

Identificación de ángulos con puntos de referencia del cuerpo humano mediante machine learning para personas geriátricas

Mariana Martínez-Hernández, Benjamín Arturo Pérez-Peláez,
Roberto Ángel Meléndez-Armenta, David Lara-Alabazares,
Irahan-Otoniel José-Guzmán

Tecnológico Nacional de México,
Campus Misantla,
División de Estudios de Posgrado e Investigación,
México

{232t0534, 232t0535, ramelendeza,
dlaraa, iojoseg}@itsm.edu.mx

Resumen. En México, la población de adultos mayores está en constante crecimiento debido al aumento de la esperanza de vida y la disminución de las tasas de fecundidad, lo que plantea desafíos sociales y de salud significativos para este grupo demográfico. La investigación en rehabilitación geriátrica ha sido fundamental para comprender el funcionamiento diario de este sector de la población, explorando herramientas y métodos en unidades geriátricas y comparando diferentes enfoques de rehabilitación. Este artículo propone una innovadora forma de apoyo para la salud de los adultos mayores: el procesamiento inteligente de movimientos para la profilaxis geriátrica. Utilizando técnicas como el machine learning, redes neuronales convolucionales y funciones trigonométricas, se busca medir los ángulos sobre los puntos de referencia del cuerpo humano. Este enfoque promete mejorar la calidad de vida de los adultos mayores al detectar y prevenir problemas de movilidad y postura, representando un avance importante en el cuidado geriátrico.

Palabras clave: Machine learning, geriátrica, puntos de referencia, ángulos.

Identification of Angles with Reference Points of the Human Body Using Machine Learning for Geriatric People

Abstract. In Mexico, the elderly population is constantly growing due to increasing life expectancy and decreasing fertility rates, posing significant social and health challenges for this demographic group. Research in geriatric rehabilitation has been fundamental to understand the daily functioning of this sector of the population, exploring tools and methods in geriatric units and comparing different rehabilitation approaches. This article proposes an innovative way to support the health of older adults: intelligent movement processing for geriatric prophylaxis. Using techniques such as machine learning, convolutional neural networks and trigonometric functions, the aim is to measure the angles on

the reference points of the human body. This approach promises to improve the quality of life of older adults by detecting and preventing mobility and posture problems, representing an important advance in geriatric care.

Keywords: Machine learning, geriatric, landmarks of the human body, angles.

1. Introducción

De acuerdo a las investigaciones dirigidas por el doctor Sergio Salvador Valdés y Rojas, director de Atención Geriátrica del INAPAM, el sedentarismo se posiciona como un asunto de preocupación primordial en el contexto de la sociedad contemporánea. En este sentido, se destaca la imperiosa necesidad de promover entre las diversas cohortes generacionales la práctica regular de actividad física, especialmente aquella de naturaleza deportiva, como estrategia fundamental para estimular un envejecimiento caracterizado por la vitalidad y la salud óptima.

La función física emerge como un componente esencial en este proceso, dado su papel determinante en la preservación de la capacidad funcional a lo largo del ciclo vital. Desde la perspectiva del adulto mayor, la inclusión sistemática de actividad física en la rutina diaria se erige como una de las intervenciones más trascendentales para salvaguardar el bienestar general. Este enfoque no solo se proyecta como un medio efectivo para prevenir o mitigar la incidencia de diversas condiciones de salud vinculadas con el proceso de envejecimiento, sino que también se reconoce por su capacidad para potenciar la musculatura, facultando así la independencia en la ejecución de las actividades cotidianas, sin requerir asistencia externa [12].

En México, el último dato es que habitan casi 13 millones de personas con una edad de 60 años o más. El aumento de la esperanza de vida junto con la disminución de las tasas de fecundidad ha dado como resultado un progresivo envejecimiento de la población, lo que conlleva retos sociales y de salud relativos a este grupo etario [10]. En este contexto, es crucial considerar la problemática derivada del aumento en la cantidad de personas mayores que necesitarán atención médica especializada en rehabilitación geriátrica.

Dada la limitada capacidad del personal en geriatría para satisfacer esta creciente demanda, resulta imperativo buscar soluciones innovadoras. Por consiguiente, este estudio propone una metodología que a través del procesamiento inteligente de ángulos en puntos de referencia del cuerpo humano, permitiendo desarrollar sistemas inteligentes para la rehabilitación geriátrica en las personas de edad avanzada.

2. Marco teórico

La rehabilitación geriátrica se ha beneficiado de múltiples estudios como referencia para conocer el desempeño en actividades físicas básicas de adultos mayores, dentro de la investigación se conocieron herramientas y métodos en estancias de unidades geriátricas, así como la comparación de los resultados entre distintos enfoques de rehabilitación.

