

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte

Nombre del Alumno: I. B. Mario Hernández Villa.

Nombre de la Asesora: Dra. Nelly Gordillo Castillo.

Departamento: Diseño y Desarrollo de Producto.

Título:
Diseño de un dispositivo portátil para el monitoreo de ingesta de líquidos en adultos mayores.

Fecha: Noviembre de 2025

Índice

1Capítulo I
..... 10
1.1 Antecedentes 10
1.2 Planteamiento del problema 14
1.3 Preguntas de investigación 15
1.4 Objetivo General 15
1.4.1 Objetivos específicos 15
1.5 Aportación de Diseño 15
1.6 Viabilidad 16
1.7 Justificación 16
1.8 Variables del proyecto 17
1.8.1 Independiente 17
1.8.2 Dependientes 17
1.9 Hipótesis 18
1.10 Alcances y Delimitaciones 18
2 Capítulo II 19
2.1 El balance hídrico: regulación y mecanismos 19
2.2 Cambios fisiológicos asociados al envejecimiento 20
2.3 Tipos de deshidratación y su clasificación 22
2.4 Deshidratación en adultos mayores 23
2.5 Reconocimiento de actividades humanas 24
2.6 Investigaciones enfocadas en la detección de ingesta de líquidos 27
2.7 Diseño y desarrollo de productos 34
2.7.1 Diseño Centrado en el Usuario 36
2.7.2 Ergonomía del diseño 37
2.7.3 Usabilidad 38
3 Capítulo III 41
3.1 Fase 1: Concientización de la problemática 41
3.2 Fase 2: Diseño y desarrollo del prototipo 42
3.3 Fase 3: Validación funcional y evaluación de usabilidad 43
3.3.1 Selección de participantes 43
3.3.2 Validación funcional 44

3.3.3 Validación Controlada, Semi-Controlada y Vida Libre 45
3.3.4 Evaluación de usabilidad 45
4 Capítulo 46
4.1 Revisión del estado del arte – Bases de datos consultadas 46
4.2 Análisis de dispositivos comerciales en el mercado con un enfoque en la detección y monitoreo de actividades humanas 47
4.3 Análisis de dispositivos utilizados en publicaciones de investigación y desarrollo de prototipos para la detección de ingesta de líquidos en adultos mayores 50
4.4 Análisis y selección de dispositivo a utilizar 53
4.5 Desarrollo e Integración del algoritmo 54
4.6 Diseño del prototipo 55
4.7 Validaciones Funcionales y de Usabilidad 58
4.7.1 Validación funcional del código 58
4.7.2 Validación funcional controlada 59
4.7.3 Validación funcional semi-controlada 59
4.7.4 Validación funcional entorno libre 60
4.7.5 Evaluación de usabilidad 60
4.7.6 Evaluación de la percepción 61
4.7.7 Evaluación Heurística 62
5 Discusión de Resultados 63
6 Capítulo 65
7 Referencias 66
7.1 Protocolos de validación funcional 74
8 Diseño de un dispositivo portátil para el monitoreo de ingesta de líquidos en adultos mayores. 74
8.1.1 Objetivo General 74
8.1.2 Metodología 74
9 Protocolos de Validación 75
9.1 Validación Funcional 75
9.1.1 Validación Funcional del Código 75
9.1.2 Validación Controlada 75
9.1.3 Validación Semi-Controlada 80
9.1.4 Validación en Entorno Libre 80
9.2 Protocolos de evaluación de usabilidad 84
10 Diseño de un dispositivo portátil para el monitoreo de ingesta de líquidos en adultos mayores. 84

10.1.1 Objetivo General 84
10.1.2 Metodología 84
11 Evaluación de usabilidad 85
11.1.1 Evaluación basada en tareas críticas 85
11.1.2 Evaluación de percepción 86
11.1.3 Evaluación Heurística 88

Índice Figuras

Figura 1. A) Distribución del porcentaje de agua en el cuerpo. B) ejemplificación de la deshidratación. C) Tipos de deshidratación. Elaboración propia. 10
Figura 2. Estimación de población adulta, fuente propia. 11
Figura 3. Recomendaciones de ingesta de agua por la Organización Mundial de la Salud y la Sociedad Europea de Nutrición Clínica y Metabolismo (ESPE). Elaboración propia. 12
Figura 4. Principales fuentes de ingesta de líquidos y principales mecanismos de pérdidas de agua en el cuerpo. Elaboración propia. 20
Figura 5. Representación gráfica para la disminución de las funciones fisiológicas con el aumento de la edad. Elaboración propia. 21
Figura 6. Diagrama ilustrativo para: A) Hidratación, B) Tipos de deshidratación, C) Deshidratación. Elaboración propia. 23
Figura 7. Etapas del ser humano. Elaboración propia. 25
Figura 8. Esquema general para la clasificación del HAR. Elaboración propia. 26
Figura 9. Esquema general para el modelo funcional en el reconocimiento automático de actividades. Elaboración propia. 27
Figura 10. Representación gráfica para la ingesta de líquido. Elaboración propia. 27
Figura 11. Diagrama esquemático - Clasificación e producto según su origen. Elaboración propia. 35
Figura 12. Diagrama esquemático - Clasificación de producto según comportamientos del consumidor. Elaboración propia. 35
Figura 13. Representación del diseño centrado en el usuario (DCU). Elaboración propia. 37
Figura 14. Región anatómica involucrada en un dispositivo portable - muñeca. Elaboración propia. 38
Figura 15. Diagrama esquemático para la estrategia de usabilidad propuesta por Garrent. Elaboración propia 39
Figura 16. Diagrama esquemático para: a) Evaluación tareas críticas (tiempo/error), b) Sistema de escalabilidad de usabilidad, c) Evaluación heurística (encuesta semiestructurada). 40
Figura 17. Fase 1: Concientización de la problemática. 42
Figura 18. Fase 2: Diseño y Desarrollo de prototipo. 43
Figura 19. Fase 3: Validación y pruebas funcionales. 43
Figura 20. Interfaz general. Visualizaciones: a) Señal acelerómetro, b) Señal Giroscopio, c) Señal Cuaternion y d) Señal compuesta. 54
Figura 21. Arquitectura del algoritmo para la detección de ingesta de líquidos. 55
Figura 22. A) Sensor WT9011DCL-BT50. B)Bocetos para el diseño del dispositivo prototipo. 55
Figura 23. Modelado 3D del sensor WT9011DCL-BT50. 56
Figura 24. Modelo 3D digital para: Prototipo I y Prototipo II. 56
Figura 25. A) Prototipo I y B) Prototipo II impresos en 3D. 57
Figura 26. A) Impresora K1C Creality. B) Slicer Creality Print. 58
Figura 27. Distribuciones poblacionales: a) cantidad de participantes por sexo, b) distribución de manos dominantes. 58

Índice Tablas

Tabla 1. Necesidades de usuario y requerimientos de diseño. 47
Tabla 2. Dispositivos comerciales ofertados en el mercado actual. 48
Tabla 3. Duración promedio por marca. 49
Tabla 4. Distribución de porcentajes por sensor / función en cada dispositivo. 50
Tabla 5. Tabla de dispositivos utilizados en investigaciones científicas. 52
Tabla 6. Especificaciones del dispositivo WT9011DCL. 53
Tabla 7. Métricas para evaluación funcional del código. 59
Tabla 8. Métricas obtenidas en pruebas controladas. 59
Tabla 9. Métricas obtenidas en las pruebas funcionales semi-controladas 59
Tabla 10. Resultados obtenidos para evaluación de usabilidad. creación propia. *CD-Colocar Dispositivo, AD-Ajustar Dispositivo, OD-Operar Dispositivo, QD-Quitar Dispositivo. 60
Tabla 11. Resultaos para la evaluación de percepción. 61
Tabla 12. Síntesis de puntuaciones obtenidas en evaluación de percepción. 61
Tabla 13. Resultados evaluación heurística. 62
Tabla 14. Síntesis de puntuaciones de la evaluación heurística. 62

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 $Precisión = TP(TP + FP)$ 44
Ecuación 2 $Especificidad = (TP + TN)(TP + TN + FP + FN)$ 44
Ecuación 3 $Sensibilid = TP(TP + FN)$ 44
Ecuación 4 $F1 - Score = 2 * Precisión * Especificidad(Precisión + Especificidad)$ 44

