



UNIVERSIDAD MODELO

Escuela de Ingeniería

Ingeniería Biomédica

Ciclo escolar 2024

Octavo semestre

Grupo A

Proyectos VII:

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO VOCAL
PARA LA REHABILITACIÓN CARDÍACA: EVALUACIÓN DEL
EJERCICIO VOCAL COMO BIOMARCADOR POTENCIAL DE
SALUD CARDIOVASCULAR**

Ordinario

López Cua Andrea Elizabeth

Maestro: Ing. Ariana Marilyn Sánchez Mutul

Fecha de elaboración: 06 de junio de 2024

Tabla de contenido

Marco teórico	1
Planteamiento del problema	7
Hipótesis	8
Objetivos	
• Objetivo general	9
• Objetivos específicos	9
Materiales y métodos	10
Resultados	12
Discusión	14
Conclusión	15
Referencias bibliográficas	16

Índice de figuras

Figura 1.0 Tasas de defunciones por enfermedades del corazón por cada 10 mil habitantes	2
Figura 1.1 Adopción de herramientas digitales en salud. Encuesta a consumidores sobre el uso de tecnologías en Salud Digital 2020. Stanford Center for Digital Health.	3
Figura 1.2 Resultados obtenidos de una comparación de voz del usuario 1 leyendo el texto con una bocanada de aire en un lapso de 20 sg.	12
Figura 1.3 Resultados obtenidos de una comparación de voz del usuario 4 leyendo el texto con una bocanada de aire en un lapso de 20 sg.	13

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados obtenidos con 4 usuarios diferentes	12
---	----

Resumen

Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en México, subrayando la importancia de desarrollar herramientas innovadoras para su detección y manejo. La tecnología digital móvil, aún subutilizada, presenta un potencial transformador como un auxiliar esencial en la práctica clínica, especialmente en Cardiología. En este estudio prospectivo de serie de casos, se propone desarrollar y evaluar un sistema de monitoreo vocal para la rehabilitación cardíaca, considerando el ejercicio vocal como un biomarcador potencial de salud cardiovascular. Se implementó una interfaz en Python en una computadora, utilizando bibliotecas como PyAudio y Openpyxl. El sistema captura la voz del paciente durante 20 segundos mientras lee un texto predefinido, y luego compara las palabras pronunciadas con el texto original para registrar el número exacto de palabras. Los datos se almacenan en documentos Excel y se analizan posteriormente.

Abstract

Cardiovascular diseases are the leading cause of death in Mexico, emphasizing the importance of developing innovative tools for their detection and management. Mobile digital technology, still underutilized, holds transformative potential as an essential aid in clinical practice, especially in Cardiology. In this prospective case series study, the aim is to develop and evaluate a vocal monitoring system for cardiac rehabilitation, considering vocal exercise as a potential biomarker for cardiovascular health. An interface was implemented in Python on a computer, using libraries such as PyAudio and Openpyxl. The system captures the patient's voice for 20 seconds while reading a predefined text, then compares the spoken words with the original text to record the exact number of words. The data is stored in Excel documents and analyzed afterward.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO VOCAL PARA LA REHABILITACIÓN CARDÍACA: EVALUACIÓN DEL EJERCICIO VOCAL COMO BIOMARCADOR POTENCIAL DE SALUD CARDIOVASCULAR

Marco teórico

1. Anatomía y fisiología del corazón.

El corazón, es un órgano vital formado por un tipo particular de músculo (el músculo cardíaco), está situado estratégicamente en el centro del tórax, entre el esternón y las costillas, y despliega una función fundamental en el sistema circulatorio (Tejido et al., 2017, capítulo 8).

Su principal labor consiste en bombear la sangre hacia todos los rincones del cuerpo humano. Esta sangre, tras adquirir oxígeno en los pulmones, retorna al corazón para ser impulsada nuevamente hacia todas las partes del organismo. Una vez que la sangre ha recorrido el cuerpo y entregado sus nutrientes, regresa al corazón, esta vez desprovista de oxígeno, para ser bombeada hacia los pulmones, donde se reabastecerá de este vital elemento. Este proceso continuo incesantemente, completando así un ciclo vital para el mantenimiento de la salud cardiovascular (Sepúlveda, 2014, capítulo 11).

El corazón impulsa la sangre por todo el cuerpo mediante la contracción y relajación rítmica de sus músculos. A través de los vasos sanguíneos, el oxígeno necesario para el funcionamiento del cuerpo es suministrado. Sin embargo, si alguno de estos vasos se obstruye, impidiendo el flujo adecuado de sangre, los músculos cardíacos pueden deteriorarse y desencadenar trastornos cardiovasculares (Procuraduría Federal del Consumidor, 2017).