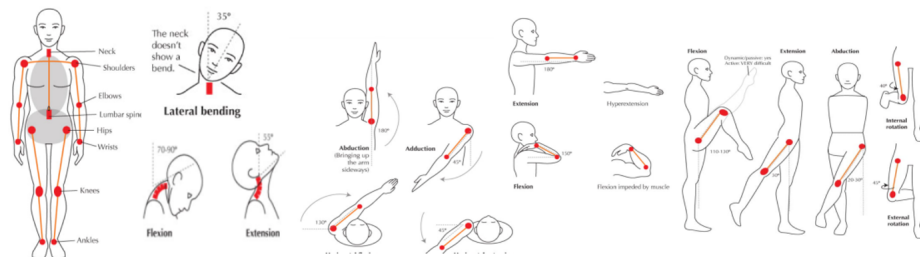


Fig. 1. Puntos de referencia del cuerpo humano.

2.1. Estado de arte

Carmona, et. al, Observaron que el envejecimiento poblacional es un fenómeno. Se espera que el número de personas mayores de 60 años aumente más del doble en 2050 y del triple en 2100, pasando de 962 millones en todo el mundo en 2017 a 2.100 millones en 2050 y 3.100 millones en 100. Inevitable, siendo un reto para el sistema de salud de la comunidad mundial, utilizar la Bioética como método de reflexión, la aplicación correcta de los principios bioéticos en rehabilitación geriátrica por parte de los profesionales de salud se contribuye a elevar la calidad de vida y de la asistencia médica de este grupo poblacional [7].

Baztan, et. al, Describir la evolución y resultados de la rehabilitación de ancianos incapacitados atendidos en una unidad geriátrica de media estancia y conocer los factores asociados a mejoría funcional e institucionalización al alta. Se estudiaron todos los pacientes ingresados consecutivamente en la Unidad de Media Estancia del servicio de Geriátrica del Hospital Central de la Cruz Roja de Madrid desde mayo de 2000 hasta diciembre de 2001. se utilizó la regresión logística introduciendo todas las variables consideradas en el análisis bivariante.

Los datos se analizaron en el paquete estadístico SPSS 9.0, Se ingresaron 506 pacientes en la unidad en el período de estudio, de los que se excluyeron 47 para el análisis (31 derivados al alta a unidades de agudos, 7 permanecieron menos de 5 días en la unidad, 5 fallecieron y 4 por datos insuficientes) [1]. Llosa and Gutiérrez, explicaron la utilización de la música en la rehabilitación geriátrica para la formación del Licenciado en Rehabilitación en Salud, cuenta con un Programa Nacional Integral al Adulto Mayor, el método utilizado fue la música en la rehabilitación geriátrica, la música es una terapia no farmacológica no invasiva para las edades avanzadas sanas y enfermas, en la rehabilitación geriátrica para la formación del Licenciado en Rehabilitación en Salud [13].

Holliday, Estudió las múltiples e irreversibles causas del envejecimiento, utiliza datos de estudios comparativos entre diferentes especies de mamíferos y aves para analizar la relación entre el envejecimiento y la pérdida de mantenimiento, se hace referencia a la realización de análisis comparativos detallados de parámetros específicos, Se observa que las especies longevas tienden a tener mecanismos de reparación más eficientes y defensas antioxidantes más robustas en comparación con las especies de vida corta [11]. Baztán, et. al., el objetivo de este trabajo es evaluar las características de los pacientes asociadas a la ganancia funcional y estancia en las unidades geriátricas de media estancia, se estudió a todos los pacientes ingresados

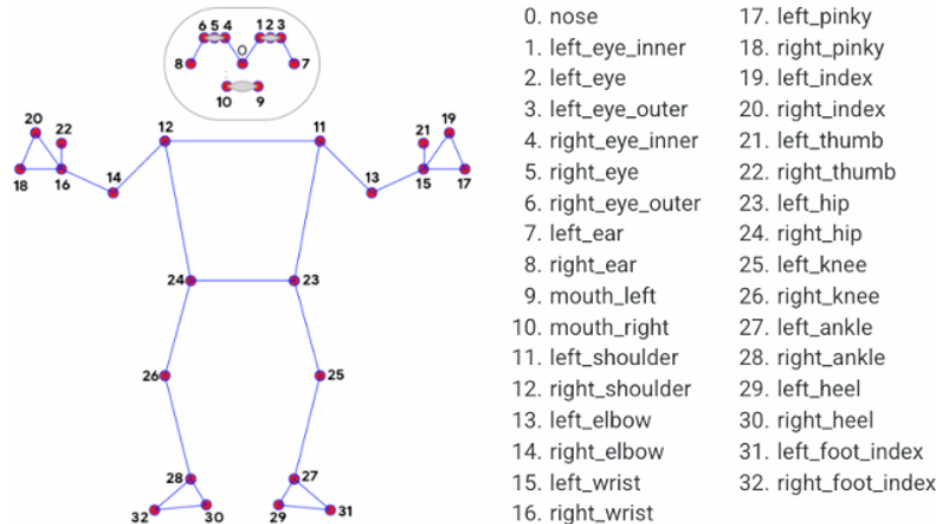


Fig. 2. Topología del cuerpo humano basado en google mediaPipe.