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo el diseñar un dispositivo portátil para la detección de ingesta de líquidos en adultos mayores de manera automática con el uso de sensores inerciales, con la finalidad de poder contribuir en la prevención de la deshidratación en adultos mayores ya que representa una creciente problemática debido a los problemas de salud y cuestiones relacionadas con la gestión de hospitalizaciones y cuidados. Se creó un sistema combinado hardware y software basado en el diseño centrado en el usuario para identificar las necesidades y requerimientos para la estructuración del sistema, donde se tomaron en cuenta puntos como la ergonomía y usabilidad para dispositivos portátiles, al igual, que fue retado el sistema por el parte técnico funcional sometiéndolo a pruebas en entornos simulados, controlados y semi-controlados, las pruebas y evaluaciones fueron realizadas con cinco participantes con una edad promedio de 58 años ±3.32 años. Obteniendo resultados aceptables en ambos rubros, las evaluaciones de usabilidad, percepción y ergonomía mostraron resultados con puntuaciones moderadas altas por parte de los participantes y donde fueron detectadas algunas oportunidades de mejora al diseño. Por otra parte, las pruebas funcionales mostraron un desempeño global promedio aceptable: entorno simulado (99.8%), entorno controlado (95.24%) y entorno semi-controlado (93.11%), destacando que a pesar de que se observa un decremento en el desempeño en cada prueba, sigue siendo un valor muy competitivo contra las investigaciones previas reportadas. Se concluye que el objetivo fue logrado satisfactoriamente y esta investigación servirá como base para futuras investigaciones.

Palabras clave: hidratación, adulto mayor, ingesta, IMU, automatización, HAR.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a mi esposa Melva Alejandra Martínez Flores por apoyarme en todo momento a lo largo de nuestra travesía académica en el programa de la maestría. También agradezco a la Dra. Nelly Gordillo Castillo por brindarme su apoyo y asesoría en este programa académico al igual que al Dr. David Cortés Saénz. Un especial agradecimiento al Dr. Alberto Davis Ortiz por su invaluable apoyo en una etapa crítica del desarrollo de este trabajo.

De igual forma agradezco a toda mi familia y aquellas personas que han apoyado directa o indirectamente para poder realizar el trabajo aquí presentado, así como en mi crecimiento personal.

1 Capítulo I

Introducción

1.1 Antecedentes

El cuerpo humano está compuesto entre un 50% a un 70% por agua, véase figura 1-A, donde el agua tiene una aportación en el transporte de oxígeno y nutrientes, permitiendo el funcionamiento de los órganos, otra de sus funciones ayudar en la regulación de la temperatura, por otro lado, en la remoción de los desechos y otras numerosas funciones fisiológicas (Garrett et al., 2018; Masot et al., 2020). El porcentaje real que hay en el cuerpo depende de la cantidad de líquido que se pierde a través de los mecanismos antes mencionados y otros procesos clave como la respiración, sudoración, orina y el excremento (Masot et al., 2020). La deshidratación (Figura 1-B, como ejemplificación), se define como un déficit del total de agua corporal. Se suele clasificar como hipertónica, isotónica o hipotónica en función de los niveles séricos de sodio (Figura 1-C). La deshidratación hipertónica o pérdida de agua, puede deberse a una ingesta de líquidos inadecuada, sudoración excesiva o evaporación transcutánea o vómitos. La deshidratación isotónica se produce cuando tanto la sal y agua se pierden en cantidades proporcionales del cuerpo como diarrea. La última categoría es la hipotónica, o pérdida de sal, que se produce cuando la sal se pierde proporcionalmente más que agua. Esto puede ocurrir, con el uso de un diurético, es decir, fármaco que promueve la formación de orina por el riñón (D. C. Garrett et al., 2018).

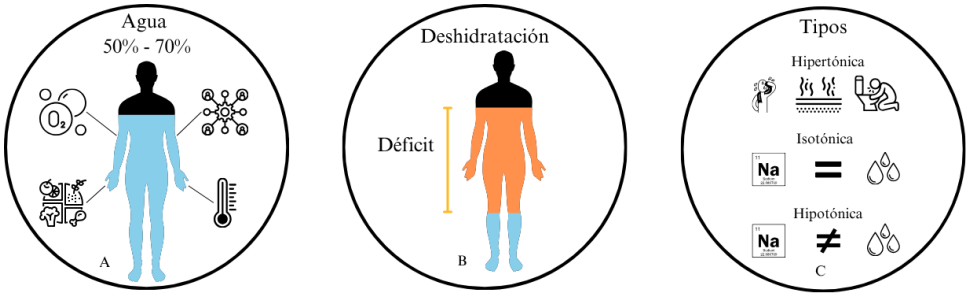


Figura 1. A) Distribución del porcentaje de agua en el cuerpo. B) ejemplificación de la deshidratación. C) Tipos de deshidratación. Elaboración propia.

Cualquiera de los tres tipos de deshidratación, puede asociarse con un mayor riesgo de disfuncionalidad que puede ocasionar discapacidad, ingreso a hospitales, extender la estancia en hospitales y en última instancia, posible fallecimiento. En el ámbito hospitalario, el personal clínico se basa en distintos signos y síntomas para identificar la deshidratación, como son: la sed, sequedad en distintas partes de la piel, manos, axilas, ojos, mucosa oral, elasticidad de la piel, fiebre, pulso rápido, hipotensión, cambios en la orina (normalmente bajo volumen con gravedad especifica alta, color oscuro), confusión creciente, letargo o agitación. Aunque la observación de estos signos y síntomas requieren de poca formación profesional, ofrecen la oportunidad de detectar atención inmediata (Bunn et al., 2019).

Sin embargo, el cuidado de la hidratación coproral está relacionado también con las distintas etapas del ser humano, en este caso tomando especial interés con la población adulta, donde el envejecimiento de la población mundial plantea importantes retos. Alrededor del mundo el aumento de adultos mayores exige más servicios sanitarios, incluidos los hospitales y residencias de ancianos (Z. Wang et al., 2017). Según la Organización de las Naciones Unidas, se estima que la población de

adultos mayores a 65 años en varios países aumentará hasta un 28% para 2050, incluso, para el año 2030 se estima que la población adulta mayor represente un 15% de la población total (Figura 2). Esto se traduce en una esperanza de envejecimiento en varias regiones como África, Mediterráneo Oriental, Europa, Pacífico Occidental, América y Sudeste Asiático y otras partes del mundo, con un aumento en puntos porcentuales en dos cifras entre 1950 y 2050. Con el aumento creciente de la población adulta mayor es necesario pensar en cómo se dará cobertura a las necesidades y la calidad de vida, la prolongación de la vida independiente, reducción de tiempo de cuidadores y los costos asociados a la sanidad (Vasudavan et al., 2021).

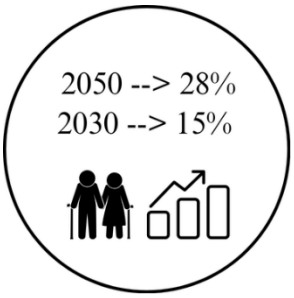


Figura 2. Estimación de población adulta, fuente propia.

Una adecuada ingesta de líquidos en adultos mayores puede evitar que sufran problemas agudos en la salud. Estos pueden incluir caídas, fracturas, úlceras por presión, estreñimiento, infecciones urinarias y otros problemas renales como, cálculos, deterioro funcional y desnutrición. Las personas adultas con deshidratación también están expuestas a sufrir eventos coronarios agudos, neumonía, tromboembolismo; como resultado, la deshidratación aumenta el riesgo de sufrir una discapacidad en los cuatro años siguientes. En tema de salud mental, la ingesta de líquidos juega un papel importante para mantener las capacidades cognitivas, evitando cuadros de confusión o delirio. Una ingesta adecuada de líquidos permite controlar desórdenes crónicos, manteniendo un equilibrio en la diabetes, cardiopatías, intoxicación por drogas, cálculos o insuficiencia renal (Masot et al., 2020). La deshidratación en los adultos mayores representa un factor importante en la degradación de la salud, al ser causada por una sensibilidad disminuida debido al envejecimiento del ser humano, que en términos médicos, implica cuestiones fisiológicas, físicas y cognitivas donde comúnmente el agotamiento en la calidad de estos ocasiona la deshidratación, pudiendo provocar accidentes en el hogar como son las caídas, síntomas de confusión, incluso delirio; por otro lado, depresión, falta de apetito y pérdida de la movilidad motriz aumentando la probabilidad de desencadenar en una situación más grave (Edmonds et al., 2021a; Engelheart et al., 2021a; Hamrick et al., 2020).

