Figura 2: Porcentaje de personas discapacitadas en países de desarrollo.	13
Figura 3: Porcentaje de discapacidades de tetraplejía, depresión grave o ceguera a nivel mundial.....	14
Figura 4: Porcentaje de personas con discapacidad física en un grado entre 75% y 100%.15	
Figura 5: Porcentajes por tipo de limitación en el Perú según CONADIS.....	18
Figura 6: Porcentajes por nivel de gravedad en el Perú según Registro Nacional de la Persona con Discapacidad (RNPCD), Consejo Nacional para la Integración de la Persona con Discapacidad (CONADIS), Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables (MIMP)19	
Figura 7: Porcentajes por tipo de limitación en el Perú según CONADIS.....	20
Figura 8: Etapas del método desarrollado para detectar el movimiento de los ojos 58	
Figura 9: Matriz de respuesta deseada.....	60
Figura 10: Imagen en color verdadero del ojo derecho, en posición primaria.....	62
Figura 11: Imagen del ojo en posición primaria, redimensionada a 20x10 pixeles 63	
Figura 12: Imagen del ojo en posición primaria, convertida a escala de grises 64	
Figura 13: Imagen del ojo en posición primaria con aumento de brillo 64	
Figura 14: Imagen del ojo en posición primaria, con colores invertidos..... 65	
Figura 15: Imagen del ojo en posición primaria, reconstruida a partir sus valores binarios66	
Figura 16: Matriz de características de la imagen del ojo en posición primaria. 66	
Figura 17: Comparación de gráficas de algoritmos linealmente separables con linealmente no separables 67	
Figura 18: Comparación de modelos predictivos basados en visión artificial cuando se adiciona una GPU al CPU 68	
Figura 19: Arquitectura de red neuronal del tipo perceptrón multicapa 70	
Figura 20: Neurona de tipo perceptrón multicapa 71	
Figura 21: Función sigmoidea representada en una gráfica..... 73	
Figura 22: Matriz de respuestas deseadas 79	
Figura 23: Matriz de resultados obtenidos 80	

Figura 24: Mapa conceptual de prototipo llamado VISION DIRECTION.	82
Figura 25: Pantalla principal del prototipo o programa de simulación VISION DIRECTION.	83
Figura 26: Módulo del prototipo VISION DIRECTION que permite generar el dataset.	84
Figura 27: Módulo del prototipo VISION DIRECTION para ejecutar la simulación de detección del movimiento de los ojos.....	85
Figura 28: Módulo del prototipo VISION DIRECTION para ejecutar la simulación de detección del movimiento de los ojos, con datos de respuesta.	86
Figura 29: Módulo del prototipo VISION DIRECTION para ejecutar la simulación de detección del movimiento de los ojos en base a la muestra.....	87
Figura 30: Etapas del método desarrollado para detectar el movimiento de los ojos	103
Figura 31: Etapas del método desarrollado con la secuencia de procesos	104

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

A nivel internacional

OMS (2021). En su publicación presentada en su portal web, la cual titula; “Discapacidad y salud”. Con sede en Ginebra, Suiza, la Organización Mundial de la Salud, menciona que más de 1,000 millones de personas, lo cual bordea al 15% aproximadamente de la población a nivel mundial, presenta algún tipo de discapacidad. Y este número va aumentando en forma drástica debido a las tendencias demográficas, también a la población y a su envejecimiento y a la incidencia de las dolencias crónicas. Existe la probabilidad de que alguna discapacidad ya sea temporal o permanente, sea experimentada por casi todas las personas en algún momento de su vida.

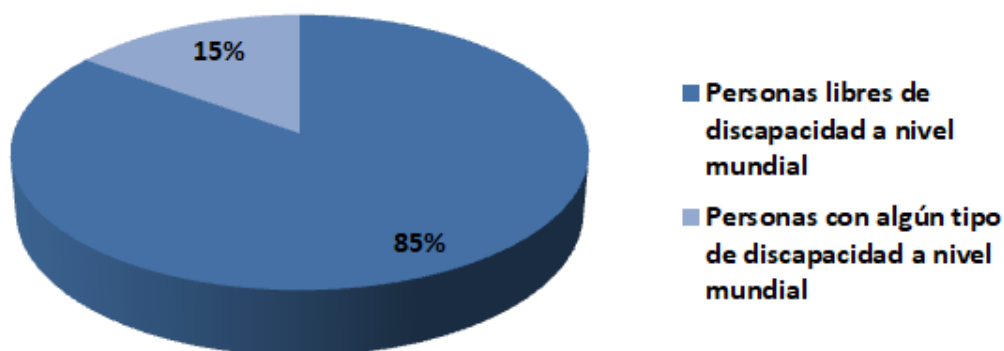


Figura 1: Porcentaje a nivel mundial de personas que padecen algún tipo de discapacidad.

Fuente: Elaboración propia, según datos tomados del portal de la OMS (2021).

Scidev.Net (2019). En su publicación que titula, “Discapacidad en países en desarrollo: hechos y cifras”, publicado en su portal; en donde manifiesta una aproximación de la ciencia al progreso por medio de análisis y noticias. Menciona que, del 15% de la población discapacitada a nivel mundial, el 80% son de países en vías de desarrollo. Según últimas estimaciones de la OMS, el 3% de la población mundial aproximadamente experimentan una discapacidad severa ya que tiene dificultades para llevar su vida diaria sin ayuda, es decir entre 110 y 190 millones. También destaca que en el Informe mundial del año 2011 con respecto a la discapacidad, elaborado por la OMS, se llegó a actualizar la cifra mundial de personas con discapacidad a 1000

millones, el doble de las 500 millones que se indicaron en el 2006 por la misma entidad.

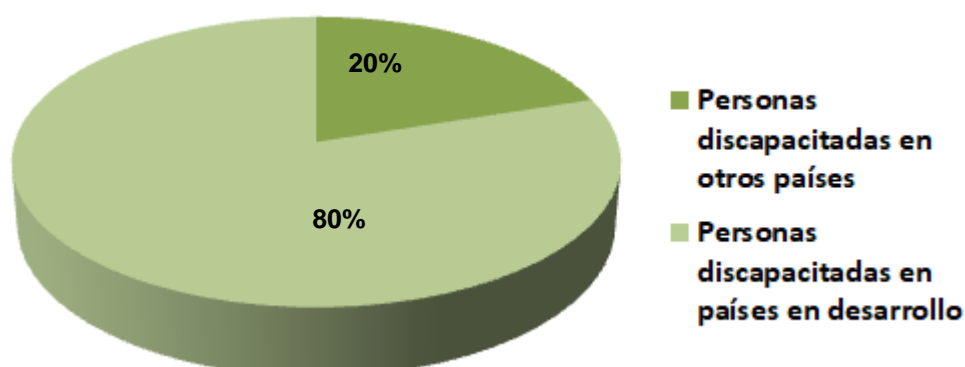


Figura 2: Porcentaje de personas discapacitadas en países de desarrollo.

Fuente: Elaboración propia, según datos tomados del portal de Scidev.Net (2019).

Ramli S. y Nordin S. (2018), En su artículo científico que traducido al español titula; "Predicción de la personalidad basada en la clasificación de la posición del iris utilizando máquinas de vectores de soporte", publicado en la revista Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. Manifiesta la necesidad de crear un método simple y alternativo, que por medio de la detección de la posición del iris del ojo, pueda predecir la personalidad de un individuo, haciendo uso de la máquina de vectores de soporte, para el algoritmo de clasificación.

Organización Mundial de la Salud y Grupo del Banco Mundial (2011). En su informe global en donde destaca la discapacidad en el mundo, Disponible en: <https://www.who.int/iris/bitstream/10665/75356/1/>, Chang M. y Zoellick R., indican que el propósito de la elaboración de dicho informe es proporcionar datos que permitan formular políticas y programas de innovación en favor de dar una mejor la calidad de vida a gente que padece de discapacidades. En el capítulo 2, del mismo informe, el cual titula "La situación mundial en materia de discapacidad", se menciona que para obtener un estimado mundial de la prevalencia de la discapacidad para este informe, fueron dos fuentes las que aportaron los datos estadísticos, estos son; la "Encuesta Mundial de Salud" y el estudio "Carga Mundial de Morbilidad", las dos tienen ciertas limitaciones en lo que respecta a la discapacidad, Por lo cual dichas estimaciones no llegan a

ser definitivas.

De acuerdo a la estimación del año 2010 con una población que asciende a los 6900 millones de habitantes. Según el estudio de Carga Mundial de Morbilidad, existen 975 millones lo cual es equivalente al (19,4%) de personas a partir de 15 años, que viven con algún tipo de discapacidad. De esta cifra, el estimado de personas con discapacidades graves relacionadas a afecciones como la depresión grave, ceguera o tetraplejía es de 190 millones (3,8%).

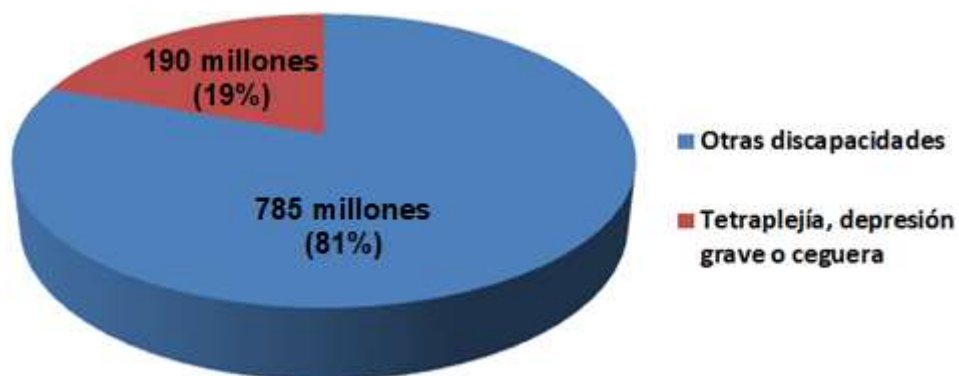


Figura 3: Porcentaje de discapacidades de depresión grave, ceguera o tetraplejía a nivel mundial.

Fuente: Elaboración propia, según datos tomados del estudio de Carga Mundial de Morbilidad publicados en el Informe Mundial sobre la Discapacidad.

Carrera F., Chadrina O. y Andrango E. (2018). En su artículo científico realizado en Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador; en donde por medio de señales eléctricas cerebrales se propone dirigir una silla de ruedas, diseñando un sistema para tal fin. En su estudio menciona que, en Ecuador existen, de acuerdo a información del CONADIS (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades), 214,225 personas discapacitadas físicamente, lo cual viene a ser el 46.72 % del total de personas con discapacidad en aquel país; entre ellos 40,068 se ven afectados por discapacidad en un grado comprendido entre el 75% y el 100%.

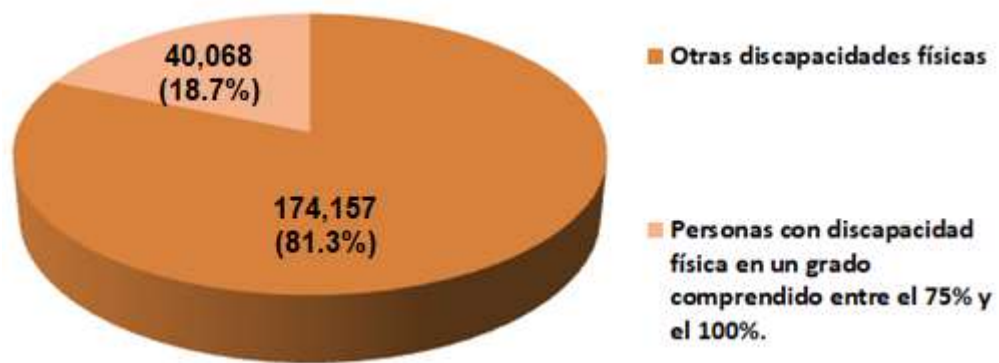


Figura 4: Porcentaje de personas discapacitadas en un grado entre 75% y 100%.

Fuente: Elaboración propia, con datos tomados según artículo científico de Carrera, Chadrina y Andrango (2018).

La Roda Herrero F. (2018). En su trabajo de fin de grado realizado en la Universidad de Alcalá de España, en donde tiene como objetivo un software específicamente en un módulo el cual se basa en un entorno (Robot Operating System) ROS, en un sistema de asistencia a la movilidad. En dicho proyecto continúa las labores en referencia a una silla de ruedas robotizada desarrolladas por el Departamento de Electrónica, en base a una realidad problemática inmersa en la necesidad que tienen las personas discapacitadas de valerse por sus propios medios.

Miranda M., Moscoso J, Montesdeoca L. (2019 - Ecuador). En su artículo científico en donde hace un estudio que por medio de una lectura a la pupila del ojo se produce parcialmente una comunicación neurosensorial-visual con un ordenador. Dicho artículo ha sido publicado en la revista Polo del Conocimiento, Vol 4, No 6. Aquí afirman que individuos con discapacidad motora en su mayoría son susceptibles a inconvenientes tanto en el plano personal como profesional, para el cumplimiento de sus actividades cotidianas.

Ronnie Santiago Guanga Balseca y David Israel Zapata Ramos (2017, Ecuador). En su trabajo de Tesis de grado realizado en la Universidad técnica de Cotopaxi, titulado; "Implementación de un prototipo de tricimoto para personas con paraplejia". Dan a conocer que a causa de la carencia de un

vehículo de transporte adecuado a sus capacidades y a su economía, muchas personas parapléjicas enfrentan murallas urbanas diariamente.

Melino A. (2020, España). En su investigación de fin de grado realizada en la Universidad de Alcalá de España, en donde en favor de los niños que padecen de discapacidades referentes a la locomoción, se pretende crear para su apoyo a la movilidad, una plataforma motorizada. El autor manifiesta una preocupación por favorecer la independencia de personas que padecen de dificultades graves de movilidad.

Gil L., Castillo L. y Flórez R. (2016, Colombia). En su artículo publicado en la revista UIS Ingenierías, ISSN 1657-4583, Vol. 15, N^o.2, el cual se refiere a una silla de ruedas la que puede ser controlada por medio del reconocimiento de comandos por voz en español. Los autores manifiestan que hay problemas de desigualdad existentes en una sociedad no preparada para la integración de personas discapacitadas.

Rodríguez A. (2020). En su tesis en la cual, por medio de la verificación de modelos, se propone lograr detectar los patrones de la mirada. Dicho estudio está enfocado en optar el grado de Maestro en sistemas interactivos orientados al usuario, en la Universidad Veracruzana de México. Manifiesta que se ha establecido como medio de investigación en diverso campos, el aplicar la tecnología de rastreo ocular, lo cual ha pasado a ser un muy usado método de análisis en el procedimiento visual de usuarios en campos como la interacción humano-computadora e investigaciones de visualización, la neurociencia, el marketing, entre otros (Kurzahls y col., 2015).

Santolaya, Modrego, Aonso, Medrano y Muñoz (2018). En su artículo en el cual pone a disposición propuestas para mejorar la asistencia en la atención primaria concerniente a la depresión, discapacidad y sus costes. Dicha investigación ha sido publicada en la revista Información Psicológica, España. Menciona que en esencia la discapacidad tiene su núcleo en el estado de interferencia de funcionamiento a nivel intra-personal como inter-personal lo

cual deviene de un deterioro en las funciones físicas, sensoriales o psíquicas; afectando con su padecimiento distintos aspectos en la vida de la persona.

Paredes Y., Yarce E. y Aguirre D. (2018). En el artículo en donde estudia la funcionalidad y los factores que se asocian a las personas adultas mayores dentro de la ciudad de San Juan de Pasco en Colombia. En dicho estudio se llevó a cabo una evaluación a 391 personas, se encontró que el porcentaje de adultos mayores con un nivel de dependencia funcional es del 26.3%, con mayor incidencia en los varones. Se determinó que la pérdida de independencia está condicionada a la merma de la capacidad funcional debido al proceso de envejecimiento.

A nivel nacional

RNPCD, CONADIS y MIMP, (2021), En su publicación en el portal del Consejo Nacional para la Integración de la Persona con Discapacidad - CONADIS. Menciona que, en el Perú existe una brecha que se requiere superar y obstáculos que se necesitan eliminar en favor de personas discapacitadas, para que se logren generar las condiciones en su entorno, que les permitan ejercer actividades en igualdad de condiciones que los demás.

Con respecto a información extraída del Sistema de indicadores de la población con discapacidad, inscritas en el CONADIS, se obtuvo el siguiente gráfico por tipo de limitación:

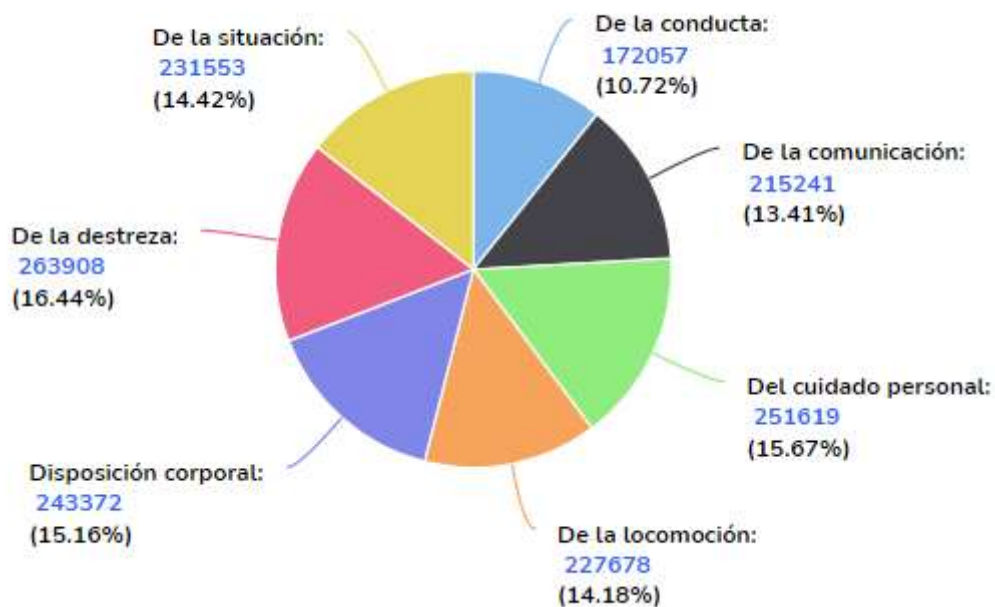


Figura 5: Porcentajes por tipo de limitación en el Perú según CONADIS.

Fuente: Portal web de CONADIS.

Referente a personas con limitación de la locomoción, inscritos en los registros del CONADIS, existen un total de 227,678, los cuales por nivel de gravedad está repartidos de la siguiente manera:

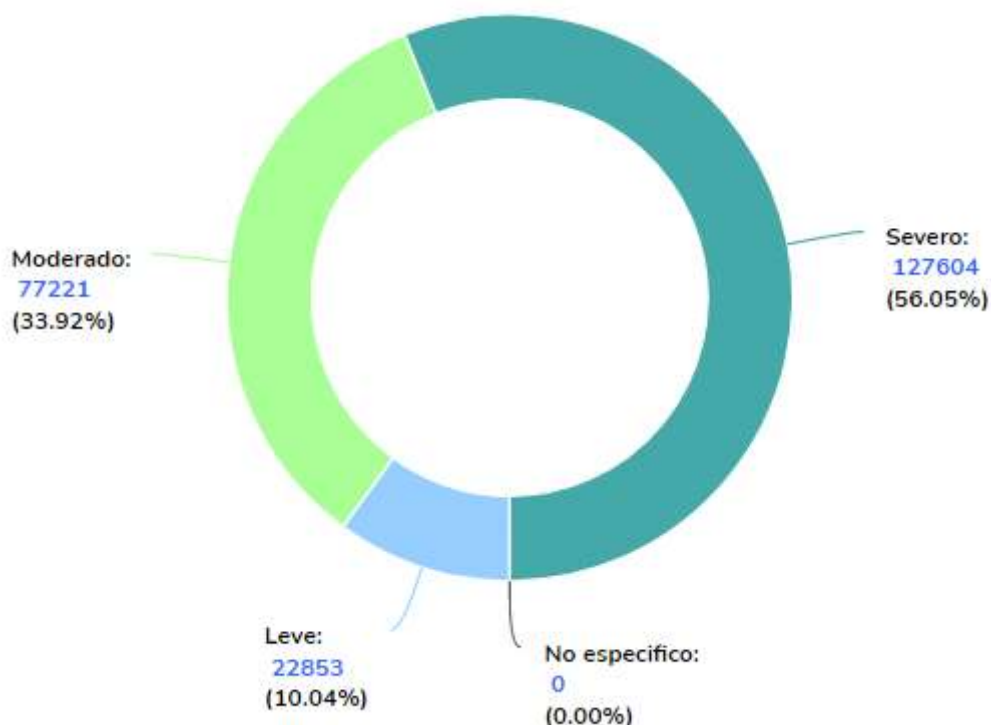


Figura 6: Porcentajes por nivel de gravedad en el Perú según Registro Nacional de la Persona con Discapacidad (RNPCD), Consejo Nacional para la Integración de la Persona con Discapacidad (CONADIS), Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables (MIMP)
Fuente: Portal web de CONADIS.

INEI, (2013), en su nota de prensa publicada en el portal del Instituto Nacional de Estadística e Informática, en donde se destaca que en el Perú las personas que padecen de alguna discapacidad física ascienden a 1 millón 575 mil. También se menciona que, las discapacidades más frecuentes son las limitaciones que presentan individuos para moverse, lograr caminar o poder utilizar los brazos y las piernas, la cual alcanza la cifra de 932 mil personas. Se presentan tipos de dificultades tales como: dificultad al caminar distancias cortas o largas fuera de casa, falta del equilibrio, no camina o lo hace presentando inconvenientes estando en casa; y problemas al ejercer el funcionamiento de las piernas y pies. De la totalidad de individuos con discapacidad motora, el 56.4% vienen a ser mujeres (525 mil 719) y el 43.6% hombres (409 mil 274).

Se presentan discapacidades de esta índole en personas con padecimientos distribuidos de la siguiente manera: 32.5% en personas de edad avanzada;

24.4% en individuos con enfermedades crónicas; 9.8% en gente con problemas congénitos; 6.8% en quienes padecen de alguna enfermedad común; 4.8% en personas que sufrieron algún accidente común fuera del hogar; 4.6% en personas que sufrieron algún accidente común en el hogar; 4.0% en personas que sufrieron algún accidente de tránsito.

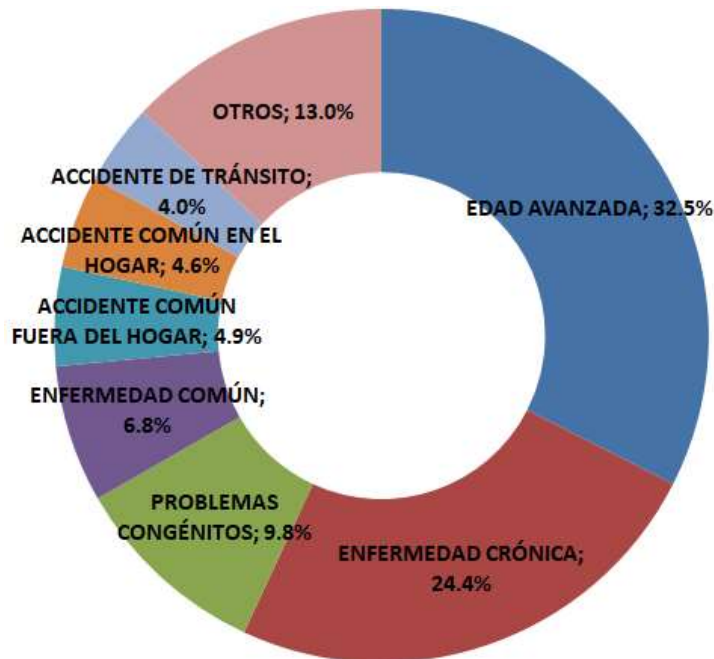


Figura 7: Porcentajes por tipo de limitación en el Perú según CONADIS.

Fuente: Elaboración propia, con datos por tipos de incapacidad tomados del portal del INEI.

Riveros D. (2021), en su proyecto de tesis realizado en la Universidad Católica San Pablo de Arequipa, en el cual por medio de aprendizaje de máquina y haciendo uso del tratamiento de imágenes, promueve la interacción entre personas con discapacidades físicas y el computador a través del reconocimiento del movimiento de los ojos. En dicha investigación menciona que existen muchas personas con limitaciones en los movimientos de brazos, piernas, torso o cuello, lo cual les impide manipular un ordenador. En su investigación propone la detección del movimiento de los ojos empleando el tratamiento de imágenes y el aprendizaje de máquina para controlar el movimiento del mouse con el movimiento ocular.

Villanueva J. y Ríos C. (2021). Artículo publicado en la Revista Científica De Sistema E Informática, Universidad Nacional de San Martín, en el cual se pretende aminorar el esfuerzo realizado por personas discapacitadas al lograr su desplazamiento mediante una silla de ruedas con un sistema de control por voz. En dicha investigación se afirma que la Organización Mundial de la Salud menciona que las personas discapacitadas equivalen al 15% lo que asciende a más de mil millones de personas a nivel mundial.

Vega A., Aguilar C., Barrientos A., Villalta R y Vega A., (2018), en su artículo científico, publicado en la revista UIS Ingenierías, ISSN-e 2145-8456, ISSN 1657-4583, Vol. 15, N°. 2, 2016, enfocado en desarrollar aplicaciones haciendo uso de Emotiv Epoc, orientadas a personas con problemas de locomoción. En dicha investigación, hace mención de los inconvenientes que tienen personas para realizar actividades como caminar, correr; incidiendo en que dichas personas por lo general no tienen afectado el intelecto y la visión.

Chalco G. (2017), en su proyecto de tesis realizado en la Universidad Nacional de San Agustín, en el cual haciendo uso de redes neuronales se logra implementar un sistema que mediante el reconocimiento de voz, permite el manejo de una silla de ruedas. En dicha investigación se dice que las personas que no tienen movimiento en brazos y piernas a causa de daños en la medula espinal, generalmente quedan siendo dependientes de una silla de ruedas, y a la vez también dependientes de otras personas para su desplazamiento y satisfacción de otras necesidades básicas.

Macedo C. (2018), En su tesis de maestría, en la cual se plantea la construcción de una silla de ruedas eléctrica, la misma que pueda ascender en escaleras rectas, haciendo uso del análisis cinemático en el diseño conceptual de un mecanismo tipo clúster. Dicho trabajo fue realizado en la Pontificia Universidad Católica Del Perú. El autor manifiesta que hoy en día existen inconvenientes en ascender y descender escaleras, por parte de personas discapacitadas con limitaciones permanentes para caminar.

Clinton B. (2019), En su tesis para obtener el grado de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional del Centro del Perú. Orientada a configurar una silla de ruedas inteligente y ergonómica para uso de personas cuadripléjicas. En la investigación el autor menciona que existen 1'575,402 personas con algún tipo de discapacidad en el Perú, lo cual significa el 5,2 % del total de la población. De las cuales hay 932,000 personas con problemas de locomoción, esta cifra representa el 59,2%.

Rosario G., Gamarra V., Alvarado C. y Silva F. (2021), En la investigación titulada, "Diseño de un ascensor asistido para usuarios de silla de ruedas", publicada en la revista, Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación de la Universidad Señor de Sipán. Manifiestan que en el mundo la cifra de personas con discapacidad ha venido en aumento, y esto principalmente en Brasil es motivo de gran preocupación. El Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) indica que estos son provocados en su mayoría por accidentes en la construcción civil y de tránsito; se estima que 45,6 millones de brasileños sufren de discapacidad de alguna índole y 5,6 millones hacen uso de silla de ruedas como medio de locomotor.