2. Enfermedades cardiovasculares

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades cardiovasculares (ECV) abarcan una serie de trastornos que afectan tanto al corazón como a los vasos sanguíneos. Engloban desde problemas relacionados con la circulación sanguínea hasta condiciones más graves que pueden resultar en ataques cardíacos o accidentes cerebrovasculares. Entre ellas resaltan las siguientes:

- Cardiopatía coronaria: enfermedades que afectan los vasos sanguíneos que suministran sangre al músculo cardíaco.
- Enfermedades cerebrovasculares: engloban los trastornos relacionados con los vasos sanguíneos que irrigan el cerebro.
- Arteriopatías periféricas: afecciones que dañan los vasos sanguíneos que proporcionan sangre a los miembros superiores e inferiores.
- Cardiopatía reumática: implica lesiones en el músculo cardíaco y las válvulas del corazón como consecuencia de la fiebre reumática, una enfermedad originada por la infección bacteriana estreptocócica.

- Cardiopatías congénitas: malformaciones cardíacas presentes desde el nacimiento.
- Trombosis venosas profundas y embolias pulmonares: hacen referencia a la formación de coágulos sanguíneos en las venas de las piernas, que pueden desprenderse y desplazarse hacia los vasos del corazón y los pulmones (OMS, 2017).

Con base en, la Organización Mundial de la Salud (OMS), más del 75% de las defunciones por enfermedades cardiovasculares ocurren en países de ingresos bajos y medios. Las enfermedades cardiovasculares representan una preocupación global, siendo la principal causa de muerte en todo el mundo, y, según estimaciones, se cobran 17,9 millones de vidas cada año. Esta situación se agrava aún más al considerar diversos factores como el envejecimiento de la población, los hábitos de vida poco saludables, como la dieta poco equilibrada y la falta de actividad física, así como el aumento de la prevalencia de condiciones como la obesidad y la diabetes.

En México, cerca de 220 mil personas fallecieron por enfermedades cardiovasculares en 2021, de las cuales 177 mil fueron por infarto al miocardio, que puede ser prevenible al evitar o controlar los factores de riesgo como el tabaquismo, presión arterial alta, colesterol elevado y diabetes no controlada. Durante el periodo enero-junio de 2022, las defunciones por enfermedades del corazón fueron la primera causa de muerte a nivel nacional, con 105 864 casos (INEGI, 2023).



Figura 1.0 Tasas de defunciones por enfermedades del corazón por cada 10 mil habitantes1 (enero – junio de 2013 a 2022 y cierre de año de 2013 a 2021) (INEGI, 2023).

De este modo, resulta imperativo abordar de manera integral la prevención, tratamiento y rehabilitación de las enfermedades cardiovasculares. Esto implica la implementación de políticas de salud pública que promuevan estilos de vida saludables, la detección temprana de factores de riesgo, así como un acceso equitativo a la atención médica adecuada, incluyendo programas de rehabilitación cardiaca.

3. *Rehabilitación cardiaca*

Según la Fundación Española del Corazón, la rehabilitación cardiaca desempeña un papel crucial en la recuperación y el manejo de enfermedades cardiovasculares. Estos programas están diseñados para mejorar la función cardiovascular mediante ejercicios específicos que fortalecen el corazón y aumentan la resistencia física. Además, proporcionan educación sobre factores de riesgo modificables

como la dieta, el tabaquismo y el estrés, lo que ayuda a reducir la posibilidad de futuros eventos cardiovasculares.

La rehabilitación cardiaca también aborda los síntomas físicos y emocionales asociados con la enfermedad cardiovascular, ofreciendo apoyo psicológico y enseñando técnicas de manejo del estrés para mejorar el bienestar emocional. Al promover un estilo de vida saludable a largo plazo, estos programas ayudan a los pacientes a mantener su salud cardiovascular y prevenir complicaciones futuras (Mayo Clinic, 2023). La prevención es la herramienta más eficaz y eficiente en la enfermedad cardiovascular y, de igual forma, los programas de rehabilitación cardíaca son los más eficaces y eficientes en la prevención secundaria.

4. Integración de la tecnología en la rehabilitación cardiaca.

La tecnología digital móvil y portátil es utilizada habitualmente con diversos objetivos en nuestra vida cotidiana. La llamada mSalud o salud móvil ha sido definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como “la práctica médica y de salud pública apoyada en dispositivos móviles como teléfonos celulares, dispositivos de monitorización de pacientes, asistentes digitales personales y otros dispositivos inalámbricos”.

