

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título
de Ingeniero de Sistemas*

ARTÍCULO ACADÉMICO:

**“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN
VISIÓN ARTIFICIAL Y APLICACIONES MÓVILES PARA EL
MONITOREO Y DETECCIÓN DE CAÍDAS EN ADULTOS MAYORES”**

AUTORES:

BYRON XAVIER CALVA BRAVO

WILSON HERNÁN RODAS PÉREZ

TUTOR:

ING. VLADIMIR ESPARTACO ROBLES BYKBAEV

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Byron Xavier Calva Bravo con documento de identificación N° 0105747711 y Wilson Hernán Rodas Pérez con documento de identificación N° 0104834965, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL Y APLICACIONES MÓVILES PARA EL MONITOREO Y DETECCIÓN DE CAÍDAS EN ADULTOS MAYORES”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero de Sistemas*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.



Byron Xavier Calva Bravo
C.I. 0105747711



Wilson Hernán Rodas Pérez
C.I. 0104834965

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL Y APLICACIONES MÓVILES PARA EL MONITOREO Y DETECCIÓN DE CAÍDAS EN ADULTOS MAYORES”**, realizado por Byron Xavier Calva Bravo y Wilson Hernán Rodas Pérez, obteniendo el *Artículo Académico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.



Ing. Vladimir Espartaco Robles Bykbaev

C.I. 0300991817

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Byron Xavier Calva Bravo con documento de identificación N° 0105747711 y Wilson Hernán Rodas Pérez con documento de identificación N° 0104834965, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL Y APLICACIONES MÓVILES PARA EL MONITOREO Y DETECCIÓN DE CAÍDAS EN ADULTOS MAYORES”**, certificamos que el total contenido del *Artículo Académico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre de 2021.



Byron Xavier Calva Bravo

C.I. 0105747711



Wilson Hernán Rodas Pérez

C.I. 0104834965

DEDICATORIA

Byron Xavier Calva Bravo

Dedico el contenido de las páginas precedentes a mi familia, a mis seres queridos, a quienes ya no están y a quien tenemos la certeza que nos cuida, y a la Sociedad, cuyo beneficio es el principal objetivo del Desarrollo de mi conocimiento, esperando prestar servicio a mis congéneres.

Wilson Hernán Rodas Pérez

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

AGRADECIMIENTO

Byron Xavier Calva Bravo

Agradezco a aquel ser supremo haberme dado la oportunidad de desarrollar mis capacidades y permitirme conocer a todos quienes han influido de manera buena en mi vida.

A mis familiares y amigos cercanos en especial a los miembros directos de mi familia mi padre y mi madre y a mi compañero y amigo Wilson Rodas.

Agradezco el profesionalismo y apoyo del tutor y directo de tesis Vladimir Robles quien más que un docente fue un líder en el camino de la educación que experimenté.

Wilson Hernán Rodas Pérez

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A mi compañero de tesis Byron Calva, por haber compartido la experiencia de trabajo en equipo durante el transcurso de toda la carrera.

Agradezco a mi director de tesis PhD. Vladimir Robles quién con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó para llevar el trabajo a cabo, además de facilitar la gestión necesaria para ello.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL Y APLICACIONES MÓVILES PARA EL MONITOREO Y DETECCIÓN DE CAÍDAS EN ADULTOS MAYORES

Byron X. Calva B.
Wilson H. Rodas P.
Vladimir E. Robles B.

*Ingeniería de Sistemas, Universidad Politécnica Salesiana
Cuenca, Ecuador*

{bcalvab, wrodasp}@est.ups.edu.ec
vrobles@ups.edu.ec

Resumen.- De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) las caídas son la segunda causa de muerte por lesiones accidentales, y donde los adultos mayores son los que más las sufren. En el Ecuador existen al rededor de 1300000 adultos mayores, siendo las caídas un gran problema para su calidad de vida. Por tal motivo en este artículo presentamos un sistema de monitoreo y detección de caídas, con el objetivo de brindar soporte el cuidado de los adultos mayores. Esta herramienta basa su funcionamiento en un módulo que aplica técnicas de visión de artificial y procesamiento de imágenes, Convolutional Neural Networks (CNN) y aplicaciones web y móvil que permiten el seguimiento y control de caídas. Para probar el funcionamiento del sistema se han realizado pruebas reales con quince voluntarios. Posteriormente, se determinó que el sistema consiguió detectar correctamente el 80% de eventos relacionados con caídas.

Palabras clave: adulto mayor, caídas, detección, monitoreo, sistema.

I. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es el de desarrollar un sistema de detección y monitoreo de caídas para contribuir al cuidado de los adultos mayores. Para cumplir con esto se plantean los siguientes objetivos específicos:

- ⑩ Estudiar y conocer los principales aspectos relacionados con los accidentes de trauma debido a caídas en adultos mayores, y las técnicas existentes en el estado del arte para su detección.
- ⑩ Diseñar y desarrollar un módulo para detección de caídas empleando técnicas de visión artificial.
- ⑩ Estructurar y desarrollar una aplicación distribuida con servicios web para gestionar la información de los adultos mayores y las notificaciones.
- ⑩ Desarrollar una aplicación móvil para recibir los datos

de posibles emergencias y visualización de los datos históricos del sistema

- ⑩ Diseñar y ejecutar un plan de experimentación que permita medir la precisión del sistema en diferentes condiciones de iluminación y en ambientes reales.

II. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las caídas son la segunda causa de muerte por lesiones accidentales, contabilizando anualmente un promedio de 646000 muertes y donde la mayor parte se da en los adultos mayores [1]. La OMS considera adultos mayores a las personas que cumplan una edad mínima de 60 años, de las cuales el 28-35% tienden a sufrir caídas alrededor de dos a cuatro veces por año [2][3].

En el Ecuador, de acuerdo a datos entregados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el año 2020 se registra un total de 1300000 adultos mayores [4]. Dicho grupo poblacional tiende a sufrir la disminución en sus destrezas motrices y las caídas derivan en problemas como la afección de su salud mental y física, requiriendo en muchos casos de atención médica. Por otra parte, también hay que tener presente que cuando se dan las caídas, los adultos mayores podrían no ser capaces de comunicar el suceso a sus allegados, lo cual constituye un problema cuando la caída resulta ser grave. Estos factores aumentan la probabilidad de muerte accidental de los afectados, por lo que existe la necesidad de vigilar su estado de salud mientras mantienen cierto nivel de independencia.

Los sistemas de monitoreo son una alternativa favorable puesto que cubren la necesidad planteada, y con el enfoque correcto se pueden obtener mayores beneficios. En el contexto mencionado, un sistema que usa como tecnología la visión artificial para la detección y análisis de caídas es viable, ya que por una parte el uso de cámaras de video vigilancia permite que los adultos mayores realicen sus actividades sin la necesidad de vestir equipos con sensores, y por otra el problema de

comunicar la ocurrencia de una caída se releva al sistema mediante el uso de mensajería instantánea, envío de correos electrónicos, o llamadas al móvil.

Tomando en consideración lo mencionado anteriormente, en este artículo presentamos un sistema de monitoreo que tiene como objetivo brindar soporte a los adultos mayores y a las personas que cuidan de los mismos. El funcionamiento del sistema se sustenta en tres componentes base. El primero es el módulo de visión artificial, que se encarga de realizar la detección de las caídas e informar a los interesados. El segundo es una aplicación accesible desde el navegador web que funciona en la red interna, donde se facilita al usuario una interfaz gráfica que presenta las caídas registradas y que permite agregar el contacto de personas a las que se debe enviar reportes. El tercer módulo es una aplicación móvil, donde únicamente se cuenta con la funcionalidad de ver la caídas registradas.

El presente artículo detalla el procedimiento efectuado para llevar a cabo el diseño e implementación del sistema, empleando para ello un entorno controlado, así como las dificultades e inconvenientes de tratar con diversas opciones para implementar las funcionalidades necesarias. También se realiza un análisis de los resultados obtenidos al usar el sistema en eventos reales. Finalmente, se concluye dando a conocer las ventajas y desventajas de un sistema basado en visión artificial.

III. TRABAJO RELACIONADO

En este apartado se presentan algunos proyectos dirigidos a los sistemas de detección de caídas, los cuales por su parte aplican distintas tecnologías pero cuyo enfoque es similar, buscando velar por la calidad de vida de los adultos mayores.

Los sistemas de detección de caídas están formados por un grupo de componentes cuyas funciones están orientadas a comprobar los cambios detectados en el entorno, de forma que se verifica si estos cumplen con la condición de caída. Por ejemplo, González et al. exploran el uso de los acelerómetros como dispositivos base, en conjunto con un arnés. Para ello los autores condujeron un experimento usando la variación en las medidas del instrumento con respecto al tiempo y la vibración de los ejes cartesianos tridimensionales (X, Y, Z). El algoritmo propuesto comprueba cambios bruscos contra los valores regulares, encendiendo una alerta sonora en primera instancia. Además, en caso de no haber respuesta en menos de 10 segundos por parte del vigilado o vigilante, también se recurre al uso de dos aplicaciones Android independientes para llevar

a cabo notificaciones/alertas. Los resultados finales muestran que el sistema tiene una precisión del 90.78% cuando se trabaja con caídas frontales, posteriores y laterales [5].