Ángeles J. y Fernández C. (2020), En su tesis realizada en la Universidad Privada Norbet Wiener, orientada a estudiar a los adultos mayores y su capacidad funcional en casas de reposo ubicadas en la ciudad de Lima en el año 2018. Los autores justifican su investigación afirmando que el envejecimiento es un proceso natural que viene asociado con la disminución en las capacidades motoras las cuales tienen un impacto en las capacidades funcionales, ligadas a cambios producidos por la edad en el sistema músculo esquelético. Es importante considerar el aumento poblacional de adultos mayores a nivel mundial, ya que la expectativa de vida es mayor.

Quispe J., Rengifo G. y Tito E. (2018), En su trabajo de tesis realizado en la Universidad Peruana Cayetano Heredia, orientado a realizar un estudio en el hogar-servicio de geriatría del Centro Médico Naval Cirujano Mayor Santiago Távara en el Callao en el año 2017, en donde se observa la satisfacción de las

necesidades básicas del cuidador familiar según el grado de dependencia del adulto mayor. Los autores llegan a la conclusión, de acuerdo a los resultados correlativos obtenidos en su trabajo, que la satisfacción de las necesidades de los cuidadores alcanza un mejor nivel cuando es menor el grado de dependencia del adulto mayor.

Paredes F. y Goñi J. (2018), En su artículo científico en donde realiza una investigación en la cual acopla a una silla de ruedas un procesador myRio para desarrollar un sistema de locomoción automatizado para discapacitados. Dicho artículo fue publicado en la revista de Ingeniería Industrial, núm. 36, 2018, de la Universidad de Lima. Menciona que en el Perú un millón seiscientos mil personas aproximadamente tienen algún tipo de discapacidad. Y de este grupo presenta discapacidad motora o problemas en brazos y piernas el 59%. Por lo cual estudian la posibilidad de desarrollar un sistema que permita a personas con discapacidad, desplazarse con autonomía lo mismo que les brindará una mejor calidad de vida y una mayor inclusión en la sociedad.

A nivel local

Altamirano M. y Revilla E. (2017), en su trabajo de tesis realizado en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, en el cual se diseña y construye haciendo uso de señales EEG, el control de una silla de ruedas motorizada para personas discapacitadas en el Hospital Regional de Lambayeque. Los autores manifiestan que el área de rehabilitación para personas con discapacidad del Hospital Regional de Lambayeque, cuenta con sillas de ruedas motorizadas y pasivas, las mismas que no cumplen con la función de brindar autonomía a sus pacientes. Además manifiestan que en el Perú según INEI, 932 mil personas presentan limitaciones para moverse o caminar; así como para usar brazos o piernas, en forma permanente. El 56,4% son mujeres (525 mil 719 personas) los hombres representan el 43,6% (406 mil 274 personas). Las dificultades presentadas son: dificultad para mantener el equilibrio, problemas para desplazarse dentro o fuera de su casa y estar imposibilitado de usar los pies y piernas para lograr el movimiento o

alejamiento de un objeto. [Inei.gob.pe, 2017].

Farro V. y Villegas L. (2017), En su tesis desarrollada en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, la cual se enfoca en el desarrollo de un sistema que permite la navegación automática, el cual se puede acoplar a sillas de ruedas motorizadas; dicho sistema se propone ser seguro, maniobrable y controlable por voz. Los autores mencionan que la limitación más frecuente en personas discapacitadas es la falta de capacidad para moverse o caminar y/o dificultad en la utilización de los brazos o las piernas (59.2%) y las que implican la visión (50.9%). También manifiesta que el 40.6% de personas con discapacidad no puede realizar sus actividades diarias sin el apoyo de terceras personas.

1.2. Antecedentes de Estudio

A nivel internacional

Tello L., Aguirre M., Díaz J. y Hernández F. (2020), En su investigación en donde utiliza redes neuronales para evaluar daños en pavimento flexible haciendo uso de la fotogrametría terrestre. Publicada en la Revista TecnoLógicas, vol. 24, nro. 50, e1686, 2021, Colombia. Para tal fin hacen uso de redes neuronales además de fotogrametría terrestre y sus técnicas. El proceso está conformado por seis etapas: Iniciando por la captura de imágenes, seguidamente el preprocesamiento de estas, luego la segmentación aplicando técnicas de detección de bordes, posteriormente la extracción de características, después la clasificación utilizando las redes neuronales, y finalmente la evaluación del área deteriorada del pavimento.

Andrade H., Sinche S., Hidalgo L. (2021), En su investigación, publicada en la revista RITI Journal, Vol. 9, 17, realizada en la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. En dicha investigación se utilizan las redes neuronales convolucionales para desarrollar un modelo que permite detectar en tiempo real si las mascarillas están siendo usadas correctamente. Para el cumplimiento del proyecto los autores hacen uso de las redes neuronales convolucionales para la detección del objeto, básicamente la mascarilla y

reconocer los patrones que permitan definir si su uso es correcto o incorrecto. Es importante destacar que toda red neuronal convolucional termina en una red neuronal totalmente conectada.

Zenteno, Ruiz y Ayala (2021), En su investigación publicada en la Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA, Universidad Autónoma del Estado de México. En dicho estudio proponen automatizar las cosechas mediante un proceso de clasificación en maduros, no maduros y dañados a los frutos del durazno. Los autores mencionan que a partir de las redes neuronales convolucionales, aplicando una tecnología de visión artificial, se propuso una solución para llevar a cabo el reconocimiento de duraznos maduros, no maduros y dañados; con la finalidad de obtener frutos de calidad óptima para su comercialización.

Carolina Gutiérrez de Piñeres Botero, (2019), En su artículo publicado en Editorial Universidad Católica de Colombia. Realiza una investigación utilizando el eye tracker Mobile eye XG para el registro de los movimientos de los ojos. Dicho estudio está enfocado en el campo de la psicología sobre el movimiento ocular específicamente con el uso del eye tracker Mobile eye XG, el cual es un rastreador ocular ligero y compacto de gran portabilidad, el cual permite articular la imagen del ojo y del escenario, y almacenarla en una cinta DVCR. También menciona que en el proceso de la visión humana hay una integración por medio de una red de neuronas entre los ojos y el cerebro. El órgano básico del sentido de la visión es el ojo, por medio de este se obtiene la información sobre el mundo exterior.

Cebollada S., Román V., Payá L., Tenza M., Jiménez L. y Reinoso O. (2019), En su artículo realiza mapping en robótica móvil utilizando técnicas de machine learning. Dicho artículo fue publicado en XL Jornadas de Automática, Universidad de Coruña, España. Los autores realizan el estudio de diversos clasificadores los cuales se basan en machine learning como la herramienta que permitirá lograr la tarea de mapeo y localización en robótica móvil. Uno de los clasificadores evaluados para su uso está basado en redes neuronales las

cuales llevan un entrenamiento con 3 descriptores de apariencia global, los cuales son (HOG, gist y un descriptor el que se obtuvo de una red neuronal convolucional, CNN). Se llevan a cabo los experimentos haciendo uso de un dataset de imágenes omnidireccionales del interior en donde se desplaza el robot.

Miranda M., Moscoso J, Montesdeoca L. (2019 - Ecuador). En su artículo científico, “Comunicación parcial neurosensorial-visual a un ordenador mediante lectura de pupila”, publicado en la revista Polo del Conocimiento, Vol 4, No 6. En donde tiene como objetivo la verificación de la lectura de pupila del ojo, para lo cual se desarrolló un sistema, que por medio del mismo se pueda tener el control de un computador, haciendo uso de la detección de rostros para seguir los movimientos de la pupila y de aquel modo poder controlar el puntero de mouse. También hace uso de la electroencefalografía (EEG) para realizar los clics en el computador por medio de parpadeos voluntarios.

Gil L., Castillo L. y Flórez R. (2016, Colombia). En su artículo publicado en la revista UIS Ingenierías, ISSN 1657-4583, Vol. 15, N°.2, el cual está enfocado en controlar una silla de ruedas por medio del reconocimiento de comandos de voz en idioma español. En la investigación se hace uso de la interfaz de programación de aplicaciones de voz (SAPI), la cual es una interfaz de programación de aplicaciones (API) que permite el uso de aplicaciones de reconocimiento de voz en el entorno Windows. Los resultados de su estudio fueron analizados a través de una matriz de confusión.

Aguilar J. y Campoverde M. (2020 - Ecuador), En su artículo que titula, “Clasificación de frutas basadas en redes neuronales convolucionales”, publicado en la Revista científico - profesional, Polo del Conocimiento. Destaca el procedimiento para el entrenamiento que realiza a una red neuronal convolucional profunda, para lo cual considera la secuencia siguiente: la captura de imágenes, el procesamiento de las imágenes capturadas, el proceso de entrenamiento de la red neuronal y finalmente la validación del modelo entrenado.

Ariza F., Rodríguez J. y Alva V. (2018), En su artículo en el cual por medio de distribuciones multinomiales se realiza un riguroso control de las matrices de confusión. El artículo fue publicado en la revista GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, investigación realizada en la Universidad de Jaén, España. Los autores mencionan que la matriz de confusión es la forma más utilizada y estándar para determinar la exactitud temática en la clasificación de datos procedentes de imágenes. También afirma que en la línea de datos espaciales, la matriz de confusión figura en la norma internacional ISO 19157, con respecto a la información geográfica y su calidad.

A nivel nacional

Riveros D. (2021), en su proyecto de tesis realizado en la Universidad Católica San Pablo de Arequipa, en la cual por medio de aprendizaje de máquina y haciendo uso del tratamiento de imágenes, promueve la interacción entre personas con discapacidades físicas y el computador a través del reconocimiento del movimiento de los ojos. Menciona que existen muchas personas con limitaciones en los movimientos de brazos, piernas, torso o cuello, lo cual les impide manipular un ordenador. En su investigación propone la detección del movimiento de los ojos empleando el tratamiento de imágenes y el aprendizaje de máquina para controlar el mouse del computador con el movimiento ocular. También menciona que los métodos empleados generalmente para interactuar con el computador, hacen uso del reconocimiento facial, para posteriormente emplear el reconocimiento ocular. Esto hace más complejo el proceso de reconocimiento y eleva el requerimiento computacional para su ejecución.

Gamarra A., Gamarra Juan, Gamarra Job (2018), llevaron a cabo la investigación en donde a un Robot Móvil Mindstorms NXT se pretende aumentar su autonomía en la tarea de clasificación de patrones, haciendo uso para esto de la inteligencia artificial. La investigación fue publicada en la revista ECIPerú, con apoyo de la Universidad Nacional del Centro del Perú. En

dicha investigación hacen uso de la Visión artificial y las redes neuronales artificiales para brindar autonomía a un robot. De acuerdo a los resultados mostrados, afirman que el porcentaje de patrones hallados correctamente por el robot empleado en promedio es del 37.81% sin hacer uso de la inteligencia artificial y cuando si se usa la inteligencia artificial dicho porcentaje es del 97.18%.

Borja M. y Torres S. (2019), En su investigación referente al reconocimiento de caracteres en donde aplicando principios heurísticos ejecuta algoritmos de entrenamiento de neuronas artificiales del tipo perceptrón. La investigación ha sido publicada en la revista ECIPerú, con apoyo de La Universidad Inca Garcilaso de La Vega. Los investigadores proponen un algoritmo de entrenamiento en base a principios heurísticos, para una neurona artificial tipo perceptrón para el reconocimiento de caracteres impresos, logrando una rápida convergencia y una rápida ejecución en el funcionamiento, ya que sólo se requiere de una neurona artificial para cada carácter a ser reconocido.

Huamaní P. (2018), En su investigación orientada a calcular el área que tiene una pieza de cuero vacuno, utilizando una aplicación básica de visión artificial. Esta fue publicada en Scientia, 19(19), 137-153, con apoyo de La Universidad Ricardo Palma. En la investigación se llegó a la conclusión que, se puede calcular el área de una pieza amorfa de cuero contando los píxeles blancos, previa utilización de una combinación de herramientas matemáticas de procesamiento de imágenes que se basan en procesamiento de histogramas, determinación de umbrales haciendo uso del método Otsu, así como de operadores de morfológicos de erosión y cerradura.

Echevarría R., Bonifacio S. y Cueva C. (2019), En su investigación referente a la aplicación de la visión artificial utilizada para seleccionar de manera sistematizada granos de café con eficiencia y a un bajo costo. La investigación fue publicada en la revista Scientia Agropecuaria de la Universidad Nacional de Trujillo. En la cual utilizó el método de Otsu como técnica de segmentación binaria para poder transformar del modelo de color

RGB al modelo HSV.

Vega H. (2017), Su investigación está enfocada en reconocer mangos exportables haciendo uso de la visión artificial por medio de redes neuronales. Dicho trabajo fue publicado en La Revista Científica Paideia XXI. El investigador menciona que actualmente, uno de los criterios de selección para determinar la calidad de los mangos de exportación, está supeditada a la forma de dicha fruta. Por consiguiente, mediante un modelo simple de visión artificial desarrollado en redes neuronales y un procesamiento previo de imágenes que permita obtener la matriz con los datos binarios del borde de la fruta, es posible el reconocimiento autónomo de mangos exportables.

Guillermo Ch. (2018), En su investigación se dedica al desarrollo de un método automático para lograr extraer la información de imágenes digitales, el método se basa en hallar el posicionamiento de marcas ópticas a partir de distancias euclidianas y redes neuronales. Se hace uso de algoritmos y técnicas para procesar imágenes digitalizadas tales como el filtrado espacial, la umbralización y la segmentación, para obtener los patrones de características, los que posteriormente pasarán a ser procesados por la red neuronal artificial que hará el reconocimiento del código y la nota del alumno, las cuales son escritas a mano.

Badaracco R. y Rojas J. (2018), En su investigación orientada a clasificar la salinidad del suelo utilizando redes neuronales artificiales e imágenes satelitales. El trabajo fue publicado en la Revista ECIPerú, con apoyo de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. En dicho proyecto para el reconocimiento de patrones, hicieron uso de las Redes Neuronales Artificiales totalmente conectadas o clásicas, en su modalidad de Perceptrón multicapa, con una arquitectura de 1 capa de entrada, 2 capas ocultas y 1 capa de salida.

Sucari R., Aroquipa Y., Quina L, Quispe E., León A. y Huanca F. (2020), En su investigación orientada a reconocer patrones para clasificar frutas en agronegocios utilizando la visión artificial; la misma que fue publicada en la

revista PURIQ, con apoyo de Universidad Nacional Autónoma de Huanta. En la investigación se hace uso del clasificador bayesiano implementado en Octave para el reconocimiento automático de patrones.

Huamaní P. (2018), En su investigación sobre la morfología matemática que se aplica para procesar imágenes digitales; la cual se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma. El autor manifiesta que en cumplimiento del objetivo del presente artículo el cual es la aplicación de operadores morfológicos sobre imágenes binarias representadas por un bit por pixel, el cual puede tener valor entre 0 o 1, es preciso como primer paso, realizar la binarización de las imágenes, para lo cual indica el procedimiento a seguir, como también muestra los algoritmos utilizados en el software Matlab.

Julio C. Molina, Miguel A. Risco (2019), En su artículo, “Reconocimiento de Facial basado en FPGA”, publicado en la revista ECIPerú, Universidad Tecnológica del Perú. Realiza el entrenamiento mediante el análisis y procesamiento de imágenes, en la cual la imagen a color es convertida a escala de grises y luego redimensionada, se extrae sus características, para posteriormente aplicar la técnica de aprendizaje de Adaboost.

Gutiérrez M., Castillo O., Mendoza J. y Rivera J. (2021), En su artículo orientado al análisis de imágenes para detectar las distintas variedades de papa, el cual fue publicado en la Revista Científica Investigación Andina. Se hizo uso de colorimetría para identificar el tipo de papa analizada y también se empleó la detección de bordes para realizar el cálculo del tamaño del tubérculo.

Carlos Alberto Silva Delgado, Euler Tito Chura (2019), En su investigación titulada, “Clasificación de dígitos manuscritos de imágenes digitales”, publicada en la Revista Ciencia y Desarrollo, de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Realza la importancia de su investigación en el reconocimiento de patrones para lograr la detección óptica de caracteres, que capturados de forma digital, puedan ser reconocidos sin la intervención de una

persona.

Recuenco Aurelio, Reyes William (2020), En su investigación titulada, “Inteligencia artificial: Camino a un nuevo esquema del mundo”, publicada en la Revista UNITRU – Sciéndo, Universidad Nacional de Trujillo. Manifiesta la importancia de la presencia de la inteligencia artificial en los tiempos actuales en las sociedades de todo el mundo y como va influyendo en el modo de actuar de las personas.

Moquillaza V. y Vela A. (2019), En su investigación referente a las aplicaciones, limitaciones e implicancias del machine learning o aprendizaje automático en la salud; la cual fue publicada en la Revista Internacional de Salud Materno Fetal. En la investigación se plantea una interrogante realizada por Nicolas Loeff (Gerente de Ingeniería de Google), la cual manifiesta el ¿Por qué? Recién nos damos cuenta del poder que existe implícito en los datos. Porque por un lado se está dando el crecimiento de la cantidad de datos y por el otro, el exponencial crecimiento de la capacidad de proceso. Esto involucra fuertemente a las redes neuronales en inteligencia artificial.

Ramírez Icaza Fernando (2019), En su investigación titulada, “Avances en interacción Hombre - Máquina”, publicada en la Revista Centro de Preparación para la Ciencia y Tecnología. Destaca la interacción Hombre – Máquina, en sus diversas formas, las cuales en un futuro bastante próximo se verán masificadas a través de robots físicos y virtuales, así como la integración del cerebro humano a la máquina por medio de electrodos capaces de captar los procesos bioquímicos de las neuronas y leer el pensamiento.

García, Soret, Llamazares & Izquierdo (2019), En su artículo publicado en la Revista ECIPerú; orientado a predecir el éxito de empresas nuevas, aplicando el uso de redes neuronales artificiales. En dicho artículo destaca al perceptrón multicapa como el más utilizado entre los tipos de redes neuronales artificiales, debido a su carácter de aproximador universal de funciones, lo mismo que lo hace apropiado en la modelización de relaciones complejas entre variables

orientados a la obtención de resultados dentro de márgenes de confianza apropiados.

León, Alvarado, Arévalo, Maldonado y Polonio (2020), En su artículo orientado al uso de un brazo robótico que por medio de la visión artificial puede detectar y extraer muestras falladas. El artículo ha sido publicado en la Revista Ciencia y Tecnología. En el cual se llega a la conclusión que, una máquina podría reemplazar al ojo humano, con un alto porcentaje de certeza, en las tareas de identificación de objetos predeterminados y determinar su posición en el ambiente en donde interactúan. Esto gracias a la inteligencia artificial.

1.3. Teorías Relacionadas al Tema

Variable 1

Desarrollo de un Método.- La palabra método deriva del término griego *methodos* lo cual es equivalente a camino o vía.

Es definido como el camino o vía, dicho de otra manera al medio usado para lograr alcanzar un objetivo o fin. (Pérez J. y Gardey A., 2008).

Un método es definido por otros autores como un procedimiento concreto que se utiliza para lograr resultados coherentes en el alcance de un objetivo. Es una serie de pasos ordenados y sucesivos que llevan a alcanzar una meta. Es una forma organizada y sistemática para llegar a un objetivo, el cual puede ser aplicado en diversas áreas de estudio.

El método desarrollado en el presente trabajo orientado en la detección movimiento ocular, consiste básicamente en cuatro fases o etapas, las cuales son:

Primera etapa: Catalogación de imágenes de los movimientos físicos de los ojos para conformar los dataset.

Segunda etapa: Tratamiento de imágenes para obtener la matriz de vectores de características.

Tercera etapa: Diseño y Entrenamiento de la red neuronal artificial.

Cuarta etapa: Implementación del prototipo y evaluación del desempeño de la red neuronal.

Los movimientos oculares son movimientos que hacen de manera individual cada ojo. Mediante estos movimientos se logra observar objetos estáticos o en movimiento. En los ojos hay dos tipos de musculatura; los músculos intrínsecos los cuales se ocupan del enfoque y variación en el diámetro de la pupila, y los músculos extrínsecos los cuales permiten el movimiento del globo ocular, estos son controlados por tres pares de músculos extraoculares; los cuales son los músculos rectos medial y lateral; los músculos rectos superior e inferior; y los músculos oblicuos superior e inferior.

Para el presente estudio, se considera la definición de los movimientos binoculares conjugados en un mismo sentido y dirección, los que se denominan versiones, en estos se pueden definir nueve posiciones de la mirada, tales como: Posición primaria lo que es equivalente a la mirada en el centro, supravversión lo mismo que equivale a la mirada hacia arriba, infravversión lo que es equivalente a la mirada hacia abajo, levosupravversión esto equivale a la mirada hacia arriba y a la izquierda, levovversión que es equivalente a la mirada hacia la izquierda, levoinfravversión que equivale a la mirada hacia abajo y a la izquierda, dextroinfravversión lo mismo que equivale a la mirada hacia abajo y a la derecha, dextrovversión que es la mirada hacia la derecha, dextrosupravversión como la mirada hacia arriba y a la derecha. (Clínica GMA, 2012).

Se considera cinco posiciones de la mirada como estímulo para la variable dependiente, vale decir la respuesta de la red neuronal ante los movimientos que serán detectados, los cuales son; Posición primaria, mirada en el centro, supravversión, mirada hacia arriba, infravversión, mirada hacia abajo, levovversión, mirada hacia la izquierda, dextrovversión, mirada hacia la derecha.

Tipos de movimientos oculares.- Existen tres tipos de movimientos oculares, aunque sean diferentes, están correlacionados. Estos son:

Movimientos de fijación.- Los cuales consisten en mantener los ojos estables en un punto. Barreña óptica (2019), España, en su portal web menciona que; a cada sácada o sacudida brusca del ojo le precede una fijación ocular, permaneciendo los ojos casi estáticos durante aproximadamente 250 milésimas de segundo. En este momento es cuando

se extrae la información. Los ojos de manera constante necesitan ir refijando los objetos realizando estos movimientos de fijación.

Movimientos de convergencia.- Suceden una vez que el objeto ha sido fijado. Estos movimientos mantienen el enfoque, ya sea que se mueva él mismo objeto o el observador. Son movimientos coordinados de los ojos, en donde hay una desviación simultánea de sus ejes hacia el punto de visión. Barreña óptica (2019).

Movimientos sacádicos.- Son movimientos de salto de un punto a otro. Óptima óptica (2019), España, en su portal web publica que son movimientos rápidos que permiten seguir la línea que se desea leer y permiten que cada palabra logre ser enfocada en la zona con mayor visión en la retina.

Motilidad ocular.- Es una propiedad, la cual permite el aumento del campo visual efectivo, tanto monocular como binocular. Permite mantener el enfoque de la imagen en la fóvea y la alineación de los ojos, evitando diplopías o visión doble. Menciona (Martínez de Carneros) en su portal web. El sistema motor en la motilidad ocular es el encargado de llevar a cabo las siguientes acciones:

Ducciones.- Movimientos monoculares (de un ojo en los ejes). Estos pueden ser; aducción como el movimiento hacia adentro, abducción como el movimiento hacia afuera, supraducción como el movimiento hacia arriba, infraducción como el movimiento hacia abajo, incicloducción como el movimiento hacia el extremo superior del meridiano vertical de la córnea haciendo un giro hacia el lado nasal, excicloducción como el movimiento hacia el extremo de la córnea girando hacia el lado temporal.

Versiones.- Movimientos binoculares conjugados. Los cuales básicamente pueden ser, primaria en donde ambos ojos se enfocan en el centro, supraversion en donde los dos ojos miran hacia arriba, infraversion en donde ambos ojos miran hacia abajo, dextroversion ambos ojos miran hacia la derecha, levoversion ambos ojos miran hacia la izquierda.

Vergencias.- Los dos ojos se mueven de forma sincrónica y simétrica en la misma dirección y sentido opuesto. Estos pueden ser básicamente,

convergencia, girar hacia adentro y divergencia, girar hacia afuera a partir de una posición convergente.

Variable 2

Detección de movimientos de los ojos utilizando redes neuronales.- La detección del movimiento se realiza analizando la matriz de características de las imágenes de los movimientos de los ojos, los cuales previamente clasificados y sometidos al proceso de entrenamiento, son procesados por una red neuronal artificial totalmente conectada del tipo perceptrón multicapa, la cual detecta el patrón de la posición de la mirada.

Las RNA en inteligencia artificial quiere decir redes neuronales artificiales, son un modelo de inteligencia artificial de mucha importancia, estas tienen su base en el funcionamiento del cerebro humano. Las neuronas están conformadas por nodos, las cuales reciben información y la transmiten entre sí, para posteriormente generar una salida con la predicción para la que esta haya sido entrenada.

Inteligencia artificial.- Cito definiciones de diferentes investigadores.

Charniak y McDermott (1985), Menciona que la inteligencia artificial implica el estudio de las capacidades mentales utilizando modelos por computadora.

Winston (1992), Conceptualiza a la inteligencia artificial como el estudio realizado a los cálculos por los cuales un computador puede percibir, razonar y actuar.

Schalkoff (1990), Define a la inteligencia artificial como el campo encargado de explicar y simular el comportamiento inteligente realizado en base a procesos por computadora.

Luger y Stubblefield (1993), Manifiesta que la inteligencia artificial viene a ser la rama de la computación que se encarga del estudio de la conducta inteligente y su automatización.

Instituto de ingeniería del conocimiento de Madrid, (2021), menciona en su portal web, que la Inteligencia Artificial logra su aprendizaje con ejemplos. Los modelos de aprendizaje de máquina o machine learning realizan un análisis de muestras de datos verdaderos que reflejan el proceso que se desea

automatizar. De este modo el sistema aprende a realizar tareas solamente a partir de lo que observa en los datos, sin previamente haber sido programado, a esto se le llama el entrenamiento de la red neuronal.

El hombre desde la aparición de la primera computadora viene volcando sus esfuerzos en desarrollar una máquina inteligente, la cual esté capacitada para lograr su aprendizaje a través de su misma experiencia, desarrollar su propia creatividad, decidir por cuenta propia e interactuar racionalmente con el entorno que la rodea. En otras palabras, el hombre persevera en dotar de inteligencia artificial a la máquina.

Modelos de inteligencia artificial.- En la actualidad la inteligencia artificial abarca un amplio espacio, entre los modelos podemos mencionar: Al análisis discriminante lineal, los árboles de decisión, la regresión logística, la regresión lineal, Naive Bayes, el algoritmo k-vecinos más cercanos, el aprendizaje de cuantificación vectorial, el soporte de máquinas vectoriales, la técnica de Bagging y Random forest, la lógica difusa, las redes neuronales artificiales.

Tipos de redes neuronales artificiales

En cuanto a su topología de acuerdo al patrón de conexiones, pueden ser:

Monocapa.- Tienen una sola capa, no existen ciclos ni retroalimentación, todas las señales van desde la entrada hasta la salida. Entre estas existen el perceptrón, Adaline.

Multicapa.- Tiene varias capas, no existen ciclos ni retroalimentación. Todas las señales tienen una dirección desde la entrada hasta la salida. El perceptrón multicapa.

Recurrentes.- Por lo menos presenta un ciclo cerrado de activación neuronal (retroalimentación). Máquina de Boltzman, Elman, Hopfield.

