Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional
Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2010-0326124-14000-203 ISSN: 2007-1957

PROTOTIPO DE SOFTWARE COMO HERRAMIENTA PARA DAR SEGUIMIENTO A PACIENTES DE FISIOTERAPIA ENFOCADO A LAS EXTREMIDADES MEDIANTE RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES

Axel Ernesto Moreno Cervantes
Instituto Politécnico Nacional
amorenoc@ipn.mx

Verónica Agustín Domínguez
Instituto Politécnico Nacional
vagustin@ipn.mx

Armando Tonatiuh Ávalos Bravo
Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas
avalosarma@hotmail.com

Abstract

En el presente trabajo se expone el desarrollo de un prototipo de aplicación web para rehabilitación musculoesquelética, dirigido a pacientes jóvenes con estilo de vida activo y propensos a lesiones deportivas en la Ciudad de México. El sistema se centra en ejercicios de movilidad para miembros superiores e inferiores (sentadilla y curl de bíceps), guiados por fisioterapeutas especialistas. Se aplicaron técnicas de procesamiento de imágenes con OpenCV y MediaPipe para detectar y validar el movimiento basado en los ángulos de unión entre las extremidades y su comparación con los ángulos de unión de los videos demostrativos , brindando retroalimentación inmediata. Asimismo, la metodología de desarrollo para esta aplicación fue SCRUMBAN.

Palabras clave: Rehabilitación médica, Procesamiento de imágenes, Reconocimiento de movimiento.

En este artículo se detalla el proceso de diseño, implementación y evaluación de un prototipo de sistema de rehabilitación física, enfocado en la mejora de los procesos clínicos y en el fortalecimiento del acompañamiento tecnológico a fisioterapeutas y pacientes. El sistema responde a problemáticas relevantes en el campo de la rehabilitación musculoesquelética, tal como se mencionan en (Hidalgo Solórzano, Martínez Nolasco, Martínez Dávalos, & Híjar, 2023) y en (Padilla, 2023) algunos de los problemas son referentes al seguimiento limitado de pacientes fuera de consulta, el número limitado de fisioterapeutas de acuerdo con la densidad poblacional, la escasez de herramientas tecnológicas accesibles y la necesidad de retroalimentación precisa e

inmediata durante la ejecución de ejercicios terapéuticos.

Dentro del estado del arte respecto a herramientas de software capaces de dar seguimiento a ejercicios de fisioterapia podemos mencionar dos:

- Dispositivo de evaluación automática de ejercicios físicos: de acuerdo con (Hernández, 2023) en él se plantea el desarrollo de una aplicación que sea capaz de evaluar una serie de ejercicios físicos en tiempo real y diferido (a través de videos previamente grabados) en los que se incluyen curl de bíceps bilateral, curl de bíceps unilateral, elevaciones laterales y peso muerto. La evaluación de los ejercicios mencionados fue realizada con ayuda de herramientas como: OpenCV, para el procesamiento de las imágenes y video; MediaPipe, para el reconocimiento la posición de puntos de referencia en la postura humana y tslearn, un paquete de Python con herramientas especializada en Machine Learning, que utilizaron para el análisis de secuencias DTW (Dynamic Time Warping) para comparar los ángulos articulares de la imagen captada del usuario contra los ángulos almacenados del conjunto de datos base.
- Detección de gestos con las manos orientado a la interacción persona-robot: (Giral, 2023) presenta un sistema que detecta y reconoce gestos dinámicos realizados con las manos con ayuda de una cámara web desde una computadora portátil, de la cual desglosan tres partes en las que mencionan el preprocesamiento de vídeo con ayuda de MediaPipe, la creación y configuración de una arquitectura de cinco redes diferentes que hacen uso de 19 capas densas y/o LSTM (red neuronal recurrente con memoria a largo plazo) para probar la detección y clasificación y finalmente prueban el conjunto de esas redes en tiempo real.