En la misma línea, Chávez et al. presentan un sistema detector de caídas para un centro de atención geriátrica. Esta propuesta emplea una pulsera que se coloca al usuario y donde un microcontrolador se encarga de medir la aceleración del movimiento y la inclinación. Si en la comprobación dichas variables presentan valores que sobrepasan un umbral permitido, entonces se procede a registrar la caída en la base de datos y notificar a las personas encargadas del cuidado del paciente si estos no se reincorporan luego de 10 segundos. La segunda parte es una aplicación móvil para dispositivos Android, donde se puede revisar el registro de todas las caídas detectadas en formato de texto plano y en formato de gráfica. Los resultados evidencian que tras las pruebas realizadas los pacientes respondieron a dicho sistema con un 90,45% de aceptación [6].

Asimismo, Oliver et al. propusieron un sistema basado en el uso de pulseras con sensores. En este caso la pulsera recolecta información del sistema nervioso y cardíaco del usuario, contrastando estos datos con los de un conjunto de datos de electrocardiogramas y electromiogramas. Para esta tarea se desarrolla un algoritmo bajo en costo computacional, el cual está basado en técnicas de aprendizaje de máquina. En este trabajo solo se explora dicho algoritmo, por lo que no se incluye componentes de registro de datos o de notificación a los cuidadores. De acuerdo a los resultados presentados, la utilización de técnicas de aprendizaje de máquina mejoran la tasa de detección de los verdaderos positivos [7].

Por otra parte también existen sistemas basados en video como en el caso de Dean y Gonzáles en sus respectivos trabajos, enfocados a la visión artificial. En ambos casos se usa dicha técnica para determinar si en un intervalo de tiempo el video comprende un evento de caída. En el primero se consigue desarrollar un algoritmo que detecta gran parte de las caídas, teniendo problemas mayormente con caídas lentas y caídas en línea recta. En el caso del segundo el problema es similar, pero con respecto a las caídas laterales. Dichos trabajos encuentran una forma distinta para procesar las imágenes y contribuyen a la autonomía del usuario al no depender de dispositivos vestibles [8][9].

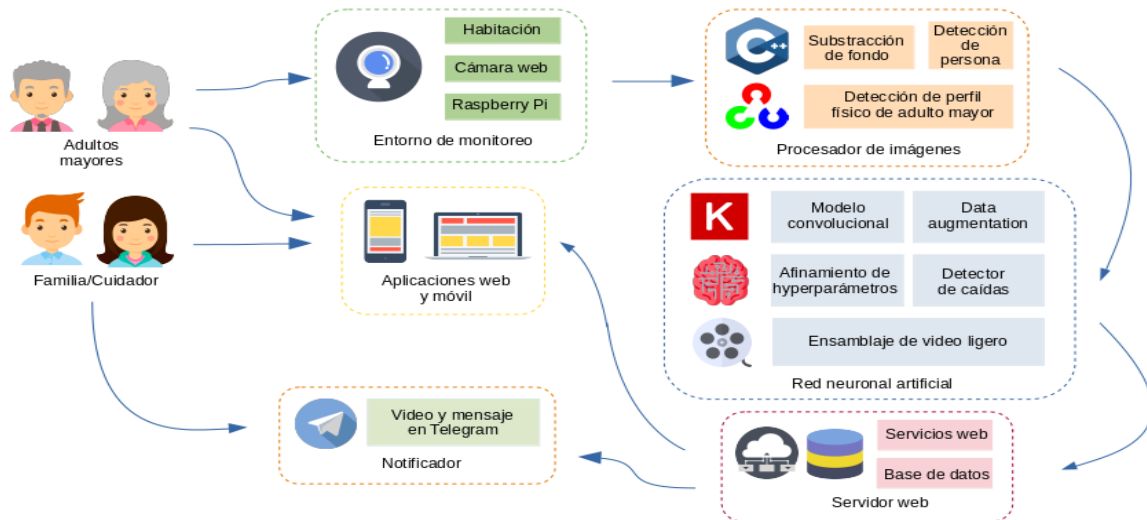


Fig. 1. Componentes del sistema, se puede apreciar una estructura organizada en capas y módulos .

Gracias a todos estos aportes se pone en evidencia que los sistemas de detección de caídas basados en video requieren mejorar la precisión con respecto a los basados en sensores.