Sin embargo, H. Martinez *et al.,* en 2018 realizaron una encuesta a la población para medir la cantidad de personas que tenían conocimiento sobre la cantidad de agua que debía ingerirse por día; resultando en que el 57% de los encuestados no tenían conocimiento sobre la cantidad de agua recomendada. Las recomendaciones para ingesta de líquido según la Organización Mundial de la Salud (Figura 3) son de 3.7 litros diarios, para hombres y 2.7 litros diarios para mujeres, en ambos casos se incluyen personas mayores de 70 años. Sin embargo, la Sociedad Europea de Nutrición Clínica y Metabolismo es la única entidad que hace una diferenciación entre adultos y personas mayores, recomendando 2 litros por día para hombres mayores y 1.6 litros por día para mujeres mayores (Masot et al., 2020).

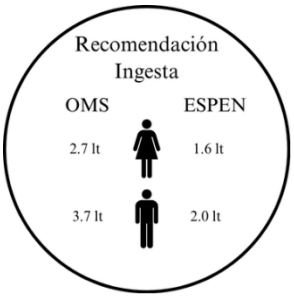


Figura 3. Recomendaciones de ingesta de agua por la Organización Mundial de la Salud y la Sociedad Europea de Nutrición Clínica y Metabolismo (ESPE). Elaboración propia.

En estudios recientes se ha tratado de evaluar la ingesta de líquidos en adultos mayores en distintos entornos, por ejemplo, en cuidados residenciales a largo plazo, centros de atención al adulto mayor y de forma globalizada a través de encuestas. Estos han encontrado que los adultos mayores partiendo de edades tempranas, como los 60 años, muestran una reducción en la ingesta de líquidos, un promedio por debajo de los 2 litros diarios de consumo.

Una estrategia para control y seguimiento de una adecuada hidratación depende totalmente en que las personas generen un hábito saludable en el consumo de agua y otros líquidos, llevando a un escenario donde se trata con adultos mayores, típicamente es necesario pensar en un sistema de recordatorio para poder asistir en el control y seguimiento, sin embargo aún existe una dependencia en el adulto mayor, en consecuencia, pensar en un sistema automático de reconocimiento de movimientos resulta relevante para poder mejorar el control y seguimiento de la ingesta de líquidos. Un reto importante cuando se intenta reconocer el patrón de movimiento y las acciones de una persona mayor es que sus acciones y movimientos pueden ser involuntarios o los movimientos pueden verse afectados por su salud. Por ejemplo, una persona que enfrenta dolores de piernas a largo plazo caminará ligeramente diferente de lo habitual y el número de movimientos será menor en comparación con una persona activa, lo que hará que los datos del patrón sean diferentes (Keng et al., 2018; Vasudavan et al., 2021).

El reconocimiento automático de la actividad humana (por sus siglas en inglés HAR*, human activity recognition),* propone varios enfoques de investigación que se pueden dividir en dos grandes ramas: reconocimiento basado en sistemas de visión y reconocimiento basado en sensores. Para el HAR basado en sistemas de visión, como requerimiento mínimo, se necesitan dispositivos que puedan hacer grabaciones de video bidimensional (2D) o sensor de profundidad integrado, en este segmento los movimientos del ser humano se reconocen con datos en el espectro de RGB acompañados de datos de profundidad. Tomando como referencia que la mayoría de los adultos mayores residen en interiores, pero no se limitan solo dichos espacios, sino también realizan actividades al aire libre, los HAR basados en sistemas de visión muestran deficiencias en el monitoreo de las actividades ya que se vuelve complicado la instalación o adaptación de cámaras en lugares al aire libre, además, existirá una evidente disminución en la calidad de la información debido a factores externos como condiciones climatológicas, principalmente iluminación variable (Keng et al., 2018; Vasudavan et al., 2021; Z. Wang et al., 2017).

El estudio y análisis del comportamiento humano a través del uso de sensores, principalmente inerciales permite ofrecer información que se pueda aprovechar para estudios relacionados con el cuidado de la salud u otras aplicaciones. Diversos estudios de sensores portátiles emplean sensores que captan la aceleración (acelerómetros) y la velocidad angular (giroscopios) de un movimiento, que a su vez soon colocados en diferentes partes del cuerpo para reconocer actividades simples como caminar y correr (Ehatisham-Ul-haq et al., 2022; Keng et al., 2018).

En general, el reconocimiento automático de la actividad pude dividirse en 6 grandes etapas, en la primera etapa, se obtienen datos crudos de varios sensores, como acelerómetros, giroscopios, sensores de presión, electrodos de piel/tórax, micrófonos y electrodos de electroencefalograma. Estos datos se muestrean y se convierten en series de tiempo multivariables, con desafíos de sincronización y problemas de calidad de datos. En la etapa de procesamiento, se aplican algoritmos a los datos crudos para abordar problemas como calibración, normalización y eliminación de ruido. Estos algoritmos deben preservar las propiedades importantes de los datos crudos. En la siguiente etapa de segmentación, los datos procesados se dividen en segmentos de longitud adecuada, a pesar de la fluidez de las acciones humanas. Se utilizan varios métodos para abordar este desafío. En la cuarta etapa, se extraen características de los datos segmentados y se organizan en vectores. Estas características incluyen estadísticas, características de dominio de frecuencia y modelos de cuerpo 3D generados por sensores corporales. En la etapa de entrenamiento, se entrenan algoritmos de inferencia con las características extraídas y etiquetas de referencia. Los parámetros de estos algoritmos se aprenden reduciendo el error de clasificación. En la etapa de clasificación, se utiliza el modelo entrenado para predecir actividades y asignar etiquetas de clase a los vectores de características. La clasificación final puede realizarse de diversas formas (Aguileta et al., 2019; Chen & Kamavuako, 2023).

En las últimas décadas, distintos estudios se han encargado de analizar los gestos humanos, donde un gesto puede dividirse en cinco fases: preparación, retención pre-golpe, golpe, retención post-golpe y retracción. La ingesta de líquidos también da lugar a un patrón característico que se puede dividir en cinco fases. Una característica clave de la ingesta de líquidos es el conjunto de patrones de movimiento realizados por la mano, la muñeca y el brazo durante el acto de beber. En el caso de un contenedor de líquidos (una taza o vaso de agua) está sobre una mesa, estos patrones de movimiento incluyen sujetar el contenedor, elevarlo, inclinarlo para que el líquido fluya hacia la boca, bajarlo de nuevo a su posición original en la mesa y soltarlo. Cuando son capturados por sensores inerciales colocados en la muñeca, estos patrones de movimiento constituyen un marcador de comportamiento estable de la ingesta de líquidos. Esto es así a pesar de las diferencias en la forma de la señal debido a la variabilidad interpersonal, la forma del contenedor, el tamaño del contenedor, el tipo de líquido, la velocidad de ingesta y otros factores (Chun et al., 2019).

Existen distintos enfoques para la detección de ingesta de líquidos a través de diferentes tipos de sensores, los vestibles o *wereables*, de superficie, basados en ambiente y sistema de visión, o contenedores inteligentes. Los dispositivos vestibles proporcionan información útil para detectar la actividad de beber, son escalables y ampliamente disponibles comercialmente. Por otro lado, los sensores de superficie son menos comunes e investigados ya que el recipiente completo debe levantarse y colocarse nuevamente en una superficie cada vez para ser detectado como ingesta de líquido, sin embargo, cualquier objeto se puede colocar o quitar de la superficie, lo que puede resultar en muchas detecciones incorrectas. Los sensores basados en visión y ambiente a menudo funcionan mal en condiciones de poca iluminación y requieren un alto poder de procesamiento y almacenamiento de datos, dificultando la estimación de la ingesta. La tecnología basada en contenedores inteligentes donde se colocan sensores en el recipiente de agua ha dado resultados efectivos y precisos al determinar el volumen de ingesta consumido. Sin embargo, las botellas inteligentes comerciales tienen limitaciones, como ser grandes y pesadas, y no estar adaptadas para personas mayores. La mayoría de las botellas comerciales también dependen de una aplicación móvil para mostrar la información lo que puede ser complicado para las personas mayores. También es importante reconocer que el uso complementario de estas tecnologías puede resultar favorable para aumentar la precisión de los estudios de la ingesta de líquidos, por ejemplo, un solo sensor

acelerómetro proporciona una buena precisión, pero altas tasas de falsos positivos. La fusión de datos de aceleración con otras tecnologías podría crear sistemas más precisos, aunque muchos de los estudios de fusión han sido solo estudios piloto preliminares o se han realizado en muestras pequeñas (Cohen et al., 2021a).