En cuanto a su aprendizaje, básicamente pueden ser:

Aprendizaje supervisado.- Requiere de un conjunto de muestras de patrones de solución para su entrenamiento.

Aprendizaje no supervisado o auto-organizado.- No requiere de un conjunto de muestras de patrones de solución para su entrenamiento.

En cuanto a su tipo de entrada, de acuerdo al tipo de valor que procesan pueden ser:

Analógicas.- Reciben valores continuos y acotados como datos de entrada. Hopfield, Kohonen.

Discretas.- Reciben valores discretos generalmente ceros y unos, lógicos booleanos como datos de entrada. Máquina de Boltzman, máquina de Cauchy, red discreta de Hopfield.

Perceptrón multicapa.- Este logra evolucionar del perceptrón simple incorporando capas con neuronas ocultas, gracias a las cuales logra procesar funciones no lineales. En el perceptrón multicapa la salida de una neurona es la entrada de la siguiente, esta posee una arquitectura conformada por una capa de entrada la cual recibe los datos del exterior de la red, una capa de salida la cual es la que emite los resultados, y una o más capas ocultas en las cuales se ejecuta la ponderación y las funciones de activación.

En el perceptrón multicapa se aprecian dos fases:

Propagación: Fase donde los resultados de la salida de la red se calculan siguiendo un orden desde los valores de entrada hacia adelante.

Aprendizaje: Fase en que los errores que se obtienen a la salida de la red se propagan hacia atrás (backpropagation), mediante este proceso se consigue la modificación de los pesos de las conexiones con la finalidad de, que por medio de la función gradiente del error, el valor estimado de la red se aproxime cada vez más al real.

La arquitectura de un perceptrón multicapa está dada por sus capas las cuales son:

Capa de entrada: Es la capa que permite la conexión de la red neuronal con el exterior, cada neurona se corresponde con cada una de las variables de entrada de la red.

Capas ocultas: Son un conjunto de capas en las que cada activación de una salida procede de la suma ponderada de las activaciones de la capa anterior, más sus correspondientes umbrales (bias, sesgos).

Capa de salida: Es la capa que permite la conexión entre las capas ocultas y la salida de la red, la cual muestra los resultados. (Diego Calvo, 2018).

Matriz de confusión.- También llamada matriz de errores, es una herramienta que se utiliza para visualizar el desempeño de un algoritmo de aprendizaje de tipo supervisado, aplicado en el aprendizaje automático en el campo de la inteligencia artificial.

Tabla 1: Matriz de confusión

		PREDICCIÓN	
		POSITIVO	NEGATIVO
REALIDAD	POSITIVO	<i>VP (verdadero positivo)</i>	<i>FN (falso negativo)</i>
	NEGATIVO	<i>FP (falso positivo)</i>	<i>VN (verdadero negativo)</i>

VP (Verdadero positivo): Cuando el valor de la realidad es positivo y la predicción también tiene valor positivo.

VN (Verdadero negativo): Cuando el valor de la realidad es negativo y la predicción también tiene valor negativo.

FP (Falso positivo): Cuando el valor de la realidad es negativo y la predicción tiene valor positivo.

FN (Falso negativo): Cuando el valor de la realidad es positivo y la predicción tiene valor negativo.

Existen métricas que indican la interpretación de una matriz de confusión, las cuales son:

Exactitud: Señala la proximidad entre los datos reales y los datos arrojados por la matriz. Un sistema es más exacto cuando tiene más coincidencias. La exactitud es el porcentaje total de elementos que son clasificados correctamente.

$$\text{Exactitud} = \frac{VP+VN}{VP+VN+FP+FN}$$

Precisión: Señala la proximidad entre una predicción y los datos verdaderos. A mayor precisión mayor fidelidad de la matriz. La precisión es el porcentaje de elementos clasificados de manera correcta como positivos del total de elementos clasificados como positivos.

$$\text{Precisión} = \frac{VP}{FP+VP}$$

Sensibilidad: Señala la capacidad del algoritmo para detectar casos positivos. La sensibilidad está representada por el porcentaje de elementos que son identificados de manera correcta como positivos del total de predicciones positivas.

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VP}{VP+FN}$$

Especificidad: Señala la capacidad del algoritmo para detectar casos negativos. La especificidad está representada por el porcentaje de elementos identificados correctamente como negativos del total de predicciones negativas.

$$\text{Especificidad} = \frac{VN}{VN+FP}$$

Índice de Kappa.- También llamada coeficiente de Kappa. Esta herramienta fue propuesta por Cohen en 1960, la cual es una medida basada en comparar más allá del azar, la concordancia existente entre un conjunto de datos obtenidos de dos o más evaluadores, clasificaciones, métodos, etc.

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Donde:

P_o : Proporción de acuerdos observados (Número de aciertos / Número total de clases).

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^r n_i}{N}$$

P_e : Proporción de acuerdos esperados por azar.

$$P_e = \frac{\sum_{i=1}^r (n_{i1} * n_{i2})}{N^2}$$

Para interpretar el valor de K, se dispone de la escala de valoración del coeficiente kappa (Landis y Koch, 1977).

Tabla 2: Valoración de coeficiente de Kappa

Coeficiente de Kappa (K)	Fuerza de concordancia
< 0.00	Pobre
0.00 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderado
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Casi perfecto

Normativa técnica, ambiental, de seguridad, de gestión de riesgos.

Al abarcar las metodologías y arquitecturas utilizadas para la elaboración del proyecto actual, se hace uso de la metodología del prototipo, el cual es un proceso interactivo que permite desarrollar una aplicación informática en base a una necesidad, con la posibilidad de corregir u optimizar funciones durante el proceso de desarrollo. La arquitectura utilizada para el prototipo o aplicación de simulación la cual es una aplicación en el entorno web, es desarrollada bajo la arquitectura MVC, modelo-vista-controlador, la misma que permite un mejor

desarrollo y mantenimiento del software. Para evaluar el desempeño de la red neuronal artificial se utilizan las métricas de la herramienta de matriz de confusión. Ariza F., Rodríguez J. y Alva V. (2018), afirman que la matriz de confusión es un estándar para determinar la exactitud temática en la clasificación de datos procedentes de imágenes. Y que en la línea de datos espaciales, esta aparece en la norma internacional ISO 19157, la cual hace referencia a la calidad de la información geográfica, con el fin de ofrecer resultados con calidad referente a productos vectoriales o procedentes de imágenes como lo son la clasificación de imágenes.

Impacto ambiental

El desarrollo del presente proyecto, demanda un consumo de energía eléctrica de parte de los dispositivos electrónicos computarizados, los cuales, se sugiere deben ser abastecidos haciendo uso de sistemas de energía renovables, tal como paneles solares, con el objetivo de mantener la sostenibilidad ambiental, la cual promueve la protección del equilibrio natural del planeta, limitando en este, el impacto de las actividades humanas, con la finalidad de garantizar a todos el acceso a los recursos naturales.

Gestión de riesgos

El riesgo de no aplicar la propuesta del presente proyecto, es resignarse a la falta de autonomía en la cual quedarán inmersas las personas discapacitadas, muchas de las cuales por las limitaciones de movilidad en sus miembros no pueden manejar muchos dispositivos de control manual. Para lo cual dependen de terceras personas. La detección del movimiento de los ojos se considera de mucha importancia ya que abre un sinnúmero de posibilidades de ser aplicada en distintas disciplinas, tales como en la psicología en donde se podrá predecir la personalidad de un individuo detectando sus movimientos oculares. En la medicina, en el campo de la oftalmología en donde se podrá detectar anomalías en los ojos en base al movimiento de los mismos.

Seguridad y salud ocupacional

Una persona discapacitada, al tener autonomía, disminuirá el riesgo de

contagio ante el covid19, ya que podrá mantener el distanciamiento con respecto a terceras personas.

Estado del arte

En la actualidad, el uso de la inteligencia artificial en entornos informáticos, especialmente el uso de las redes neuronales artificiales se ha vuelto significativamente relevante. Cabe mencionar que las RNA tienen gran importancia en el desarrollo de la presente investigación. Hoy en día se es consciente, participe y cada vez más dependientes de este tipo de tecnologías, las mismas que se hacen uso de manera cotidiana en dispositivos y artefactos tales como: televisores inteligentes, teléfonos inteligentes, vehículos autónomos, cámaras y dispositivos de seguridad, entre otros. También son muy utilizadas en el campo de la medicina en el diagnóstico de enfermedades; En el pronóstico del tiempo en el campo meteorológico; En la detección de fraudes en el ambiente financiero; En traductores de idiomas en el entorno social. Se podría dedicar muchas páginas mencionando las diversas utilidades que en la actualidad se le da a las redes neuronales artificiales en los distintos ámbitos interdisciplinarios.

En el artículo publicado en el sitio web Xataca, se menciona el gran avance tecnológico de Google con respecto al seguimiento de la mirada, al superar con un sistema que es cien veces más económico, además de ser más preciso que otros artefactos que permiten el rastreo de la mirada. Este tipo de rastreos es una tecnología muy importante para la accesibilidad y el control de dispositivos. Por lo tanto es un campo muy interesante cuando se quiere lograr manejar un dispositivo sin tocarlo. (Enrique Pérez, 2021).

Definición de términos

a) Binarización de imágenes.- Es un proceso que transforma una imagen digitalizada a una imagen en dos colores: blanco y negro, para el reconocimiento de la posición de los píxeles, los cuales pueden tener sólo dos valores: 0 para los píxeles negros y 1 para los píxeles blancos.

b) Sumatoria ponderada.- Permite combinar múltiples entradas, multiplicar

cada una por su peso y sumar los resultados.

c) Pesos sinápticos.- Son coeficientes que definen la intensidad o fuerza de una conexión entre dos neuronas. Dicha conexión es inexistente cuando el peso es cero, excitadora cuando es valor positivo e inhibidora cuando el valor es negativo.

d) Función de activación.- Es un proceso matemático que se ejecuta en una neurona de manera individual, el cual calcula un valor de salida, procesando un valor de entrada.

e) Función sigmoidea.- Es una función de activación no lineal que hace la transformación de los valores introducidos a una escala entre (0, 1), los números muy altos se orientan a 1 y los número bastante bajos tienden a 0.

f) Vector de características.- Es una matriz que contiene los datos de aprendizaje de la red neuronal, tienen mucha utilidad en los procesos para reconocer imágenes y detectar objetos. Estos son utilizados en algoritmos de machine learning.

g) Dataset.- Es un conjunto de datos que sirven como modelo a aprender para el entrenamiento de una red neuronal artificial.

h) Machine learning.- Aprendizaje automático, Este es una forma de inteligencia artificial, la cual permite que un sistema logre su aprendizaje a través de los datos de entrenamiento, en lugar de aprender por medio de algoritmos explícitos de programación.

i) Php.- Es un lenguaje de programación sin costo de licenciamiento y de código abierto, utilizado para realizar aplicaciones para el entorno web. Este permite las conexiones entre el usuario y el servidor.

j) Joone.- Es un framework de código abierto desarrollado en java, el cual

permite llevar a cabo el entrenamiento, el cual es indispensable para que una red neuronal artificial logre su aprendizaje.

k) Convergencia.- Puede definirse como el proceso de aprendizaje al que es sometida una red neuronal, es aquí donde se ajustan los parámetros a través de un proceso de estimulación por el entorno que la rodea. Si una red converge, es cuando ha logrado definir los pesos sinápticos de sus neuronas, lo cual le permitirá llevar a cabo correctamente su tarea deseada.

l) Arquitectura MVC.- Corresponde al Modelo Vista Controlador, esta es una arquitectura de software, la cual permite su separación en tres componentes para un mejor manejo. Esta son: el modelo que se refiere a la base de datos, la vista que es la interfaz del usuario, y el controlador que es la lógica de control.

m) Método heurístico.- Es un procedimiento el cual se basa en el uso de reglas empíricas para encontrar una solución.

n) Catalogar.- Organizar sistemáticamente la información.

o) Codificación one-hot.- Es una combinación de una cadena de datos binarios en la cual se otorga el valor de (1) al bit más alto y a todos los demás bits bajos, se otorga el valor de (0).

Estudio económico

Costos y presupuestos.- Un paso esencial y de mucha importancia para decidir la viabilidad de un proyecto, consiste en determinar el costo que este va a demandar. Esto define si lo que se pretende realizar, involucrando sus actividades, es alcanzable. Cuadro de costos y presupuestos, (Anexo 3).

1.4. Formulación del Problema

¿Cómo va a contribuir el desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales?

1.5. Justificación e Importancia del Estudio

Justificación Social

En la actualidad existen una gran cantidad de personas con problemas severos de locomoción tales como parálisis en extremidades superiores e inferiores, lo cual les imposibilita el manejo por sus propios medios de dispositivos de control manual. Esto les impide que puedan tener autonomía sobre sus actividades diarias. Además las obliga a que dependan de terceras personas que por lo general son sus familiares, los cuales deben dedicar tiempo en su atención. Otro de los aspectos importantes planteado por (Riveros D., 2021), es el reconocimiento del movimiento ocular y por medio de este manejar el mouse y así poder interactuar con el computador. Con esto muchas personas que sufren de parálisis en las extremidades podrán usar una computadora para mantenerse informados del acontecer diario o para mantener contacto con sus familiares por medio de las redes sociales.

Justificación Teórica

El reconocimiento de imágenes por medio de la visión artificial y el empleo de métodos para la implementación de redes neuronales son temas que implican mucha importancia en la actualidad, es por ello que se afirma que el presente estudio servirá de guía para investigaciones y desarrollos futuros en el ámbito tecnológico y el contexto científico.

Justificación Práctica

La ejecución del presente proyecto permite desarrollar un método para elaborar el diseño inmediato de una red neuronal artificial, con la cual sea posible detectar los movimientos de los ojos.

1.6. Hipótesis

Mediante el desarrollo de un método, se puede detectar los movimientos de los ojos utilizando redes neuronales, lo cual va a contribuir a investigaciones futuras que se propongan lograr el manejo o control de dispositivos con la mirada.

1.7. Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Realizar el desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Catalogar imágenes de los movimientos físicos de los ojos para la conformación del dataset.
- Realizar el proceso de tratamiento de imágenes para obtener la matriz de vectores de características.
- Realizar el diseño y el proceso de entrenamiento de la red neuronal.
- Implementar un prototipo para medir el desempeño de la red neuronal.

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Tipo y Diseño de Investigación

2.1.1 Tipo de Investigación

El presente proyecto se inclina a hacer uso del tipo de investigación Aplicada según su finalidad, según su diseño es Experimental, en cuanto a su enfoque es Cuantitativo, con respecto a su alcance es exploratorio y según su fuente de datos es Investigación de campo.

2.1.2 Diseño de Investigación

Con respecto al diseño de investigación es Cuasi-experimental, dentro del diseño Experimental. El diseño Cuasi-experimental frecuentemente se investiga con grupos experimental y de control debidamente conformados, y no se asignan de manera aleatoria los sujetos a uno u otro grupo. (Cook y Campbell, 1986), mencionan que se debe considerar los cuasi-experimentos de forma alternativa a los experimentos, cuando estos carecen de asignación aleatoria.

2.2 Población y Muestra

2.2.1. Población

El tamaño de la población es desconocida y está conformada por la cantidad de los movimientos de los ojos.

2.2.2. Muestra

La muestra es de 385 capturas de imágenes de dichos movimientos, el nivel de confianza es del 95% y como margen de error el 5%.

$$n = \frac{Z^2 PQ}{E^2}$$

n = Tamaño de muestra
Z = Nivel de confianza
P = Probabilidad de éxito
Q = Probabilidad de fracaso
E = Margen de error

Nivel de Confianza = 95% --> Z = 1.96
E = 5% --> 0.05
P = 50% --> 0.5
Q = 50% --> 0.5

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2}$$

$$n = \frac{0.9604}{0.0025}$$

$$n = 384.16$$

2.3 Variables, Operacionalización

2.3.1. Variable Independiente: Desarrollo de un método

Método es definido como el camino o vía, lo cual hace referencia al medio usado para lograr un objetivo o fin. (Pérez J. y Gardey A., 2008).

También es referido a una serie de pasos ordenados y sucesivos que llevan a alcanzar una meta. Es una forma organizada y sistemática para llegar a un objetivo, el cual puede ser aplicado en diversas áreas de estudio.

La variable independiente está conformada por el desarrollo de un método y sus etapas que lo integran, con el objetivo de detectar los movimientos de los ojos utilizando redes neuronales.

Como primera etapa del método se tiene la catalogación de los movimientos oculares, los cuales son movimientos realizados separadamente por cada ojo, los mismos que son indispensables para visualizar nuestro alrededor y lo que en ello interactúa. Estos movimientos están controlados por tres pares de músculos extraoculares. Estos tipos de movimientos binoculares conjugados catalogados como versiones son: Posición primaria, mirada en el centro, superversión, mirada hacia arriba, infraversión, mirada hacia abajo, levoversión, mirada hacia la izquierda, dextroversión, mirada hacia la derecha. (Pons, Chang y Estévez, 2017).

Como segunda etapa del método tenemos el proceso de tratamiento de imágenes para obtener la matriz de vectores de características, la cual implica: Redimensionamiento de imagen, escala de grises, ecualización de histograma, inversión de colores, y binarización.

La tercera etapa del método implica el diseño y entrenamiento de la red neuronal artificial la cual se realizó en el framework Joone en su versión

2.0.

Y finalmente como cuarta etapa, la Implementación de un prototipo en el lenguaje de programación Php, para medir el desempeño de la red neuronal.

2.3.2. Variable Dependiente: Detección de movimientos de los ojos utilizando redes neuronales.

Es un proceso por el cual haciendo uso de las redes neuronales artificiales se logra detectar a que clase pertenece el movimiento ocular.

Las redes neuronales artificiales conforman un modelo importante para aplicar el machine learning o aprendizaje automático. Estas se encuentran dentro del ámbito de la inteligencia artificial. Las redes neuronales se basan en el funcionamiento del cerebro humano y están conformadas por neuronas a manera de nodos, los cuales reciben y transmiten entre sí información, para luego generar una salida con la predicción para la que fueron entrenadas.

La inteligencia artificial apunta su campo de estudio en explicar y emular el comportamiento inteligente con respecto a los procesos computacionales. (Schalkoff, 1990).

2.3.3. Operacionalización de Variables.

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	SUB INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Desarrollo de un método	Catalogación de movimientos oculares físicos	Motilidad ocular de tipo versión		Posición primaria, superversión, infraversión, levoversión, dextroversión	Análisis documental	Guía de análisis documental	
	Tratamiento de imágenes	Redimensionamiento		Tamaño 20x10 Píxeles	Análisis documental	Guía de análisis documental	
		Escala de grises		Valor de píxeles entre 0 y 255			
		Ecualización de histograma		Valor de brillo de 210			
		Inversión de colores		Conversión de píxeles claros a oscuros y viceversa			
		Binarización		Valor de píxeles de 0 ó 1			
	Diseño y Entrenamiento de red neuronal	Arquitectura de red neuronal		Nro. de capas, nro. de neuronas, función de activación.	Análisis documental	Guía de análisis documental	
		Parámetros de entrenamiento		Épocas, momentum, tasa de aprendizaje, RMSE			
	Prototipo y evaluación	Metodología de desarrollo		Metodología del prototipo	Análisis documental	Guía de análisis documental	
		Arquitectura de la aplicación		MVC			
Entorno de la aplicación			Aplicación web				
Detección de los movimientos de los ojos utilizando	Posición Primaria (ambos ojos en el centro)	Exactitud	$Exactitud = (VP+VN) / (VP+VN+FP+FN)$	% exactitud	Observación, Análisis documental	Guía de observación, Guía de análisis documental	Matriz de confusión
		Precisión	$Precisión = VP / (FP+VP)$	% precisión			
		Sensibilidad	$Sensibilidad = VP / (VP+FN)$	% sensibilidad			
		Especificidad	$Especificidad = VN / (VN+FP)$	% especificidad			

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	SUB INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
redes neuronales	Supraversión (ambos ojos hacia arriba)	Exactitud	$Exactitud = (VP+VN) / (VP+VN+FP+FN)$	% exactitud	Observación, Análisis documental	Guía de observación, Guía de análisis documental	Matriz de confusión
		Precisión	$Precisión = VP / (FP+VP)$	% precisión			
		Sensibilidad	$Sensibilidad = VP / (VP+FN)$	% sensibilidad			
		Especificidad	$Especificidad = VN / (VN+FP)$	% especificidad			
	Infraversión (ambos ojos hacia abajo)	Exactitud	$Exactitud = (VP+VN) / (VP+VN+FP+FN)$	% exactitud	Observación, Análisis documental	Guía de observación, Guía de análisis documental	Matriz de confusión
		Precisión	$Precisión = VP / (FP+VP)$	% precisión			
		Sensibilidad	$Sensibilidad = VP / (VP+FN)$	% sensibilidad			
		Especificidad	$Especificidad = VN / (VN+FP)$	% especificidad			
	Dextroversión (ambos ojos hacia la derecha)	Exactitud	$Exactitud = (VP+VN) / (VP+VN+FP+FN)$	% exactitud	Observación, Análisis documental	Guía de observación, Guía de análisis documental	Matriz de confusión
		Precisión	$Precisión = VP / (FP+VP)$	% precisión			
		Sensibilidad	$Sensibilidad = VP / (VP+FN)$	% sensibilidad			
		Especificidad	$Especificidad = VN / (VN+FP)$	% especificidad			
	Levoversión (ambos ojos hacia la izquierda)	Exactitud	$Exactitud = (VP+VN) / (VP+VN+FP+FN)$	% exactitud	Observación, Análisis documental	Guía de observación, Guía de análisis documental	Matriz de confusión
		Precisión	$Precisión = VP / (FP+VP)$	% precisión			
		Sensibilidad	$Sensibilidad = VP / (VP+FN)$	% sensibilidad			
		Especificidad	$Especificidad = VN / (VN+FP)$	% especificidad			

2.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, Validez y Confiabilidad.

2.4.1. Técnicas

Las técnicas utilizadas son: La observación, lo que permitió presenciar la respuesta de la red neuronal artificial ante el estímulo, para la detección de los movimientos de los ojos. Mediante la observación se pudo recolectar información referente a los errores y aciertos efectuados en las pruebas con la finalidad de tomar medidas de mejora. Otra técnica utilizada es el Análisis documental, a través del cual se pudo recopilar reportes obtenidos del prototipo o simulador, en donde se pudo evidenciar la eficiencia en la detección de la clase de los movimientos oculares realizados por la red neuronal.

(Baena Paz, 2014), menciona que; “Para recopilar los datos se emplean técnicas fundamentales como la investigación documental y de campo”.

2.4.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados son: La guía de análisis documental la cual permite la selección de ideas relevantes de una manera práctica y funcional, con la finalidad de identificar el acceso a dicha información con evidencias documentales. La documentación empleada para la catalogación física de los movimientos de los ojos queda registrada en este instrumento.

Para el primer objetivo específico: “Catalogar imágenes de los movimientos físicos de los ojos para la conformación del dataset.”. Se aplicó la revisión documental concerniente a investigaciones y artículos de los movimientos de los ojos para su clasificación.

Otro instrumento utilizado es la guía de observación, esta permite recopilar una lista de indicadores los cuales pueden ser redactados como preguntas o afirmaciones; es de gran utilidad para resaltar los aspectos importantes en la observación.

Para el segundo objetivo específico: “Realizar el proceso de tratamiento

de imágenes para obtener la matriz de vectores de características”. Se aplicó la guía de observación de tratamiento de imágenes (Anexo 4). También se aplicó la observación para la recopilación de los vectores de características del dataset obtenidos del módulo “GENERAR DATASET” del prototipo.

Para el tercer objetivo específico: “Realizar el diseño y el proceso de entrenamiento de la red neuronal.”. Se aplicó la guía de observación de entrenamientos de la red neuronal (Anexo 5).

Para el cuarto objetivo específico: “Implementar un prototipo para medir el desempeño de la red neuronal.”. Se utilizó la guía de observación de resultados de la clasificación de los movimientos oculares detectados por la aplicación prototipo en base a la muestra (Anexo 8). La muestra está conformada por 385 fotos del movimiento del ojo tomadas a una persona bajo un ambiente controlado. Las imágenes están distribuidas en 77 por cada clase de movimiento del ojo. La cantidad de clases de movimientos del ojo son 5. Este instrumento permitió recolectar los resultados de la detección del movimiento del ojo para posteriormente aplicar las medidas estadísticas como el índice de Kappa y la matriz de confusión.

Se aplicó la guía de observación de resumen de resultados de detección de movimiento de los ojos en función a la muestra. (Anexo 6). También se aplicó la guía de observación de operaciones de cálculo de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad de la matriz de confusión para cada clase. (Anexo 7).

2.4.3. Validez

Los instrumentos de recolección de información deben ser validados por dos profesionales expertos y un profesional metodólogo.

La validez de un instrumento implica el nivel en el que realmente mide la variable que se intenta medir, por lo que es preciso conocer las características que se desea estudiar. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

Para la validación de este proyecto se utilizó juicio de expertos.

2.5 Procedimiento de Análisis de Datos.

Para el primer objetivo específico: “Catalogar imágenes de los movimientos físicos de los ojos para la conformación del dataset.”. Se llevó a cabo la identificación de dichos movimientos para su clasificación, tal y cual se visualiza en la (Tabla 3). También se le asignó a cada movimiento los valores para la matriz de respuesta, los cuales corresponden a las cinco neuronas de salida, esto se aprecia en la (Tabla 4).

Para el segundo objetivo específico: “Realizar el proceso de tratamiento de imágenes para obtener la matriz de vectores de características.”. Se identificaron los procedimientos a los cuales serán sometidas las imágenes del movimiento ocular, así como también sus parámetros respectivos, con la finalidad de obtener los valores binarios a partir de una imagen de color verdadero, tal y cual se aprecia en las (Figuras 11, 12, 13, 14 y 15).

Para el tercer objetivo específico: “Realizar el diseño y el proceso de entrenamiento de la red neuronal.”. Es de mucha importancia la observación de los parámetros de entrenamiento de las redes neuronales con la finalidad de llevar un registro de este proceso hasta encontrar los parámetros óptimos que logren la convergencia de la red, del modo en que se visualiza en la (Tabla 6).

Para el cuarto objetivo específico: “Implementar un prototipo para medir el desempeño de la red neuronal.”. Se logró observar los resultados en la detección de movimiento de los ojos en función a la muestra procesada por el programa de simulación o prototipo, (Tabla 8). A estos resultados se les aplicó las operaciones de cálculo de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad de la matriz de confusión para cada clase, tal como se observa en la (Tabla 10).

2.6 Criterios Éticos.

Desde la visión ética, toda información presentada en la actual

investigación posee veracidad y se respeta su autoría y propiedad intelectual citándola debidamente, la data recolectada es real, las imágenes de los movimientos oculares son originales y fueron obtenidas de una niña con ojos negros de 9 años de edad, quien no presenta ningún tipo de problema visual.

La captura de imágenes de las cuales se extrajo el patrón de los movimientos oculares para su clasificación; y las pruebas respectivas para la evaluación de la red neuronal, se realizó con el consentimiento respectivo de quienes corresponde.

Se toma en consideración la responsabilidad social en el presente proyecto evitando que las personas involucradas en la investigación hayan sido expuestas a daños físicos o psicológicos.

2.7 Criterios de Rigor Científico

La presente investigación es fiable, cualquier investigador puede emplear los métodos y estrategias aplicadas en este trabajo y obtener similares resultados, ya que los procedimientos involucrados son verdaderos.

En base a la credibilidad o valor de la verdad en el presente trabajo se ha considerado los acontecimientos tal y cual han sido observados entorno a la realidad.