Nuestra propuesta consiste en un sistema compuesto por una aplicación web y un conjunto de scripts inteligentes capaces de detectar, validar y registrar la ejecución de ejercicios funcionales como sentadillas y curl de bíceps. Utilizando las tecnologías:

- MediaPipe: bibliotecas de código abierto que contienen entre otras cosas modelos preentrenados de aprendizaje automático que pueden servir para diferentes tareas.
- BlazePose: modelo de aprendizaje automático contenido dentro de MediaPipe que permite identificar 33 puntos clave del cuerpo humano a partir de un solo fotograma, el cual es superior a los 17 puntos conseguidos con la topología COCO (Common Objects in Context), la topología BlazeFace o la topología BlazePalm.

Reconocimiento del cuerpo y puntos clave

Para llevar a cabo el reconocimiento corporal, el sistema hace uso de MediaPipe, una biblioteca de Google especializada en soluciones de visión artificial, y en particular, su modelo BlazePose, una red neuronal convolucional ligera que permite detectar hasta 33 puntos clave del cuerpo humano, dichos puntos se muestran en la figura 1.

Estos puntos incluyen cabeza, hombros, caderas, rodillas, tobillos, entre otros, y son utilizados para calcular ángulos articulares, verificar posturas y detectar errores en la ejecución del ejercicio. Esto permite al sistema

Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2010-0326124-14000-203 ISSN: 2007-1957

brindar retroalimentación precisa y contar repeticiones efectivas.

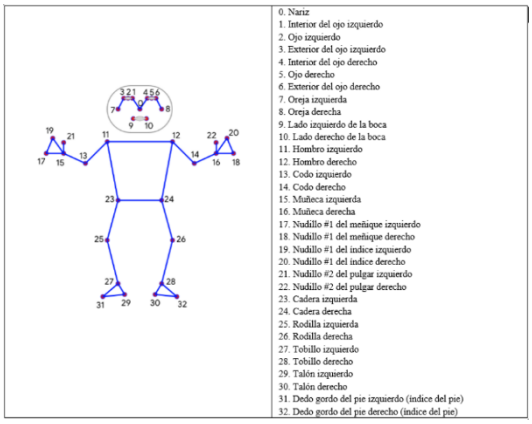

Figura 1. Puntos de cuerpo mapeados por MediaPipe. Fuente: https://research.google/blog/on-device-real-time-body-pose-tracking-with-mediapipe-blazepose/

Arquitectura de la red neuronal utilizada

BlazePose (figura 2) utiliza una red neuronal convolucional (CNN) compuesta por dos partes: una red tipo autoencoder que genera mapas de calor (Xu, y otros, 2020) y desplazamientos para ubicar puntos clave, y una red de regresión que convierte esa información en coordenadas corporales precisas.

Durante el entrenamiento, el modelo aprende con imágenes etiquetadas y ajusta su precisión mediante backpropagation. Posteriormente, se optimiza para funcionar de forma rápida y ligera, incluso en navegadores o dispositivos móviles.

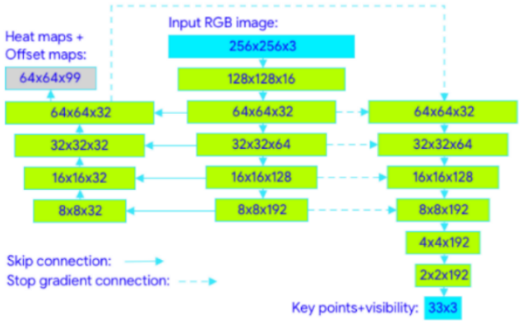

Figura 2. Arquitectura de BlazePose. Fuente: https://research.google/blog/on-device-real-time-body-pose-tracking-with-mediapipe-blazepose/

En la figura 3 se muestra la arquitectura del sistema. En ella se pueden ver las etapas necesarias para realizar la detección de pose a partir del video tomado por el usuario.