IV. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA

El propósito general del proyecto radica en que el sistema detecte las caídas que sufren los adultos mayores y notifique a los contactos registrados. Como se puede observar en la Fig. 1, el sistema fue modelado tomando como base la arquitectura de aplicaciones distribuidas, de tal forma que la construcción del mismo es más consistente y responde correctamente a las necesidades presentadas. A continuación se detalla la función de cada componente:

⑩ La red neuronal artificial (RNA) es el núcleo de la funcionalidad de detección, puesto que esta se encarga de decidir si la imagen recibida como entrada corresponde a una caída o no. Para esta parte se ha construido la red en Keras usando un modelo convolucional, donde existen se reciben imágenes de diversos entornos, con dimensiones de 200x200 píxeles en el espacio de color RGB. Para determinar la desviación entre predicciones se utiliza binary cross-entropy como función de pérdida.

⑩ El procesador de imágenes usa como base el lenguaje de programación C++ y hace uso de la librería OpenCV. Inicialmente realiza una comprobación constante de objetos en movimiento, empleando la técnica de sustracción de fondo para este propósito. Cuando la posición de la persona es horizontal con respecto a la imagen, se realiza una espera de 10 segundos. Pasado este tiempo se procede a dirigir dicha imagen a la red neuronal artificial para finalmente decidir si se trata de una caída o no.

⑩ La aplicación web esta pensada específicamente para los enfermeros y enfermeras, y permite que el usuario visualice los registros de caídas de forma sencilla.

Además desde esta se pueden agregar los contactos a los cuales notificar cuando ocurre una caída. Se encuentra alojada en una máquina virtual dentro de Google Cloud Platform.

⑩ La aplicación móvil es similar a su contraparte web y puede ser usada por enfermeros, enfermeras y familiares del paciente, sin embargo, esta permite únicamente iniciar sesión y visualizar los registros de las caídas. Esta se encuentra desarrollada mediante el lenguaje de programación Java para Android, de forma que es compatible solo con dispositivos que cuenten con este sistema operativo.

⑩ El notificador alerta al usuario monitor que el adulto mayor ha sufrido una caída. Para ello se utiliza un bot programado en Python 3 y que se presenta en Telegram. En esta aplicación, el usuario es sincronizado con dicho bot y para recibir notificaciones en vivo requiere de internet.

Además, para facilitar la comprensión del proceso que aportan los componentes mencionados se presenta un diagrama de flujo. En este se muestra de forma resumida el funcionamiento base del sistema.

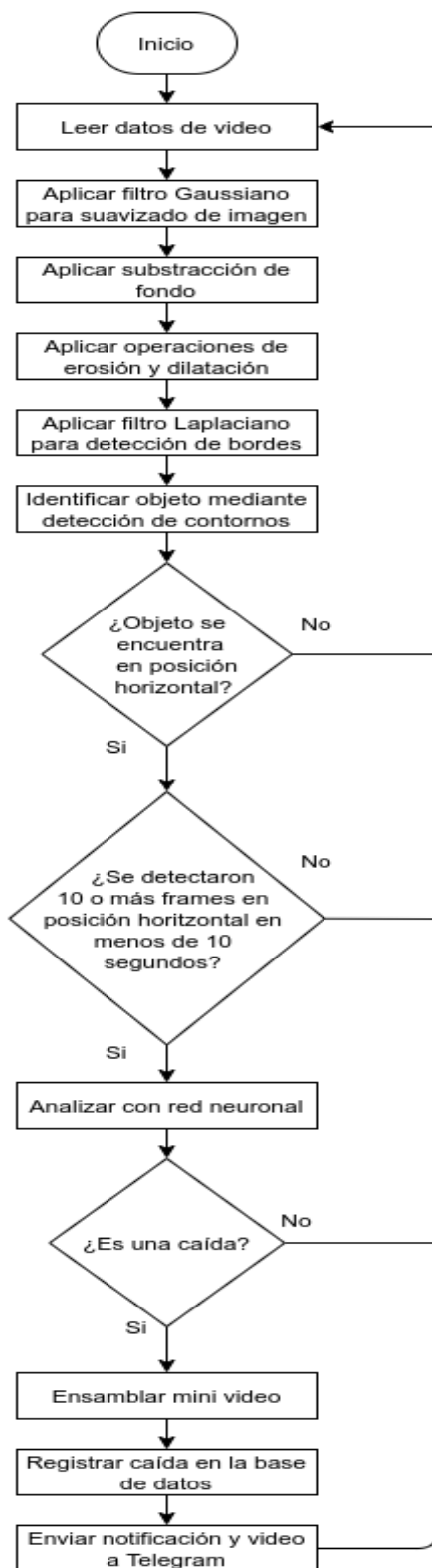


Fig. 2. Proceso simplificado del sistema.