La transferibilidad o aplicabilidad permite que los resultados de la presente investigación puedan ser transferidos a otros contextos considerándolo a detalle como también la de sus participantes, ya que los fenómenos estudiados están ligados a las situaciones generadas en la investigación.

III. RESULTADOS

3.1. Resultados en Tablas y Figuras

El guiado y control de dispositivos con órganos diferentes a las extremidades se torna relevante cuando recae en la solución a las dificultades que poseen individuos que sufren de parálisis que les impiden mover los miembros, lo cual imposibilita que por sus propios medios puedan llevar a cabo las actividades más básicas, dependiendo para tal fin de la ayuda de terceras personas. Existe una brecha que es necesario superar y obstáculos que es preciso quitar de en medio, con la finalidad de permitirles ejercer actividades en condiciones de igualdad ante los demás.

Es por ello que la presente investigación se considera de mucha importancia al tratar de lograr un método que sea económico y eficiente, el mismo que permita la detección de los movimientos de los ojos, los cuales sirvan para posteriores investigaciones que tengan como objetivo el guiado de vehículos móviles o control de dispositivos con órganos diferentes a las extremidades, para ser más exacto con el movimiento de los ojos es decir por medio de la mirada.

Se ha desarrollado un entorno en PHP como prototipo o entorno de pruebas, la evaluación del desempeño de la red neuronal, como también para la obtención de las matrices de características del dataset, las cuales son tomadas de imágenes fotográficas del ojo humano, detectando la posición del iris, y de acuerdo a esta se determinará el movimiento. El entrenamiento de las redes neuronales artificiales se llevó a cabo en el framework Joone.

El reconocimiento de imágenes, así como el manejo de dispositivos de control manual, con órganos diferentes a las extremidades, haciendo uso de la inteligencia artificial son temas que implican mucha importancia en la actualidad, es por ello que el presente estudio servirá de guía para investigaciones y desarrollos futuros en el ámbito tecnológico y el contexto científico.

3.1.1 Desarrollo del Método:

En el presente proyecto se planteó el desarrollo de un método que permita

detectar el movimiento de los ojos utilizando redes neuronales artificiales. Para la calificación del método se recurrió al juicio de expertos, utilizando los siguientes criterios de validación:

1. Estructura general del Método.
2. Marco teórico y antecedentes que sustenta el método.
3. Los procedimientos de las etapas del método están redactados de forma clara y precisa, sin ambigüedades.
4. Coherencia de las etapas del método con el flujo de la información procesada para el logro de la detección del movimiento de los ojos.
5. Coherencia de las etapas del método con los objetivos de la investigación.
6. Detalle para la implementación del método y medición de la red neuronal.
7. Viabilidad de la implementación del método.

Los resultados de la calificación de acuerdo al juicio de los tres expertos, de manera unánime se consolidan en que la propuesta del método desarrollado para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales artificiales es ADECUADA. Dichas calificaciones se encuentran en (Anexos 12, 13 y 14).

La representación gráfica del método, sus etapas y los procesos involucrados se pueden apreciar en la (Figura 31).

El método consta de cuatro etapas las cuales son:



Figura 8: Etapas del método desarrollado para detectar el movimiento de los ojos

Fuente: Elaboración propia

3.1.1.1 Primera Etapa: Catalogación de los movimientos físicos de los ojos.

Los movimientos oculares, como ya se había mencionado, son el estímulo que motiva a la red neuronal a definir una respuesta. Por eso es importante catalogar dichos movimientos y designarles una cadena de valores binarios en la matriz de respuesta. Esto es primordial para el entrenamiento de la red, el cual se realiza en la tercera etapa del método desarrollado.

Pons L., Chang Y. y Estévez Y. (2017), en su investigación en donde se dispone a corregir el estrabismo del oblicuo superior por medio de cirugía quirúrgica; la cual fue desarrollada en el Instituto Cubano de Oftalmología, Ramón Pando Ferrer, publicado en la Revista Cubana de Oftalmología. Así como; Ríos, Bettin, Naranjo, Suárez y De Vivero (2017), en su artículo científico, orientado a los médicos y a los estudiantes de medicina en general, referente a las pautas que se deben seguir al hacer un examen oftalmológico.

Dicha investigación fue publicada en la revista Universitas Médica, vol. 58, núm. 2, 2017, llevado a cabo en La Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. En ambas publicaciones utilizan la catalogación de los movimientos de los ojos de tipo versión para sus investigaciones.

Por consiguiente los movimientos oculares fueron catalogados de la siguiente manera:

Posición primaria.- Este es un movimiento de versión en el cual ambos ojos están en el centro. Tiene un valor binario de 1 en el primer dígito de la cadena de respuesta conformada por cinco dígitos, sus valores binarios son: "10000".

Supraversión.- Este es un movimiento de versión en el cual ambos ojos están hacia arriba. Tiene un valor binario de 1 en el segundo dígito de la cadena de respuesta conformada por cinco dígitos, sus valores binarios son: "01000".

Infraversión.- Este es un movimiento de versión en el cual ambos ojos están hacia abajo. Tiene un valor binario de 1 en el tercer dígito de la cadena de respuesta conformada por cinco dígitos, sus valores binarios son: '00100'.

Levoversión.- Este es un movimiento de versión en el cual ambos ojos están hacia la izquierda. Tiene un valor binario de 1 en el cuarto dígito de la cadena de respuesta conformada por cinco dígitos, sus valores binarios son: "00010".

Dextroversión.- Este es un movimiento de versión en el cual ambos ojos están hacia la derecha. Tiene un valor binario de 1 en el quinto dígito de la cadena de respuesta conformada por cinco dígitos, sus valores binarios son: "00001".

En la siguiente tabla se aprecia las imágenes correspondientes a cada uno de los movimientos oculares.

Tabla 3: Catalogación de los movimientos físicos de los ojos

Movimientos oculares		
Posición primaria	Mirada al frente	
Supraversión	Mirada hacia arriba	
Infraversión	Mirada hacia abajo	
Levoversión	Mirada hacia la izquierda	
Dextroversión	Mirada hacia la derecha	

Ya teniendo catalogados los movimientos oculares, es importante asignar los valores binarios para la matriz de respuesta. Estos valores corresponden a las 5 neuronas de salida, como ya se había mencionado anteriormente; tal como se muestra en la siguiente matriz en codificación one-hot:

1; 0; 0; 0; 0
 0; 1; 0; 0; 0
 0; 0; 1; 0; 0
 0; 0; 0; 1; 0
 0; 0; 0; 0; 1

Figura 9: Matriz de respuesta deseada

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de los valores de respuesta:

Los cinco dígitos de respuesta están ligados a la detección del movimiento del ojo. Esta cadena de respuesta en codificación one-hot, está representada de la siguiente manera:

Tabla 4: Matriz de respuestas deseadas

Matriz de respuesta deseada					
	Primer dígito	Segundo dígito	Tercer dígito	Cuarto dígito	Quinto dígito
Posición primaria	1	0	0	0	0
Supraversión	0	1	0	0	0
Infraversión	0	0	1	0	0
Levoversión	0	0	0	1	0
Dextroversión	0	0	0	0	1

3.1.1.2 Segunda Etapa: Tratamiento de imágenes

El segundo paso del método desarrollado es tratar la imagen hasta descomponerla a sus valores binarios, los cuales conforman la matriz de vector de características.

El tratamiento de las imágenes del movimiento ocular para poder obtener la matriz de características, fue realizado por medio de una aplicación creada en PHP y se llevó a cabo realizando los siguientes procesos a partir de una imagen de color verdadero del ojo derecho de una persona:

a) Captura de imagen.- Una imagen básicamente es un arreglo o matriz de píxeles los cuales contienen valores sobre la intensidad de color en la ubicación respectiva a cada píxel.

La captura de imagen es en color verdadero (RGB) del ojo humano y se llevó a cabo en un ambiente controlado cumpliendo los siguientes parámetros:

- El objetivo a capturar es el ojo derecho de una niña con 9 años

de edad y ojos de color negro.

- La cámara digital utilizada es del equipo smartphone Motorola modelo Moto E6s. Con cámara frontal de 13 MP, tamaño del píxel de 1,12 micras (μm). La configuración de la cámara fue de 8MP con una resolución de 4160x1920, y un zoom digital x4.0.
- La ubicación de la cámara digital fue de manera horizontal a 15 cm. del objetivo a capturar, y fija sobre una mesa con altura regulable.
- La persona a la cual se le tomó la imagen de sus ojos permaneció sentada en el proceso de captura, con el mentón sobre la mesa para inmovilizarla.
- La iluminación se dio por medio de una lámpara con un foco LED de 12 watts ubicada a 25 cm. y al frente del objetivo.



Figura 10: Imagen en color verdadero del ojo derecho, en posición primaria

Fuente: Elaboración propia

b) Redimensionamiento.- La imagen a reducir es una foto horizontal de color verdadero a la cual se le aplica un redimensionamiento manteniendo su proporción en anchura y altura. Dicha imagen es convertida a un tamaño de 20 píxeles de ancho por 10 píxeles de alto, por lo tanto se obtiene de ésta, una matriz de 200 valores correspondientes a cada píxel. El método utilizado es la interpolación lineal, la cual modifica, ya sea subiendo o bajando el número de píxeles de una imagen digital.

Uzquiano J. (2010), en su trabajo de fin de grado se dedica a estudiar la reducción de imágenes digitales por medio de algoritmos que hacen uso de la interpolación lineal. En dicha investigación se manifiesta que la interpolación viene a ser un procedimiento numérico que es utilizado para aproximar valores de un punto no

conocido, entre dos puntos conocidos. Además también menciona que principalmente es destacable el bajo coste computacional en las operaciones que conforman este algoritmo.

Para dicha conversión se hizo uso de la función `getimagesize` en PHP.



Figura 11: Imagen del ojo en posición primaria, redimensionada a 20x10 píxeles

Fuente: Elaboración propia

c) Escala de grises.- La imagen requiere un formato más apropiado para poder extraerle las características, por lo cual es convertida a un formato de escala de grises, ya que en el presente proyecto lo más relevante de las imágenes a tratar es su forma y para esto no es necesario tener en cuenta el color.

Flores J. (2009). Menciona que: La conversión a escala de grises implica una mezcla de los tres canales (RGB) con la finalidad de obtener un solo canal en gris, para lo cual toma los siguientes porcentajes: Para el color Rojo un 30%, para el color Verde un 59% y para el color Azul un 11%; que es de acuerdo a los expertos, lo que más se asemeja a como el ojo humano capta la intensidad de la luz dependiendo de su color.

La ecuación de la luminancia, expresada matemáticamente es aplicada a cada píxel de la imagen en color verdadero de la siguiente manera:

$$y = (R * 0.3) + (G * 0.59) + (B * 0.11)$$

En este formato cada píxel cuenta con un valor de entre 0 y 255. Para dicha conversión se hizo uso del parámetro `IMG_FILTER_GRAYSCALE` de la función `imagefilter` de PHP.

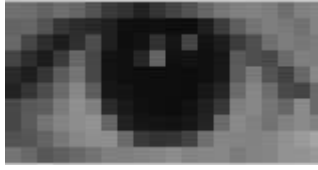


Figura 12: Imagen del ojo en posición primaria, convertida a escala de grises

Fuente: Elaboración propia

d) Ecuación de histograma.- Este es un método que permite mejorar el contraste de la imagen ampliando el rango de distribución de intensidad de píxeles. Riveros D. (2021). Este método es básicamente utilizado en imágenes cuando el fondo y el primer plano son demasiado brillantes o demasiado oscuros.

Se hizo uso también del parámetro `IMG_FILTER_BRIGHTNESS` de la función `imagefilter` de PHP, en un valor de 210 para el entrenamiento y de 160 para la ejecución de la red neuronal. Este parámetro permitió modificar el brillo de la imagen con la finalidad de obtener una mayor diferenciación entre sus píxeles claros y oscuros. Cuando se ajusta el brillo, la gama completa de tonos dentro de la imagen aumenta o disminuye en consecuencia.



Figura 13: Imagen del ojo en posición primaria con aumento de brillo

Fuente: Elaboración propia

e) Inversión de colores de imagen.- Previamente es conveniente mencionar que en el presente proyecto la detección del movimiento del ojo para su clasificación, está determinada por el análisis de una foto digital del ojo humano en la cual destacan básicamente el iris que se aprecia en primer plano como un círculo mayormente de color oscuro y la esclerótica de color blanco que a manera de fondo rodea al iris. También es importante destacar que en una imagen en escala de grises las tonalidades de sus píxeles están en un rango

entre 0 y 255, correspondiendo el 0 al color negro y 255 al color blanco. Por lo tanto, se ha considerado conveniente asociar con un valor de 1 a los píxeles con significado o información, ya que estos son los que conforman la posición del iris; y por otro lado otorgar valores de 0 a los píxeles que conforman el fondo que lo rodea, en consecuencia es relevante realizar la inversión de colores a la imagen en escala de grises. Para dicha inversión de colores se hizo uso del parámetro `IMG_FILTER_NEGATE` de la función `imagefilter` de PHP la cual permite invertir los colores de la imagen.



Figura 14: Imagen del ojo en posición primaria, con colores invertidos

Fuente: Elaboración propia

f) Binarización.- Habiendo cumplido los procesos de captura de imagen, redimensionamiento, escala de grises, ecualización de histograma e inversión de colores. Se procedió a realizar la binarización, el cual es un proceso que transforma una imagen en este caso invertida, a una imagen en dos colores: blanco y negro. Esto es básico para el reconocimiento de la posición de los píxeles que conforman el iris del ojo. Ahora los píxeles que conforman la imagen pueden tener sólo dos valores: 0 para los píxeles negros y 1 para los píxeles blancos. Para lograr la binarización se utilizó la técnica de umbralización global, dicha técnica utiliza un mismo valor umbral para todos los píxeles de la imagen.

Triana, Jaramillo, Gutiérrez y Rodríguez (2016). En su artículo en donde se dedica al estudio del procesamiento digital de imágenes GEN-Folis, por medio de técnicas de umbralización. En su estudio menciona que la umbralización global es una estrategia que resulta bastante útil cuando se cuenta con una iluminación homogénea en la totalidad de la imagen y un histograma bimodal vale decir que

existen dos picos o valores que se presentan con mayor frecuencia. El algoritmo utilizado sobre la imagen en escala de grises invertida para definir los valores de los pixeles de acuerdo al umbral es:

0 si Pixel < 1: Pixeles negros
 1 si Pixel >= 1: Pixeles blancos

Esto quiere decir que asumirá un valor de 1 todo pixel con cualquier tonalidad en el rango entre 1 y 255 en la escala de grises. Y un valor de 0 todos aquellos pixeles con valores menores a 1.



Figura 15: Imagen del ojo en posición primaria, reconstruida a partir sus valores binarios