entre mayo de 2000 y diciembre de 2001. Se evaluó la ganancia funcional semanal y global con el Índice de Barthel. La estancia hospitalaria en unidades geriátricas de media estancia es adecuada, al menos, en las tres primeras semanas [2]. García, et. al, Demostrar las consecuencias unidas a las características socio- demográficas como afectan la calidad de vida de los mayores, con los datos de la II Encuesta Nacional de Factores de Riesgo de Enfermedades no Transmisibles de Cuba en el 2001. El efecto confusor de las variables se controló con un modelo de regresión logística, el modelo de regresión logística multivariada genera un 95 % de confiabilidad en un aumento de años al tener una situación económica favorables y pertenecer al sexo femenino [9].

Carmona, et. al, Licenciados en Rehabilitación en Salud para la atención geriátrica sean capaces de mejorar su desempeño profesional y como ser humano, Cuba, entre los países de América Latina y el Caribe se considera como uno de los más envejecidos (20,8 %) al cierre del 2019 con dos millones 307 mil 647 personas de 60 años y más, se propone la profesionalización conlleva el mejoramiento profesional y humano del licenciado en Rehabilitación en Salud a partir de la preparación permanente y continuada, permitirá a los adultos mayores se reincorporen a la sociedad de forma precoz o a las actividades comunes de la vida diaria [8].

Zaleski, et. al, Mostraron los beneficios de la actividad física regular o el ejercicio con respecto al envejecimiento, en los Estados Unidos, con más de 47 millones de adultos ≥ 65 años. Se proyecta que para el año 2030, el número de personas de 65 años o más alcanzará los 74 millones, La campaña alienta a los proveedores de atención médica a registrar la actividad física como un signo vital y prescribir ejercicio como lo harían, se demostró la eficacia del ejercicio para mejorar la salud y tratar enfermedades crónicas [19]. Moreno, et. al, la finalidad es comparar los resultados de dos Unidades con distinto enfoque en la rehabilitación de la fractura de cadera, estudio prospectivo de 286 pacientes mayores de 65 años, intervenidos de fractura de cadera durante los años 1997-2001.

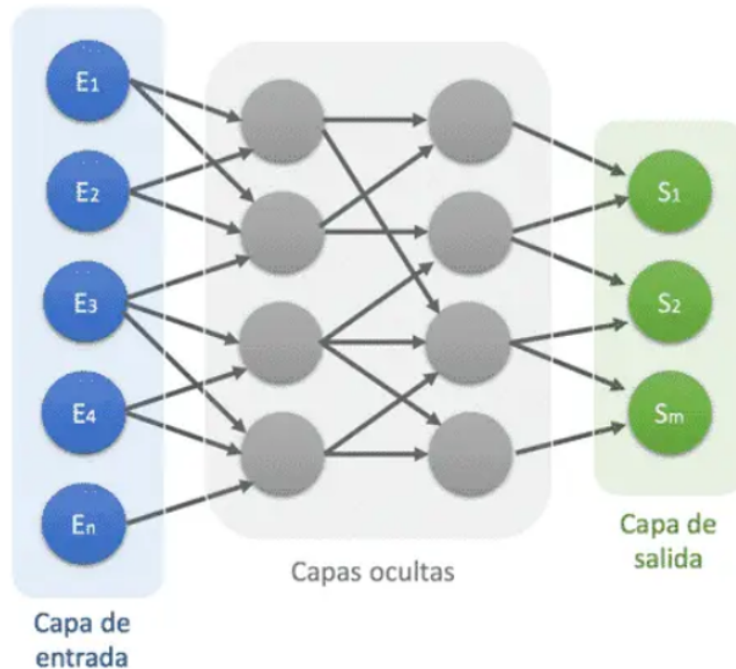


Fig. 3. Red neuronal artificial [3].

Se analizaron qué factores se asociaban con recuperación de la independencia mediante un análisis de regresión logística múltiple, La atención de las fracturas de cadera en Unidades de Rehabilitación Geriátrica mejora los resultados funcionales durante los primeros meses, pero se igualan a partir del 6.º mes [15]. Romero and Mora, Mostraron los beneficios de la rehabilitación geriátrica multidisciplinar en el paciente con fractura de cadera y demencia.