V. CÓDIGO FUENTE

En este apartado se pretende mostrar de forma breve la construcción del sistema, desde el punto de vista del código

fuente esencial de cada componente que lo conforma.

El primer componente desarrollado fue el procesador de imágenes, que tiene como objetivo manipular los frames obtenidos de la cámara de video y comprobar que el objeto en movimiento (adulto mayor), no se encuentre en una posición horizontal por más de diez segundos. Para que poder mejorar el proceso de detección preeliminar se redimensiona la imagen a un tamaño manejable para la RNA, esto se consigue usando un factor de escalado de 0.7 en ambas direcciones. Posterior a esto se aplica un desenfoque Gaussiano, de forma que se suavizan los bordes de la imagen y se reduce el ruido. Las variables “frame” y “fondo” representan matrices densas de n dimensiones, donde “frame” es la imagen recibida en un instante y “fondo” la imagen luego de reducir el ruido. Por otra parte, “video” representa un stream de entrada con las imágenes recibidas de la cámara.

```

video >> frame;
resize(frame, frame, Size(), 0.7,0.7);
GaussianBlur(fondo, fondo, Size(3, 3), 2, 2);

```

Fig. 3. Procesador de imágenes. Reducción de ruido.

El siguiente paso es substrair el fondo, para ello se utiliza el substractor de fondo propio de OpenCV creado mediante el algoritmo K vecinos más cercanos. Con el fondo substraido se proceden a realizar las operaciones de erosión y dilatación. La primera se usa para eliminar los puntos blancos fuera de la silueta principal, mientras que la segunda elimina los puntos negros dentro de esta. Las variables “objeto” y “elementoEstructurante” representan una matriz densa de n dimensiones. La primera almacena la silueta del adulto mayor una vez substraido el fondo, mientras que la segunda actúa a modo de kernel de 3x3 en forma de cruz.

```

pSubstractor->apply(fondo, objeto);
erode(objeto, objeto, elementoEstructurante);
dilate(objeto, objeto, elementoEstructurante);

```

Fig. 4. Procesador de imágenes, Substracción de fondo.

Una vez que tenemos la silueta tan limpia como sea posible se procede a detectar los bordes de la misma. Esto se hace utilizando el filtro Laplaciano, el cual consigue obtener estos a partir de la diferencia entre intensidades de color. Luego de esto, se escalan y convierten en absolutos los valores de los bordes y se detectan los contornos en la imagen. La variable “borde” representa una matriz densa de n-dimensiones que almacena la silueta del adulto mayor destacando los bordes luego de aplicar el filtro mencionado. Por otro lado, “contornos” es un vector de vectores que almacena los puntos de los contornos detectados, mientras que “jerarquia” es un vector de vectores de cuatro dimensiones que sirve para almacenar las líneas de los contornos.

```

Laplacian(objeto, bordes, CV_16S, 3);
convertScaleAbs(bordes, bordes);
findContours(bordes, contornos, jerarquia, RETR_TREE, CHAIN_APPROX_SIMPLE);

```

Fig. 5. Procesador de imágenes. Detección de bordes y contornos.

Finalmente, se comprueba que el rectángulo de límites del contorno no se encuentre entre las dimensiones 150x100 y 300x300 (tamaño promedio de un adulto dentro de la imagen de acuerdo a pruebas realizadas). En caso de que esta condición no se cumpla entonces se genera un pequeño video y se envía la última imagen de esta a la RNA para analizar si realmente se trata de una caída.

```

area = boundingRect(contornos[contornoPrincipal]);
ancho = area.br().x - area.tl().x;
alto = area.br().y - area.tl().y;
if(ancho > 150 && alto > 100 && ancho < 300 && alto < 300){
    imagenesPosiblesCaidas += 1;
    if(imagenesPosiblesCaidas >= 10){
        segundos = difftime(time(0), tiempoInicial);
        if(segundos >= 10){
            generarVideo();
            imwrite("Socket/Validacion/deteccion.jpg", fondo);
            int result = system("python3 Socket/Client/client.py 1");
            caidas = 0;
            tiempoInicial = time(0);
        }
    }
}
}

```

Fig. 6. Procesador de imágenes. Detección preliminar de una caída.