1.2 Planteamiento del problema

El consumo adecuado de agua es de gran importancia para el funcionamiento óptimo del cuerpo humano, ya que contribuye en distintos procesos como la hidratación celular, la regulación de la temperatura, el transporte de nutrientes y la lubricación de las articulaciones, entre otras funciones. A pesar de su relevancia, una parte significativa de la población no ingiere la cantidad recomendada de agua, lo que puede derivar en deshidratación y problemas de salud (Bunn et al., 2019; Garrett et al., 2018; Masot et al., 2020). Un estudio realizado en 2018 reveló que el 57% de los encuestados desconocía la cantidad de agua que debía ingerir diariamente, lo que sugiere una falta de información y conciencia sobre este hábito fundamental *(Martinez et al., 2018)*.

En el caso de los adultos mayores, la deshidratación se convierte en un factor de riesgo crítico debido a cambios fisiológicos asociados al envejecimiento, como la disminución de la sensibilidad a la sed y la reducción de la reserva hídrica corporal. Esto puede derivar en fatiga, confusión, alteraciones cognitivas, pérdida de movilidad e incluso eventos adversos como caídas y hospitalizaciones (Edmonds et al., 2021a; Engelheart et al., 2021a; Hamrick et al., 2020). Dada la creciente longevidad de la población y el impacto que tiene la deshidratación en la calidad de vida, resulta necesario desarrollar soluciones innovadoras que faciliten el seguimiento y control de la ingesta de líquidos en este sector.

Actualmente, el monitoreo de la salud se ha enfocado en variables como la frecuencia cardíaca, la presión arterial y la oxigenación sanguínea, dejando de lado actividades esenciales como la ingesta de líquidos. El desarrollo de un dispositivo portátil que permita registrar este hábito de forma automática representa un reto tecnológico y de diseño, pero también una oportunidad para mejorar la salud y calidad de vida de los adultos mayores.

El avance de la tecnología en el ámbito biomédico ha permitido la integración de sensores en dispositivos vestibles (wearables), los cuales pueden capturar información sobre movimientos y gestos mediante acelerometría y giroscopía. Estos sensores inerciales permiten registrar patrones de movimiento en tres dimensiones, lo que ofrece una oportunidad para diseñar un sistema de monitoreo de la ingesta de líquidos basado en datos objetivos y en tiempo real (Ehatisham-Ul-Haq et al., 2020).

Desde la perspectiva del diseño y desarrollo de producto, la implementación de esta tecnología requiere un enfoque centrado en el usuario, considerando aspectos ergonómicos, funcionales y de aceptación. Un dispositivo de monitoreo de hidratación debe ser discreto, cómodo y no intrusivo, favoreciendo su uso prolongado sin generar molestias. Además, debe integrarse de manera natural en la rutina del usuario, ofreciendo una experiencia intuitiva que minimice la resistencia al uso y garantice la fiabilidad de los datos recolectados.

En este contexto, se plantea el diseño y desarrollo de un dispositivo portátil con tecnología de sensores inerciales (acelerómetro y giroscopio), capaz de monitorear la ingesta de líquidos en adultos mayores. El proyecto considera un enfoque integral que abarque factores ergonómicos, tecnológicos y de usabilidad, asegurando que el producto final sea eficiente, cómodo y atractivo para el usuario final.

1.3 Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son las principales necesidades del usuario y los requerimientos ergonómicos que deben considerarse en el diseño y desarrollo del dispositivo para asegurar comodidad y aceptación?
2. ¿Cuáles son los parámetros técnicos que deben cumplir los sensores de acelerometría y giroscopía para detectar con precisión la ingesta de líquidos en adultos mayores?
3. ¿Cómo se diseñarán y validarán los algoritmos de detección para garantizar la precisión en la identificación del gesto de ingesta de líquidos?
4. ¿Qué principios de diseño de interfaz deben aplicarse para garantizar que el usuario comprenda fácilmente el funcionamiento del dispositivo y su retroalimentación?
5. ¿Cómo influirá la interacción del usuario con el dispositivo en la prevención de la deshidratación y en la generación de hábitos saludables?
6. ¿Cuáles son las soluciones tecnológicas existentes para el monitoreo de la ingesta de líquidos y en qué aspectos este dispositivo representa una innovación?
7. ¿Cómo las soluciones existentes para el monitoreo de ingesta de líquidos se comparan con esta propuesta?

1.4 Objetivo General

Diseñar y desarrollar un sistema portátil de detección y monitoreo de ingesta de líquidos en adultos mayores en etapa temprana como auxiliar en la prevención de la deshidratación mediante el uso de sensores inerciales (acelerometría y giroscopía).

1.4.1 Objetivos específicos

- Analizar los dispositivos y tecnologías existentes para el monitoreo de la ingesta de líquidos, identificando sus limitaciones y oportunidades de mejora.
- Desarrollar algoritmos de detección de ingesta de líquidos a partir de señales de acelerometría y giroscopía.
- Diseñar y prototipar un dispositivo portátil, compacto y ergonómico, optimizado en consumo energético y facilidad de uso.
- Desarrollar una interfaz de usuario simplificada que facilite la interacción y comprensión del funcionamiento del dispositivo.
- Validar el funcionamiento del dispositivo a través de pruebas experimentales para comprobar la precisión en la detección de la ingesta de líquidos.
- Evaluar la usabilidad del dispositivo con usuarios objetivo.

1.5 Aportación de Diseño

Este proyecto aporta en el diseño y desarrollo de un dispositivo portátil, ergonómico y de fácil uso, diseñado específicamente para detectar y monitorear la ingesta de líquidos en adultos mayores en etapa temprana. La innovación del dispositivo radica en la integración de sensores inerciales (acelerómetros y giroscopios) para identificar patrones de movimiento específicos asociados con la acción de ingesta de líquidos, un enfoque poco explorado en la actualidad.

Además de la funcionalidad tecnológica, este dispositivo tiene un impacto significativo en la prevención de la deshidratación y la promoción del envejecimiento saludable, ayudando a reducir riesgos asociados como caídas, confusión, problemas cardiovasculares y deterioro cognitivo.

El diseño del dispositivo se fundamenta en principios de ergonomía adaptados a las necesidades de los adultos mayores en etapa temprana buscando la comodidad, la facilidad de uso y la aceptación por parte de los usuarios. Su portabilidad permitirá su uso en diferentes entornos, facilitando un monitoreo continuo y autónomo sin requerir intervenciones complejas o equipos costosos adicionales.

El diseño también representa un avance en la aplicación de sensores inerciales en el reconocimiento de actividades, al enfocarse en la detección de la ingesta de líquidos, un área poco explorada dentro de la tecnología vestible. Esto no solo amplía el campo de aplicación de estas tecnologías, sino que también ofrece una solución innovadora en el monitoreo de la hidratación en adultos mayores, contribuyendo a mejorar su calidad de vida y bienestar de una forma automatizada.

1.6 Viabilidad

- **Viabilidad Tecnológica**
  - El proyecto se basa en tecnologías existentes y probadas, como los sensores inerciales (acelerómetros y giroscopios), ampliamente utilizados en dispositivos vestibles para el monitoreo de movimientos. La implementación de algoritmos de reconocimiento de patrones para detectar la ingesta de líquidos se fundamenta en estudios previos, lo que confirma la factibilidad técnica del desarrollo. Además, la integración de estas tecnologías permite la captura de datos en tiempo real, permitiendo facilitar su aplicación en entornos clínicos y domésticos en el futuro.
- **Viabilidad Económica**
  - El diseño del dispositivo considera el uso de componentes electrónicos de bajo costo y fácil acceso, como sensores inerciales de bajo consumo, lo que permite mantener un presupuesto competitivo sin comprometer la funcionalidad. La posibilidad de integrar el dispositivo con tecnologías ya existentes reduce aún más los costos de implementación, evitando la necesidad de infraestructura adicional. Esta estrategia facilitaría su integración y comercialización del producto a un precio accesible, favoreciendo su adopción en el mercado.
- **Viabilidad Social**
  - Dado el envejecimiento de la población a nivel global y el aumento en la demanda de soluciones para la salud preventiva, el dispositivo tiene un alto potencial de aceptación y adopción. Las familias y posibles cuidadores buscarían cada vez más tecnologías que les permitan monitorear de manera remota y eficiente el estado de salud de los adultos mayores, contribuyendo a la prevención de problemas relacionados con la deshidratación. La facilidad de uso y el enfoque en la mejora de la calidad de vida posicionan al dispositivo como una solución innovadora con impacto social significativo.