En el estudio canadiense Seitz et. al, de 11.200 pacientes con demencia y fractura de cadera, rehabilitación multidisciplinar es posible y que los resultados son mejores que la rehabilitación convencional, el modelo muestra ser más eficaz que el convencional por la recuperación funcional y menor tasa de institucionalización menores complicaciones de reingreso y mortalidad. [18]. La investigación toma como base la incorporación de las técnicas y tecnologías, por medio de la Inteligencia Artificial que integrará en los sistemas de rehabilitación geriátrica para el avance en la salud de las personas mayores con problemas de movilidad en el cuerpo, implementando algoritmos de aprendizaje automático y análisis de datos.

2.2. Profilaxis

La profilaxis en geriatría es la aplicación de medidas preventivas que disminuyen la vulnerabilidad acumulada por riesgos genéticos, estilos de vida y enfermedades. Dichas medidas deben definirse y llevarse a cabo desde una edad temprana. Se encamina a la prevención de enfermedades y a la protección de la salud del individuo.

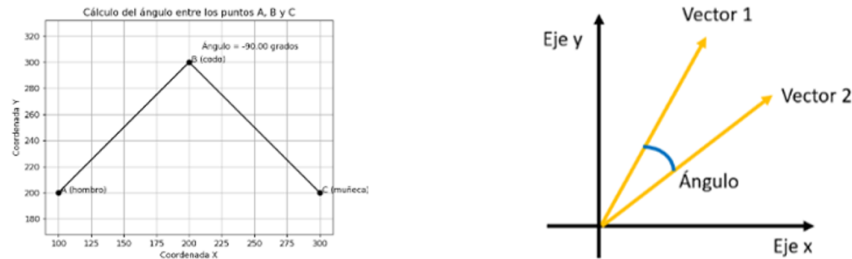


Fig. 4. Cálculo de los ángulos en base a las coordenadas y vectores.

La OMS define la profilaxis como “el proceso de optimización de oportunidades de la salud, la participación y seguridad con el fin de mejorar la calidad de vida a medida que las personas envejecen”. La profilaxis en geriatría también puede incluir la prevención de enfermedad tromboembólica venosa (ETV), que son más frecuentes en los adultos mayores y pueden requerir profilaxis farmacológica eficaz [17].

2.3. Puntos de referencia del cuerpo humano

Los puntos de referencia del cuerpo humano consisten en la localización de las articulaciones a partir de una imagen o una secuencia de imágenes de una persona. Esencialmente, es una forma de capturar los ángulos por medio de puntos fundamentales como: muñecas, hombros, rodillas, ojos, tobillos y brazos. Permitiendo describir la pose de una persona.

2.4. Google mediapipe

MediaPipe Pose es una solución de aprendizaje automático para el seguimiento de posturas corporales de alta fidelidad, infiere 33 puntos de referencia y una máscara de segmentación de fondo en todo el cuerpo a partir de cuadros de video RGB. Los enfoques actuales de la última generación se basan principalmente en potentes entornos de escritorio para la inferencia, mientras que nuestro método logra un rendimiento en tiempo real en la mayoría de los teléfonos móviles, computadoras de escritorio y portátiles modernos, en Python e incluso en la web [14]. BlazePose es una arquitectura de red neuronal convolucional ligera para la estimación de la pose humana, está diseñada para la inferencia en tiempo real en dispositivos móviles. Durante la inferencia, la red produce 33 puntos clave del cuerpo para una sola persona. El hecho de que sea una red ligera capaz de funcionar en dispositivos móviles la hace particularmente adecuada para casos de uso en tiempo real, como el seguimiento del estado físico y el reconocimiento del lenguaje de señas [14].

2.5. Red neuronal convolucional

Son sistemas de programación robustos que facilitan principalmente la identificación de imágenes, asignando de manera automática a cada imagen suministrada en la entrada y una etiqueta correspondiente a la categoría a la que pertenece. Su método de operación es simple: el usuario aporta una imagen de entrada en formato de matriz de píxeles. Esta tiene 3 dimensiones:

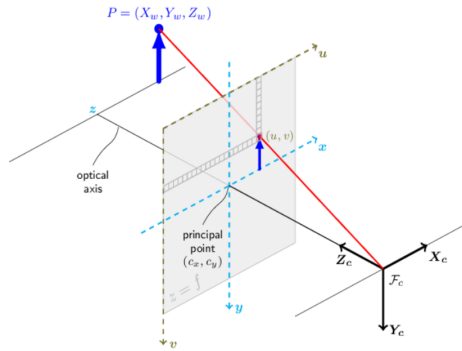


Fig. 5. Modelo de cámara estenopeica [16].

- Dos dimensiones para una imagen en niveles de gris.
- Una tercera dimensión, de profundidad 3 para representar los colores fundamentales (rojo, verde, azul) [6].