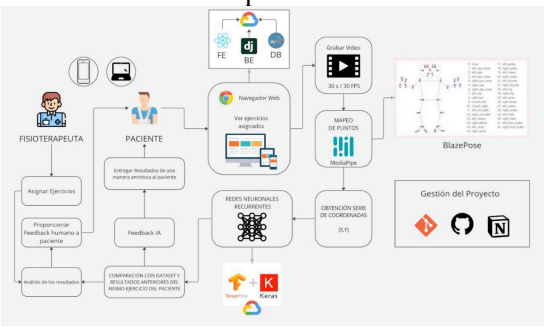

Figura 3. Arquitectura de la aplicación Fuente: Elaboración propia.

El sistema identifica patrones adecuados de movimiento, proporciona retroalimentación visual durante la sesión e informa automáticamente sobre el número de repeticiones realizadas, facilitando así el seguimiento y control clínico.

Para ello, una vez obtenido el video con los ejercicios de fisioterapia realizados por el usuario, éste es procesado mediante BlazePose con la finalidad de obtener los puntos clave del cuerpo, sus coordenadas en tres dimensiones y

mediante una red neuronal recurrente se compara con el dataset que contiene los puntos registrados de los ejercicios (bien realizados) con los cuales será comparado.

Metodología

Para el desarrollo del sistema se empleó una metodología iterativa basada en SCRUMBAN, combinando la planeación de SCRUM con la flexibilidad de KANBAN (figura 4). El proyecto se dividió en entregas quincenales con metas funcionales medibles, permitiendo retroalimentación constante de usuarios (pacientes y fisioterapeutas).

Se utilizó Python como lenguaje principal, junto con bibliotecas como OpenCV, MediaPipe, Pandas y Flask. El sistema fue modelado con diagramas UML: casos de uso, clases y secuencia. La base de datos fue diseñada en MySQL y la aplicación web fue implementada con HTML, CSS, JavaScript y React.

Durante el proceso, se realizaron pruebas con usuarios reales, fisioterapeutas y pacientes voluntarios. Los ejercicios seleccionados (sentadilla y curl de bíceps) se eligieron por su valor funcional en la rehabilitación de tren inferior y superior respectivamente.

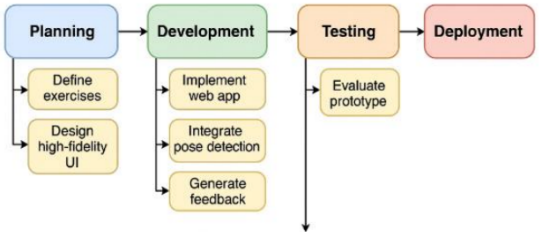

Figura 4. Metodología SCRUMBAN
Fuente: Elaboración propia.

I. RESULTADOS

Reconocimiento de sentadillas

El primer conjunto de pruebas se enfocó en la detección del ejercicio de sentadilla. Se midió la capacidad del sistema para identificar correctamente las fases de descenso y ascenso del paciente, registrar repeticiones válidas y generar retroalimentación visual en pantalla (figura 5).

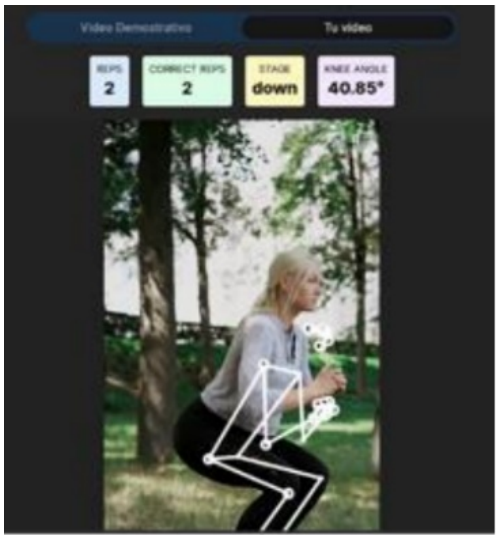

Figura 5. Pantalla desarrollada para el análisis de un ejercicio para un paciente.
Fuente: Elaboración propia.