Fuente: Elaboración propia

En este punto ya se ha podido obtener la matriz de características para su clasificación, tanto para entrenar la red neuronal, como para ejecutarla en la detección del movimiento del ojo. La matriz de características figura de la siguiente manera:

```

0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

Figura 16: Matriz de características de la imagen del ojo en posición primaria.

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que los dígitos correspondientes a cada

pixel que conforman la matriz de características de la imagen, vienen a ser los datos para la capa de entrada de la red neuronal. Vale decir que la cantidad de valores de dicha matriz debe ser equivalente a la cantidad de neuronas que debe tener la capa de entrada.

3.1.1.3 Tercera Etapa: Diseño y entrenamiento de la red neuronal

A.- Diseño de la red neuronal

La red neuronal artificial utilizada para detectar el movimiento de los ojos, es del tipo Perceptrón Multicapa, la cual está conformada por múltiples capas, lo mismo que logra dar solución a problemas que no son linealmente separables, lo que no puede hacer el perceptrón simple.

Andrade E. (2013), menciona que el perceptrón multicapa presenta una estructura altamente no lineal; es tolerante a fallos y puede establecer una relación entre dos conjuntos de datos.

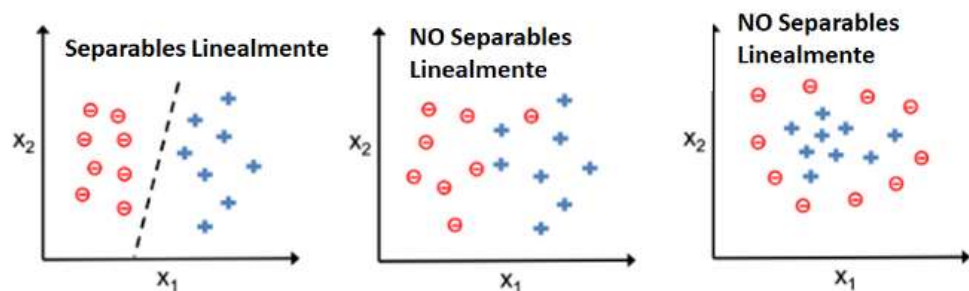


Figura 17: Comparación de gráficas de algoritmos linealmente separables con linealmente no separables

Fuente: Recuperado de, <https://medium.com/datos-y-ciencia/>

Actualmente para resolver problemas de clasificación de imágenes por medio de visión artificial existen las redes neuronales convolucionales, las cuales hacen dicha tarea con un buen desempeño pero con un alto costo computacional.

También es importante mencionar que una red neuronal convolucional por lo general termina en una red neuronal totalmente

conectada.

Soto, Corral, Rojo y Ramírez (2019). En su artículo en donde analiza el desempeño realizado por las redes neuronales profundas para segmentación semántica en hardware con limitaciones. Los autores mencionan que los modelos más comunes y eficientes para llevar a cabo la segmentación para detectar objetos en imágenes son las redes convolucionales. Sin embargo el costo computacional de estas redes es alto.

Valero J. (2019). En su tesis en donde analiza los modelos de predicción que se basan en la visión artificial aplicados al paralelismo. En dicha investigación se realiza una comparación del comportamiento de modelos predictivos basados en visión artificial cuando se adiciona una GPU al CPU, vale decir cuando están bajo la influencia del paralelismo. En dicho estudio se realiza un análisis comparativo entre las Redes neuronales clásicas (RN), El algoritmo k-vecinos más cercanos (KNN), las Redes neuronales recurrentes bidireccionales (RNCB), y las Redes neuronales convolucionales (RNC). En cuanto a los resultados, cuando no se aplica la computación paralela, las redes neuronales clásicas mostraron ampliamente un menor tiempo de procesamiento ante las demás redes. Las demás redes sólo mejoraron su tiempo cuando trabajan con CPU+GPU.

MODELOS	CPU		CPU+GPU	
	Precisión (%)	Tiempo (seg)	Precisión (%)	Tiempo (seg)
CN	84.20	69	86.66	56
KNN	96.16	1792	96.16	947
RNCB	96.86	713	97.66	268
RNC	99.27	1819	99.13	180

Figura 18: Comparación de modelos predictivos basados en visión artificial cuando se adiciona una GPU al CPU

Fuente: Valero J. (2019)

Un perceptrón multicapa puede estar total o parcialmente conectado. En el caso de la red neuronal utilizada en el presente proyecto se trata de una red neuronal artificial totalmente conectada del tipo perceptrón multicapa, por lo tanto la salida de cada una de las neuronas que se encuentran en la capa anterior es la entrada de cada una de las neuronas que se encuentran en la capa siguiente.

El perceptrón multicapa tiene una alta capacidad de generalización lo cual permite a una red neuronal artificial detectar o pronosticar casos nuevos, vale decir que no formaron parte del dataset o base de datos con la cual fueron entrenadas.

Otro de los beneficios de la utilización de las RNA del tipo perceptrón multicapa, para la detección de patrones en las imágenes del movimiento ocular desarrollado en la actual tesis, es el bajo costo en recursos computacionales y tiempo empleado para su desarrollo; en comparación con las redes neuronales convolucionales.

La arquitectura de la primera red neuronal utilizada para detectar el movimiento de los ojos en la presente investigación, se basa en 1 capa de entrada, 2 capas ocultas y 1 capa de salida. Con respecto a la cantidad de neuronas, la capa de entrada cuenta con 200 neuronas. La dos capas ocultas con 25 y 14 neuronas respectivamente; la capa de salida con 5 neuronas.

Con respecto a la cantidad de neuronas que debe tener una capa oculta, no existe una regla clara para definir las. Aunque existen autores como: Jeff Heaton, que afirman tener métodos empíricos que permiten determinar la cantidad de neuronas a establecer de manera eficiente para las capas ocultas, lo cual se tomó en este proyecto como punto inicial para luego optimizarlas en base a prueba y error.

Según, Jeff Heaton (2017). En su publicación en su portal la cual titula: "Investigación de Heaton, El número de capas ocultas". Menciona que es recomendable aplicar los métodos siguientes:

- La cantidad de neuronas ocultas tiene que estar definida entre la cantidad de neuronas que tiene la capa de entrada y la cantidad de neuronas que posee la capa de salida.
- La cantidad de neuronas ocultas tiene que estar conformada por los $\frac{2}{3}$ de la cantidad que posee la capa de entrada, más la cantidad que tiene la capa de salida.
- La cantidad de neuronas ocultas tiene que ser inferior al doble de la cantidad de neuronas que posee la capa de entrada.

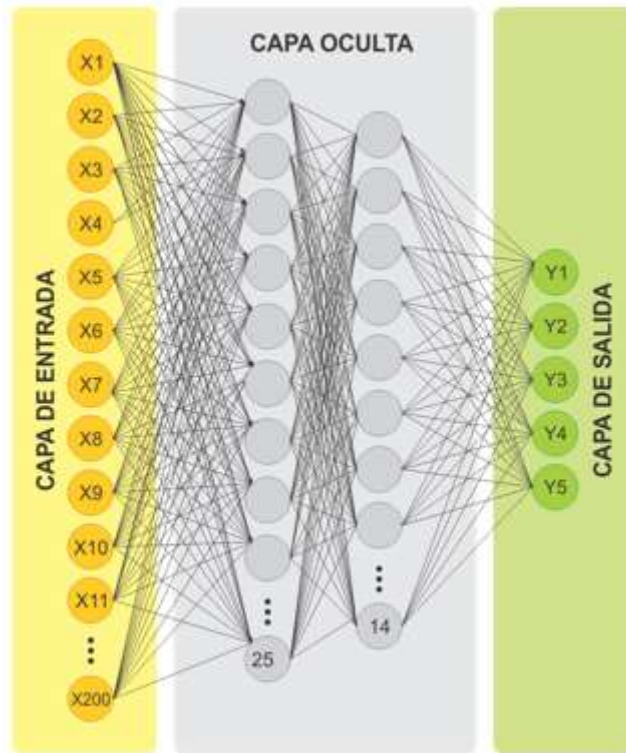


Figura 19: Arquitectura de red neuronal del tipo perceptrón multicapa

Fuente: Elaboración propia

Las neuronas que conforman la red neuronal artificial utilizada para la detección del movimiento de los ojos en el actual proyecto, son del tipo perceptrón y presentan la siguiente estructura:

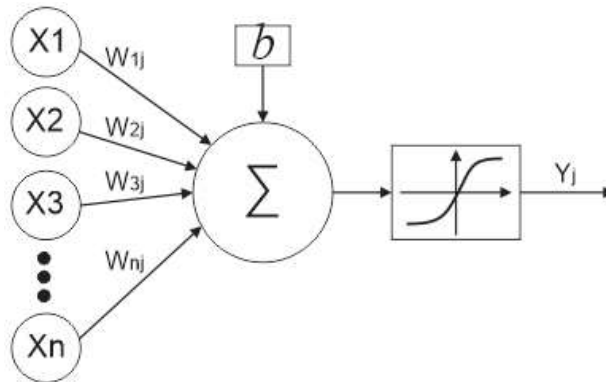


Figura 20: Neurona de tipo perceptrón multicapa
Fuente: Elaboración propia

Donde:

- X_n es el valor de cada entrada.
- W_{nj} es el peso sináptico de cada entrada.
- b es el sesgo o bias de cada neurona.
- Y_j es el valor de salida de la neurona.

Es preciso dar una explicación al esquema de la neurona del perceptrón multicapa presentado, para lo cual se hizo una descripción de cada uno de sus elementos y su implicancia en la red neuronal en estudio.

X_n : Representa al valor de entrada de una neurona y consiste en una variable que contiene un valor. En el presente proyecto, para la capa de entrada estos valores son tomados de la matriz de características obtenida de la binarización de la fotografía del movimiento ocular después de su tratamiento. La imagen tiene una dimensión de 20x10 pixeles, por lo tanto tiene un total de 200 pixeles, los cuales conforman los valores de entrada para cada una de las 200 neuronas que integran la capa de entrada. Al lograr la binarización de la imagen invertida se otorga el valor de 1 para los pixeles blancos y el valor de 0 para los pixeles negros.

W_{nj} : Representa al peso sináptico de cada entrada. El peso

sináptico refleja la intensidad de la interacción entre las neuronas de una y otra capa. Estos valores de interacción o conexión entre neuronas se logran en el proceso de entrenamiento cuando la red neuronal llega a converger. Estos pesos motivan la alta excitación, baja excitación o carencia de excitación de las neuronas de la red.

b: Representa el sesgo o bias de cada neurona. Estos valores bias de cada neurona se logran en el proceso de entrenamiento cuando la red neuronal llega a converger. Este es un valor desproporcionado que define la orientación o dirección que debe tomar el resultado o valor de salida de una neurona.

Y_j: Representa el valor de salida de la neurona. Dicho valor de salida está dado en función de su estado de activación. La función de activación en las neuronas de la red neuronal utilizada para detectar los movimientos de los ojos, es la función sigmoidea.

La función de transferencia empleada en la red neuronal está conformada por:

Sumatoria ponderada.- Esta permite ponderar y combinar varias entradas y pesos con la finalidad de obtener un solo resultado.

$$z = \sum_{j=1}^n w_j x_j + b$$

$$z = (x_1 * w_1) + (x_2 * w_2) + (x_n * w_n) + b$$

Función sigmoidea.- Específicamente la función sigmoidea logarítmica es una función de activación, la cual define el valor de salida de una neurona de acuerdo a una o un conjunto de entradas. Esta viene a ser una de las funciones de activación no lineal más utilizadas.

La función sigmoidea hace la transformación de los valores

introducidos a una escala entre (0, 1), en donde los valores muy altos tienden a 1 y los valores bastante bajos tienden a 0.

$$y = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

$$y = 1 / (1 + e^{-z})$$

La función sigmoidea presenta la siguiente forma cuando es representada en una gráfica.

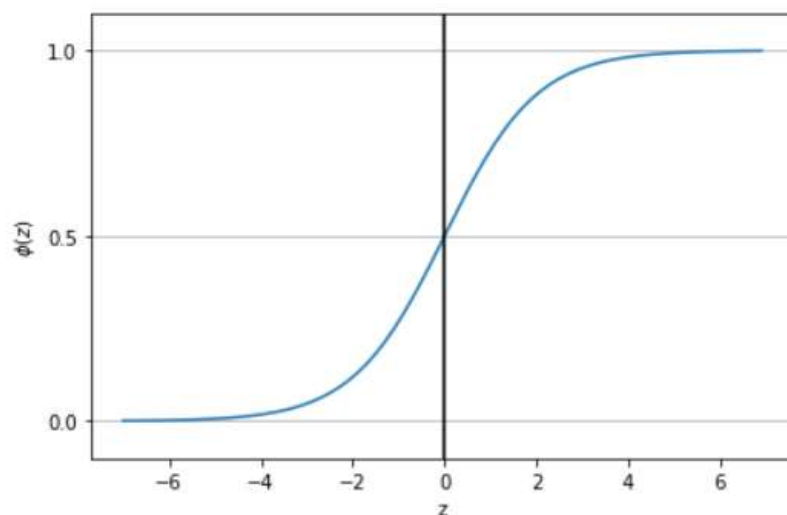


Figura 21: Función sigmoidea representada en una gráfica

Fuente: Recuperado de <https://medium.com/datos-y-ciencia/aprendizaje-supervisado>

B.- Entrenamiento de la red neuronal

Entrenar una red neuronal implica el ajuste de los pesos de cada una de las neuronas que la integran, es decir se intenta asignar a las neuronas los pesos que ofrezcan mejores resultados, esto con la finalidad de, que la capa de salida proporcione respuestas lo más aproximadas posible a la respuesta deseada.

El entrenamiento de la red neuronal artificial se realizó bajo el algoritmo backpropagation y fue un entrenamiento supervisado, haciendo uso del framework Joone.

Backpropagation o retro propagación consiste en un procedimiento

que tiene por finalidad hallar el vector de gradiente de una función error vinculada a la salida de la red en relación a sus parámetros. Este cálculo se realiza en sentido inverso de la red, es decir realizando una propagación desde las neuronas que se encuentran en la capa de salida hacia las neuronas que se encuentran en la capa de entrada.

Cuando se habla de entrenamiento supervisado, se requiere de un dataset el cual proporciona los datos que contienen los patrones de características de los elementos que se desea enseñar a la red, vale decir el modelo de lo que queremos que la red neuronal aprenda. En este caso fueron entrenadas dos redes neuronales con diferentes dataset, los cuales están conformados por imágenes de los movimientos de los ojos. Dichos dataset deben estar relacionados a una respuesta deseada.

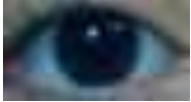

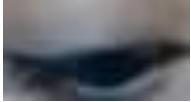
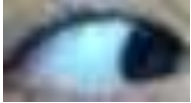

El dataset para el entrenamiento de la primera red neuronal para la detección de los movimientos de los ojos, está compuesto por 35 imágenes correspondientes a los cinco movimientos oculares, conformados de la siguiente manera: 7 imágenes de la posición primaria del ojo, 7 imágenes de movimiento superversión, 7 imágenes de movimiento infraversión, 7 imágenes de movimiento levoversión, 7 imágenes de movimiento dextroversión. La segunda red neuronal fue entrenada con un dataset compuesto por 175 imágenes correspondientes a los cinco movimientos oculares, conformados por 35 imágenes para cada uno de los cinco movimientos que conforman la clasificación de los movimientos de los ojos.

Para binarizar las imágenes que conforman el dataset de la primera red neuronal se hace uso del módulo "GENERAR DATASET" de la aplicación prototipo desarrollada, ingresando a la siguiente url: <https://visiondirection.sistemasdegestion.site/muestra2.php>

En la siguiente tabla se muestra el esquema de los cinco

movimientos del ojo.

Tabla 5: Esquema de los cinco movimientos de los ojos

Estímulo		Dataset	Matriz de características del dataset	Respuesta deseada
Mirada al frente	Posición primaria		000000000000000000000000 0000001111111110000000 0000110111111011000000 0001000111011110000000 0110000111111111000000 0100000111111111000000 0000000011111100000000 0000000011111000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000	10000
Mirada hacia arriba	Supraversión		0010001111111100000000 0000011111111000000000 0000011110100000000000 0000011100100000000000 0000001110000000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000	01000
Mirada hacia abajo	Infraversión		0000000000000000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000 00000000111111011110 0011111111111111110000 0001111111111111100000 0001110011111100000000	00100
Mirada hacia la izquierda	Leroversión		0000000000000000000000 0000000000000000000000 0001100000000000110000 0011000000000000111000 1110000000000011111110 1100000000000011111111 0000000000000011111110 0000000000000011111100 0000000000000011000000 0000000000000000000000	00010
Mirada hacia la derecha	Dextroversión		0000000000000000000000 0000000000000000000000 0000000000000000000000 0011111110000000000000 1111110000000000000000 1111110000000000000000 1111110000000000000000 0001110000000000000000 0000110000000000000000 0000000000000000000000	00001

En la tabla anterior se puede apreciar que la matriz de características del dataset, está conformada por una matriz de valores binarios, es decir una cadena de dígitos conformada por valores de 0 y 1.

Gracias al proceso de entrenamiento se obtuvieron los valores óptimos de los pesos sinápticos de las interacciones entre las neuronas de la red, así como también los valores bias o umbrales de las neuronas de cada capa.

La configuración del entrenamiento de la primera red neuronal en la cual se obtuvo una mejor convergencia, fue la siguiente:

- Cantidad de capas: 4. Una capa de entrada, dos capas ocultas, una capa de salida.
- Cantidad de neuronas: 244. Doscientas neuronas en la capa de entrada; Veinticinco neuronas en la primera capa oculta; Catorce neuronas en la segunda capa oculta; Cinco neuronas en la capa de salida.
- El dataset está conformado por 35 imágenes correspondientes a los cinco movimientos oculares, 7 por cada movimiento. Los cinco movimientos son; posición primaria, supravversión, infravversión, levovversión, dextrovversión.
- Épocas: 2000. Se puede describir a una época como un ciclo de ida y vuelta, de todos los ejemplos de entrenamiento.
- RMSE alcanzado: 0.004873535903
- Tasa de aprendizaje: 0.7
- Impulso (momentum): 0.6

Se realizaron 9 procesos de entrenamiento con diferentes configuraciones, en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6: Resultados de entrenamiento de la primera red neuronal

	Épocas	Nro. de neuronas en 1ra capa oculta	Nro. de neuronas en 2da capa oculta	Tasa de aprendizaje	RMSE
Diseño 1	2000	15	8	0.7	0.006701409339
Diseño 2	2000	25	14	0.7	0.004873535903
Diseño 3	2000	35	18	0.7	0.004978022098
Diseño 4	2000	45	23	0.7	0.004885231714
Diseño 5	2000	55	28	0.7	0.004984079499
Diseño 6	2000	65	33	0.7	0.004430914473
Diseño 7	2000	75	38	0.7	0.003476182240
Diseño 8	2000	85	43	0.7	0.004504025506
Diseño 9	2000	95	48	0.7	0.004451508697

Se puede observar en la Tabla 6, correspondiente a los resultados obtenidos en base al entrenamiento para definir la arquitectura de la primera red neuronal, que los valores en el error cuadrático medio (RMSE) obtenidos, no muestran una diferencia considerable, por lo cual se decidió implementar el Diseño 2, correspondiente a la red neuronal con una arquitectura de 25 neuronas en la primera capa oculta y 14 neuronas en la segunda capa oculta; tomando en cuenta que esta es una de las redes que menor cantidad de conexiones presenta y está entre las de menor valor RMSE obtenido. Esto es favorable para la velocidad de proceso del algoritmo en la tarea de clasificación.

La Tasa de aprendizaje determina la cantidad de actualización del peso en el proceso de entrenamiento de una red neuronal, esta tasa es un hiperparámetro configurable y tiene un valor positivo comprendido entre 0.0 y 1.0

El RMSE, error cuadrático medio, es el proceso que mide la cantidad de error que existe entre el valor de la predicción y el valor observado, vale decir de los datos de la respuesta deseada. El valor RMSE óptimo en un proceso de entrenamiento es el valor más aproximado a 0.

La fórmula para aplicar el error cuadrático medio (RMSE) es:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

En donde:

P: Valor de la predicción

O: Valor observado

Las respuestas deseadas conforme al dataset integrado por las 35 imágenes de los movimientos de los ojos, están conformados de acuerdo a la siguiente matriz. A esta se denominó matriz de respuestas deseadas.

0.0; 0.0; 1.0; 0.0; 0.0
0.0; 0.0; 1.0; 0.0; 0.0
0.0; 0.0; 1.0; 0.0; 0.0
0.0; 0.0; 1.0; 0.0; 0.0
0.0; 0.0; 1.0; 0.0; 0.0
0.0; 0.0; 1.0; 0.0; 0.0
0.0; 0.0; 1.0; 0.0; 0.0
0.0; 1.0; 0.0; 0.0; 0.0
0.0; 1.0; 0.0; 0.0; 0.0
0.0; 1.0; 0.0; 0.0; 0.0
0.0; 1.0; 0.0; 0.0; 0.0
0.0; 1.0; 0.0; 0.0; 0.0
0.0; 1.0; 0.0; 0.0; 0.0
0.0; 1.0; 0.0; 0.0; 0.0
0.0; 0.0; 0.0; 0.0; 1.0
0.0; 0.0; 0.0; 0.0; 1.0
0.0; 0.0; 0.0; 0.0; 1.0
0.0; 0.0; 0.0; 0.0; 1.0
0.0; 0.0; 0.0; 0.0; 1.0
0.0; 0.0; 0.0; 0.0; 1.0
0.0; 0.0; 0.0; 0.0; 1.0
1.0; 0.0; 0.0; 0.0; 0.0

1.0; 0.0; 0.0; 0.0; 0.0
1.0; 0.0; 0.0; 0.0; 0.0
1.0; 0.0; 0.0; 0.0; 0.0
1.0; 0.0; 0.0; 0.0; 0.0
1.0; 0.0; 0.0; 0.0; 0.0
1.0; 0.0; 0.0; 0.0; 0.0
0.0; 0.0; 0.0; 1.0; 0.0
0.0; 0.0; 0.0; 1.0; 0.0
0.0; 0.0; 0.0; 1.0; 0.0
0.0; 0.0; 0.0; 1.0; 0.0
0.0; 0.0; 0.0; 1.0; 0.0
0.0; 0.0; 0.0; 1.0; 0.0
0.0; 0.0; 0.0; 1.0; 0.0

Figura 22: Matriz de respuestas deseadas

Fuente: Elaboración propia

Después de ejecutar el entrenamiento de la red, se obtuvo una matriz con el siguiente resultado, a esta se denominó matriz de resultados obtenidos:

0.0012720043340613317; 2.313489240494938E-6; 0.9970114937221969; 0.0018107426673082186; 0.0018587466404736278
0.0019144795074563347; 2.394313338417715E-6; 0.9966414213136061; 0.0014969301618394583; 0.0019517866424061333
0.0016817866887192568; 2.274500186928233E-6; 0.9969330178400104; 0.001553810932593059; 0.0019294302262944161
9.604515734045548E-4; 2.3731305011896246E-6; 0.9968987049173347; 0.002079445277148971; 0.0018554083032518128
0.001543378771938723; 1.9784602880322403E-6; 0.9968200557890808; 0.0014292834380317942; 0.0022210408957012047
6.613608481801058E-4; 2.1765832718217478E-6; 0.9966781675484674; 0.002359512728691369; 0.0020252330352573313
8.134408955454197E-4; 1.906646426363549E-6; 0.9961908826669028; 0.0016380643340074728; 0.0026595195727554394
0.0023836224105640903; 0.9966305220893847; 5.587691313719612E-4; 0.003131700804268404; 3.330634155208996E-4
0.0030414748187182266; 0.9968479212156011; 5.747657819911036E-4; 0.0028017649683556986; 3.189061533559962E-4
0.002585384086093312; 0.9968365672433457; 5.595189268043241E-4; 0.002982842292900092; 3.2715365188067244E-4
0.00284711771128224; 0.9968893411123605; 5.694130217928035E-4; 0.002864489247771563; 3.207738237912063E-4
0.0023220076994114745; 0.996449376906986; 5.566154391365311E-4; 0.0031888344526861184; 3.38814214248586E-4
0.0024222840334403467; 0.9966183619344815; 5.577060195955644E-4; 0.003102885950951753; 3.339602895107562E-4
0.0025356826616972877; 0.9967470846933386; 5.619304036278343E-4; 0.003024720476901403; 3.2854340553541573E-4
5.195399476329715E-10; 1.3220324095142115E-8; 8.845876223151423E-4; 0.0012452275668744443; 0.997950441626345
1.6971330291239264E-9; 1.4887133143823647E-8; 0.0018064378117125129; 5.809075956143161E-4; 0.9971268049110706
9.860871707694236E-10; 1.3429051724733186E-8; 0.0014269403642642598; 7.927550754688437E-4; 0.9975412639270025
6.784239562617998E-10; 1.0817390260633092E-8; 0.0013585530062563552; 9.273762278420688E-4; 0.9978891411494534
8.402323873137236E-10; 1.757042346866232E-8; 0.0010114325525664907; 0.0010341017841949017; 0.9973957749587735
6.070634877990183E-10; 3.42513807037498E-8; 4.1603457072263573E-4; 0.0019003247507170516; 0.9970993306824472

1.241261537378307E-9; 2.785417167122715E-8; 8.369066028446259E-4; 0.001042467972034474; 0.9966559264210079
0.9967939215106683; 0.002650177350392963; 0.0037970728610895103; 1.63687701329505E-4; 0.0012519085366345763
0.9968271405462391; 0.0027027078820192826; 0.00374057828715942; 1.6404635518059505E-4; 0.0012518228962422274
0.9965653221160798; 0.0026133172555243183; 0.003984860993339853; 1.6591543238029063E-4; 0.0012417469925896103
0.9962591101461384; 0.003232005576063787; 0.003707961286965453; 1.7590432201740973E-4; 0.0012080247336792027
0.9966209056004162; 0.0029559447462009785; 0.0036897247613965505; 1.6973465219450765E-4; 0.0012323030254738007
0.9968679740260876; 0.002723831870740551; 0.003703977131864275; 1.6409816749902417E-4; 0.0012527307190841053
0.9968662123595855; 0.0027592907577740303; 0.003683377543269201; 1.6475880473989957E-4; 0.001251071051425733
6.626449171622058E-9; 0.001936433597445485; 0.001895097800310565; 0.9972789208416926; 0.0024525537478635134
7.839646594811026E-9; 0.0022487789744565796; 0.001956079314692969; 0.997034915317334; 0.0022490370800461717
7.788921101668482E-9; 0.002128808860638349; 0.002091167532176593; 0.9970895326886324; 0.00219348077163129
7.130429691093212E-9; 0.002210910516517394; 0.001722722949281425; 0.99712866728373; 0.002469665742770426
5.905040988239242E-9; 0.0017434859979492334; 0.001730656421457458; 0.9972431574451782; 0.0028042794210637384
7.1043498546088925E-9; 0.001997754832777823; 0.0019397308874660865; 0.9970902664913048; 0.0024156743983952083
6.2471287594910035E-9; 0.001711449299502731; 0.0019270346053768417; 0.9971898094527727; 0.002631085090629652

Figura 23: Matriz de resultados obtenidos

Fuente: Elaboración propia

Al observar las matrices se puede afirmar que los valores de la matriz de respuesta deseada son semejantes a los valores de la matriz de resultados obtenidos. Por consiguiente la red neuronal para detectar los movimientos de los ojos ha llegado a converger.

Por lo tanto la respuesta de la red neuronal ante el estímulo, está conformada por una cadena de 5 dígitos o caracteres, los cuales tienen los siguientes valores:

Tabla 7: Cadena de respuestas deseadas

Estímulo	Cadena de respuesta
Posición primaria o Mirada al frente	10000
Supraversión o Mirada hacia arriba	01000
Infraversión o Mirada hacia abajo	00100
Levoversión o Mirada hacia la izquierda	00010
Dextroversión o Mirada hacia la derecha	00001

La configuración del entrenamiento de la segunda red neuronal en la cual se obtuvo una mejor convergencia, fue la siguiente:

- Cantidad de capas: 3. Una capa de entrada, una capa oculta, una capa de salida.
- Cantidad de neuronas: 275. Doscientas neuronas en la capa de entrada; Setenta neuronas en la capa oculta; Cinco neuronas en la capa de salida.
- El dataset está conformado por 175 imágenes correspondientes a los cinco movimientos oculares, 35 por cada movimiento. Los cinco movimientos son; posición primaria, suproversión, infraversión, levoversión, dextroversión.
- Épocas: 3000. Se puede describir a una época como un ciclo de ida y vuelta, de todos los ejemplos de entrenamiento.
- RMSE alcanzado: 0.097759323632
- Tasa de aprendizaje: 0.7
- Impulso (momentum): 0.6

Se realizaron 9 procesos de entrenamiento con diferentes configuraciones, en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8: Resultados de entrenamiento de la segunda red neuronal

	Épocas	Cantidad de neuronas en la capa oculta	Tasa de aprendizaje	RMSE
Diseño 1	3000	20	0.7	0.894427190598
Diseño 2	3000	30	0.7	0.894425664256
Diseño 3	3000	40	0.7	0.707106686697
Diseño 4	3000	50	0.7	1.048808848840
Diseño 5	3000	60	0.7	0.894427188861
Diseño 6	3000	70	0.7	0.097759323632
Diseño 7	3000	80	0.7	0.894427182882
Diseño 8	3000	90	0.7	0.894427190983
Diseño 9	3000	100	0.7	0.894427214231

Se puede observar en la Tabla 8, correspondiente a los resultados del entrenamiento de la segunda red neuronal, que la mayoría de valores en el error cuadrático medio (RMSE) obtenidos, tampoco muestran una diferencia considerable, aunque dichos valores no son apropiados para ser implementados en una red neuronal por ser bastante altos. El único RMSE obtenido con la mayor aproximación a cero es el Diseño 6, vale decir la red neuronal con una capa oculta de 70 neuronas, por lo cual se decidió implementarla en la aplicación que llevará a cabo la tarea de clasificación.

Para binarizar las imágenes que conforman el dataset de la segunda red neuronal se hace uso del módulo “GENERAR DATASET” de la aplicación prototipo desarrollada, ingresando a la siguiente url: <https://visiondirection175.sistemasdegestion.site/muestra2.php>

3.1.1.4 Cuarta Etapa: Implementación de prototipo y medición de desempeño de la red neuronal

A.- Implementación de prototipo

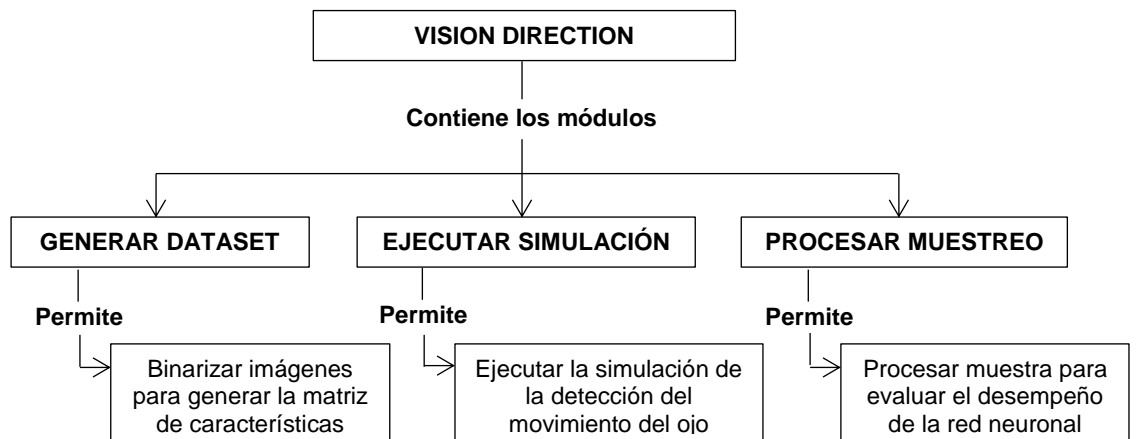


Figura 24: Mapa conceptual de prototipo llamado VISION DIRECTION.

Fuente: Elaboración propia.

El entorno de simulación o prototipo, al cual se le puso por nombre VISION DIRECTION, que traducido quiere decir DIRECCIÓN DE LA

VISIÓN, es una aplicación creada en el lenguaje de programación PHP en su versión 7.4.4, la cual permite hacer el tratamiento de imágenes, obtener las matrices de vectores correspondientes a cada una de las fotos de las distintas posiciones del globo ocular; las mismas que también son utilizadas para llevar a cabo el entrenamiento. Para finalmente utilizando las redes neuronales artificiales, hacer la detección del movimiento del ojo.

La metodología que fue usada para el desarrollo de la aplicación es la metodología del prototipo, y la arquitectura del software es MVC, modelo-vista-controlador.

La aplicación implementada consta básicamente de 3 módulos, los cuales son: Un módulo que permite binarizar las imágenes de los movimientos del ojo para generar la matriz de características. Un módulo que permite ejecutar la simulación de la detección del movimiento del ojo. Y un módulo que permite procesar el muestreo para la evaluación del desempeño de la red neuronal.

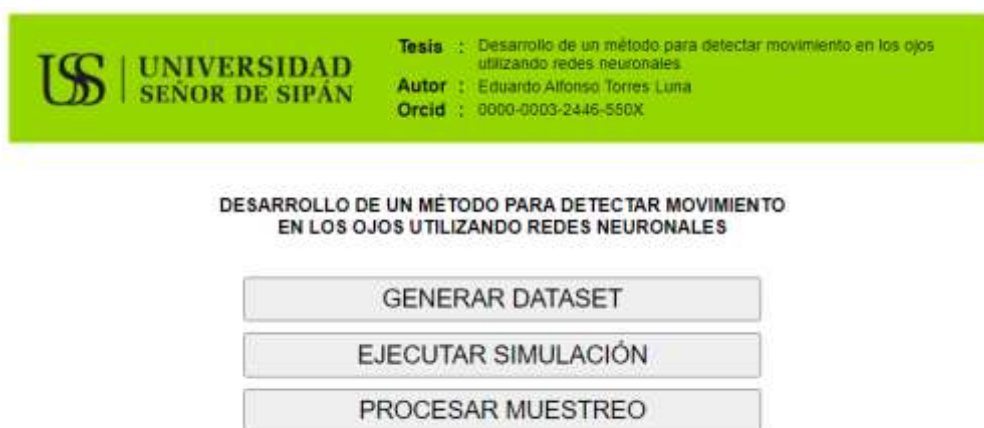


Figura 25: Pantalla principal del prototipo o programa de simulación VISION DIRECTION.

Fuente: Elaboración propia, recuperada de:
<https://visiondirection.sistemasdegestion.site>

**SIMULADOR PARA DETECTAR MOVIMIENTO
EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES NEURONALES**



Seleccione la imagen de la posición
ocular

EJECUTAR DETECCIÓN DEL MOVIMIENTO DEL OJO

Figura 27: Módulo del prototipo VISION DIRECTION para ejecutar la simulación de detección del movimiento de los ojos.

Fuente: Elaboración propia, recuperada de

<https://visiondirection.sistemasdegestion.site/simulacion.php>

Inicialmente realiza el tratamiento de la imagen seleccionada del movimiento ocular, aplicando los procesos de: Redimensionamiento, conversión a escala de grises, ecualización de histograma con el aumento del brillo, inversión de colores de la imagen y binarización. Como resultado se obtiene la matriz de características de la imagen del movimiento del ojo, la cual como datos de entrada es ingresada a la red neuronal, para detectar el movimiento del ojo. Y finalmente obtener como datos de salida la cadena de respuesta de 5 dígitos o caracteres, correspondiente a la detección del movimiento del ojo.

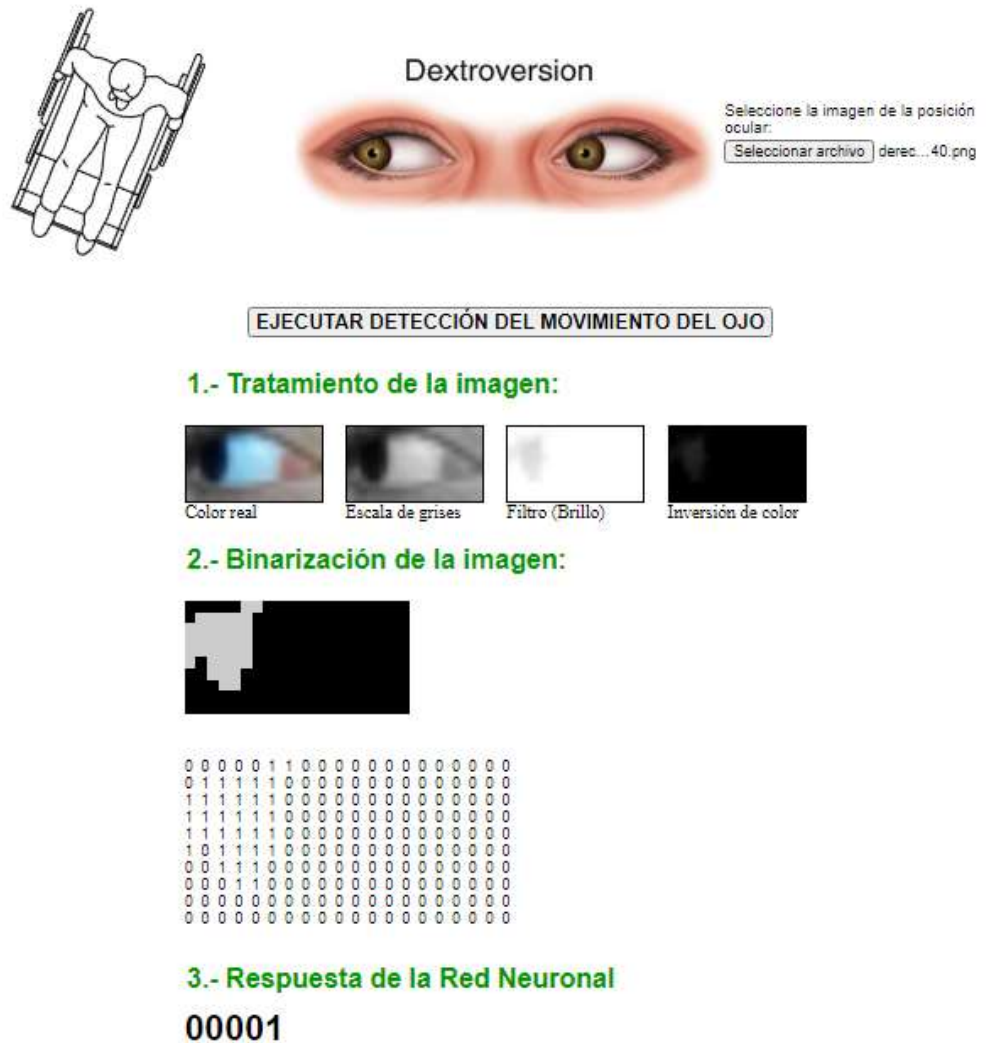


Figura 28: Módulo del prototipo VISION DIRECTION para ejecutar la simulación de detección del movimiento de los ojos, con datos de respuesta.

Fuente: Elaboración propia, recuperada de

<https://visiondirection.sistemasdegestion.site/simulacion.php>

Módulo: PROCESAR MUESTREO

El módulo de procesar muestreo es el que permite obtener los datos para evaluar el desempeño de la red neuronal en base a la muestra. Este módulo hace el tratamiento de las 385 imágenes correspondientes a la muestra, les extrae su matriz de características, las somete a la red neuronal y obtiene la cadena de respuesta por cada una de ellas.

385 imágenes detectadas				
Imagen	Archivo de imagen	Matriz de respuesta	Movimiento ocular detectada	Acierto(1), Error(0)
	abajo_01.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_02.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_03.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_04.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_05.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_06.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_07.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_08.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_09.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1

Figura 29: Módulo del prototipo VISION DIRECTION para ejecutar la simulación de detección del movimiento de los ojos en base a la muestra.

Fuente: Elaboración propia, recuperada de

<https://visiondirection.sistemasdegestion.site/muestra.php>

B.- Medición de desempeño de la red neuronal

Para medir el desempeño de una red neuronal artificial de entrenamiento de tipo supervisado, como lo es la red utilizada para reconocer el movimiento que realizan los ojos en el presente proyecto de investigación, se hizo uso de la herramienta de matriz de confusión.

Evaluación de la primera red neuronal

Para la evaluación de la primera red neuronal se obtuvieron los

valores de la clasificación de los movimientos oculares en base a la muestra, ingresando al módulo “PROCESAR MUESTREO” de la aplicación prototipo desarrollada. Para obtener los resultados del muestreo de la primera red neuronal se debe ingresar a la siguiente url: <https://visiondirection.sistemasdegestion.site/muestra.php>

Los resultados de la clasificación de los movimientos oculares detectados por la primera red neuronal se pueden observar en (Tabla 19) en el (Anexo 10).

En función a la muestra, se tomaron un total de 385 fotografías del ojo derecho de una niña de 9 años de edad y de ojos negros. Las fotografías de la muestra estuvieron distribuidas de la siguiente manera: 77 de posición primaria, 77 de supravversión, 77 de infravversión, 77 de levovversión, 77 de dextrovversión. Se llevó acabo la simulación y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 9: Resultados de evaluación de la primera red neuronal

	Imágenes clasificadas correctamente	Imágenes clasificadas incorrectamente	Total de imágenes
Posición primaria	77	0	77
Supravversión	77	0	77
Infravversión	77	0	77
Levovversión	77	0	77
Dextrovversión	77	0	77

A continuación se visualiza la matriz de confusión con los resultados de detección en base a la muestra:

Tabla 10: Matriz de confusión de los resultados de la primera red neuronal

		Predicción				
		Posición primaria	Supraversión	Infraversión	Leroversión	Dextroversión
Realidad	Posición primaria	77	0	0	0	0
	Supraversión	0	77	0	0	0
	Infraversión	0	0	77	0	0
	Leroversión	0	0	0	77	0
	Dextroversión	0	0	0	0	77

Tabla 11: Cálculo de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad, de la primera red neuronal

	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	Especificidad
	$\frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}$	$\frac{VP}{FP + VP}$	$\frac{VP}{VP + FN}$	$\frac{VN}{VN + FP}$
Posición primaria	$= \frac{77+308}{77+308+0+0} = 1$	$= \frac{77}{0+77} = 1$	$= \frac{77}{77+0} = 1$	$= \frac{308}{308+0} = 1$
Supraversión	$= \frac{77+308}{77+308+0+0} = 1$	$= \frac{77}{0+77} = 1$	$= \frac{77}{77+0} = 1$	$= \frac{308}{308+0} = 1$
Infraversión	$= \frac{77+308}{77+308+0+0} = 1$	$= \frac{77}{0+77} = 1$	$= \frac{77}{77+0} = 1$	$= \frac{308}{308+0} = 1$
Leroversión	$= \frac{77+308}{77+308+0+0} = 1$	$= \frac{77}{0+77} = 1$	$= \frac{77}{77+0} = 1$	$= \frac{308}{308+0} = 1$
Dextroversión	$= \frac{77+308}{77+308+0+0} = 1$	$= \frac{77}{0+77} = 1$	$= \frac{77}{77+0} = 1$	$= \frac{308}{308+0} = 1$

Tabla 12: Resultados en porcentajes de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad, de la primera red neuronal

Estímulo	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	Especificidad
Posición primaria	100%	100%	100%	100%
Supraversión	100%	100%	100%	100%
Infraversión	100%	100%	100%	100%
Levoversión	100%	100%	100%	100%
Dextroversión	100%	100%	100%	100%

Exactitud promedio: 100%

Precisión promedio: 100%

Sensibilidad promedio: 100%

Especificidad promedio: 100%

Seguidamente para la evaluación de la primera red neuronal, se calcula la concordancia entre las clasificaciones reales de los movimientos oculares y las clasificaciones realizadas por la red neuronal. Para esto se utilizó el índice de Kappa.