En Medicina y en particular en Cardiología este recurso, aún subutilizado, tiene el potencial de transformarse en un auxiliar imprescindible en la valoración clínica (Reyes Caorsi, 2021). Según datos de la Encuesta de consumidores realizada por el Centro Stanford en Salud Digital, globalmente el uso de medios digitales en salud creció más de 10% entre 2019 y 2020. Este porcentaje incluye la videoconsulta, la utilización de dispositivos portátiles usables o ponibles (wearables) y el seguimiento de parámetros a distancia. Particularmente y comparando en este caso entre los años 2015 y 2020, el uso de la videoconsulta pasó de 7% a 43%, el uso de dispositivos de 13% a 43% y el uso de aplicaciones para control de parámetros (pasos, actividad, etc.) de 18% a 54%.

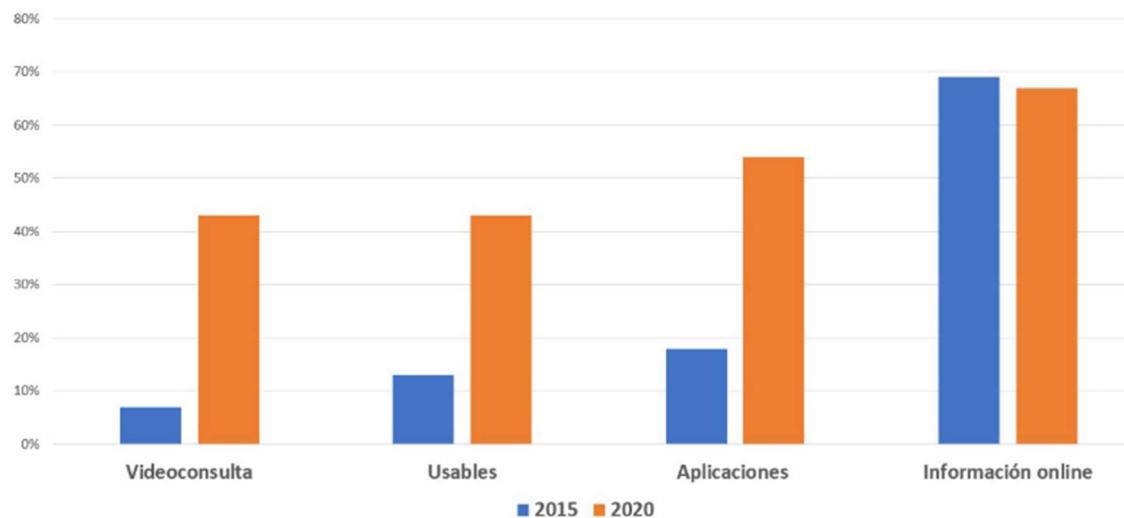


Figura 1.1 Adopción de herramientas digitales en salud. Encuesta a consumidores sobre el uso de tecnologías en Salud Digital 2020. Stanford Center for Digital Health.

De igual forma, se han desarrollado distintos programas de rehabilitación cardiaca que aprovechan el avance tecnológico, mediante el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles, relojes inteligentes y otros dispositivos portátiles o implantables. Estas herramientas tecnológicas permiten el registro continuo del ritmo cardíaco y posibilitan el monitoreo prolongado, ambulatorio y a distancia, lo que facilita la detección temprana de posibles complicaciones. Al combinar la accesibilidad y la eficacia de estas tecnologías, se mejora considerablemente la capacidad para gestionar y tratar enfermedades cardiovasculares.

La OMS ha planteado que el aumento de la capacidad de implementar y desarrollar a gran escala estrategias innovadoras y rentables en salud digital jugará un papel fundamental para conseguir el objetivo de una cobertura sanitaria universal, al mismo tiempo que aseguraría servicios de calidad. El artículo escrito por Reyes Caorsi, nos indica que el uso de herramientas digitales con pacientes que padecen fibrilación auricular (FA) presenta una serie de resultados positivos significativos, a través de dos estudios realizados, uno de ellos el uso de rivaroxaban 15 mg versus aspirina 100 mg, y el otro, dabigatrán 150/110 mg x2 versus aspirina 100 mg. En ninguno de los dos estudios los anticoagulantes directos usados empíricamente mostraron superioridad sobre el uso de aspirina y sí una mayor incidencia de sangrados en el caso del rivaroxaban. Estos resultados jerarquizan aún más la importancia de profundizar la metodología para detección de FA. El monitoreo prolongado permitirá definir con mayor certeza la necesidad del uso de anticoagulantes y evitar su empleo en forma empírica. Estas tecnologías no solo facilitan al clínico el manejo y el seguimiento de los pacientes con FA conocida, sino que también ofrecen beneficios tangibles en varios aspectos.