Reconocimiento de curl de bíceps

Posteriormente, se realizaron pruebas con el ejercicio de curl de bíceps, evaluando nuevamente la identificación de fases de movimiento, la exactitud del conteo y la claridad de las señales visuales mostradas al paciente (figura 6).

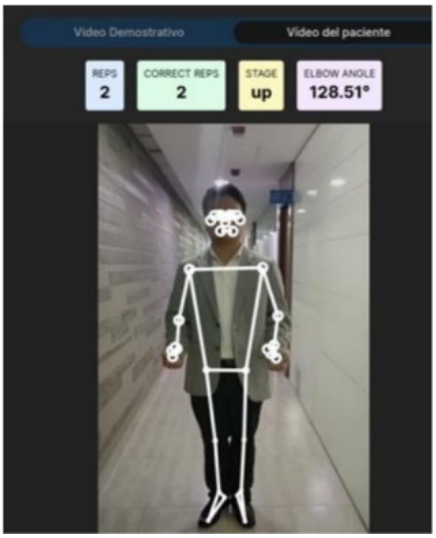

Figura 6. Prueba de conteo de repeticiones. Fuente: Elaboración propia.

II. CONCLUSIONES

Dado que MediaPipe utiliza un modelo de detección de pose de dos etapas, sería posible reducir el tiempo de procesamiento sustituyendo MediaPipe por YOLOv7 cuyo modelo de detección es más sencillo y en una sola etapa.

Si bien se logró desarrollar una aplicación funcional y con una experiencia de usuario fuida gracias al uso de Node.js como backend, se detectaron oportunidades de mejora, entre ellas la limitante de concurrencia, dado que Node.js es monohilo. La elección de otro entorno de backend permitiría de una manera más simple la ejecución de tareas concurrentes como por ejemplo la sobreposición de capas de información sobre el modelo generado en pantalla para brindar una mejor retroalimentación al usuario (por ejemplo, iluminar con distintos colores la sección del modelo que se esté en una posición incorrecta respecto del data set de muestra, dibujar los ángulos formados entre los vértices del esqueleto del modelo).

El proyecto logró consolidar una solución tecnológica innovadora que permite registrar la ejecución de ejercicios específicos como sentadillas y curl de bíceps, brindar retroalimentación clara al usuario y facilitar el seguimiento del progreso terapéutico. El sistema apoya tanto al fisioterapeuta como al paciente durante las sesiones, destacando por ser interactivo, accesible, funcional y adaptable.

Referencias

Giral, L. (2023). Detección de Gestos con las Manos Orientada a la Interacción Persona-Robot [Tesis de maestría]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Hernández, V. (2023). Dispositivo de evaluación automática de ejercicios físicos. Alicante: Universidad de Alicante. Obtenido de https://rua.ua.es/server/api/core/bitstreams/f7362afa-c7b2-4582-9e2f-875669454ac6/content

Hidalgo Solórzano, E., Martínez Nolasco, M. A., Martínez Dávalos, A., & Híjar, M. (2023). Lesiones no intencionales en México. Ensanut Continua 2022. Ensanut Continua 2022, 126-134. doi:https://doi.org/10.21149/14787

Padilla, A. (12 de 09 de 2023). Crece demanda de fisioterapeutas en México. Obtenido de Universidad Autónoma de Guadalajara: https://www.uag.mx/es/mediahub/crece-demanda-de-fisioterapeutas-en-mexico/2023-09

Xu, H., Bazavan, E. G., Zanfir, A., Freeman, W. T., Sukthankar, R., & Sminchisescu, C. (2020). GHUM&GHUML: Generative 3D Human Shapeand Articulated Pose Models. Computer Vision and Pattern Recognition, 6184-6193.

doi:https://doi.org/10.1109/CVPR42600.
2020.00622