1.7 Justificación

La ingesta de líquidos es una acción simple pero fundamental para el correcto funcionamiento del organismo. Un consumo inadecuado puede derivar en problemas de salud, como caídas, fracturas, úlceras por presión, estreñimiento, infecciones urinarias y enfermedades renales, incluyendo la formación de cálculos. En los adultos mayores, la deshidratación incrementa el riesgo de eventos coronarios agudos, neumonía, tromboembolismo y discapacidad a largo plazo. Además, afecta el bienestar cognitivo, pudiendo provocar confusión, delirio y deterioro mental. Por otro lado, una

hidratación adecuada contribuye al control de enfermedades crónicas como la diabetes, cardiopatías y afecciones renales. (Masot et al., 2020).

El envejecimiento de la población mundial representa un reto significativo para los sistemas de salud, aumentando la demanda de atención médica y recursos asistenciales (Z. Wang et al., 2017). Con la creciente esperanza de vida, es crucial implementar estrategias que mejoren la calidad de vida, prolonguen la autonomía de los adultos mayores y reduzcan los costos asociados al cuidado de la salud (Vasudavan et al., 2021).

Ante esta problemática, el desarrollo de tecnologías innovadoras para el monitoreo de la hidratación puede contribuir a la prevención de complicaciones derivadas de la deshidratación. La integración de sensores inerciales (acelerómetros y giroscopios) en un dispositivo portátil permite la detección de la ingesta de líquidos en tiempo real, permitiendo poder generando alertas tanto para el usuario como para sus posibles cuidadores.

Este proyecto, basado en metodologías de investigación y desarrollo de productos, busca diseñar una solución tecnológica que no solo garantice la seguridad y comodidad del usuario, sino que también aporte nuevos conocimientos en el ámbito del monitoreo y cuidado de la salud en adultos mayores. La implementación de este dispositivo permitirá una intervención temprana en la prevención de la deshidratación, favoreciendo un envejecimiento saludable y autónomo.

1.8 Variables del proyecto

1.8.1 Independiente

- Las técnicas de acelerometría y giroscopía se utilizan para medir patrones de movimiento en tres ejes dimensionales, sirviendo como base tecnológica del dispositivo.
- El diseño del dispositivo incluye aspectos como tamaño, ergonomía, peso y consumo energético, influyendo en la portabilidad y usabilidad del sistema.
- El algoritmo de detección de ingesta procesa las señales obtenidas de los sensores para identificar eventos de ingesta de líquidos con precisión.
- La interfaz de usuario está diseñada para facilitar la interacción con el dispositivo.

1.8.2 Dependientes

- Monitoreo de la ingesta de líquidos en adultos mayores:
    - Precisión en la detección: capacidad del dispositivo para identificar correctamente los eventos de ingesta.
    - Sensibilidad en la detección: capacidad de detectar todos los eventos de ingesta sin omitir registros.
    - Especificidad en la detección: capacidad de diferenciar la ingesta de líquidos de otros movimientos similares.
- Comodidad de uso: grado de aceptación del usuario en términos de ergonomía y facilidad de uso del dispositivo.
- Nivel de comprensión del usuario: facilidad con la que los adultos mayores pueden interpretar y utilizar el dispositivo.
- Desempeño del dispositivo: evaluación del funcionamiento general, considerando precisión, estabilidad y eficiencia energética.

1.9 Hipótesis

El desarrollo de un dispositivo portátil basado en acelerometría y giroscopía permitirá el monitoreo de la ingesta de líquidos en adultos mayores, diferenciando este gesto de otros movimientos similares. Su diseño ergonómico y compacto facilitará la aceptación y comodidad de uso, mientras que la implementación de algoritmos especializados garantizará una detección confiable. Además, una interfaz de usuario simple que mejorará la interacción del usuario.

1.10 Alcances y Delimitaciones

El presente proyecto contempla el desarrollo de un dispositivo portátil, compacto y ergonómico, diseñado específicamente para detectar y monitorear la ingesta de líquidos en adultos mayores en etapa temprana. Se implementarán algoritmos especializados que procesarán las señales de acelerometría y giroscopía para identificar los eventos de ingesta.

La selección de sensores y materiales se realizará bajo criterios de eficacia, durabilidad y adaptabilidad a los requerimientos del proyecto, priorizando componentes de bajo consumo energético y alta precisión.

La evaluación del desempeño del dispositivo se llevará a cabo en entornos controlados, semi-controlados y entorno libere donde se analizará su capacidad para detectar la ingesta de líquidos y diferenciarla de otros movimientos cotidianos. Estas pruebas permitirán optimizar los algoritmos y mejorar la confiabilidad del sistema.

- **Delimitaciones:**

El estudio se centrará exclusivamente en la detección de la ingesta de líquidos, excluyendo otras actividades cotidianas o patrones.

Las pruebas de validación estarán limitadas a entornos controlados y semi-controlados, quedan excluidos escenarios de entorno libre y específicos fuera de las actividades cotidianas, por ejemplo, entornos hospitalarios donde la persona pudiera tener alguna situación donde este comprometida su salud.

La evaluación de la usabilidad se enfocará en adultos mayores en etapa temprana, por lo que no se contemplará su aplicación en pacientes con deterioro cognitivo avanzado o condiciones que dificulten la interacción con el dispositivo.

2 Capítulo II

Marco Teórico

El estudio de la hidratación humana se fundamenta en la necesidad biológica de mantener el equilibrio hídrico para garantizar el correcto funcionamiento del organismo. El agua constituye aproximadamente el 50% al 70% del peso corporal en adultos, distribuyéndose en compartimentos intracelulares (dos tercios del total) y extracelulares (un tercio del total). Esta distribución es vital para procesos como el transporte de nutrientes, la eliminación de desechos metabólicos y la regulación de la temperatura corporal (Masot et al., 2020).

2.1 El balance hídrico: regulación y mecanismos

El balance hídrico se define como el equilibrio entre la ingesta y la pérdida de líquidos. Las principales fuentes de ingreso hídrico incluyen la ingesta de bebidas, alimentos con contenido de agua y la producción metabólica de agua, mientras que las principales vías de pérdida comprenden la orina, la sudoración, la respiración y las heces (Edmonds et al., 2021), en la Figura 4 se muestra una representación gráfica sobre las principales fuentes de ingesta de agua y los principales mecanismos de pérdida de esta.

El consumo de agua y bebidas constituye la aportación directa, con mayor peso sustancial. En los adultos la sensación de sed disminuye gradualmente conforme avanza la edad, lo que puede favorecer una ingesta inadecuada. Sin embargo, en segundo término, tenemos la obtención de agua por medio de los alimentos contribuye entre un 20% y 30% del total de la ingesta diaria. El agua obtenida por procesos metabólicos, principalmente la oxidación de macronutrientes en el metabolismo energético corresponde a una proporción del total (aproximadamente 250 ml por día), considerado como relevante en situaciones de deshidratación extrema donde el cuerpo trata de maximizar los recursos disponibles.

La pérdida de agua que se da a través de la orina constituye la principal vía de excreción, regulada principalmente por la acción de la hormona antidiurética (ADH) y el sistema renina-angiotensina-aldosterona (RAAS). En condiciones normales, la producción de orina oscila entre 800 y 1500 ml diarios, dependiendo de la ingesta hídrica y las necesidades de excreción de solutos. Por otro lado, la transpiración, proceso enfocado en la termorregulación, particularmente en climas cálidos o durante el ejercicio físico, tiene una tasa de pérdida que puede variar significativamente según la actividad y las condiciones ambientales, alcanzando hasta 2 litros por hora en situaciones extremas (Masot et al., 2020). En cambio, la respiración representa otra forma de perder agua que ocurre a través de la evaporación durante la exhalación. Aunque es una vía menos evidente, puede representar entre 200 y 400 ml diarios, dependiendo de factores como la altitud y la humedad ambiental. Por último, las heces en condiciones normales contribuyen con alrededor de 100 ml al día, sin embargo, esta cantidad puede aumentar considerablemente si existe la presencia de enfermedades como la diarrea (Engelheart et al., 2021).