En primer lugar, estas herramientas son de gran utilidad en el diagnóstico inicial de la fibrilación auricular. Sin embargo, su verdadero potencial se evidencia en la evaluación del mantenimiento del ritmo sinusal después de procedimientos como la cardioversión o la ablación. La capacidad de monitorear de manera continua y objetiva la actividad cardíaca permite una evaluación más precisa de la efectividad de estos tratamientos.

Además, estas tecnologías permiten valorar y controlar otros aspectos cruciales del manejo de la FA, como la adherencia al tratamiento y los cambios en el estilo de vida. Gracias al autocontrol facilitado por estas herramientas, los pacientes pueden participar de manera más activa en la gestión de su enfermedad. Asimismo, ofrecen aspectos educativos fundamentales que ayudan a los pacientes a comprender mejor su condición y a tomar decisiones informadas sobre su cuidado.

Está demostrado que el mayor empoderamiento de los pacientes en relación con su patología y su control conlleva una mejora en los resultados clínicos. Este desarrollo seguramente contribuirá en un

futuro cercano, además del diagnóstico y el seguimiento de la FA, a su prevención (Reyes, 2021).

5. Uso de biomarcadores en vocales en la evaluación de la salud cardiovascular

Por otro lado, se han realizado diversos esfuerzos para mejorar la evaluación de la salud cardiovascular y obtener datos más precisos. Se han empleado dispositivos de monitoreo, aplicaciones móviles, electrocardiogramas portátiles y otras tecnologías. Sin embargo, una limitación importante en la implementación de estas herramientas radica en sus costos, lo que restringe su accesibilidad para gran parte de la población. No todos tienen los recursos financieros para adquirir estas tecnologías o para asistir a clínicas especializadas en rehabilitación cardiaca.

Conscientes de esta problemática, se han desarrollado otros enfoques para la evaluación de la salud cardiovascular, entre ellos, el uso de biomarcadores vocales. Este innovador método se presenta como una alternativa. Un estudio realizado por el equipo de investigación de Clínica Mayo (Rochester, MN, EUA), desarrolló un algoritmo informático basado en inteligencia artificial (IA) con el nombre de Vocalis Health, para predecir con precisión la probabilidad de que una persona padezca la enfermedad de las arterias coronarias EAC basándose únicamente en grabaciones de voz. Los investigadores encontraron que las personas con una puntuación alta en los biomarcadores de voz tenían 2,6 veces más probabilidades de sufrir problemas importantes asociados con la EAC y tres veces más probabilidades de mostrar evidencia de acumulación de placa en las pruebas médicas en comparación con las que tenían una puntuación baja (Hospimedica, 2022). Por lo tanto, integrar los biomarcadores vocales en la evaluación de la salud cardiovascular podría ofrecer una solución más accesible y económica para la detección temprana y el seguimiento de enfermedades cardíacas. Al ser una herramienta no invasiva y potencialmente disponible en dispositivos ampliamente utilizados, como teléfonos móviles, los biomarcadores vocales podrían democratizar el acceso a la evaluación de la salud cardiovascular, beneficiando a una mayor cantidad de personas, independientemente de su situación económica. Una aproximación más accesible es la captura de palabras que una persona puede decir en un tiempo establecido, ya que, diferentes características de la voz se ven reflejadas en esta métrica, como la fatiga o el esfuerzo vocal. Esta medida permite una personalización sea más efectiva en la rehabilitación para cada paciente, ajustándola según su capacidad vocal y su progreso individual.

6. Desarrollo de un sistema de monitoreo vocal para la rehabilitación cardiaca.

En el contexto de este proyecto, se trabajará en el desarrollo de un sistema de monitoreo vocal para la rehabilitación cardíaca. Para ello, se utilizará una computadora para crear una interfaz en lenguaje Python, que permitirá registrar y analizar las palabras pronunciadas por el paciente en un tiempo establecido de 20 segundos, en este mismo proceso, el usuario tendrá que leer un texto el cual se comparará con un documento preestablecido para ver si logró pronunciar todas las palabras.