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Para poder calcular la concordancia mediante el índice de Kappa, primero debe obtenerse los valores de la proporción de acuerdos observados (P_o), así como también la proporción de acuerdos esperados por azar (P_e). Los datos para los cálculos son tomados de la matriz de confusión en base a los resultados de la primera red neuronal (Tabla 12).

Tabla 13: Matriz de confusión de los resultados de la primera red neuronal para calcular índice de Kappa

		Predicción					
		Posición primaria	Supraversión	Infraversión	Levoversión	Dextroversión	
Realidad	Posición primaria	77	0	0	0	0	77
	Supraversión	0	77	0	0	0	77
	Infraversión	0	0	77	0	0	77
	Levoversión	0	0	0	77	0	77
	Dextroversión	0	0	0	0	77	77
		77	77	77	77	77	

Cálculo de la proporción de acuerdos observados de la primera red neuronal (P_o).

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^r n_i}{N}$$

$$P_o = \frac{77+77+77+77+77}{385}$$

$$P_o = \frac{385}{385}$$

$$P_o = 1$$

Cálculo de la proporción de acuerdos esperados por azar de la primera red neuronal (P_e).

$$P_e = \frac{\sum_{i=1}^r (n_{i1} * n_{i2})}{N^2}$$

$$P_e = \frac{(77*77)+(77*77)+(77*77)+(77*77)+(77*77)}{385^2}$$

$$P_e = \frac{29,645}{148,225}$$

$$P_e = 0.2$$

Cálculo del coeficiente Kappa de la primera red neuronal (K).

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

$$K = \frac{1 - 0.2}{1 - 0.2}$$

$$K = \frac{0.8}{0.8}$$

$$K = 1$$

Por lo tanto, la concordancia en base al índice de Kappa, en la evaluación de la primera red neuronal utilizada para detectar los movimientos de los ojos, tiene un valor de 1. Y de acuerdo a la valoración del coeficiente de Kappa, (Tabla 2), la fuerza de concordancia es: Casi perfecto.

Evaluación de la segunda red neuronal

Para la evaluación de la segunda red neuronal se obtuvieron los valores de la clasificación de los movimientos oculares en base a la muestra, ingresando al módulo "PROCESAR MUESTREO" de la aplicación prototipo desarrollada. Para obtener los resultados del muestreo de la segunda red neuronal se debe ingresar a la siguiente url: <https://visiondirection175.sistemasdegestion.site/muestra.php> Los resultados de la clasificación de los movimientos oculares detectados por la segunda red neuronal se pueden observar en (Tabla 20) en el (Anexo 11).

Se llevó a cabo la medida del desempeño de una segunda red neuronal, cuyo dataset para su entrenamiento, está conformado por 175 imágenes correspondientes a los cinco movimientos oculares

conformados de la siguiente manera: 35 imágenes de la posición primaria del ojo, 35 imágenes de movimiento suproversión, 35 imágenes de movimiento infraversión, 35 imágenes de movimiento levoversión, 35 imágenes de movimiento dextroversión.

A diferencia de la primera red neuronal cuyo entrenamiento fue con imágenes de una misma persona de ojos negros; la segunda fue entrenada con imágenes de ojos de diferentes colores, pertenecientes a diferentes personas de diferentes sexos, diferentes edades y diferentes rasgos. Dichas imágenes fueron obtenidas de imágenes de personas anónimas publicadas en internet, en ambientes no controlados.

Se aplicó la misma muestra, conformada por un total de 385 fotografías de movimientos de los ojos, que fueron tomadas de la misma persona que proporcionó las fotos para el entrenamiento de la primera red neuronal, cuya muestra está distribuida de la siguiente manera: 77 de posición primaria, 77 de suproversión, 77 de infraversión, 77 de levoversión, 77 de dextroversión. Después de llevada a cabo la simulación, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 14: Resultados de evaluación de la segunda red neuronal

	Imágenes clasificadas correctamente	Imágenes clasificadas incorrectamente	Total de imágenes
Posición primaria	77	0	77
Suproversión	77	0	77
Infraversión	77	0	77
Levoversión	77	0	77
Dextroversión	71	6	77

A continuación se visualiza la matriz de confusión con los resultados de clasificación de la segunda red neuronal, en base a la muestra:

Tabla 15: Matriz de confusión de los resultados de la segunda red neuronal

		Predicción				
		Posición primaria	Supraversión	Infraversión	Leroversión	Dextroversión
Realidad	Posición primaria	77	0	0	0	0
	Supraversión	0	77	0	0	0
	Infraversión	0	0	77	0	0
	Leroversión	0	0	0	77	0
	Dextroversión	6	0	0	0	71

Tabla 16: Cálculo de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad, de la segunda red neuronal

	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	Especificidad
	$\frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}$	$\frac{VP}{FP + VP}$	$\frac{VP}{VP + FN}$	$\frac{VN}{VN + FP}$
Posición primaria	$= \frac{77+302}{77+302+6+0}$ = 0.98442	$= \frac{77}{6 + 77}$ = 0.92771	$= \frac{77}{77 + 0}$ = 1	$= \frac{302}{302 + 6}$ = 0.98052
Supraversión	$= \frac{77+308}{77+308+0+0}$ = 1	$= \frac{77}{0 + 77}$ = 1	$= \frac{77}{77 + 0}$ = 1	$= \frac{308}{308 + 0}$ = 1
Infraversión	$= \frac{77+308}{77+308+0+0}$ = 1	$= \frac{77}{0 + 77}$ = 1	$= \frac{77}{77 + 0}$ = 1	$= \frac{308}{308 + 0}$ = 1
Leroversión	$= \frac{77+308}{77+308+0+0}$ = 1	$= \frac{77}{0 + 77}$ = 1	$= \frac{77}{77 + 0}$ = 1	$= \frac{308}{308 + 0}$ = 1
Dextroversión	$= \frac{71+308}{71+308+0+6}$ = 0.98442	$= \frac{71}{0 + 71}$ = 1	$= \frac{71}{71 + 6}$ = 0.92208	$= \frac{308}{308 + 0}$ = 1

Tabla 17: Resultados en porcentajes de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad, de la segunda red neuronal

Estímulo	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	Especificidad
Posición primaria	98.44%	92.77%	100%	98.05%
Supraversión	100%	100%	100%	100%
Infraversión	100%	100%	100%	100%
Levoversión	100%	100%	100%	100%
Dextroversión	98.44%	100%	92.21%	100%

Exactitud promedio: 99.38%

Precisión promedio: 98.55%

Sensibilidad promedio: 98.00%

Especificidad promedio: 99.61%

Seguidamente para la evaluación de la segunda red neuronal, se calculó la concordancia entre las clasificaciones reales de los movimientos oculares y las clasificaciones realizadas por la red neuronal. Para esto también se utilizó el índice de Kappa.

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Como se mencionó anteriormente, para poder calcular la concordancia mediante el índice de Kappa, primero debe obtenerse los valores de la proporción de acuerdos observados (P_o), así como también la proporción de acuerdos esperados por azar (P_e). Los datos para los cálculos son tomados de la matriz de confusión con respecto a los resultados de la segunda red neuronal (Tabla 17).

Tabla 18: Matriz de confusión de los resultados de la segunda red neuronal para calcular índice de Kappa

		Predicción					
		Posición primaria	Supraversión	Infraversión	Levoversión	Dextroversión	
Realidad	Posición primaria	77	0	0	0	0	77
	Supraversión	0	77	0	0	0	77
	Infraversión	0	0	77	0	0	77
	Levoversión	0	0	0	77	0	77
	Dextroversión	6	0	0	0	71	77
		83	77	77	77	71	

Cálculo de la proporción de acuerdos observados de la segunda red neuronal (P_o).

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^r n_i}{N}$$

$$P_o = \frac{77+77+77+77+71}{385}$$

$$P_o = \frac{379}{385}$$

$$P_o = 0.9844$$

Cálculo de la proporción de acuerdos esperados por azar de la segunda red neuronal (P_e).

$$P_e = \frac{\sum_{i=1}^r (n_{i1} * n_{i2})}{N^2}$$

$$P_e = \frac{(83*77)+(77*77)+(77*77)+(77*77)+(71*77)}{385^2}$$

$$P_e = \frac{6,391 + 5,929 + 5,929 + 5,929 + 5,467}{385^2}$$

$$P_e = \frac{29,645}{148,225}$$

$$P_e = 0.2$$

Cálculo del coeficiente Kappa de la segunda red neuronal (K).

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

$$K = \frac{0.9844 - 0.2}{1 - 0.2}$$

$$K = \frac{0.7844}{0.8}$$

$$K = 0.9805$$

Por lo tanto, la concordancia en base al índice de Kappa, en la evaluación de la segunda red neuronal utilizada para detectar los movimientos de los ojos, tiene un valor de 0.98. Y de acuerdo a la valoración del coeficiente de Kappa, (Tabla 2), la fuerza de concordancia también es: Casi perfecto.

3.2. Discusión de Resultados

A continuación se detallan los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación de acuerdo al método desarrollado y sus etapas.

La propuesta del método desarrollado para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales artificiales, en base al juicio de expertos; es ADECUADA. Dichas calificaciones se encuentran en (Anexos 12, 13 y 14).

En la primera etapa del método la cual implica catalogar las imágenes de los movimientos físicos de los ojos para la conformación del dataset. Se logró la catalogación de dichos movimientos en cinco clases y asignar una matriz de respuesta deseada por cada clase. Las clases asignadas con su respectiva matriz de respuesta deseada en codificación one-hot son: Posición primaria (10000), Supraversión (01000), Infraversión (00100), Levoversión (00010), Dextroversión (00001). Con respecto al patrón utilizado para determinar el movimiento ocular en esta primera etapa, se hizo uso de la posición de los píxeles del iris, ya que se tomó en cuenta que las imágenes recolectadas de los movimientos oculares para su clasificación, fueron obtenidas de una persona con ojos negros en los cuales la diferencia de tonalidades de color entre el iris y la pupila en una imagen convertida a escala de grises, es casi imperceptible. A diferencia de Riveros D. (2021), quien utiliza la posición en la que se encuentran los píxeles de la pupila del ojo en su investigación. Por otro lado se tiene concordancia con lo aplicado por Ramli S. y Nordin S. (2018), en su artículo científico titulado, "Predicción de la personalidad basada en la clasificación de la posición del iris utilizando máquinas de vectores de soporte", quien también utilizó la posición de los píxeles del iris para su clasificación.

También es importante mencionar que en un movimiento de infraversión, vale decir mirada hacia abajo, la pupila es poco perceptible.

En la segunda etapa del método la cual implica el proceso de tratamiento de imágenes para obtener la matriz de vectores de características. Se logró desarrollar con éxito una secuencia de procesos aplicados a la imagen del movimiento del ojo, desde su obtención como una foto de color verdadero, hasta conseguir su matriz de características la cual contiene 200 valores binarios. Dichos procesos implicados en el tratamiento de la imagen son: Captura de la imagen digital, Redimensionamiento de la imagen a 20x10 píxeles, Conversión a escala de grises, Ecuilización de histograma de la imagen aplicando un aumento del brillo, Inversión de color de la imagen, y finalmente la binarización. Es importante mencionar que en el proceso de

ecualización de histograma de la imagen en personas con ojos claros, es necesario modificar el parámetro de brillo para poder detectar el iris y así optimizar la clasificación del movimiento del ojo.

Con respecto a la captura de imagen, se concuerda con Riveros D. (2021), quien menciona que los métodos empleados generalmente para interactuar con el computador por intermedio de los movimientos oculares; primero hacen uso del reconocimiento facial, para posteriormente aplicar el reconocimiento ocular, lo cual hace más complejo el proceso de reconocimiento y elevan el requerimiento computacional para su ejecución. Por lo tanto lo planteado en la presente investigación es una obtención directa del globo ocular en una imagen rectangular.

Por otro lado, de acuerdo al método aplicado en la presente investigación, con respecto a los colores de la imagen, no se requiere tener detalle de estos, a diferencia de otras investigaciones que aplican la visión artificial, en las que el tratamiento de imágenes involucra un proceso de segmentación y transformación del modelo de color previamente a la extracción de las características de los píxeles, como la aplican Rosas C., Solís H. y Cerna A. (2019), en su artículo; "Sistema eficiente y de bajo costo para la selección de granos de café: una aplicación de la visión artificial", en donde el color es determinante para designar su grado de madurez. En la presente tesis no es necesario extraer las características del color ya que sólo se precisa determinar la posición del iris en el espacio ocular.

En la tercera etapa del método la cual implica el diseño y entrenamiento de la red neuronal. Se logró definir la arquitectura de las redes neuronales. La primera red neuronal está conformada por una capa de entrada de 200 neuronas, dos capas ocultas de 25 y 14 neuronas respectivamente, y una capa de salida de 5 neuronas. La cantidad de neuronas de la capa de entrada está definida por la cantidad de parámetros que se ingresan a la red neuronal, en este caso la imagen binarizada es de 200 píxeles, por lo tanto el valor de cada píxel viene a ser un parámetro de entrada. La cantidad de neuronas de la capa de salida es definida por la cantidad de

clases del movimiento ocular que se necesita detectar, dichas clases de movimientos son 5; posición primaria, suproversión, infraversión, levoversión, dextroversión; por lo tanto son 5 las variables de salida representadas en una cadena de 5 dígitos. Con respecto a la cantidad de capas ocultas y cantidad de neuronas que estas deben contener, no existe una regla clara para definir las. Gaona A. y Ballesteros D. (2012), manifiestan que uno de los inconvenientes al diseñar redes neuronales es el desconocimiento de una estructura adaptable para la solución de un problema, es decir que existe dificultad para definir de forma automática la cantidad de capas, neuronas, conexiones o funciones de activación. Esto es resuelto generalmente aplicando a la experiencia del desarrollador, variando los factores de la arquitectura de la red neuronal en base a pruebas.

Por consiguiente, el diseño de la arquitectura de la red neuronal para la detección de los movimientos de los ojos, fue realizado desde un punto de vista heurístico.

El tipo de red neuronal es el perceptrón multicapa y la función de activación es la sigmoidea tipo logarítmica. La segunda red neuronal está conformada por una capa de entrada de 200 neuronas, una capa oculta de 70 neuronas, y una capa de salida de 5 neuronas, su función de activación también es sigmoidea.

Con respecto al entrenamiento de las redes neuronales se realizó bajo el algoritmo Backpropagation y fue un entrenamiento supervisado, utilizando el framework Joone.

Se lograron entrenar dos redes neuronales de diferente arquitectura con distintos dataset. La primera red entrenada cuenta con dos capas ocultas de 25 y 14 neuronas respectivamente; se utilizó un dataset conformado por 35 imágenes de movimientos de los ojos, 7 de cada clase, dichas imágenes pertenecen a una misma persona, una niña de nueve años de edad de ojos negros; la red neuronal llegó a converger en 2000 épocas, bajó una tasa de aprendizaje de 0.7, alcanzando un RMSE de 0.005012090492938614. La segunda red entrenada cuenta con una capa oculta de 70 neuronas; utilizó un dataset conformado por 175 imágenes de

movimientos de los ojos, 35 de cada clase, pero dichas imágenes no pertenecen a una misma persona, por el contrario dicho dataset está conformado por imágenes de distintas personas, de distintos sexos, de distintas edades, con distintos colores de ojos y distintos rasgos. La segunda red neuronal llegó a converger en 3000 épocas, bajó una tasa de aprendizaje de 0.7, alcanzando un RMSE de 0.0977593236.

En la cuarta etapa del método la cual implica Implementar un prototipo para medir el desempeño de la red neuronal. Se logró desarrollar un simulador en el lenguaje de programación Php, al cual se puso por nombre VISION DIRECTION. La aplicación implementada consta de 3 módulos, los cuales son: Un módulo que permite binarizar las imágenes de los movimientos del ojo para generar la matriz de características. Un módulo que permite ejecutar la simulación de la detección del movimiento del ojo. Y un módulo que permite procesar el muestreo para la evaluación del desempeño de la red neuronal. Para medir el desempeño de las redes neuronales se utilizó la muestra conformada por 385 imágenes de los movimientos de los ojos, agrupados en 77 imágenes por cada clase, se determinaron 5 clases. Las imágenes que conforman la muestra pertenecen a una misma persona de sexo femenino de ojos negros. Esta persona es la misma que proporcionó las fotografías de los movimientos de los ojos que conforman el dataset con el cual se hizo el entrenamiento de la primera red neuronal. Se utilizaron métricas de la matriz de confusión y se obtuvieron los siguientes resultados:

La primera red neuronal obtuvo una Exactitud promedio de 100%: Una Precisión promedio de 100%; Una Sensibilidad promedio de 100% y una Especificidad promedio de 100%.

Entonces se puede decir que la primera red neuronal fue 100% efectiva en la detección del movimiento ocular durante el proceso de prueba.

También se realizó para la primera red neuronal una medición utilizando el índice de Kappa, en la que se obtuvo un coeficiente de 1, lo cual la ubica con una fuerza de concordancia Casi Perfecta, según la tabla de valoración de coeficiente de Kappa, (Landis y Koch, 1977), (Tabla 2).

La segunda red neuronal obtuvo una Exactitud promedio de 99.38%; Una Precisión promedio de 98.55%; Una Sensibilidad promedio de 98% y una Especificidad promedio de 99.61%.

Se puede observar que la segunda red neuronal presentó errores en la clasificación de los movimientos oculares los cuales se observan en la tabla de resultados en porcentajes de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad (Tabla 16). Los errores se detallan de la siguiente manera:

La segunda red neuronal confundió 6 veces a movimientos de dextroversión como movimientos de posición primaria.

La exactitud para el movimiento de posición primaria es del 98.44% lo cual es aceptable, por otro lado su precisión en el mismo movimiento es del 92.77%; una sensibilidad del 100% y especificidad del 98.05%.

En el movimiento de suproversión; la exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad son del 100%.

En el movimiento de infraversión; la exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad son del 100%.

En el movimiento de levoversión; la exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad son del 100%.

La exactitud para el movimiento de dextroversión es del 98.44%, su precisión en el mismo movimiento es del 100%; una sensibilidad del 92.21% y especificidad del 100%.

También para la segunda red neuronal se realizó una medición utilizando el índice de Kappa, en la que se obtuvo un coeficiente de 0.98, lo cual también la ubica con una fuerza de concordancia Casi Perfecta, según la tabla de valoración de coeficiente de Kappa, (Landis y Koch, 1977), (Tabla 2).

3.3. Aporte Práctico

El objetivo en la presente tesis corresponde al desarrollo de un método que permite la construcción de redes neuronales artificiales por medio de las cuales se pueden detectar el movimiento de los ojos. La motivación de

mayor fuerza que impulsó el desarrollo de la presente investigación para lograr detectar el movimiento de los ojos, en la práctica se consolida en favorecer a las personas discapacitadas físicamente, con la finalidad de permitirles ejercer actividades en condiciones de igualdad ante los demás. Al detectar el movimiento de los ojos, se puede hacer uso de ellos para lograr manejar dispositivos de control manual por medio de la mirada.

El método desarrollado permite construir redes neuronales artificiales de una manera eficiente en un corto tiempo, a un bajo costo y sin hacer uso de un elevado requerimiento computacional.

El método está conformado por 4 etapas, las cuales son:



Figura 30: Etapas del método desarrollado para detectar el movimiento de los ojos

Fuente: Elaboración propia

Estos cuatro pasos o etapas desarrolladas, están conformados por la siguiente secuencia de procesos:

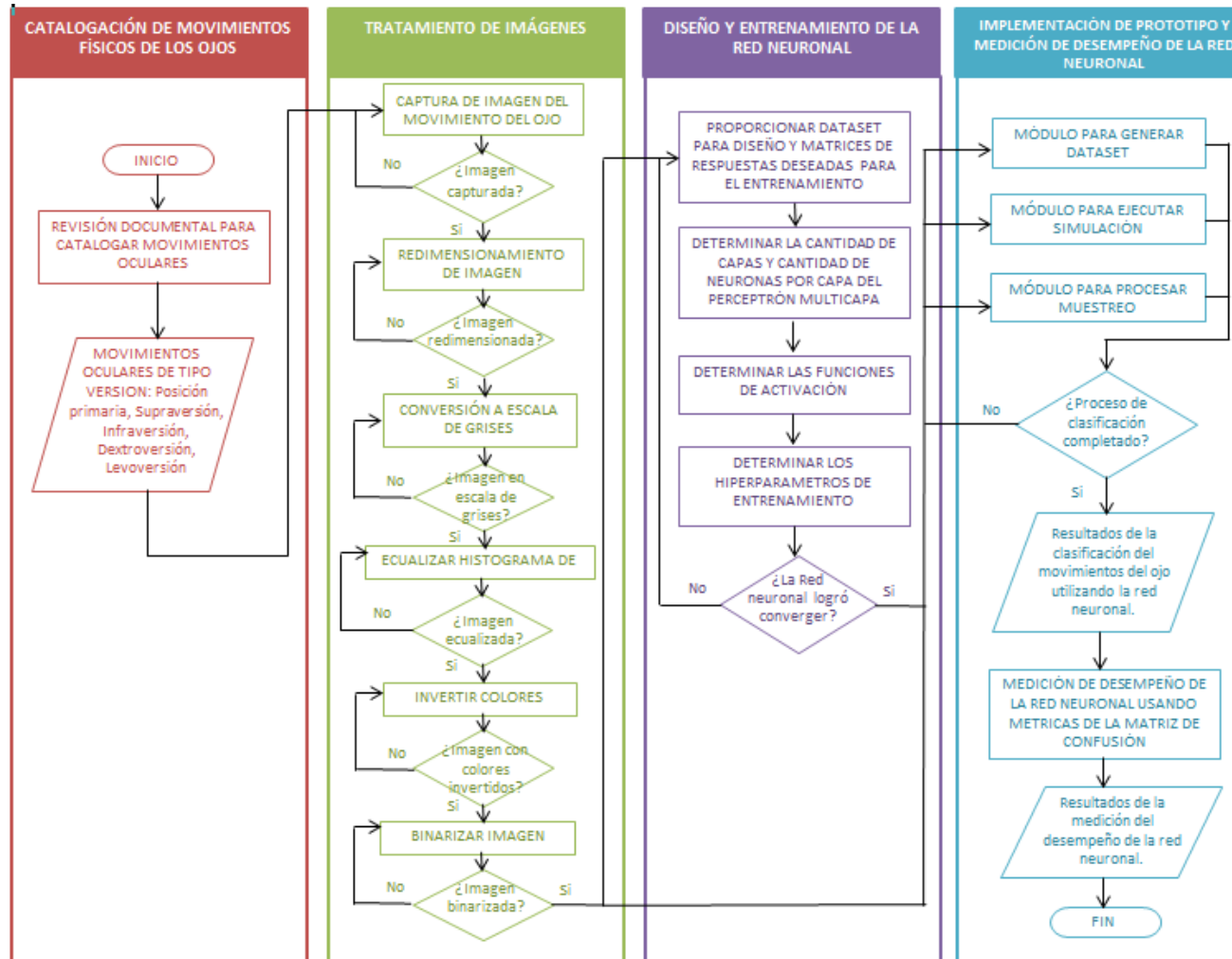


Figura 31: Etapas del método desarrollado con la secuencia de procesos

Fuente: Elaboración propia

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se ha logrado desarrollar un método el mismo que permite detectar los movimientos de los ojos haciendo uso de redes neuronales artificiales. Dicho método, mediante juicio de expertos fue calificado como ADECUADO de manera unánime.

Se ha logrado catalogar satisfactoriamente las imágenes de los movimientos de los ojos, lo cual fue primordial para determinar la arquitectura de las redes neuronales. La catalogación de los movimientos físicos de los ojos también permitió la conformación del dataset para el entrenamiento de dicha red, así como también para la ejecución de la misma en el proceso de detección del movimiento ocular. Dicha catalogación abarca cinco movimientos básicos definidos como posición primaria lo cual es equivalente a la mirada al frente, suproversión lo que es equivalente a la mirada hacia arriba, infraversión lo que equivale a la mirada hacia abajo, levoversión equivalente a la mirada hacia la izquierda, y dextroversión lo cual equivale a la mirada hacia la derecha. Con esta definición se logra el direccionamiento de los movimientos básicos con los que debe contar un dispositivo.

Se ha logrado de manera satisfactoria llevar a cabo el proceso de tratamiento de imágenes, lo cual es necesario para obtener la matriz de vectores de características, lo mismo que es vital para el entrenamiento y ejecución de la red neuronal. El tratamiento de imágenes consta de seis procesos los cuales son: Captura de imagen, redimensionamiento, escala de grises, ecualización de histograma, inversión de color, y binarización. Estos procesos fueron aplicados de manera ordenada a una imagen de color verdadero del movimiento del ojo, cada proceso produce una transformación en la imagen de manera sucesiva hasta llegar a convertirla en una matriz binaria de 200 dígitos, con valores de 0 para los píxeles negros y 1 para los píxeles blancos. Es importante mencionar que para el proceso de ecualización de histograma de la imagen, los valores del

parámetro que modifica el brillo fueron diferentes para el entrenamiento de las redes neuronales, como para la ejecución de la misma; siendo los valores de 210 para el entrenamiento y 160 para la ejecución en el caso de la primera red neuronal; Y 210 para el entrenamiento y 174 para la ejecución en el caso de la segunda red neuronal. El ajuste de los parámetros que modifican el brillo para la ejecución de las redes, permitió obtener un mejor desempeño en la tarea de la clasificación del movimiento ocular.

Se ha logrado realizar el diseño de la red neuronal, así como también su proceso de entrenamiento, de manera satisfactoria. La red neuronal utilizada es del tipo perceptrón multicapa y la función de activación es sigmoidea. Se llegó a la conclusión, que no existe una regla clara que permita diseñar la arquitectura de una red neuronal de manera preestablecida. Sin embargo, se alcanzó la convergencia de las redes neuronales en corto tiempo, modificando en base a pruebas, los factores de su arquitectura, así como también modificando del mismo modo, los hiperparámetros de entrenamiento. La primera red neuronal para la detección de los movimientos oculares consta de una capa de entrada conformada por 200 neuronas, lo cual es equivalente a la cantidad de píxeles representados por sus valores binarios que tiene la imagen del movimiento del ojo; también posee dos capas ocultas de 25 y 14 neuronas; y finalmente una capa de salida de 5 neuronas, de las cuales cada una representa a cada una de las clasificaciones del movimiento ocular. La segunda red neuronal para la detección de los movimientos oculares consta de una capa de entrada conformada también por 200 neuronas, lo mismo que es equivalente a la cantidad de píxeles representados por sus valores binarios que tiene la imagen; esta segunda red neuronal cuenta con una capa oculta de 70 neuronas; y finalmente también una capa de salida de 5 neuronas, de las cuales cada una también representa a cada una de las clasificaciones del movimiento ocular. Para el entrenamiento de la red neuronal se utilizó una computadora con procesador Intel core i3 de 2.3GHz. y 4Gb de memoria RAM, no fue necesario prescindir de hardware

especializado para procesos de gran carga computacional.

Se ha logrado implementar en el lenguaje Php de manera satisfactoria, un prototipo para medir el desempeño de las redes neuronales. Este prototipo consta de 3 módulos los cuales permiten generar el dataset, ejecutar una simulación y procesar el muestreo. La parte principal o núcleo del prototipo está conformada por matrices de los pesos sinápticos, como también matrices de los valores bias, además de los procesos de sumatorias ponderadas y funciones de activación sigmoideas. En el módulo que permite ejecutar la simulación, existen dos repositorios de imágenes de movimientos oculares, un repositorio que alberga las 385 imágenes que conforman la muestra, y otro repositorio que contiene otras imágenes conformadas por 35 fotografías de ojos de distintos colores pertenecientes a diversas personas de distintos sexos y edades, estas imágenes sirven para ejecutar la simulación de la detección del movimiento del ojo. El prototipo es una aplicación web y se puede acceder a esta haciendo uso de cualquier navegador web accediendo a la siguiente dirección url: <https://visiondirection.sistemasdegestion.site/>

De acuerdo a las métricas utilizadas, en la primera red neuronal y en base a la muestra, se logró una exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad del 100%. También se realizó a la primera red neuronal una medición de su desempeño utilizando el índice de Kappa, en la cual se obtuvo un coeficiente de 1, lo cual la cataloga con una fuerza de concordancia Casi Perfecta. Entonces de acuerdo a estos resultados se pudo observar que el desempeño de la red neuronal es casi perfecto cuando se somete a la detección de los movimientos de los ojos de la misma persona que proporcionó las imágenes de los movimientos oculares para el entrenamiento de la red. Por otro lado en la segunda red neuronal la cual fue entrenada con un dataset conformado por 175 fotografías de ojos de distintos colores pertenecientes a diversas personas de distintos sexos, rasgos y edades, se obtuvo en base a la muestra y de acuerdo a las métricas utilizadas, una exactitud de 99.38%, precisión de 98.55%, sensibilidad de 98% y especificidad de 99.61%. Con respecto al coeficiente

del índice de kappa obtenido para la segunda red neuronal fue de 0.98.

Se puede concluir que haciendo uso del método desarrollado en la presente investigación es factible construir satisfactoriamente una red neuronal artificial para lograr la detección del movimiento de los ojos.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda a los desarrolladores de algoritmos de clasificación bajo aprendizaje automático supervisado basados en redes neuronales totalmente conectadas, llevar a cabo el tratamiento de imágenes haciendo uso de los seis procesos utilizados en el método desarrollado en la actual investigación. El presente método de tratamiento de imágenes otorga óptimos resultados no sólo para la detección de la clasificación del movimiento ocular, sino también para las clasificaciones de objetos en las que no es relevante el color, vale decir para la detección de formas y contornos.

Para la detección del movimiento de los ojos en personas de ojos claros, se recomienda en el proceso de ecualización de histograma del tratamiento de imágenes, disminuir el brillo, para así lograr obtener una mejor definición del contorno del iris. Esto debe aplicarse tanto en el entrenamiento como en la ejecución de la red neuronal.

Para lograr la efectividad óptima en el desempeño de la red neuronal en la tarea de detección de los movimientos oculares, se recomienda que el dataset de las imágenes de los movimientos de los ojos para el entrenamiento de dicha red neuronal, sea tomado de la misma persona de la cual se requiere detectar sus movimientos oculares.

El presente método para detectar movimientos oculares se recomienda ser utilizado en investigaciones que se planteen el guiado de vehículos móviles o manejo de otros dispositivos de control manual, con el simple movimiento de los ojos, haciendo uso para tal fin de las redes neuronales artificiales. Dicho método permite construir redes neuronales artificiales de manera

eficiente en un corto plazo, un bajo costo y sin hacer uso de un requerimiento computacional elevado.

REFERENCIAS

- Riveros D. (2021). Reconocimiento del movimiento ocular mediante aprendizaje máquina para interacción con el computador para personas con parálisis física empleando tratamiento de imágenes. *Tesis, Universidad Católica San Pablo, Arequipa*. Recuperado de;
https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16886/1/RIVEROS_CRUZ_DAV_OCU.pdf
- Acevedo N. (2021), Matriz de confusión en Machine Learning. Explicado paso a paso. Recuperado de:
<https://nataliaacevedo.com/matriz-de-confusion-en-machine-learning-explicado-paso-a-paso/>
- Instituto de ingeniería del conocimiento, (2021). Machine Learning & Deep Learning, Los sistemas de IA aprenden de tus datos. Recuperado de:
<https://www.iic.uam.es/inteligencia-artificial/machine-learning-deep-learning/>
- Julca B. (2020). Aplicación de deep learning sobre imágenes topográficas para mejorar la precisión del diagnóstico de queratocono en una clínica de Lima. *Tesis, Universidad San Ignacio de Loyola*. Recuperado de:
<https://repositorio.usil.edu.pe/bitstreams/9d085711-98b1-4291-9301-b078438bb44c/download>
- Martínez De Carneros (2020). Motilidad Ocular. Recuperado de:
<https://www.martinezdecarneros.com/motilidad-ocular/>
- Recuero de los Santos P. (2020). Cómo interpretar la matriz de confusión: ejemplo práctico. Recuperado de:
<https://empresas.blogthinkbig.com/como-interpretar-la-matriz-de-confusion-ejemplo-practico/>
- Barreña óptica, (2019). La importancia de los movimientos oculares. Recuperado de:
<https://xn--opticabarrea-khb.es/la-importancia-los-movimientos-oculares/>

- Valero J. (2019). Análisis de modelos predictivos basados en visión computacional aplicados al paralelismo. *Tesis. Universidad Nacional De Moquegua*. Recuperado de:
https://repositorio.unam.edu.pe/bitstream/handle/UNAM/91/T095_41268484_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Soto O., Corral A., Rojo C. y Ramírez J. (2019). Análisis del desempeño de redes neuronales profundas para segmentación semántica en hardware limitado. *ReCIBE. Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica, vol. 8, núm. 2, pp. 1-21, 2019, Universidad de Guadalajara*. Recuperado de:
<https://www.redalyc.org/journal/5122/512261374010/html/>
- Jeff Heaton (2017). Heaton Research. The Number of Hidden Layers. Recuperado de:
<https://www.heatonresearch.com/2017/06/01/hidden-layers.html>
- Dot CSV, (2018). ¿Qué es una Red Neuronal? Parte 1: La Neurona. Recuperado de:
www.youtube.com/watch?v=MRlv2lwFTPg
- Dot CSV, (2018). ¿Qué es una Red Neuronal? Parte 2: La Red. Recuperado de:
www.youtube.com/watch?v=uwbHOpp9xkc
- Dot CSV, (2018). ¿Qué es una Red Neuronal? Parte 3: Backpropagation. Recuperado de:
www.youtube.com/watch?v=eNIqz_noix8
- Toral J. (2018). Redes Neuronales. Recuperado de:
http://www.cucei.udg.mx/sites/default/files/pdf/toral_barrera_jamie_areli.pdf
- Pons L., Chang Y. y Estévez Y. (2017). Corrección quirúrgica del estrabismo en paresia del oblicuo superior. *Revista Cubana de Oftalmología. Vol 30, Nro.2*. Recuperado de:
http://www.revofthalmologia.sld.cu/index.php/oftalmologia/article/view/540/html_291
- Ríos, Bettin, Naranjo, Suárez y De Vivero (2017). Pautas para el examen oftalmológico. Enfoque para el estudiante de medicina y el médico

general. *Revista Universitas Médica*, vol. 58, núm. 2, 2017, Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de:

[https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/UMED/58-2%20\(2017-II\)/231053764009/](https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/UMED/58-2%20(2017-II)/231053764009/)

Triana, Jaramillo, Gutiérrez y Rodríguez (2016). Técnicas de umbralización para el procesamiento digital de imágenes de GEMFoids. *Revista Scientia Et Technica*, vol. 21, núm. 4, diciembre, 2016, pp. 352-359, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Recuperado de:

<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/13271/9521>

Ramos M., (2016). Fundamentos de las redes neuronales artificiales. *Chiclayo, Perú: Universidad Señor de Sipán*.

Ramos M., (2016). Usando Joone. *Chiclayo, Perú: Universidad Señor de Sipán*.