Este balance es regulado por mecanismos hormonales, entre los que destaca la hormona antidiurética (ADH), la cual actúa en los túbulos renales para aumentar la reabsorción de agua, reduciendo las pérdidas por la orina (Huang et al., 2020). También tiene un papel el sistema renina-angiotensina-

aldosterona (RAAS), este sistema se activa en respuesta a una disminución en la presión arterial o el volumen sanguíneo, liberando renina desde el aparato yuxtaglomerular renal. La renina convierte el angiotensinógeno en angiotensina I, que posteriormente se transforma en angiotensina II. Esta última estimula la liberación de aldosterona, promoviendo la reabsorción de sodio y agua en los túbulos renales (Masot et al., 2020). Por último, pero no menos importante, la sensación de sed es desencadenada por la activación de osmorreceptores en el hipotálamo al detectar un aumento en la osmolaridad plasmática, esta respuesta busca equilibrar un aporte hídrico adecuado para mantener condiciones hídricas adecuadas (Engelheart et al., 2021).

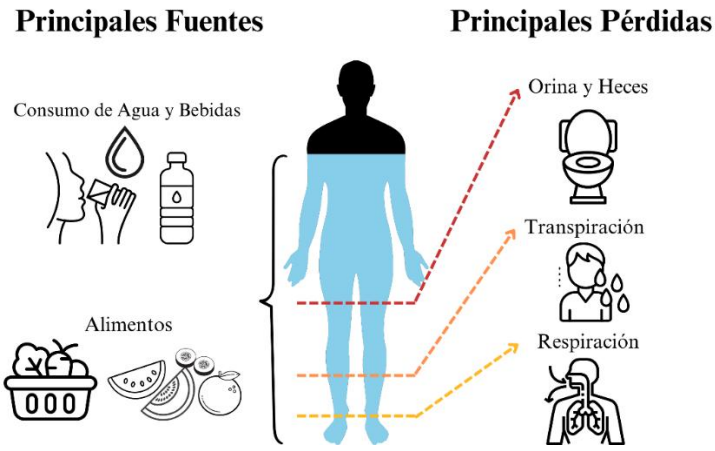


Figura 4. Principales fuentes de ingesta de líquidos y principales mecanismos de pérdidas de agua en el cuerpo. Elaboración propia.

2.2 Cambios fisiológicos asociados al envejecimiento

La clasificación de las etapas de la vida adulta varía según diferentes organizaciones y estudios. Por ejemplo, la ONU clasifica a las personas mayores en tres categorías: adulto mayor joven, que va de los 60 a los 74 años, anciano de los 75 a los 90 años y anciano longevo a partir de los 90 años. Sin embargo, la Asociación Internacional de Psicogeriatría (IPA) propone una clasificación que incluye: adulto mayor joven (55-64 años), adulto mayor maduro (65-74 años), adulto mayor (75-84 años) y anciano (mayor de 85 años). Estas categorizaciones reflejan las diversas etapas del envejecimiento y ayudan a adaptar las políticas y programas de atención a las necesidades específicas de cada grupo etario. Es importante destacar que estas clasificaciones pueden variar según el contexto cultural y las políticas de cada país. Por ejemplo, en México, la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) define a las personas mayores como aquellas que tienen 60 años o más (Campó, 2024; García et al., 2005), en la Figura 5 se muestra una representación generalizada sobre la relación entre la disminución de las funciones fisiológicas y el aumento de la edad.

El envejecimiento conlleva una serie de modificaciones fisiológicas que afectan la homeostasis hídrica, incrementando la susceptibilidad a la deshidratación en la población adulta mayor. Estas alteraciones abarcan desde la disminución de la percepción de sed hasta cambios en la función renal y la composición corporal. Con el avance de la edad, se observa una reducción en la sensibilidad de los osmorreceptores hipotalámicos, responsables de detectar cambios en la osmolaridad plasmática y desencadenar la sensación de sed. Esta disminución en la percepción conduce a una menor ingesta voluntaria de líquidos, incluso en presencia de déficit hídrico, lo que incrementa el riesgo de deshidratación (Lindborg et al., 2015).

El proceso de envejecimiento afecta la estructura y función renal de diversas maneras. Una de ellas, es la reducción de la tasa de filtración glomerular (TFG). Se estima una disminución anual de aproximadamente 1 ml/min/1.73 m² después de los 40 años, lo que limita la capacidad de los riñones para excretar solutos y mantener el equilibrio hídrico (Musso & Oreopoulos, 2011).

La disminución de la capacidad de concentración y dilución urinaria es otra de las causas debido a la alteración de la función renal, la reducción en la respuesta a la hormona antidiurética (ADH) y cambios en la médula renal afectan la capacidad de concentrar o diluir la orina, dificultando la adaptación a variaciones en la ingesta de agua (SCHOLS et al., 2009).

El envejecimiento se asocia con una disminución de la masa muscular (sarcopenia) y un aumento relativo del tejido adiposo. Dado que el músculo contiene un mayor porcentaje de agua en comparación con la grasa, esta redistribución resulta en una reducción del contenido total de agua corporal, disminuyendo las reservas hídricas disponibles y aumentando la vulnerabilidad a la deshidratación (Bijker et al., 2001).

Se han encontrado cambios en la secreción y respuesta a hormonas implicadas en la regulación del balance hídrico. La hormona antidiurética (ADH) puede tener niveles basales que pueden permanecer constantes, sin embargo, la respuesta a estímulos osmóticos puede encontrarse reducida, inhabilitando la capacidad de retener agua en situaciones de déficit hídrico (Davies et al., 1995). Por otra parte, el sistema renina-angiotensina-aldosterona (RAAS) presenta una disminución en la actividad de la renina plasmática y la respuesta de la aldosterona, lo que afecta la reabsorción de sodio y agua, comprometiendo la capacidad de mantener la homeostasis hídrica (Weidmann et al., 1975. (Weidmann et al., 1978).

Además de los cambios fisiológicos mencionados, otros factores contribuyen al riesgo de deshidratación en adultos mayores, por ejemplo, el uso de múltiples medicamentos, especialmente diuréticos y laxantes, puede aumentar las pérdidas hídricas o alterar la percepción de sed, también los trastornos como la demencia pueden interferir con la capacidad de reconocer la necesidad de ingerir líquidos o de comunicarse al respecto y además la movilidad reducida o la dependencia de cuidadores pueden dificultar el acceso a líquidos, incrementando el riesgo de ingesta insuficiente (Felipe Salech et al., 2012; Mentes, 2006; SCHOLS et al., 2009).

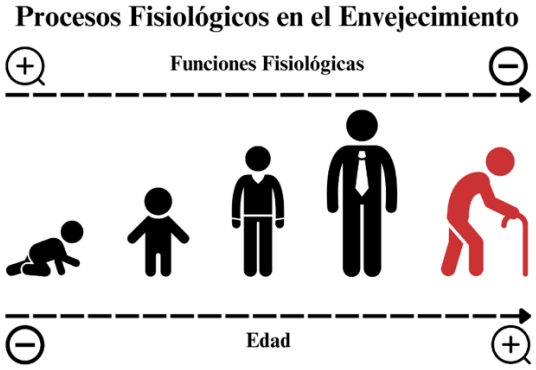


Figura 5. Representación gráfica para la disminución de las funciones fisiológicas con el aumento de la edad. Elaboración propia.

2.3 Tipos de deshidratación y su clasificación

La deshidratación es considerada un trastorno que se da cuando las pérdidas de agua del cuerpo superan su ingesta, afectando la homeostasis y la función de múltiples sistemas corporales. Su clasificación se basa en las características fisiológicas de las pérdidas y en las alteraciones resultantes en la osmolaridad plasmática, lo que tiene implicaciones significativas para el diagnóstico y manejo clínico (Kenney & Chiu, 2001), en la Figura 6 se muestra un diagrama ilustrativo generalizado para ejemplificación de los tipos de deshidratación.

La deshidratación isotónica ocurre cuando hay una pérdida equitativa de agua y electrolitos, manteniendo la osmolaridad plasmática dentro de los límites normales. Este tipo de deshidratación se observa comúnmente en condiciones como vómitos persistentes, diarrea severa o hemorragias significativas, involucrando las siguientes características principales: volumen plasmático reducido, concentraciones normales de sodio sérico (135-145 mmol/L), síntomas típicos como, hipotensión, taquicardia y disminución de la perfusión tisular. Dentro de las implicaciones médicas, la rehidratación con soluciones isotónicas (solución salina al 0.9%), con el propósito de restaurar el volumen circulante sin alterar la osmolaridad (Weinberg & Minaker, 1995).