2.6. Funciones trigonométricas

Dentro de un algoritmo CNN utilizamos funciones trigonométricas para la obtención de coordenadas y medidas de los ángulos entre los puntos de referencia. Las interpretaciones de las fórmulas matemáticas que se utilizaron en el cálculo de los ángulos son las siguientes diferencias en coordenadas:

- Las diferencias en coordenadas se calculan como:

$$\Delta y_{BA} = y_A - y_B, \quad \Delta x_{BA} = x_A - x_B, \quad (1)$$

$$\Delta y_{BC} = y_C - y_B, \quad \Delta x_{BC} = x_C - x_B. \quad (2)$$

Las tangentes de los ángulos entre los puntos son:

$$\text{Tangente}_{BA} = \frac{\Delta y_{BA}}{\Delta x_{BA}}, \quad \text{Tangente}_{BC} = \frac{\Delta y_{BC}}{\Delta x_{BC}}. \quad (3)$$

La diferencia de ángulos utilizando la función de arco tangente de dos parámetros es:

$$\text{Diferencia} = \arctan \left(\frac{\text{Tangente}_{BC} - \text{Tangente}_{BA}}{1 + \text{Tangente}_{BA} \times \text{Tangente}_{BC}} \right). \quad (4)$$

Para ajustar el ángulo en el rango de 0 a 360 grados, se aplica la siguiente condición:

$$\text{si } \theta < 0, \text{ entonces } \theta = \theta + 360. \quad (5)$$

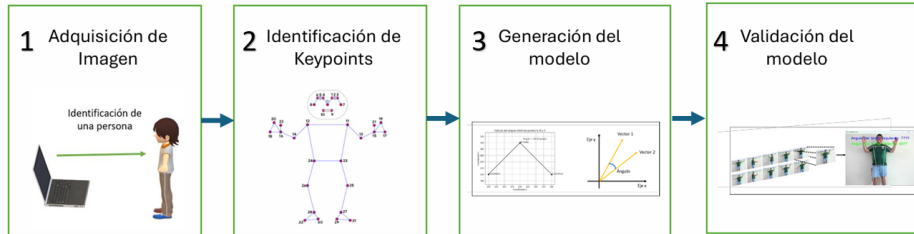


Fig. 6. Metodología del proceso.

2.7. Calibración de cámara

Las funciones de esta sección utilizan el llamado modelo de cámara estenopeica y el resultado es el punto 3D de una escena P_w en el plano de la imagen, mostrando una perspectiva del píxel correspondiente p . Ambos P_w y p se representan en coordenadas homogéneas, es decir, como vector homogéneo 3D y 2D respectivamente. A continuación se muestra la transformación proyectiva sin distorsión dada por un modelo de cámara estenopeica:

$$sp = A[R|t]P_w, \quad (6)$$

donde P_w es un punto 3D expresado con respecto al sistema de coordenadas mundial, p es un píxel 2D en el plano de la imagen, A es la matriz intrínseca de la cámara, R y t son la rotación y traslación que describen el cambio de coordenadas del mundo a la cámara (o marco de cámara) y s es la escala arbitraria de la transformación proyectiva y no forma parte del modelo de la cámara [16].

3. Materiales y métodos

Dado a los fundamentos teóricos presentados anteriormente, el diseño del modelo que debe incluirse en el identificador inteligente incluyen los siguientes elementos:

1. Adquisición de imagen: como se muestra en la figura 7. Se debe considerar la distancia correcta para que el identificador tome la lectura correcta.
2. Identificación de puntos clave de la postura: Como se muestra en la figura 2. Al tomar la imagen posteriormente se realiza la comparación de la imagen con el identificador de keypoints.
3. Generación del modelo: El modelo aplica las diferentes funciones trigonométricas para la obtención de los ángulos.
4. Validación del Modelo: Al obtener los cálculos de los ángulos se visualizara en la pantalla, como se muestra en la figura 4.

Los componentes que se utilizaron para el desarrollo del modelo fueron seleccionados tras investigación previa, siendo elementos importantes dentro de la Inteligencia Artificial.

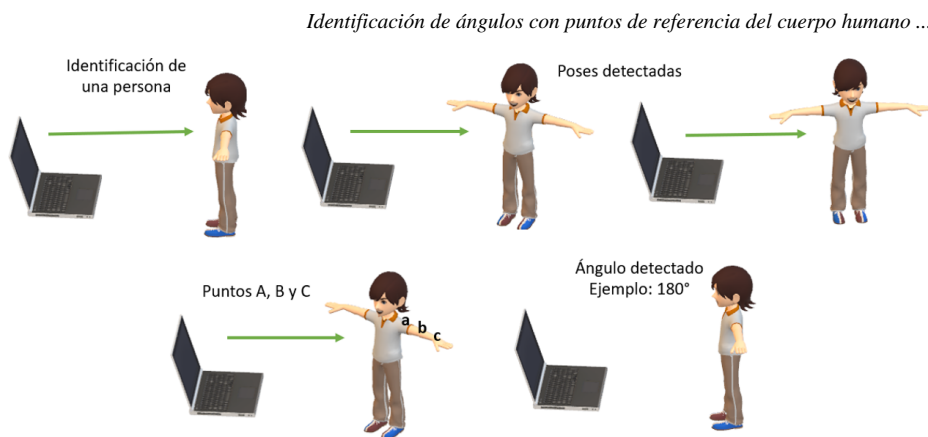


Fig. 7. Secuencia de funcionamiento del identificador de ángulos.