Caballero, Díaz, Paz y Pavoni (2014). Implementación de la Función Sigmoidal Logarítmica en un FPGA. *EAC vol.35 no.2 La Habana Mayo.-ago. 2014*. Recuperado de:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282014000200004

Andrade E. (2013). Estudio de los principales tipos de redes neuronales y las herramientas para su aplicación. *Tesis, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador*. Recuperado de:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4098/1/UPS-CT002584.pdf>

García, P. P, (2013). Reconocimiento de imágenes utilizando redes neuronales artificiales. *Proyecto Fin de Máster en Ingeniería Informática para la Industria. Universidad Complutense de Madrid, España*. Recuperado de:

<https://eprints.ucm.es/id/eprint/23444/1/ProyectoFinMasterPedroPablo.pdf>

Clínica GMA, (2012). Versiones y Ducciones. Recuperado de:

<https://www.clinicagma.com/blog/versiones-y-ducciones/>

- Gaona y Ballesteros (2012), Selección eficiente de arquitecturas neuronales empleando técnicas destructivas y de regularización. *Revista Tecnura*, vol. 16, núm. 33. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v16n33/v16n33a11.pdf>
- Uzquiano J. (2010). Estudio de algoritmos de reducción de imágenes digitales mediante interpolación lineal. *Proyecto de fin de carrera. Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España*. Recuperado de: <https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/3585/Estudio%20de%20algoritmos%20de%20reducci%F3n%20de%20im%20genes%20digitales%20mediante%20interpolaci%F3n%20lineal.pdf?sequence=1>
- Flores J. (2009). Síntesis digital de color utilizando tonos de gris. *Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. Tesis para optar grado de maestro*. Recuperado de: <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/2264/MCA1SDC00901.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- L. Gila, A. Villanueva, R. Cabeza, (2009). Fisiopatología y técnicas de registro de los movimientos oculares. *Anales Sis San Navarra vol.32 supl.3 Pamplona 2009*. Recuperado de: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600002
- Pérez J. y Gardey A. (2008). Definición de método. Recuperado de: <https://definicion.de/metodo/>
- Provecho, Guzmán y Rodríguez. (2004). Auto guiado de robots móviles mediante redes neuronales. *León, España: Universidad de León*. Recuperado de: <https://intranet.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXV/documentos/56-oclliledaiz.pdf>
- Matich, D. (2001). *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones*. Recuperado de: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/orientadora1/monograis/matich-redesneuronales.pdf

Romero, L. Calonge, T. (2001). Redes Neuronales y Reconocimiento de Patrones - *Cap1*. Recuperado de:

http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/55893/1/DIA_Redesh20neuronales.pdf

Cook y Campbell (1986). Diseños cuasi-experimentales y longitudinales. Recuperado de:

<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/30783/1/D.%20cuasi%20y%20longitudinales.pdf>

ANEXOS

Anexo 1: Resolución de aceptación de tema de tesis



FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

RESOLUCIÓN N°0009-2022/FIAU-USS

Pimentel, 28 de enero de 2022

VISTO:

El Acta de reunión N° 2112-2021 del Comité de investigación de la Escuela profesional de INGENIERÍA DE SISTEMAS remitida mediante Oficio N° 0403-2021/FIAU-IS-USS de fecha 22 de diciembre de 2021, y;

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con la Ley Universitaria N° 30220 en su artículo 48° que a letra dice: "La investigación constituye una función esencial y obligatoria de la universidad, que la fomenta y realiza, respondiendo a través de la producción de conocimiento y desarrollo de tecnologías a las necesidades de la sociedad, con especial énfasis en la realidad nacional. Los docentes, estudiantes y graduados participan en la actividad investigadora en su propia institución o en redes de investigación nacional o internacional, creadas por las instituciones universitarias públicas o privadas.";

Que, de conformidad con el Reglamento de grados y títulos en su artículo 21° señala: "Los temas de trabajo de investigación, trabajo académico y tesis son aprobados por el Comité de Investigación y derivados a la Facultad o Escuela de Posgrado, según corresponda, para la emisión de la resolución respectiva. El periodo de vigencia de los mismos será de dos años, a partir de su aprobación. En caso un tema perdiera vigencia, el Comité de Investigación evaluará la ampliación de la misma.

Que, de conformidad con el Reglamento de grados y títulos en su artículo 24° señala: La tesis es un estudio que debe denotar rigurosidad metodológica, originalidad, relevancia social, utilidad teórica y/o práctica en el ámbito de la escuela profesional. Para el grado de doctor se requiere una tesis de máxima rigurosidad académica y de carácter original. Es individual para la obtención de un grado; es individual o en pares para obtener un título profesional. Asimismo, en su artículo 25° señala: "El tema debe responder a alguna de las líneas de investigación institucionales de la USS S.A.C."

Que, según documentos de Vistos el Comité de investigación de la Escuela profesional de INGENIERÍA DE SISTEMAS acuerdan aprobar los temas de las Tesis a cargo de los egresados que se detallan en el anexo de la presente Resolución.

Estando a lo expuesto, y en uso de las atribuciones conferidas y de conformidad con las normas y reglamentos vigentes;

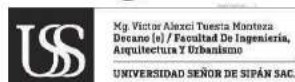
SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: APROBAR, el tema de la Tesis perteneciente a la línea de investigación de INFRAESTRUCTURA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE, a cargo de los egresados según se detalla en el anexo de la presente Resolución.

ARTÍCULO 2°: ESTABLECER, que la inscripción del Tema de la Tesis se realice a partir de emitida la presente resolución y tendrá una vigencia de dos (02) años.

ARTÍCULO 3°: DEJAR SIN EFECTO, toda Resolución emitida por la Facultad que se oponga a la presente Resolución.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Cc: Interesado, Archivo

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

RESOLUCIÓN N°0009-2022/FIAU-USS

Pimentel, 28 de enero de 2022

ANEXO

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	TEMA DE TESIS
1	TORRES LUNA EDUARDO ALFONSO	DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DETECTAR MOVIMIENTO EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES NEURONALES
2	SECLÉN ROQUE MARCO ANTONIO	MODELO DE SEGURIDAD DE LA INFORMACION BASADO EN LAS NORMAS TECNICAS PERUANAS PARA UNA EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO



Anexo 2: Matriz de consistencia lógica de tema de investigación

Título		Desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales	
Apellidos y nombres		Torres Luna Eduardo Alfonso	
Problema		Variables	
¿Cómo va a contribuir el desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales?		Variable 1: Desarrollo de un Método Variable 2: Detección de los movimientos de los ojos utilizando redes neuronales.	
Hipótesis	Objetivo general	Objetivos específicos	Método propuesto
Mediante el desarrollo de un método, se puede detectar los movimientos de los ojos utilizando redes neuronales, lo cual va a contribuir a investigaciones futuras que se propongan lograr el manejo o control de dispositivos con la mirada.	Realizar el desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales	<p>a) Catalogar imágenes de los movimientos físicos de los ojos para la conformación del dataset.</p> <p>b) Realizar el proceso de tratamiento de imágenes para obtener la matriz de vectores de características.</p> <p>c) Realizar el diseño y el proceso de entrenamiento de la red neuronal.</p> <p>d) Implementar un prototipo para medir el desempeño de la red neuronal.</p>	<p>1) Tipo de investigación: Aplicada según su finalidad, según su diseño es Experimental, en cuanto a su enfoque es Cuantitativo, con respecto a su alcance es exploratorio y según su fuente de datos es Investigación de campo.</p> <p>2) Diseño de investigación: Cuasi-experimental, dentro del diseño Experimental. El diseño Cuasi-experimental frecuentemente se investiga con grupos experimental y de control debidamente conformados, y no hay asignación aleatoria de los sujetos a uno u otro grupo.</p> <p>3) Población y Muestra: Muestreo sobre un tamaño de población desconocida. La población está conformada por la cantidad de movimientos de los ojos. La muestra es de 385 capturas de imágenes de dichos movimientos oculares que serán sometidos al Proceso de detección de estímulo y respuesta que hace la red neuronal, lo cual es la unidad de análisis: Esto con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%.</p> <p>4) Revisión documental, a través de la cual se podrá recopilar reportes que permitan medir la efectividad de la respuesta de la red neuronal ante el estímulo.</p> <p>5) La observación, que evidenciará el comportamiento de la red neuronal, concerniente a los errores y aciertos efectuados en las pruebas, con la finalidad de tomar medidas de mejora.</p>

Anexo 3: Costos y presupuestos

Concepto	Cantidad	Costo	Monto
Hardware / Equipos de trabajo			
Pc intel i3, 2.4Mhz, 4Gb. Ram	1	2,000.00	2,000.00
Impresora multifuncional de sistema continuo	1	600.00	600.00
Cámara fotográfica digital	1	400.00	400.00
Unidad USB de almacenamiento	1	35.00	35.00
Software / Plataformas de trabajo			
XAMPP: Apache, Php, Mysql,	1	0.00	0.00
Framework Joone	1	0.00	0.00
Simulador desarrollado por el investigador.	1	2,500.00	2,500.00
Útiles de oficina			
Papel bond A4, paquete x 1,000 unidades	1	15.00	15.00
Folder de plástico	2	10.00	20.00
Costos fijos			
Servicio de internet en meses	3	100.00	300.00
Servicio de luz en meses	3	100.00	300.00
Taller de actualización de Tesis	1	600.00	600.00
Tiempo empleado por el investigador en meses	3	1,000.00	3,000.00
Otros / Imprevistos			
10% aprox. del costo total del proyecto, para otros imprevistos.	1	970.00	970.00
TOTAL			10,740.00

Anexo 4: Guía de observación de tratamiento de imágenes

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE TRATAMIENTO DE IMÁGENES		
Objetivo específico:	Realizar el proceso de tratamiento de imágenes para obtener la matriz de vectores de características.	
PROCESO APLICADO A LA IMAGEN	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	OBSERVACIONES
Captura de imagen		
Redimensionamiento		
Escala de grises		
Ecuilización de histograma		
Inversión de colores		
Binarización		

Nota: Adaptado de Julca B. (2020)

GUÍA, JUICIO DE EXPERTOS

1. Identificación del Experto

Nombre y Apellidos: Marco Antonio Hincos Tello
 Centro laboral: SECRETARÍA - GOBIERNO REGIONAL LA CAJON
 Título profesional: Lic. En Administración Pública
 Grado: Doctor Mención: Gestión Pública y Gobernabilidad
 Institución donde lo obtuvo: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
 Otros estudios: _____

2. Instrucciones

Estimado(a) especialista; a continuación, se muestra un conjunto de indicadores, el cual tienes que evaluar con criterio ético y estrictez científica, la validez del instrumento propuesto (véase anexo N° 1). Para evaluar dicho instrumento, marca con un aspa (x) una de las categorías contempladas en el cuadro:

1: Inferior al básico 2: Básico 3: Intermedio 4: Sobresaliente 5: Muy sobresaliente

3. Juicio de experto

INDICADORES	CATEGORIA				
	1	2	3	4	5
1. Las dimensiones de la variable responden a un contexto teórico de forma (visión general)					X
2. Coherencia entre dimensión e indicadores (visión general)					X
3. El número de indicadores, evalúan las dimensiones y por consiguiente la variable seleccionada (visión general)					X
4. Los ítems están redactados en forma clara y precisa, sin ambigüedades (claridad y precisión)					X
5. Los ítems guardan relación con los indicadores de las variables(coherencia)					X
6. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la prueba piloto (pertinencia y eficacia)					X
7. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la validez de contenido					X
8. Presenta algunas preguntas distractoras para controlar la contaminación de las respuestas (control de sesgo)					X

9. Los ítems han sido redactados de lo general a lo particular (orden)					X
10. Los ítems del instrumento, son coherentes en términos de cantidad (extensión)					X
11. Los ítems no constituyen riesgo para el encuestado (inocuidad)					X
12. Calidad en la redacción de los ítems (visión general)					X
13. Grado de objetividad del instrumento (visión general)					X
14. Grado de relevancia del instrumento (visión general)					X
15. Estructura técnica básica del instrumento (organización)					X
Puntaje parcial					
Puntaje total					75

Nota: Índice de validación del juicio de experto (Ivje) = $\frac{\text{puntaje obtenido}}{75} \times 100 = 100$

4. Escala de validación

Muy baja	Baja	Regular	Alta	Muy Alta
00-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
El instrumento de investigación está observado		El instrumento de investigación requiere reajustes para su aplicación		El instrumento de investigación está apto para su aplicación
Interpretación: Cuanto más se acerque el coeficiente a cero (0), mayor error habrá en la validez				

5. Conclusión general de la validación y sugerencias (en coherencia con el nivel de validación alcanzado): NINGUNO

.....

.....

.....

.....

.....

6. Constancia de Juicio de experto

El que suscribe Dr. Marco A. Lluncor Tello identificado con DNI. N° 76609973

certifico que realicé el juicio del experto al instrumento diseñado por el (los) tesisistas

1. EDUARDO ALFONSO TORRES LEIVA

2. _____

, en la investigación denominada: "Desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales".



Dr. Marco Antonio Lluncor Tello
Gestión Pública y Gobernabilidad
Lic. Administración Pública
CLAD: 17126

Firma del profesional metodólogo

Anexo 5: Guía de observación de entrenamientos de la red neuronal

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE ENTRENAMIENTOS DE LA RED NEURONAL				
Objetivo específico:		Realizar el diseño y el proceso de entrenamiento de la red neuronal.		
Cantidad de entrenamientos:		9		
Observación:		Los entrenamientos son realizados a una misma red neuronal con el mismo dataset.		
Diseño	Épocas	Cantidad de neuronas en la capa oculta	Tasa de aprendizaje	RMSE

Nota: Adaptado de Julca B. (2020)

GUÍA, JUICIO DE EXPERTOS

1. Identificación del Experto

Nombre y Apellidos: MARCO ANTONIO HERNANDEZ TELLO
 Centro laboral: SECRETARÍA GOBIERNO REGIONAL LIMBAZQUE
 Título profesional: LIC. EN ADMINISTRACION PUBLICA
 Grado: DOCTOR Mención: GESTION PUBLICA Y GOBERNANZA
 Institución donde lo obtuvo: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
 Otros estudios: _____

2. Instrucciones

Estimado(a) especialista; a continuación, se muestra un conjunto de indicadores, el cual tienes que evaluar con criterio ético y estrictez científica, la validez del instrumento propuesto (véase anexo N° 1). Para evaluar dicho instrumento, marca con un aspa (x) una de las categorías contempladas en el cuadro:

1: Inferior al básico 2: Básico 3: Intermedio 4: Sobresaliente 5: Muy sobresaliente

3. Juicio de experto

INDICADORES	CATEGORIA				
	1	2	3	4	5
1. Las dimensiones de la variable responden a un contexto teórico de forma (visión general)					X
2. Coherencia entre dimensión e indicadores (visión general)					X
3. El número de indicadores, evalúan las dimensiones y por consiguiente la variable seleccionada (visión general)					X
4. Los ítems están redactados en forma clara y precisa, sin ambigüedades (claridad y precisión)					X
5. Los ítems guardan relación con los indicadores de las variables (coherencia)					X
6. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la prueba piloto (pertinencia y eficacia)					X
7. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la validez de contenido					X
8. Presenta algunas preguntas distractoras para controlar la contaminación de las respuestas (control de sesgo)					X

9. Los ítems han sido redactados de lo general a lo particular(orden)					X
10. Los ítems del instrumento, son coherentes en términos de cantidad(extensión)				X	
11. Los ítems no constituyen riesgo para el encuestado(inocuidad)					X
12. Calidad en la redacción de los ítems (visión general)					X
13. Grado de objetividad del instrumento (visión general)					X
14. Grado de relevancia del instrumento (visión general)					X
15. Estructura técnica básica del instrumento (organización)					X
Puntaje parcial					
Puntaje total					74

Nota: Índice de validación del juicio de experto (Ivje) = [puntaje obtenido / 75] x 100 = 98.67

4. Escala de validación

Muy baja	Baja	Regular	Alta	Muy Alta
00-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80%	81-100%
El instrumento de investigación está observado		El instrumento de investigación requiere reajustes para su aplicación		El instrumento de investigación está apto para su aplicación
Interpretación: Cuanto más se acerque el coeficiente a cero (0), mayor error habrá en la validez.				

5. Conclusión general de la validación y sugerencias (en coherencia con el nivel de validación alcanzado): NINGUNO

.....

.....

.....

.....

.....

6. Constancia de Juicio de experto

El que suscribe, Dr. Marco A. Llancor Tello identificado con DNI. N° 75609343

certifico que realicé el juicio del experto al instrumento diseñado por el (los) tesisistas

1. Edgardo Alfonso Torres Luna

2. _____

, en la investigación denominada: "Desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales".



Dr. Marco Antonio Llancor Tello
Gestión Pública y Gobernabilidad
Lic. Administración Pública
CLAD: 17128

Firma del profesional metodólogo

Anexo 6: Guía de observación de resumen de resultados de detección de movimiento de los ojos en función a la muestra

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE RESUMEN DE RESULTADOS DE DETECCIÓN DE MOVIMIENTO DE LOS OJOS EN FUNCIÓN A LA MUESTRA			
Objetivo específico:	Implementar un prototipo para medir el desempeño de la red neuronal.		
Muestra Total:	385		
Observación:	La muestra total está conformada por 5 grupos de 77 elementos, correspondientes a las clasificaciones de los movimientos de los ojos.		
Clasificación	Imágenes clasificadas correctamente	Imágenes clasificadas incorrectamente	Total de imágenes
Posición primaria			
Supraversión			
Infraversión			
Levoversión			
Dextroversión			

Nota: Adaptado de Julca B. (2020)

GUÍA, JUICIO DE EXPERTOS

1. Identificación del Experto

Nombre y Apellidos: MARCO ANTONIO LLINDE TELLO
 Centro laboral: GERENTE - GOBIERNO REGIONAL LA PAZ
 Título profesional: Lic. en Administración Pública
 Grado: DOCTOR Mención: GESTIÓN PÚBLICA Y GOBIERNO REGIONAL
 Institución donde lo obtuvo: UNIVERSIDAD CESAR VALDES
 Otros estudios:

2. Instrucciones

Estimado(a) especialista: a continuación, se muestra un conjunto de indicadores, el cual tienes que evaluar con criterio ético y estrictez científica, la validez del instrumento propuesto (véase anexo N° 1). Para evaluar dicho instrumento, marca con un aspa(x) una de las categorías contempladas en el cuadro:

1: Inferior al básico 2: Básico 3: Intermedio 4: Sobresaliente 5: Muy sobresaliente

3. Juicio de experto

INDICADORES	CATEGORIA				
	1	2	3	4	5
1. Las dimensiones de la variable responden a un contexto teórico de forma (visión general)					X
2. Coherencia entre dimensión e indicadores (visión general)					X
3. El número de indicadores, evalúan las dimensiones y por consiguiente la variable seleccionada (visión general)					X
4. Los ítems están redactados en forma clara y precisa, sin ambigüedades (claridad y precisión)					X
5. Los ítems guardan relación con los indicadores de las variables(coherencia)				X	
6. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la prueba piloto (pertinencia y eficacia)					X
7. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la validez de contenido					X
8. Presenta algunas preguntas distractoras para controlar la contaminación de las respuestas (control de sesgo)					X

9. Los ítems han sido redactados de lo general a lo particular(orden)					X
10. Los ítems del instrumento, son coherentes en términos de cantidad(extensión)					X
11. Los ítems no constituyen riesgo para el encuestado(inocuidad)					X
12. Calidad en la redacción de los ítems (visión general)					X
13. Grado de objetividad del instrumento (visión general)					X
14. Grado de relevancia del instrumento (visión general)					X
15. Estructura técnica básica del instrumento (organización)					X
Puntaje parcial					
Puntaje total					74

Nota: Índice de validación del juicio de experto (Ivje) = [puntaje obtenido / 75] x 100 = 98.67

4. Escala de validación

Muy baja	Baja	Regular	Alta	Muy Alta
00-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80%	81-100%
El instrumento de investigación está observado		El instrumento de investigación requiere reajustes para su aplicación		El instrumento de investigación está apto para su aplicación
Interpretación: Cuanto más se acerque el coeficiente a cero (0), mayor error habrá en la validez				

5. Conclusión general de la validación y sugerencias (en coherencia con el nivel de validación alcanzado): NINGUNO

.....

.....

.....

.....

.....

6. Constancia de Juicio de experto

El que suscribe, Dr. Marco Antonio Lluncor Tello identificado con DNI, N° 76607742

certifico que realicé el juicio del experto al instrumento diseñado por el (los) testistas:

1. EDUARDO ALFONSO TORRES LUNA
2. _____

, en la investigación denominada: "Desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales".



Dr. Marco Antonio Lluncor Tello
Gestión Pública y Gobernabilidad
Lic. Administración Pública
CLAD: 17126

Firma del profesional metodólogo

Anexo 7: Guía de observación de las operaciones de cálculo de las métricas de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad para cada clasificación

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE LAS OPERACIONES DE CÁLCULO DE LAS MÉTRICAS DE EXACTITUD, PRECISIÓN, SENSIBILIDAD Y ESPECIFICIDAD PARA CADA CLASIFICACIÓN				
Objetivo específico:	Implementar un prototipo para medir el desempeño de la red neuronal.			
	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	Especificidad
	$\frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}$	$\frac{VP}{FP + VP}$	$\frac{VP}{VP + FN}$	$\frac{VN}{VN + FP}$
Posición primaria				
Supraversión				
Infraversión				
Levoversión				
Dextroversión				
Exactitud promedio:				
Precisión promedio:				
Sensibilidad promedio:				
Especificidad promedio:				

Nota: Adaptado a partir de los estándares de la matriz de confusión.

GUÍA, JUICIO DE EXPERTOS

1. Identificación del Experto

Nombre y Apellidos: Marco Antonio Hincos Tello
 Centro laboral: SECRETARÍA - GOBIERNO REGIONAL LA CAJON
 Título profesional: Lic. En Administración Pública
 Grado: Doctor Mención: Gestión Pública y Gobernabilidad
 Institución donde lo obtuvo: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
 Otros estudios: _____

2. Instrucciones

Estimado(a) especialista; a continuación, se muestra un conjunto de indicadores, el cual tienes que evaluar con criterio ético y estrictez científica, la validez del instrumento propuesto (véase anexo N° 1). Para evaluar dicho instrumento, marca con un aspa (x) una de las categorías contempladas en el cuadro:

1: Inferior al básico 2: Básico 3: Intermedio 4: Sobresaliente 5: Muy sobresaliente

3. Juicio de experto

INDICADORES	CATEGORIA				
	1	2	3	4	5
1. Las dimensiones de la variable responden a un contexto teórico de forma (visión general)					X
2. Coherencia entre dimensión e indicadores (visión general)					X
3. El número de indicadores, evalúan las dimensiones y por consiguiente la variable seleccionada (visión general)					X
4. Los ítems están redactados en forma clara y precisa, sin ambigüedades (claridad y precisión)					X
5. Los ítems guardan relación con los indicadores de las variables (coherencia)					X
6. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la prueba piloto (pertinencia y eficacia)					X
7. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la validez de contenido					X
8. Presenta algunas preguntas distractoras para controlar la contaminación de las respuestas (control de sesgo)					X

9. Los ítems han sido redactados de lo general a lo particular (orden)					X
10. Los ítems del instrumento, son coherentes en términos de cantidad (extensión)					X
11. Los ítems no constituyen riesgo para el encuestado (inocuidad)					X
12. Calidad en la redacción de los ítems (visión general)					X
13. Grado de objetividad del instrumento (visión general)					X
14. Grado de relevancia del instrumento (visión general)					X
15. Estructura técnica básica del instrumento (organización)					X
Puntaje parcial					
Puntaje total					75

Nota: Índice de validación del juicio de experto (Ivje) = $\frac{\text{puntaje obtenido}}{75} \times 100 = 100$

4. Escala de validación

Muy baja	Baja	Regular	Alta	Muy Alta
00-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
El instrumento de investigación está observado		El instrumento de investigación requiere reajustes para su aplicación		El instrumento de investigación está apto para su aplicación
Interpretación: Cuanto más se acerque el coeficiente a cero (0), mayor error habrá en la validez				

5. Conclusión general de la validación y sugerencias (en coherencia con el nivel de validación alcanzado): NINGUNO

.....

.....

.....

.....

.....

6. Constancia de Juicio de experto

El que suscribe Dr. Marco A. Lluncor Tello identificado con DNI. N° 76609973

certifico que realicé el juicio del experto al instrumento diseñado por el (los) tesisistas

1. EDUARDO ALFONSO TORRES LEIVA

2. _____

, en la investigación denominada: "Desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales".



Dr. Marco Antonio Lluncor Tello
Gestión Pública y Gobernabilidad
Lic. Administración Pública
CLAD: 17126

Firma del profesional metodólogo

GUÍA, JUICIO DE EXPERTOS

1. Identificación del Experto

Nombre y Apellidos: Marco Antonio Hincos Tello
 Centro laboral: SECRETARÍA - GOBIERNO REGIONAL LA CAJON
 Título profesional: Lic. En Administración Pública
 Grado: Doctor Mención: Gestión Pública y Gobernabilidad
 Institución donde lo obtuvo: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
 Otros estudios: _____

2. Instrucciones

Estimado(a) especialista; a continuación, se muestra un conjunto de indicadores, el cual tienes que evaluar con criterio ético y estrictez científica, la validez del instrumento propuesto (véase anexo N° 1). Para evaluar dicho instrumento, marca con un aspa (x) una de las categorías contempladas en el cuadro:

1: Inferior al básico 2: Básico 3: Intermedio 4: Sobresaliente 5: Muy sobresaliente

3. Juicio de experto

INDICADORES	CATEGORIA				
	1	2	3	4	5
1. Las dimensiones de la variable responden a un contexto teórico de forma (visión general)					X
2. Coherencia entre dimensión e indicadores (visión general)					X
3. El número de indicadores, evalúan las dimensiones y por consiguiente la variable seleccionada (visión general)					X
4. Los ítems están redactados en forma clara y precisa, sin ambigüedades (claridad y precisión)					X
5. Los ítems guardan relación con los indicadores de las variables (coherencia)					X
6. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la prueba piloto (pertinencia y eficacia)					X
7. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la validez de contenido					X
8. Presenta algunas preguntas distractoras para controlar la contaminación de las respuestas (control de sesgo)					X

9. Los ítems han sido redactados de lo general a lo particular (orden)					X
10. Los ítems del instrumento, son coherentes en términos de cantidad (extensión)					X
11. Los ítems no constituyen riesgo para el encuestado (inocuidad)					X
12. Calidad en la redacción de los ítems (visión general)					X
13. Grado de objetividad del instrumento (visión general)					X
14. Grado de relevancia del instrumento (visión general)					X
15. Estructura técnica básica del instrumento (organización)					X
Puntaje parcial					
Puntaje total					75

Nota: Índice de validación del juicio de experto (Ivje) = $\frac{\text{puntaje obtenido}}{75} \times 100 = 100$

4. Escala de validación

Muy baja	Baja	Regular	Alta	Muy Alta
00-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
El instrumento de investigación está observado		El instrumento de investigación requiere reajustes para su aplicación		El instrumento de investigación está apto para su aplicación
Interpretación: Cuanto más se acerque el coeficiente a cero (0), mayor error habrá en la validez				

5. Conclusión general de la validación y sugerencias (en coherencia con el nivel de validación alcanzado): NINGUNO

.....

6. Constancia de Juicio de experto

El que suscribe Dr. Marco A. Lluncor Tello identificado con DNI. N° 76609943

certifico que realicé el juicio del experto al instrumento diseñado por el (los) tesisistas

1. EDUARDO ALFONSO TORRES LEWIS

2. _____

, en la investigación denominada: "Desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales".



Dr. Marco Antonio Lluncor Tello
Gestión Pública y Gobernabilidad
Lic. Administración Pública
CLAD: 17126

Firma del profesional metodólogo

Anexo 9: Manual de usuario de la aplicación prototipo

Manual de usuario de VISION DIRECTION

Prototipo para la evaluación
de la detección del
movimiento ocular



Vision Direction es una aplicación prototipo creada en el lenguaje PHP, haciendo uso del método desarrollado para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales artificiales.

Vision Direction fue creada con la finalidad de ejecutar simulaciones de detección de movimiento en los ojos y así poder evaluar el desempeño del algoritmo de clasificación desarrollado.

CONTENIDO

PANTALLA DE INICIO: Contiene los vínculos que aperturan los módulos con los que cuenta la aplicación.

GENERAR DATASET: Módulo que permite la binarización de imágenes para generar la matriz de características.

EJECUTAR SIMULACIÓN: Módulo que permite ejecutar la simulación de la detección del movimiento del ojo.

PROCESAR MUESTREO: Módulo que permite procesar la muestra para evaluar el desempeño de la red neuronal.

PANTALLA DE INICIO:

La pantalla de inicio contiene los vínculos por medio de los cuales se puede acceder a los módulos que contiene la aplicación.

Para acceder a la aplicación debe ingresar haciendo uso de cualquier navegador web a la siguiente URL:

<https://visiondirection175.sistemasdegestion.site>

Al acceder a dicha URL se mostrará por defecto la pantalla de inicio tal como se aprecia en la siguiente imagen.



VISION DIRECTION

DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DETECTAR MOVIMIENTO
EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES NEURONALES


GENERAR DATASET

EJECUTAR SIMULACIÓN

PROCESAR MUESTREO

MÓDULO EJECUTAR SIMULACIÓN:

El módulo EJECUTAR SIMULACIÓN permite llevar a cabo la simulación de la detección del movimiento del ojo.

Para acceder al módulo EJECUTAR SIMULACIÓN, se debe hacer clic estando en la PANTALLA DE INICIO, en el botón  o haciendo uso de cualquier navegador web, ingresar a la siguiente URL:

<https://visiondirection175.sistemasdegestion.site/simulacion.php>

Al acceder a dicha URL se mostrará la pantalla del módulo EJECUTAR SIMULACIÓN tal como se aprecia en la siguiente imagen.



Para ejecutar una simulación de detección del movimiento del ojo, se tiene que seleccionar una imagen de cualquiera de los dos repositorios de imágenes a los cuales se puede acceder haciendo clic en cualquiera de los dos links que se presentan a continuación:

Seleccione la imagen de la posición ocular:

[Imágenes de la muestra](#)

[Otras imágenes](#)

El link “Imágenes de la muestra” permite seleccionar entre cualquiera de las 385 imágenes de una misma persona. Dichas imágenes conforman la muestra.



Y el link “Otras imágenes” permite la selección entre 35 imágenes de ojos pertenecientes a distintas personas.



Habiendo seleccionado la imagen del ojo, de cualquiera de los repositorios, se procede a hacer clic en el botón **EJECUTAR DETECCIÓN DEL MOVIMIENTO DEL OJO**

Como resultado la aplicación mostrará la foto seleccionada sometida al tratamiento de imagen respectivo como se muestra a continuación.

EJECUTAR DETECCIÓN DEL MOVIMIENTO DEL OJO

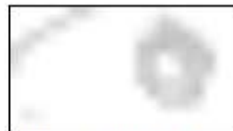
1.- Tratamiento de la imagen:



Color real



Escala de grises

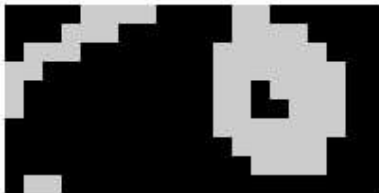


Filtro (Brillo)



Inversión de color

2.- Binarización de la imagen:



```

0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0
0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0
0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

También mostrará la respuesta de la red neuronal con los resultados de la clasificación del movimiento del ojo, tal como se visualiza a continuación.


3.- Respuesta de la Red Neuronal

00010

Matriz de respuesta: 00010
Posición ocular: MIRADA HACIA LA IZQUIERDA
Acción del vehículo móvil: GIRA A LA IZQUIERDA
Archivo de imagen: fotos/izquierda_04.png
Tamaño de imagen original: (40 x 22)

MÓDULO PROCESAR MUESTREO:

El módulo PROCESAR MUESTREO permite obtener los datos para evaluar el desempeño de la red neuronal en base a la muestra. Este módulo hace el tratamiento de las 385 imágenes correspondientes a la muestra, les extrae su matriz de características, las somete a la red neuronal y obtiene la cadena de respuesta por cada una de ellas.

Para acceder al módulo PROCESAR MUESTREO, se debe hacer clic estando en la PANTALLA DE INICIO, en el botón  o haciendo uso de cualquier navegador web, ingresar a la siguiente URL:

<https://visiondirection175.sistemasdegestion.site/muestra.php>

Al acceder a dicha URL se mostrará la pantalla del módulo PROCESAR MUESTREO tal como se aprecia en la siguiente imagen.



US | UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

Tesis: Desarrollo de un método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales
Autor: Eduardo Alfonso Torres Luna
Orcid: 0000-0003-2446-550X

385 imágenes detectadas				
Imagen	Archivo de imagen	Matriz de respuesta	Movimiento ocular detectada	Acierto(1), Error(0)
	abajo_01.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_02.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_03.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_04.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_05.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_06.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_07.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
	abajo_08.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1

	izquierda_71.png	00010	Levoversión (Mirada hacia la izquierda)	1
	izquierda_72.png	00010	Levoversión (Mirada hacia la izquierda)	1
	izquierda_73.png	00010	Levoversión (Mirada hacia la izquierda)	1
	izquierda_74.png	00010	Levoversión (Mirada hacia la izquierda)	1
	izquierda_75.png	00010	Levoversión (Mirada hacia la izquierda)	1
	izquierda_76.png	00010	Levoversión (Mirada hacia la izquierda)	1
	izquierda_77.png	00010	Levoversión (Mirada hacia la izquierda)	1
Muestra: 385 Aciertos: 379 Errores: 6 Efectividad: 98.4%				

Anexo 10: Clasificación de los movimientos oculares detectados por la primera red neuronal

Tabla 19: Resultados de la clasificación de los movimientos oculares detectados por la primera red neuronal ejecutado por la aplicación prototipo en base a la muestra.

Nro. de imagen	Archivo de imagen	Matriz de respuesta	Movimiento ocular real	Movimiento ocular detectado	Acierto(1), Error(0)
1	abajo_01.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
2	abajo_02.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
3	abajo_03.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
4	abajo_04.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
5	abajo_05.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
6	abajo_06.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
7	abajo_07.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
8	abajo_08.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
9	abajo_09.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
10	abajo_10.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
11	abajo_11.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
12	abajo_12.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
13	abajo_13.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
14	abajo_14.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
15	abajo_15.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
16	abajo_16.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
17	abajo_17.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
18	abajo_18.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
19	abajo_19.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
20	abajo_20.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
21	abajo_21.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
22	abajo_22.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
23	abajo_23.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
24	abajo_24.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
25	abajo_25.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
26	abajo_26.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
27	abajo_27.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
28	abajo_28.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
29	abajo_29.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
30	abajo_30.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
31	abajo_31.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
32	abajo_32.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
33	abajo_33.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
34	abajo_34.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
35	abajo_35.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
36	abajo_36.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
37	abajo_37.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1

Anexo 11: Clasificación de los movimientos oculares detectados por la segunda red neuronal

Tabla 20: Resultados de la clasificación de los movimientos oculares detectados por la segunda red neuronal ejecutado por la aplicación prototipo en base a la muestra.

Nro. de imagen	Archivo de imagen	Matriz de respuesta	Movimiento ocular real	Movimiento ocular detectado	Acierto(1), Error(0)
1	abajo_01.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
2	abajo_02.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
3	abajo_03.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
4	abajo_04.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
5	abajo_05.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
6	abajo_06.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
7	abajo_07.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
8	abajo_08.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
9	abajo_09.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
10	abajo_10.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
11	abajo_11.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
12	abajo_12.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
13	abajo_13.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
14	abajo_14.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
15	abajo_15.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
16	abajo_16.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
17	abajo_17.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
18	abajo_18.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
19	abajo_19.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
20	abajo_20.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
21	abajo_21.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
22	abajo_22.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
23	abajo_23.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
24	abajo_24.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
25	abajo_25.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
26	abajo_26.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
27	abajo_27.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
28	abajo_28.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
29	abajo_29.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
30	abajo_30.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
31	abajo_31.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
32	abajo_32.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
33	abajo_33.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
34	abajo_34.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
35	abajo_35.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
36	abajo_36.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1
37	abajo_37.png	00100	Infraversión (Mirada hacia abajo)	Infraversión (Mirada hacia abajo)	1

Anexo 12: Ficha de juicio de experto 1

FICHA DE JUICIO DE EXPERTO PARA VALIDACIÓN DE PROPUESTA / MÉTODO

Estimado Señor.
Dr. José Ricardo Quiroz Mejía

Reciba mi saludo cordial y al mismo tiempo le informo que se requiere realizar una VALIDACION POR JUICIO DE EXPERTO a la Propuesta / Método, desarrollado en la tesis titulada: DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DETECTAR MOVIMIENTO EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES NEURONALES, cuyo autor es el Bach. Eduardo Alfonso Torres Luna. En tal sentido recurro a usted para solicitar dicha Validación. (En Anexo se adjunta la Propuesta/Método).

Datos del Experto:

Nombre: Dr. José Ricardo Quiroz Mejía

DNI. 41080885

Profesión: Lic. Administración

Último Grado obtenido: Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad

FICHA DE JUICIO DE EXPERTO.

Nro. ITEM	CRITERIO DE VALIDACIÓN	Inadecuada. (Se debe cambiar, requiere cambios sustanciales) *	Medianamente adecuada. (Se debe mejorar) **	Adecuada.
01	Estructura general del Método.			X
02	Marco teórico y antecedentes que sustenta el método.			X
03	Los procedimientos de las etapas del método están redactados de forma clara y precisa, sin ambigüedades.			X
04	Coherencia de las etapas del método con el flujo de la información procesada para el logro de la detección del movimiento de los ojos.			X
05	Coherencia de las etapa del método con los objetivos de la investigación.			X
06	Detalle para la implementación del método y medición de la red neuronal.			X
07	Viabilidad de la implementación del método.			X

Marcar con un aspa según su apreciación

Observaciones:

El método para detectar movimiento en los ojos utilizando redes neuronales, resulta ser coherente porque se sustenta sobre una base teórica, estándares y antecedentes de éxito, aportando a la generación de epistemología; asimismo es innovador contribuyendo en la práctica con un método para detectar los movimientos de las vistas mediante redes neuronales, lo cual permite aprovechar la tecnología y sirve para futuras investigaciones.

APRECIACIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA / MÉTODO

Luego de realizada la revisión del documento de la tesis titulada: DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DETECTAR MOVIMIENTO EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES NEURONALES, presentado por el Bach. Eduardo Alfonso Torres Luna, se otorga la siguiente calificación.

CALIFICACIÓN DE LA PROPUESTA / MÉTODO.

Inadecuada.	Medianamente adecuada.	Adecuada.
		X

Marcar con un aspa

Nombre del Experto: Dr. José Ricardo Quiroz Mejía

DNI: 41080885

FIRMA.


Dr. José Ricardo Quiroz Mejía
CLAD N° 14073 - RUC: 10410808850
RNP: S0922050

Anexo 13: Ficha de juicio de experto 2

FICHA DE JUICIO DE EXPERTO PARA VALIDACIÓN DE PROPUESTA / MÉTODO

Estimado Señor.
Dra. Mirian Jessenia Vargas Saavedra

Reciba mi saludo cordial y al mismo tiempo le informo que se requiere realizar una VALIDACION POR JUICIO DE EXPERTO a la Propuesta / Método, desarrollado en la tesis titulada: DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DETECTAR MOVIMIENTO EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES NEURONALES, cuyo autor es el Bach. Eduardo Alfonso Torres Luna. En tal sentido recurro a usted para solicitar dicha Validación. (En Anexo se adjunta la Propuesta/Método).

Datos del Experto:

Dra. Mirian Jessenia Vargas Saavedra

DNI. 444998129

Profesión: Sociología

Último Grado obtenido: Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad

FICHA DE JUICIO DE EXPERTO.

Nro. ITEM	CRITERIO DE VALIDACIÓN	Inadecuada. (Se debe cambiar, requiere cambios sustanciales)	Medianamente adecuada. (Se debe mejorar) **	Adecuada.
01	Estructura general del Método.			X
02	Marco teórico y antecedentes que sustenta el método.			X
03	Los procedimientos de las etapas del método están redactados de forma clara y precisa, sin ambigüedades.			X
04	Coherencia de las etapas del método con el flujo de la información procesada para el logro de la detección del movimiento de los ojos.			X
05	Coherencia de las etapa del método con los objetivos de la investigación.			X
06	Detalle para la implementación del método y medición de la red neuronal.			X
07	Viabilidad de la implementación del método.			X

Marcar con un aspa según su apreciación

Observaciones:

APRECIACIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA / MÉTODO

Luego de realizada la revisión del documento de la tesis titulada: DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DETECTAR MOVIMIENTO EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES NEURONALES, presentado por el Bach. Eduardo Alfonso Torres Luna, se otorga la siguiente calificación.

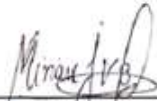
CALIFICACIÓN DE LA PROPUESTA / MÉTODO.

Inadecuada.	Medianamente adecuada.	Adecuada.
		X

Marcar con un aspa

Nombre del Experto: Dra. Mirian Jessenia Vargas Saavedra

DNI. 444998129



Dra. Mirian Vargas Saavedra
CSP: 2513

Anexo 14: Ficha de juicio de experto 3

FICHA DE JUICIO DE EXPERTO PARA VALIDACIÓN DE PROPUESTA / MÉTODO

Estimado Señor.
Dr. Elmer Lluen Cumpa

Reciba mi saludo cordial y al mismo tiempo le informo que se requiere realizar una VALIDACION POR JUICIO DE EXPERTO a la Propuesta / Método, desarrollado en la tesis titulada:
DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA DETECTAR MOVIMIENTO EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES NEURONALES, cuyo autor es el Bach. Eduardo Alfonso Torres Luna. En tal sentido recurro a usted para solicitar dicha Validación. (En Anexo se adjunta la Propuesta/Método).

Datos del Experto:

Nombre: Dr. Elmer Lluen Cumpa

DNI. 16561069

Profesión: Lic. En Matemática

Último Grado obtenido: Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad

FICHA DE JUICIO DE EXPERTO.

Nro. ITEM	CRITERIO DE VALIDACIÓN	Inadecuada. (Se debe cambiar, requiere cambios sustanciales) *	Medianamente adecuada. (Se debe mejorar) **	Adecuada.
01	Estructura general del Método.			X
02	Marco teórico y antecedentes que sustenta el método.			X
03	Los procedimientos de las etapas del método están redactados de forma clara y precisa, sin ambigüedades.			X
04	Coherencia de las etapas del método con el flujo de la información procesada para el logro de la detección del movimiento de los ojos.			X
05	Coherencia de las etapa del método con los objetivos de la investigación.			X
06	Detalle para la implementación del método y medición de la red neuronal.			X
07	Viabilidad de la implementación del método.			X

Marcar con un aspa según su apreciación.

Observaciones:

APRECIACIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA / MÉTODO

Luego de realizada la revisión del documento de la tesis titulada: DESARROLLO DE UN METODO PARA DETECTAR MOVIMIENTO EN LOS OJOS UTILIZANDO REDES NEURONALES, presentado por el Bach. Eduardo Alfonso Torres Luna, se otorga la siguiente calificación.

CALIFICACION DE LA PROPUESTA / MODELO.

Inadecuada.	Medianamente adecuada.	Adecuada.
		X

Marcar con un aspa

Nombre del Experto: Dr. Elmer Lluen Cumpa



Dr. Elmer Lluen Cumpa
DNI 16561069
RUC 10165610691