En la deshidratación hipertónica, las pérdidas de agua son mayores que las de electrolitos, lo que resulta en un aumento de la osmolaridad plasmática (>295 mOsm/kg) y concentraciones séricas elevadas de sodio (>145 mmol/L). Este tipo de deshidratación es más común en situaciones de sudoración excesiva, fiebre prolongada, diabetes insípida o una ingesta insuficiente de líquidos. En este tipo de deshidratación es caracterizada por la contracción del compartimiento intracelular debido al movimiento de agua hacia el espacio extracelular, algunos de los síntomas es una sed intensa, sequedad de mucosas, alteraciones neurológicas como confusión o letargo. Se consideran algunas implicaciones clínicas que se enfocan en el tratamiento de la reposición gradual de agua libre para evitar cambios bruscos en la osmolaridad que puedan incluir edemas cerebrales. Soluciones hipotónicas como la dextrosa al 5% en agua son preferibles (Lindborg et al., 2015).

La deshidratación hipotónica se caracteriza por una pérdida predominante de sodio y otros electrolitos en relación con el agua, lo que reduce la osmolaridad plasmática (<275 mOsm/kg) y causa hiponatremia (<135 mmol/L). Es frecuente en casos de sudoración intensa compensada con ingesta excesiva de agua sin sal o en trastornos renales como nefropatías perdedoras de sal. Algunas de las características más relevantes son la reducción de la osmolaridad extracelular, el movimiento de agua hacia el compartimiento intracelular causando edemas celulares. Los síntomas que pueden observarse en la deshidratación hipotónica van desde náuseas, vómitos, calambres musculares y en casos graves, edema cerebral con convulsiones o posible coma (Kenney & Chiu, 2001).

En general, los factores que influyen en los distintos tipos de deshidratación están relacionados con la naturaleza de las perdidas, como lo puede ser del tipo gastrointestinal, sudoración o excreción urinaria por mencionar algunos. Por otro lado, la composición de los líquidos perdidos, las proporciones entre el agua y los electrolitos tienen variación según los mecanismos donde están involucrados. Otro de los tipos puede ser asociado a patologías asociadas, por ejemplo, enfermedades renales, endocrinas, o gastrointestinales que pueden predisponer a un tipo específico de deshidratación. La importancia de una buena clasificación de los tipos de deshidratación permite tener una guía para ofrecer el mejor tratamiento posible a las personas que puedan presentar un cuadro de deshidratación. Tomando como ejemplo que, en el caso de la deshidratación isotónica, el objetivo es restaurar el volumen plasmático, en cambio, en la deshidratación hipertónica, es de suma importancia restaurar la hiperosmolaridad de manera controlada para evitar complicaciones neurológicas, por

último, en el caso de la deshidratación hipotónica, el enfoque está en la corrección del déficit de sodio y el manejo controlado de los efectos del edema celular (Felipe Salech et al., 2012).

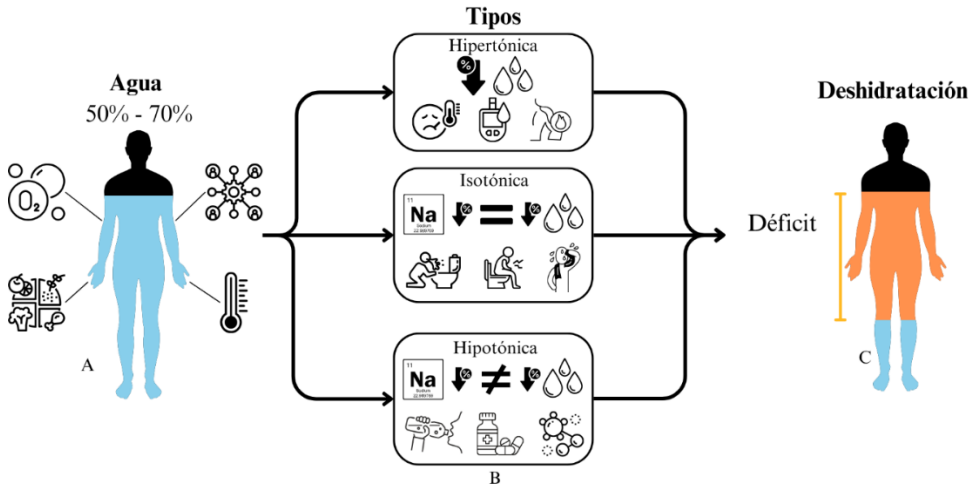


Figura 6. Diagrama ilustrativo para: A) Hidratación, B) Tipos de deshidratación, C) Deshidratación. Elaboración propia.

2.4 Deshidratación en adultos mayores

La definición de adulto mayor varía según diferentes organismos internacionales y contextos geográficos. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece que una persona es considerada adulta mayor a partir de los 60 años, especialmente en países en desarrollo. Sin embargo, en naciones desarrolladas, la edad inicial suele fijarse en los 65 años. En México, la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) define a las personas mayores como aquellas que tienen 60 años o más. Estas diferencias reflejan las diversas realidades demográficas y socioeconómicas de cada región (CNDH, 2018; Soria-Romero & Montoya-Arce, 2017; United Nations, 2022).

En México, se estima que más del 30% de los adultos mayores presentan signos de deshidratación, especialmente en entornos hospitalarios y de cuidado a largo plazo. En Estados Unidos, hasta un 20% de los ingresos hospitalarios en esta población están relacionados con complicaciones derivadas de la deshidratación. La deshidratación en adultos mayores representa un desafío significativo para la salud pública, dada su alta prevalencia y las graves consecuencias asociadas. Este grupo poblacional enfrenta un riesgo, el incrementado de deshidratación debido a cambios fisiológicos inherentes al envejecimiento, factores psicológicos y sociales, y la presencia de múltiples comorbilidades. La identificación temprana y el manejo efectivo de la deshidratación resultan esenciales para prevenir complicaciones y mejorar la calidad de vida de los adultos mayores, así como para reducir la carga sobre los sistemas de salud (Botigué et al., 2021).

Las principales afecciones que ocasiona la deshidratación pueden clasificarse en cuatro ramas principales: los trastornos cognitivos, el aumento de la incidencia en infecciones urinarias, complicaciones cardiovasculares y el riesgo por caídas o fracturas. Cuando se habla de los trastornos cognitivos, estudios han demostrado que incluso una deshidratación leve puede reducir el volumen cerebral y afectar funciones ejecutivas como la memoria y la toma de decisiones. En pacientes con Alzheimer, la deshidratación se asocia con un aumento en la agitación y la confusión, agravando el manejo de la enfermedad (Edmonds et al., 2021). La deshidratación leve puede provocar confusión, dificultad para concentrarse y la disminución en el rendimiento cognitivo, en casos graves, puede direccionar a delirio o acelerar el deterioro cognitivo en personas con demencia.

En relación con el aumento de las infecciones urinarias es debido a que con la disminución de la producción de la orina ocasiona una concentración de solutos y aumenta el riesgo de infecciones en el tracto urinario, que pueden complicarse al grado de poder llegar a una septicemia. La prevención de infecciones urinarias en adultos mayores deshidratados incluye el monitoreo regular de la ingesta de líquidos y la implementación de programas educativos para reconocer signos tempranos de infección. El uso de dispositivos de monitoreo portátiles también puede facilitar la identificación temprana de cambios en la concentración urinaria (Cohen et al., 2021).

Las complicaciones cardiovasculares, por ejemplo, la hipovolemia causada por la deshidratación puede desencadenar la hipotensión ortostática, taquicardia y, en casos graves, insuficiencia cardiaca debido a la disminución de la perfusión tisular. Referente al riesgo de caídas o fracturas, los síntomas como mareos, debilidad y desorientación incrementan la probabilidad de caídas, que a menudo resultan en situaciones complicadas para poder ser hospitalizadas y tratadas debido a la degeneración asociada al envejecimiento, agregando el factor de atención prolongada (Espinosa et al., 2021).

Dada la naturaleza multifacética del problema, la prevención y el manejo de la deshidratación, es necesario la intervención integral y enfática para atacar el problema, desde, la educación en el tema para aumentar la concientización sobre la importancia de una adecuada ingesta de líquidos entre los adultos mayores, como también, a los cuidadores y personal de salud. Otro punto relevante, en temas de abordar la problemática es con el diseño de dispositivos tecnológicos, por medio de avances en la tecnología portátil permita monitorear la ingesta de líquidos en tiempo real, facilitando la identificación oportuna de patrones de deshidratación.

Por último, considerar políticas públicas que establezcan protocolos estandarizados para la evaluación adecuada de la hidratación en diferentes contextos clínicos y sociales, asegurando un acceso equitativo en las intervenciones (Botigué et al., 2021). Por ejemplo, en países como Japón, se han implementado políticas públicas que incluyen la promoción de horarios regulares para el consumo de agua en instituciones geriátricas. Además, la capacitación obligatoria del personal sanitario sobre la hidratación ha demostrado reducir la incidencia de hospitalizaciones relacionadas con la deshidratación en un 15% (Masot et al., 2020).