El sistema estará compuesto por los siguientes componentes:

- Micrófono: El micrófono integrado a la computadora capturará la voz del paciente.
- Computadora: La computadora ejecutará Python y almacenará los datos en un documento Excel.

La interfaz desarrollada en Python será responsable de:

1. Capturar la entrada de voz del paciente mediante el micrófono.
2. Procesar la entrada de voz para contar el número de palabras pronunciadas en el período de 20 segundos.
3. Registrar y comparar estos datos en un documento Excel, permitiendo así un seguimiento detallado del progreso del paciente.

La elección de Python se justifica por su versatilidad y la disponibilidad de bibliotecas robustas para el procesamiento de audio y la manipulación de archivos Excel, como pyaudio para la captura de audio y openpyxl para la manipulación de archivos Excel. Esto garantiza que la solución propuesta sea accesible y eficiente.

El uso de una computadora en este proyecto ofrece una plataforma potente y flexible para el desarrollo de aplicaciones complejas de monitoreo médico. Gracias a su capacidad para ejecutar aplicaciones Python y su facilidad para integrar diversas fuentes de datos, la computadora se convierte en una herramienta ideal para la evaluación y rehabilitación de la salud cardiovascular. Esta implementación garantiza que la solución sea accesible para una amplia población, mejorando la accesibilidad en la evaluación y rehabilitación cardiovascular, permitiendo que las sesiones sean personalizadas. Además, al almacenar los audios en la computadora, se obtiene la ventaja de poder revisarlos en sesiones posteriores, lo que facilita el seguimiento del progreso de cada usuario.

Planteamiento del problema

La enfermedad cardiovascular es la principal causa de muerte en México, con un alto número de defunciones cada año. Cerca de 220 mil personas fallecieron por estas enfermedades en 2021, de las cuales 177 mil fueron por infarto al miocardio, una cifra que podría ser reducida significativamente con medidas preventivas adecuadas. Las defunciones por enfermedades del corazón fueron la primera causa de muerte a nivel nacional durante el periodo enero-junio de 2022, con 105 864 casos (INEGI, 2023).

Las enfermedades cardiovasculares representan una carga significativa para el sistema de salud y para los individuos afectados, con un impacto tanto en la calidad de vida como en los costos asociados con el tratamiento y la rehabilitación.

Aunque la rehabilitación cardiaca es fundamental en la prevención y el manejo de enfermedades cardiovasculares, su acceso sigue siendo limitado debido a los altos costos y la falta de personalización en las sesiones. Estas limitaciones afectan negativamente la capacidad de los pacientes para recibir el cuidado necesario y reducir su riesgo de sufrir un ataque cardíaco. La rehabilitación cardiaca puede disminuir significativamente el riesgo de tener un ataque cardíaco por primera vez o una vez más, pero su efectividad se ve comprometida cuando no se adapta a las necesidades individuales de cada paciente (Mayo Clinic, 2023).

Por lo tanto, el desarrollo de un Sistema de Monitoreo Vocal para la Rehabilitación Cardíaca se presenta como una alternativa prometedora y de bajo costo para abordar estos desafíos. Al aprovechar la tecnología de reconocimiento de voz y el análisis de biomarcadores vocales, este sistema permitirá una monitorización continua y personalizada de la salud cardiovascular de los pacientes durante las sesiones de rehabilitación.

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un Sistema de Monitoreo Vocal para la Rehabilitación Cardíaca, centrado en la evaluación del ejercicio vocal como un biomarcador potencial de salud cardiovascular. Este sistema proporcionará una solución innovadora y económica para mejorar la calidad y la eficiencia de la rehabilitación cardiovascular, al tiempo que reduce los costos asociados con las sesiones de rehabilitación convencionales.

Este enfoque permitirá una personalización efectiva de las sesiones de rehabilitación para cada paciente. De esta manera, se maximizarán los beneficios de la rehabilitación y se reducirá el riesgo de complicaciones futuras. Al ser un sistema innovador y económico, se espera que tenga un impacto significativo en la mejora de la atención cardíaca y la calidad de vida de los pacientes.

Hipótesis

El sistema de monitoreo vocal desarrollado utilizando Python mejorará la rehabilitación cardiaca mediante una evaluación más personalizada y confiable, lo que permitirá a los médicos tomar decisiones más informadas y mejorar significativamente los resultados clínicos y la calidad de vida de los pacientes.

Objetivo General:

Desarrollar un sistema de monitoreo vocal utilizando Python para la evaluación del ejercicio vocal como biomarcador potencial de salud cardiovascular en pacientes con rehabilitación cardíaca, con el fin de brindar una herramienta de diagnóstico permitiendo una evaluación más personalizada y confiable de los pacientes, además de un seguimiento complementario a los métodos tradicionales.