El segundo componente es la red neuronal artificial, la cual es invocada cada vez que hay una tentativa de caída y predice en base al conocimiento adquirido si esta en realidad se trata de una. Este componente fue dividido en dos partes mediante un socket, puesto que el proceso de carga de los pesos de la RNA toma un tiempo considerable y retrasaría las predicciones y alertas de caídas cada vez que es invocado desde el procesador de imágenes. Por ello se prefiere un programa servidor que cargue estos pesos y se mantenga a la escucha de peticiones para predecir. Como se mencionó anteriormente se usa “binary_crossentropy” como función de pérdida, puesto que solo existen dos posibles salidas. Para el optimizador se utilizó el Root Mean Square Propagation con una tasa de aprendizaje de 0.001. En el caso de la métrica a calcular se especificó la exactitud debido a que este es el valor que nos interesa para comprobar el grado en el que una predicción es correcta.

```

json_file = open('model.json', 'r')
loaded_model_json = json_file.read()
json_file.close()
loaded_model = model_from_json(loaded_model_json)
loaded_model.load_weights("model.h5")
modelo.compile(
    loss = "binary_crossentropy",
    optimizer = RMSprop(lr = 0.001),
    metrics = ['accuracy']
)

```

Fig. 7. Red neuronal artificial. Carga de pesos y compilación de la red.

Una vez puesto en ejecución la RNA, se procede a procesar la solicitud del programa cliente en caso de que exista una tentativa de caída. Para ello se cargan la imagen que se desea analizar y se la redimensiona al tamaño aceptado para el

modelo de la red, que en este caso es 200x200 píxeles. Posteriormente se utiliza las librerías image y numpy para convertir la imagen en formato binario a un arreglo de números entendibles para la RNA. A continuación, se procede a realizar la predicción y el resultado será uno de los siguientes valores: 0 si es una caída, y 1 si no es una caída.

```

imagen = image.load_img("../Validacion/deteccion.jpg")
ruta_video = "/home/pi/Desktop/OpenCV-Deteccion-Caidas/video.mp4"
imagen = imagen.resize((200, 200))
imagen_array = image.img_to_array(imagen)
imagen_array = np.expand_dims(imagen_array, axis = 0)
imagen_array = np.vstack([imagen_array])
prediccion = modelo.predict(imagen_array)

```

Fig. 8. Red neuronal artificial. Carga de imagen y predicción de caída.

Por último se procede a comprobar si el resultado de la predicción es una caída. En caso de ser así, la imagen de la caída es persistida en la base de datos para posterior visualización en las aplicaciones web y móvil, mediante la conversión en una cadena codificada utilizando el algoritmo de base 64, lo cual facilita su transmisión a través de servicios web. La notificación de caída con el video es enviado al usuario mediante un bot a Telegram.

```

if prediccion == 0:
    with open("../Validacion/deteccion.jpg", "rb") as imagen:
        cadena_codificada = base64.b64encode(imagen.read())
        url = "http://34.125.213.125:80/rest/caidas"
        caida = {"imgbinary": cadena_codificada}
        requests.post(url, json = caida)

```

Fig. 9. Red neuronal artificial. Registro de caída mediante servicio web.

En el lado del cliente se tiene un programa simple que es invocado desde C++ y realiza las peticiones al programa servidor previamente en escucha.

El tercer componente es el bot para Telegram, el cual se encuentra integrado en conjunto con el programa servidor de la red neuronal. Mediante este se carga el mini video creado en el procesador de imágenes y se lo envía en conjunto con un mensaje a modo de precaución en la notificación. Para esta tarea se requiere del identificador de chat entre el bot y el usuario, el cual se obtiene previamente.

```

video = open(ruta_video, 'rb')
bot = telegram.Bot(token_privado)
bot.send_message(chatID, "Su familiar pudo haber sufrido una caída:")
bot.send_video(chatID, video)
video.close()

```

Fig. 10. Notificador. Notificación de posible caída enviada mediante un bot.

VI. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

La primera parte de este proyecto consistió en conseguir un conjunto de datos relacionado a las caídas en habitaciones, para lo cual se optó en usar el proporcionado por FallDataset (<https://falldataset.com/>). Ya que este trabajo abarca las caídas en general se determinó solo dos posibles salidas para los datos: 0 (Es una caída) o 1 (No es una caída). Adicionalmente se empleó la técnica de data augmentation, de esta forma se aprovecha de mejor manera la información de cada imagen. Durante esta fase se tuvieron dificultades para ajustar el conocimiento de la RNA, de forma que inicialmente existió un sobre-entrenamiento del entorno, generando gráficas de precisión y pérdida con demasiados picos. Para solucionar este

problema se procedió a experimentar la mejor configuración posible mediante el afinamiento de hiper-parámetros. En la Tabla 1 se presentan las seis mejores configuraciones que se obtuvieron en el estudio exploratorio.