El uso de estas técnicas y tecnologías dentro de una rehabilitación geriátrica en adultos mayores de más de 60 años con problemas de movilidad simple o inclusive con indicios de dolor en brazos podría demostrar el mejoramiento progresivo del paciente además de llevar un control de ejercicios para cada usuario dedicando mínimo 30 minutos al día para lograr mejores resultados. Para poder empezar a identificar una imagen y encontrar una persona, se emplea un detector de posición basado en la cara. Siendo que se parte de la premisa que es la parte del cuerpo humano más fácil y menos costosa de utilizar. Por lo que cuando comenzamos a utilizar la técnica blazepose además de identificar la cara o el rostro humano, nos daría como punto central la cadera, la circunferencia de la persona y el ángulo que tiene el tronco del cuerpo. Todo el código utilizado dentro del desarrollo del identificador de ángulos se implementó en el lenguaje de programación Python.

3.1. Blaze pose

Dado que BlazePose reproduce los 33 puntos clave del cuerpo humano, resulta ser un buen elemento para casos de uso en tiempo real, como lo es la identificación y seguimiento de los movimientos físicos y de las posturas del cuerpo. Este algoritmo de machine learning es nuestra principal técnica para poder realizar los cálculos de los ángulos dentro de puntos de referencia principales. Consta de dos modelos de aprendizaje automático: un detector y un estimador. El detector recorta la región humana de la imagen de entrada, mientras que el estimador toma una imagen de resolución de 256×256 de la persona detectada como entrada y genera los puntos clave [5].

3.2. Implementación

Indagando diferentes maneras de utilizar la percepción visual a favor de la investigación y en el desarrollo del identificador, se emplearon las librerías de OpenCV comúnmente utilizadas en el área de visión por computadora, aprendizaje automático y procesamiento de imágenes además de la librería MediaPipe donde utiliza algoritmos de

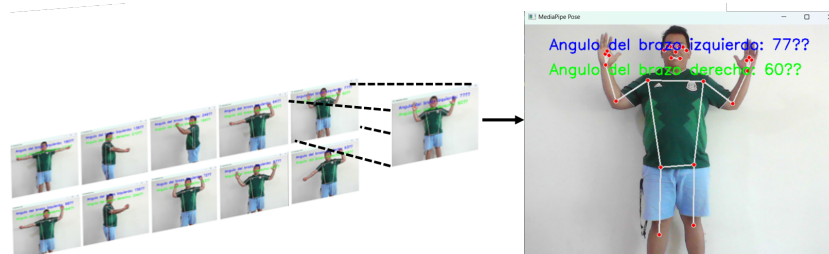


Fig. 8. Representación de movimientos mediante poses utilizando el identificador de ángulos.

aprendizaje automáticos para detectar y dar seguimiento a la postura del usuario a través de una cámara web en tiempo real. Para la identificación de puntos clave de postura, solo se utilizaron tres puntos representando las articulaciones de los hombros, codos y muñecas, los cuales al calcular el ángulo entre ellos, se determina la posición del brazo y la orientación en relación con el cuerpo del usuario. En este proceso la identificación se realiza con la librería mediapipe, utilizando redes neuronales convolucionales(CNN).

Luego de poder detectar la imagen dentro de la cámara web, se realiza el cálculo de los ángulos utilizando funciones trigonométricas y la función arco tangente de dos parámetros. En este caso, utilizaremos solo como referencia esos puntos clave para detectar el ángulo de movimientos en los brazos utilizando coordenadas para las poses detectadas, podemos realizar el cálculo de ángulos definiendo una función en código Python donde cuyas tangentes (x, y, z) calculan el ángulo en radianes para una mejor interpretación. Tomando como punto central el punto B (codo), el punto A (hombro) y el punto C (muñeca) tal como se muestra en la figura 7 Obteniendo de la línea formada por el punto medio y el punto final, como se muestra en la figura 4 sustituyendo los dos radianes para convertirlos en el ángulo que formarían los tres puntos de referencia.