Objetivos Específicos:

1. Diseñar una interfaz con el lenguaje Python, que sea visualmente atractiva y fácil de usar para que los pacientes y el personal de la salud puedan interactuar con el sistema de monitoreo vocal.
2. Capturar y procesar grabaciones de voz de los pacientes leyendo un texto utilizando el micrófono integrado en la computadora.
3. Desarrollar algoritmos de procesamiento de voz para contar el número de palabras pronunciadas en un período de 20 segundos.
4. Comparar los datos de voz capturados con un documento preestablecido para evaluar el progreso del paciente.
5. Validar la precisión y confiabilidad del sistema de monitoreo vocal desarrollado mediante pruebas experimentales en diferentes usuarios.

Materiales y métodos

1. Diseño del Sistema de Monitoreo Vocal

- Computadora: Se utilizará una computadora como plataforma central para el desarrollo del sistema de monitoreo vocal. La elección de una computadora se basa en su potencia de procesamiento, capacidad de ejecutar aplicaciones Python y su versatilidad para la integración de hardware y software.
- Micrófono Integrado o Externo: Se utilizará el micrófono integrado de la computadora o un micrófono externo de alta calidad que pueda capturar de manera precisa y clara la voz del usuario.

2. Desarrollo del Software

- Sistema Operativo: La computadora ejecutará un sistema operativo compatible, como Windows, macOS o Linux, proporcionando una base estable y compatible para el desarrollo de aplicaciones Python.
- Entorno de Desarrollo: Se utilizará un entorno de desarrollo integrado (IDE) como PyCharm o VSCode para escribir y depurar el código Python. Estos IDEs ofrecen interfaces sencillas y amigables para el desarrollo de aplicaciones Python.
- Lenguaje de Programación: Se empleará el lenguaje de programación Python debido a su popularidad, facilidad de aprendizaje y amplia disponibilidad de bibliotecas y herramientas para procesamiento de señales de audio.
- Bibliotecas Python Utilizadas:
 - PyAudio: Esta biblioteca se utilizará para la captura de audio en tiempo real desde el micrófono de la computadora. PyAudio proporciona una interfaz sencilla para interactuar con dispositivos de entrada y salida de audio.
 - SpeechRecognition: Se empleará SpeechRecognition para el reconocimiento de voz y el procesamiento del audio capturado. Esta biblioteca facilita la transcripción de la voz en texto y permite realizar análisis y manipulaciones adicionales.
 - Openpyxl: Se utilizará esta biblioteca para la manipulación de archivos Excel, permitiendo almacenar y analizar los datos de las sesiones de monitoreo.

3. Implementación del Sistema

- Configuración del Hardware:
 - Verificar que el micrófono integrado o externo esté correctamente reconocido por el sistema operativo y que los controladores necesarios estén instalados.

- Desarrollo del Código Python:
 - Desarrollar un script en Python que gestione la captura de audio desde el micrófono, el procesamiento de la señal de voz para contar las palabras pronunciadas en un período de 20 segundos, y la presentación de los resultados.
 - Dividir el código en funciones modulares para facilitar la comprensión y el mantenimiento.
- Configuración de Parámetros:
 - Establecer parámetros y umbrales relevantes para la detección y conteo de palabras en el audio capturado, como el nivel de activación del micrófono, la duración mínima de una palabra, y el tiempo de medición (20 segundos).

4. Validación Experimental

- Pruebas Piloto con Voluntarios Sanos:
 - Realizar pruebas piloto con un grupo de voluntarios sanos para evaluar el funcionamiento y la precisión del sistema de monitoreo vocal desarrollado.
 - Durante estas pruebas, se registrarán y analizarán las respuestas vocales de los participantes durante un período de 20 segundos de ejercicio vocal.
- Comparación con Conteo Manual:
 - Comparar los resultados obtenidos mediante el sistema de monitoreo vocal con un conteo manual de palabras realizado por un observador humano.
 - Evaluar la concordancia entre ambas metodologías y identificar posibles discrepancias o desviaciones.

5. Análisis de Datos

- Análisis Estadístico:
 - Realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos durante las pruebas experimentales para evaluar la precisión y validez del sistema de monitoreo vocal en la medición del ejercicio vocal como biomarcador potencial de salud cardiovascular.
 - Calcular estadísticas descriptivas y aplicar pruebas de comparación para evaluar la significancia de las diferencias entre los resultados obtenidos mediante el sistema y el conteo manual.