En la Figura 11 se pueden apreciar las curvas de accuracy (parte superior) y loss (parte inferior) de la red neuronal.

A continuación se desarrollaron las aplicaciones web y móvil para visualizar y gestionar de forma más amigable el entorno del sistema. La aplicación web es accesible desde el navegador, mientras que la aplicación móvil debe ser descargada e instalada para Android desde la tienda de aplicaciones Play Store. Para la persistencia de los registros se usa la base de datos SQLite.

Lo siguiente fue realizar las pruebas preliminares del sistema en un entorno controlado real, donde se toma como escenario una habitación sencilla (Figura 3), posterior al consentimiento firmado del usuario voluntario. Durante un periodo de treinta días se mantuvo el sistema en constante funcionamiento y se logró detectar 8 de 10 caídas, ratificando así la precisión de la red neuronal artificial. Las dos caídas restantes no fueron detectadas correctamente debido a que las imágenes usadas para estas contenían escenarios con habitaciones que no son familiares a la red.

Parámetros de la red neuronal convolucional							Resultados			
Capas de convolución y agrupación	Activación	Optimizador	Retrollamada	Tamaño del lote	Epocas	Abandono	Exactitud	Pérdida	Exactitud (Validación)	Pérdida (Validación)
2 Capas (32 filtros)	Sigmoidea	RMSprop	ES	32	11	0.5	0.5802	6.4181	0.5017	8.0879
2 Capas (32 filtros)	Sigmoidea	RMSprop	ES	32	10	Ninguno	0.5814	6.4333	0.5007	8.2368
2 Capas (32 filtros)	Sigmoidea	RMSprop	ES, MC	32	11	0.5	0.4198	8.9226	0.4983	8.2624
2 Capas (32 filtros) 1 Capa (64 filtros)	Sigmoidea	RMSprop	ES	36	104	0.5	0.9901	0.0295	0.9911	0.0148
2 Capas (32 filtros) 1 Capa (64 filtros)	Sigmoidea	RMSprop	ES	32	55	Ninguno	0.9941	0.0236	0.9894	0.0048
2 Capas (32 filtros) 1 Capa (64 filtros)	Sigmoidea	RMSprop	ES, MC	32	76	0.5	0.9921	0.0286	0.9967	0.0028

Tabla 1. Seis mejores configuraciones obtenidas con Hyperparameter Tuning.

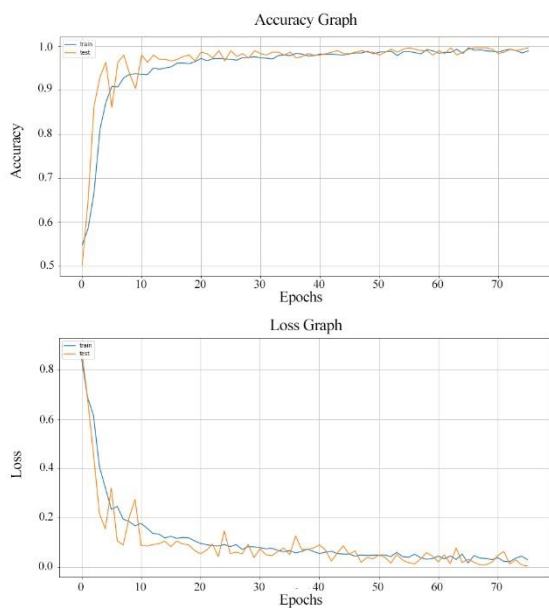


Fig. 11. Curvas de accuracy y loss de la red neuronal



Fig. 12. Detección de posible caída

Posterior a esto, se procedió a comprobar que los eventos de caídas fueran registrados en la base de datos y que puedan ser vistos desde las aplicaciones web y móviles. Para ello se ingreso en ambas aplicaciones mediante las credenciales de usuario previamente creadas. Al ingresar en ambas se pudo observar que las caídas fueron registradas correctamente.

Paciente	Fecha y hora	Revisada	Imagen
Esteban Toledo	Jun 04 2021 19:27:50	True	Ver
Esteban Toledo	Jun 04 2021 19:28:44	True	Ver
Esteban Toledo	Jun 04 2021 19:28:46	True	Ver
Esteban Toledo	Jun 04 2021 19:30:24	True	Ver
Esteban Toledo	Jun 03 2021 13:53:32	False	Ver

Fig. 13. Visualización de registro de caída en la aplicación web.