Al utilizar la librería de mediapipe, se inicializa una entrada de vídeo usando cv2 que usualmente comienza desde el punto 0 solo si se utiliza un dispositivo de entrada, y se asignarán los parámetros necesarios en la función que realizará los cálculos. Luego de leer el fotograma se procede a la parte de la ubicación de los puntos de referencia, mostrará la información de los cálculos en la pantalla y finalmente se detendrá el ciclo de ejecución del programa. Por lo que importaremos las librerías necesarias para este proceso desde Python:

- import cv2
- import mediapipe as mp
- import math

Se comenzó con el funcionamiento de la cámara y detección de poses, usando una función trigonométrica utilizada para la técnica de blaze pose en el cálculo de los ángulos con los tres puntos de referencia ya definidos, descrito anteriormente en la figura 8. Para poder aplicar la identificación de ángulos solo tendremos que ejecutar el programa desarrollado y que el usuario pueda hacer los movimientos solicitados. Donde, se utilizó una Raspberry Pi 4 como medio de pruebas del identificador de ángulos, cargando el código en Python y ejecutando las pruebas piloto

en usuarios geriátricos con movilidad..... esto devolverá la información de los tres puntos detectados ya mencionados siguiendo la codificación programada anteriormente. Cualquier persona que quiera reproducir el experimento en cuestión puede ponerse en contacto con los autores de la investigación.

3.3. Validaciones

Para poder asegurar que el identificador cumpla con el objetivo principal de la investigación y del funcionamiento del mismo, además de cumplir con las necesidades básicas del usuario final se debe validar un antes y un después de su aplicación. Proponiendo los siguientes puntos o pasos para llevar una correcta evaluación:

1. Validación interna: Para este punto, la evaluación se realizó por medio de un profesional en el área de fisioterapia donde efectuamos las siguientes tareas: actualización de información de movimientos básicos en un paciente geriátrico (profilaxis), aplicación en la marcha en los usuarios para recuperación de movilidad en el cuerpo humano, detección de ejercicios en las demás extremidades, vinculación de ejercicios con personas con fracturas y facilidad de uso del usuario.
2. Validación externa: Se realizó a través de usuarios finales, quienes llevaron a cabo los movimientos básicos de rehabilitación en los brazos para medir el rendimiento de la aplicación. Esto se llevó a cabo con un grupo de usuarios participantes en pruebas piloto, quienes proporcionaron retroalimentación sobre la efectividad y la usabilidad de la aplicación en situaciones reales de rehabilitación.

4. Resultados

Dadas las coordenadas resultantes por las posturas de los usuarios, podemos calcular los ángulos de diversas partes del cuerpo mediante los puntos de referencia a, b, c. Ya que los cálculos se realizan dentro de un espacio donde la orientación no afecta en las poses del usuario y de las deducciones finales, se simuló las mediciones de ángulos en cinco usuarios diferentes generando coordenadas de acuerdo a los movimientos realizados por cada uno. Sabemos que la forma del cuerpo humano y las longitudes de las mismas varían dependiendo las personas, no se podría asignar una distancia entre puntos de referencia por qué no serían los mismos resultados de las posturas realizadas. Pero al efectuar el cálculo de distancia entre la muñeca, hombro y codo es muy probable que la distancia sea similar entre varias posiciones. Comenzamos evaluando nuestros resultados y el método propuesto conforme los usuarios finales utilizaban el identificador, obteniendo puntos importantes a considerar para las actualizaciones futuras como lo son:

- Variaciones en puntos de vista y poses del usuario
- Investigaciones previas sobre los puntos de referencia, y el desarrollo de un modelo de aprendizaje.

5. Conclusión

En este artículo, se ha propuesto el desarrollo de un identificador de ángulos en puntos de referencia del cuerpo humano utilizando machine learning, específicamente con el uso de herramientas tecnológicas como google mediaPipe. El objetivo ha sido proporcionar una solución precisa y de bajo costo para la estimación de partes y posturas corporales, especialmente enfocada en personas geriátricas. Además de la estimación de ángulos, hemos identificado un vasto potencial en la extracción de información adicional utilizando esta tecnología. Como resultado, proponemos varias áreas de continuación y futuros trabajos:

- Ampliar la investigación a otras categorías de objetos para aumentar la versatilidad y utilidad de la herramienta, además de indagar sobre los cálculos de puntos de referencia de otras articulaciones del cuerpo humano, por ejemplo rodillas y rotación de caderas donde la movilidad de los adultos mayores afectan con mayor frecuencia.
- Aumentar la base de datos mediante pruebas adicionales en usuarios finales para mejorar la precisión y generalización del modelo.
- Explorar técnicas de aprendizaje profundo para obtener resultados aún más precisos en la detección de imágenes y reconocimiento de patrones.
- Realizar pruebas piloto en usuarios con diferentes problemas de movilidad o condiciones físicas, para poder obtener distintos tipos de resultados y variables que nos puedan servir como apoyo en el campo de la investigación.