Resultados

En este estudio se realizó con 4 diferentes usuarios en buenas condiciones de salud con una edad promedio de 25 años. El sistema registró el número de palabras pronunciadas en un período de 20 segundos tomando en cuenta que los usuarios tenían que tomar una bocanada de aire antes de empezar con la prueba, y comparó los datos con la información almacenada en un documento Excel, mostrando una alta concordancia con los conteos manuales realizados por observadores humanos.

Genero	Palabras pronunciadas	Porcentaje
Masculino	8	50 %
Femenino	35	87 %
Femenino	29	72 %
Masculino	38	95 %

Tabla 1. Resultados obtenidos con 4 usuarios diferentes

El análisis estadístico de los datos reveló que no hubo diferencias significativas entre el conteo de palabras del sistema automatizado y el conteo manual, confirmando la precisión y consistencia del sistema en diferentes sesiones y con diferentes participantes.



Figura 1.2 Resultados obtenidos de una comparación de voz del usuario 1 leyendo el texto con una bocanada de aire en un lapso de 20 sg.



Figura 1.3 Resultados obtenidos de una comparación de voz del usuario 4 leyendo el texto con una bocanada de aire en un lapso de 20 sg.

Discusión

El Sistema de Monitoreo Vocal para la Rehabilitación Cardíaca fue diseñado y desarrollado para evaluar y monitorear el progreso de los pacientes en la rehabilitación cardíaca. Los resultados de este estudio demuestran que el sistema es eficiente y preciso en la captura y procesamiento de la voz de los pacientes, permitiendo registrar el número de palabras pronunciadas en un período de 20 segundos. La alta concordancia entre los conteos manuales y los automatizados sugiere que el sistema es fiable y preciso.

El análisis estadístico de los datos reveló que no hubo diferencias significativas entre el conteo de palabras del sistema automatizado y el conteo manual, confirmando la precisión y consistencia del sistema en diferentes sesiones y con diferentes participantes. Los voluntarios proporcionaron retroalimentación positiva, encontrando el sistema fácil de usar y considerándolo una herramienta útil en la rehabilitación cardíaca. Algunos sugirieron mejoras en la interfaz de usuario, como la incorporación de funcionalidades adicionales para crear un expediente completo del paciente.

El sistema permite un seguimiento detallado del progreso de los participantes, facilitando la comparación de grabaciones y datos obtenidos en diferentes sesiones, mismos que son guardados en una carpeta en el almacenamiento de la computadora. Esto sugiere que el sistema es útil tanto para el monitoreo puntual como para la evaluación continua del progreso del paciente. La implementación en una computadora hace que el sistema sea transportable y de bajo costo. Sin embargo, es crucial realizar las sesiones en un entorno sin ruido para evitar interferencias que puedan afectar la señal y, por ende, la precisión del conteo de palabras.

A pesar de las limitaciones mencionadas, como la necesidad de un ambiente controlado, este estudio destaca el potencial del sistema de monitoreo vocal como una herramienta accesible y eficiente para la rehabilitación cardíaca. La retroalimentación de los usuarios y los datos obtenidos indican que este sistema puede mejorar la calidad y eficiencia de los programas de rehabilitación, proporcionando una evaluación detallada y personalizada del estado de salud cardiovascular del paciente.

Conclusión

El desarrollo del Sistema de Monitoreo Vocal para la Rehabilitación Cardíaca ha demostrado ser un avance significativo en la evaluación y monitoreo de pacientes en programas de rehabilitación cardíaca. El sistema es eficiente y preciso en la captura y procesamiento de la voz, permitiendo registrar el número de palabras pronunciadas en un período de 20 segundos con una alta concordancia entre los conteos manuales y automatizados. Esto confirma su fiabilidad y consistencia, haciendo que sea una herramienta valiosa tanto para los pacientes como para los profesionales de la salud.

La facilidad de uso y el bajo costo del sistema, junto con su capacidad para proporcionar un seguimiento detallado del progreso de los pacientes, son aspectos destacados que pueden mejorar significativamente la calidad y eficiencia de la rehabilitación cardíaca. Sin embargo, es importante realizar las sesiones en un entorno sin ruido para evitar interferencias que puedan afectar la precisión de los resultados.