Fig. 14. Visualización de registro de caída en la aplicación móvil.

También se comprobó que la notificación de las caída llegaron correctamente al chat con el bot en Telegram. De esta forma, se corrobora que el proceso de detección y notificación cumple con la funcionalidad requerida.



Fig. 15. Visualización de registro de caída en la aplicación móvil.

En estas pruebas preliminares se pudo observar que cuando el nivel de iluminación es bajo (luz natural baja, luz artificial encendida pero con baja potencia) las caídas son más difíciles de detectar. Finalmente para poder comprobar el correcto funcionamiento del sistema se realizaron las pruebas

finales donde participaron quince voluntarios. Aunque el sistema esta orientado a ayudar a los ancianos, realizar pruebas de evaluación con estos es complicado, puesto que su salud es delicada. En su lugar, se escenificaron los eventos mediante la ayuda de adultos jovenes sin complicaciones de salud. Por cada uno de ellos se capturaron dos escenarios que representaban una habitación. En el primero, la persona camina por el entorno y sufre una caída. En el segundo, la persona aparece haciendo cualquier acción pero no sufre una caída. A continuación, como se aprecia en la Tabla 2, se describen los resultados alcanzados:

Registro de eventos realizados	
Total de eventos	30
Total de caídas	15
Total de eventos que no son caídas	15
Predicciones de la red neuronal artificial	
Caídas reconocidas correctamente	12
Caídas no reconocidas correctamente	3
Otros eventos (que no son caídas) incorrectamente clasificados	2

Tabla 2. Resultados de evaluación real empleando 15 voluntarios.

Cabe mencionar que de las tres caídas no reconocidas correctamente, dos de ellas fueron con la cámara intencionalmente afectada por movimientos de esta. En el resto de eventos la cámara se encontraba en una posición estática.

VII. CONCLUSIONES

Mediante este trabajo se ha presentado de forma breve el funcionamiento del sistema de monitoreo basado en visión artificial y aplicaciones móviles para el monitoreo y detección de caídas en adultos mayores. Se puede afirmar que estos sistemas son una alternativa factible para la implementación en un entorno supervisado. El correcto diseño de la estructura de la RNA permite obtener mejores resultados, así como usar un conjunto de datos que satisfaga las muestras requeridas para el entrenamiento y las pruebas. Usar este tipo de sistemas permite que las personas encargadas de cuidar a los adultos mayores puedan ser advertidos con mayor velocidad cuando sucede una caída. Además de que es importante complementar con el historial de dichos eventos en caso de requerir un control médico. Por otra parte, existen problemas para detectar las caídas cuando el nivel de iluminación es bastante bajo, por lo que se recomienda emplear sistemas de visión nocturna. Asimismo, es importante mencionar que la videocámara debe encontrarse en una posición estática, puesto que el movimiento puede afectar de forma negativa a la correcta detección de las caídas.

Como líneas de trabajo futuro, se proponen las siguientes:

- ⑩ Diseñar y desarrollar un modelo detección de caídas que pueda emplear de forma eficiente secuencias de imágenes y analizar la situación posterior al suceso.
- ⑩ Desarrollar un corpus de entrenamiento de imágenes

que incorpore aspectos relacionados con la velocidad en que se produce la posible caída.

VIII. REFERENCIAS

- [1] «Caídas». <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- [2] World Health Organization, Ed., *WHO global report on falls prevention in older age*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2008.
- [3] «Envejecimiento y salud». <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/envejecimiento-y-salud>
- [4] I. N. de E. y Censos, «Proyecciones Poblacionales», *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- [5] R. González Vega, R. Hernández Bretones, B. Jiménez del Olmo, R. González Vega, R. Hernández Bretones, y B. Jiménez del Olmo, «Desarrollo de un sistema de detección de caídas basado en acelerómetros», 2016. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/38704/>
- [6] P. S. Chávez Pihuave y K. A. Lupera Bravo, «Sistema gerontológico de detección de caídas para reducir el riesgo de muerte.», abr. 2019 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39760>.
- [7] S. O. A, A. M, J. J. J, y M. N, «Optimized low computational algorithm for elderly fall detection based on machine learning techniques», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.biomedres.info/abstract/optimized-low-computational-algorithm-for-elderly-fall-detection-based-on-machine-learning-techniques-11016.html>.
- [8] D. Dean Pulido, «Detección de caídas mediante vídeo-monitorización», mar. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/670462>.
- [9] Sergio González Díaz, «Sistema de detección de caídas de personas mayores por medio de visión artificial», oct. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/27708>.