El desarrollo de un identificador de ángulos utilizando el algoritmo BlazePose de machine learning tiene una respuesta favorable durante las pruebas piloto y validaciones. Además de que la funcionalidad del mismo va representada de dispositivos de bajo costo con acceso a cualquier usuario que le interese adquirir el sistema concluido e implementado en este tipo de pequeños ordenadores.

Las actualizaciones continuas, que incluyen ajustes en el diseño y mejoras en el contenido audiovisual, respaldan nuestra elección de técnicas y herramientas de desarrollo al alinear nuestras soluciones con las expectativas y necesidades del usuario. Estos puntos en la investigación son esenciales para avanzar de manera significativa en este campo y asegurar una continuación lógica y efectiva del proyecto [4].

Referencias

1. Baztán, J., González, M., Morales, C., Vázquez, E., Morón, N., Forcano, S., Ruipérez, I.: Variables asociadas a la recuperación funcional y la institucionalización al alta en ancianos ingresados en una unidad geriátrica de media estancia. *Revista clinica española*, vol. 204, no. 11, pp. 574–582 (2004) doi: 10.1016/S0014-2565(04)71550-7
2. Baztán, J. J., Domenech, J. R., González, M., Forcano, S., Morales, C., Ruipérez, I.: Ganancia funcional y estancia hospitalaria en la unidad geriátrica de media estancia del hospital central de cruz roja de Madrid. *Revista española de salud pública*, vol. 78, pp. 355–366 (2004)
3. Calvo, D.: Definición de red neuronal artificial (2017) <https://www.diegocalvo.es/definicion-de-red-neuronal/>

4. Chung, J. L., Ong, L. Y., Leow, M. C.: Comparative analysis of skeleton-based human pose estimation. *Future Internet*, vol. 14, no. 12, pp. 380 (2022) doi: 10.3390/fi14120380
5. Cochard, D.: BlazePose : A 3D pose estimation model (2021) <https://medium.com/axinc-ai/blazepose-a-3d-pose-estimation-model-d8689d06b7c4>
6. Datascientest: Convolutional neural network: Definición y funcionamiento (2024) <https://datascientest.com/es/convolutional-neural-network-es>
7. Ferrer, B. C., Olivares, D. Y., Chisholm, D. H.: Algunas consideraciones bioéticas en la rehabilitación geriátrica (2020)
8. Ferrer, B. C., Olivares, D. Y. R., Hernández, D.: Importancia de la profesionalización en rehabilitación geriátrica (2020)
9. García-Roche, R. G., Sánchez, M. H., Pérez, P. V., de la Rosa, M. C., Gorbea, M. B., Álvarez, S. S.: Calidad de vida relacionada con la salud de los adultos mayores en el país, 2001. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 48, no. 1, pp. 43–52 (2010)
10. Gobierno de México: Gerontología, geriatría y adultos mayores (2018) <https://www.gob.mx/salud/articulos/gerontologia-geriatria-y-adultos-mayores>
11. Holliday, R.: Aging: The reality: The multiple and irreversible causes of aging. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, vol. 59, no. 6, pp. B568–B572 (2004) doi: 10.1093/gerona/59.6.B568
12. Instituto Nacional de las Personas Adultas Mayores: Beneficios de la actividad física en los adultos mayores (2018) <https://www.gob.mx/inapam/articulos/beneficios-de-la-actividad-fisica-en-los-adultos-mayores?idiom=es>
13. Mayelín, L. S., Dayami, G. V.: La música en la rehabilitación geriátrica. In: *Primera Jornada Nacional Virtual* (2021)
14. Mediapipe: Pose (2024) <https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose>
15. Moreno, J., García, I., Serra, J., Núñez, C., Bellón, J., Álvarez, A.: Estudio comparativo de dos modelos de rehabilitación en las fracturas de cadera. *Rehabilitación*, vol. 40, no. 3, pp. 123–131 (2006) doi: 10.1016/S0048-7120(06)74878-2
16. OpenCV: Camera calibration and 3D reconstruction (2024) https://docs.opencv.org/3.4/d9/d0c/group__calib3d.html
17. Organización Mundial de la Salud: profilaxis en geriatría (2017) <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/profilaxis-en-geriatria>
18. Romero-Pisonero, E., Mora Fernández, J.: Rehabilitación geriátrica multidisciplinar en el paciente con fractura de cadera y demencia. *Revista Española de Geriatría y Gerontología*, vol. 54, no. 4, pp. 220–229 (2019)
19. Zaleski, A. L., Taylor, B. A., Panza, G. A., Wu, Y., Pescatello, L. S., Thompson, P. D., Fernandez, A. B.: Coming of age: Considerations in the prescription of exercise for older adults. *Methodist DeBakey cardiovascular journal*, vol. 12, no. 2, pp. 98 (2016) doi: 10.14797/mdcj-12-2-98