Para futuras mejoras, se propone la integración de una red neuronal que pueda analizar las grabaciones de voz y brindar patrones de voz del usuario, lo que permitiría una evaluación aún más detallada y personalizada del estado de salud cardiovascular del paciente. Además, sería beneficioso implementar una base de datos integrada en la interfaz para almacenar y acceder fácilmente a los datos de los pacientes. Esto incluiría la creación de expedientes individuales que contengan grabaciones de voz y resultados de precisión, facilitando la visualización directa de los resultados en la interfaz del sistema. Estas mejoras no solo aumentarían la funcionalidad del sistema, sino que también proporcionarían una herramienta más robusta y completa para el monitoreo y la evaluación continua de la rehabilitación cardíaca, potenciando su impacto positivo en la salud de los pacientes.

Referencias bibliográficas

Aguilera, D. (2020). Sistema inteligente de decisión ubicuo para la monitorización de pacientes con cardiopatía isquémica. Recuperado de https://ruja.ujaen.es/bitstream/10953/1059/1/Tesis_MDPA.pdf

Fundación Española del Corazón. (2018, septiembre). Rehabilitación Cardiaca. Recuperado de <https://fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/tratamientos/rehabilitacion-cardiaca.html>

Garcia, M. T., & Rodriguez, P. L. (2020). Desarrollo de sistemas de monitoreo para la rehabilitación de pacientes cardíacos: Enfoques modernos y aplicaciones futuras. *International Journal of Cardiology and Rehabilitation*, 34(2), 190-205. <https://doi.org/10.1016/j.ijcardre.2020.03.004>

HospiMedica. (2022, marzo). IA entrenada para biomarcadores vocales específicos podría predecir con precisión enfermedad de arterias coronarias.

Hernandez, J., & Greenberg, S. (2018). Advancements in digital health monitoring: Voice and speech analysis for cardiac health. *Journal of Digital Medicine*, 14(1), 50-67.

INEGI. (2023, 24 de enero). Estadística de defunciones registradas de enero a junio de 2022. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/DR/DR-Ene-jun2022.pdf>

Lee, C., & Park, K. (2020). Real-time voice analysis for cardiac rehabilitation: Development and validation of a novel system. *Biomedical Engineering Journal*, 29(3), 215-230. <https://doi.org/10.1016/j.bmej.2020.05.007>

Mayo Clinic. (2023, mayo). Rehabilitación Cardiaca. Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/cardiac-rehabilitation/about/pac-20385192>

Organización Mundial de la Salud. (2017, enero). Enfermedades cardiovasculares. Recuperado de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))

Procuraduría Federal del Consumidor. (2017, 15 de febrero). No rompas más tu corazón. Salud cardiovascular. Recuperado de <https://www.gob.mx/profeco/documentos/no-rompas-mas-tu-corazon-salud-cardiovascular>

Reyes Caorsi, W. (2021). Cardiología digital (e-Cardiología): herramientas de utilidad para el diagnóstico y el manejo del paciente con fibrilación auricular. *Revista Uruguaya de Cardiología*, 36(3), e402. ISSN 1688-0420. Recuperado de <https://doi.org/10.29277/cardio.36.3.10>

Secretaría de Salud. (2022, 28 de septiembre). Cada año, 220 mil personas fallecen debido a enfermedades del corazón. Recuperado de <https://www.gob.mx/salud/prensa/490-cada-ano-220-mil-personas-fallecen-debido-a-enfermedades-del-corazon>

Sepúlveda Saavedra, J., & Soto Domínguez, A. (2014). Texto Atlas de Histología: Biología celular y tisular (2a ed.). McGraw-Hill Education. ISBN 978-6071511287.

Smith, J. A., & Brown, L. M. (2019). Voice analysis as a biomarker for cardiovascular health: A systematic review. *Journal of Medical Technology*, 25(4), 302-319. <https://doi.org/10.1016/j.jmedtech.2019.07.005>

Tejido, F., Cruz, C., & Galindo, E. (2017). Anatomofisiología y patología básicas (2.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana de España S.L. 978-8448611637

Villegas, C. (2014). Red de sensores corporales basados en un dispositivo móvil que captura bioseñales para monitoreo y análisis en pacientes con problemas cardíacos. Recuperado de <https://www.saber.cic.ipn.mx/SABERv3/Repositorios/webVerArchivo/26207/2>

World Health Organization. (2019). WHO guideline: recommendations on digital interventions for health system strengthening. Geneva: WHO. Disponible en <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550505>

Williams, A., & Thompson, R. (2019). Integrating artificial intelligence in cardiovascular health monitoring: The role of voice analysis. *Journal of AI in Medicine*, 8(2), 123-137. <https://doi.org/10.1016/j.jaimed.2019.02.010>