2.5 Reconocimiento de actividades humanas

La vida de un ser humano puede ser clasificada en cuatro etapas: infancia, adolescencia, adulto joven, adulto, adulto mayor. Tomando como referencia estas cuatro etapas y se desea reconocer patrones de movimiento de las personas mayores, tomando en cuenta que sus acciones y movimientos pueden ser involuntarios o pueden verse afectados por distintas condiciones de salud (Figura 7). Por ejemplo, una persona que presenta molestias musculoesqueléticas se observara una marcha con variaciones a lo largo de la caminata habitual y el número de movimientos será menor en comparación con una persona activa, lo que hará que los datos del patrón sean diferentes (Keng et al., 2018; Vasudavan et al., 2021).

En la actualidad se considera que existen dos enfoques principales para el reconocimiento automático de actividades físicas: el uso de sensores portátiles y la mejora del entorno. Diversos estudios de sensores portátiles emplean sensores que captan la aceleración (acelerómetros) colocados en diferentes partes del cuerpo para reconocer actividades simples como caminar, correr, estar sentado, entre otras. Por otro lado, estudios de mejora del entorno utilizan sensores ubicuos como etiquetas de rastreo y sensores de interruptores colocados en objetos cotidianos y a través del uso de sistema de video para analizar los movimientos observados (Ehatisham-Ul-haq et al., 2022; Keng et al., 2018).



Figura 7. Etapas del ser humano. Elaboración propia.

El reconocimiento automático de la actividad humana (por sus siglas en inglés HAR*, human activity recognition),* es el proceso de identificar y clasificar las acciones realizadas por las personas a través del análisis de datos obtenidos mediante diversas fuentes, como lo son sensores portátiles, cámaras de video o mecanismos híbridos. Este campo de aplicación puede extrapolarse hacia los siguientes sectores: salud, seguridad, deportes y la interacción humano-dispositivos de asistencia. El reconocimiento de actividades humanas propone varios enfoques de investigación que se pueden dividir en dos grandes ramas: reconocimiento basado en sistemas de visión y reconocimiento basado en sensores, otras de las variantes en las que se puede enfocar el HAR es clasificando basado en el tipo de actividades, tales como, actividades simples y actividades complejas, en la Figura 8 se muestra una representación de la clasificación del HAR.

Para el HAR basado en sistemas de visión, como requerimiento mínimo, se necesitan dispositivos que puedan hacer grabaciones de video bidimensional (2D) o sensor de profundidad integrado, en este segmento los movimientos del ser humano se reconocen con datos en el espectro de RGB acompañados de datos de profundidad, sin embargo, el HAR también puede hacer uso de distintas tecnologías como los son el uso de redes neuronales convolucionales, redes neuronales recurrentes, aprendizaje profundo, entro otros mecanismos de análisis y clasificación. La mayoría de los adultos mayores residen en interiores, pero no se limitan solo dichos espacios, sino también realizan actividades al aire libre, los HAR basados en sistemas de visión muestran deficiencias en el monitoreo de las actividades en entornos libres o en exteriores ya que al depender de un sistema de visión, normalmente la instalación o adaptación de cámaras en lugares al aire libre podría implicar altos costos y problemas logísticos, además, existirá una evidente disminución en la calidad de la información debido a factores externos como condiciones climatológicas, principalmente iluminación variable (Keng et al., 2018; Vasudavan et al., 2021; Z. Wang et al., 2017).

La detección de ingesta de líquidos a través de sensores vestibles proporciona información útil para detectar la actividad de beber, son escalables y ampliamente disponibles comercialmente. Por otro lado, los sensores de superficie son menos comunes e investigados ya que el recipiente completo debe levantarse y colocarse nuevamente en una superficie cada vez para ser detectado como ingesta de líquido, sin embargo, cualquier objeto se puede colocar o quitar de la superficie, lo que puede resultar en muchas detecciones incorrectas. Los sensores basados en visión y ambiente a menudo funcionan mal en condiciones de poca iluminación y requieren un alto poder de procesamiento y almacenamiento de datos, dificultando la estimación de la ingesta. La tecnología basada en contenedores inteligentes donde se colocan sensores en el recipiente de agua ha dado resultados efectivos y precisos al determinar el volumen de ingesta consumido. Sin embargo, las botellas inteligentes comerciales tienen limitaciones, como ser grandes y pesadas, y no estar adaptadas para personas mayores. La mayoría de las botellas comerciales también dependen de una aplicación móvil

para mostrar la información lo que puede ser complicado para las personas mayores. También es importante reconocer que el uso complementario de estas tecnologías puede resultar favorable para aumentar la precisión de los estudios de la ingesta de líquidos, por ejemplo, un solo sensor acelerómetro proporciona una buena precisión, pero altas tasas de falsos positivos. La fusión de datos de aceleración con otras tecnologías podría crear sistemas más precisos, aunque muchos de los estudios de fusión han sido solo estudios piloto preliminares o se han realizado en muestras pequeñas (Cohen et al., 2021).

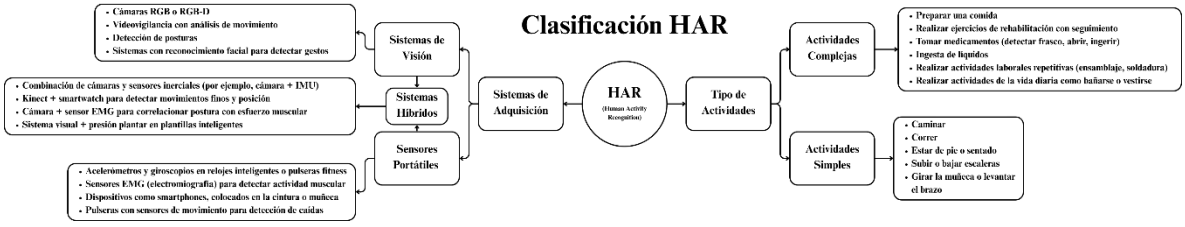


Figura 8. Esquema general para la clasificación del HAR. Elaboración propia.

Sin embargo, el reconocimiento de actividades humanas presenta una serie de ventajas, como, permitir reducir riesgos al detectar comportamientos anómalos o peligros, facilitar el monitoreo de la salud e identificar problemas de movilidad en etapas tempranas, optimizar la interacción entre humanos y sistemas asistenciales en diferentes entornos, tales como, comercial, salud, laboral y académico. Por otro lado, también son consideradas algunas desventajas o limitantes dentro del ramo, por ejemplo, la recopilación de datos puede generar preocupaciones relacionadas con la privacidad de las personas, el procesar grandes cantidades de datos requiere infraestructura especializada y muchas de las veces con costeas altos, a la vez un alto consumo de recursos, por otro lado, la variabilidad existente entre cada una de las personas, podría limitar su aplicación en grandes masas (Gomes et al., 2019; Moccia et al., 2020; Ortega et al., 2020).

El reconocimiento automático de actividades humanas por lo general pude dividirse en 6 grandes etapas, en la primera etapa, se obtienen datos crudos de varios sensores, como acelerómetros, giroscopios, sensores de presión, electrodos de piel/tórax, micrófonos y electrodos de electroencefalograma. Estos datos se muestrean y se convierten en series de tiempo multivariables, con desafíos de sincronización y problemas de calidad de datos. En la etapa de pre-procesamiento, se aplican algoritmos a los datos crudos para abordar problemas como calibración, normalización y eliminación de ruido. Estos algoritmos deben preservar las propiedades importantes de los datos crudos. En la siguiente etapa de segmentación, los datos procesados se dividen en segmentos de longitud adecuada, a pesar de la fluidez de las acciones humanas. Se utilizan varios métodos para abordar este desafío. En la cuarta etapa, se extraen características de los datos segmentados y se organizan en vectores. Estas características incluyen estadísticas, características de dominio de frecuencia y modelos de cuerpo 3D generados por sensores corporales. En la etapa de entrenamiento, se entrenan algoritmos de inferencia con las características extraídas y etiquetas de referencia. Los parámetros de estos algoritmos se aprenden reduciendo el error de clasificación. En la etapa de clasificación, se utiliza el modelo entrenado para predecir actividades y asignar etiquetas de clase a los vectores de características, el modelo generalizado se encuentra expresado en la Figura 9 (Aguileta et al., 2019; Chen & Kamavuako, 2023).

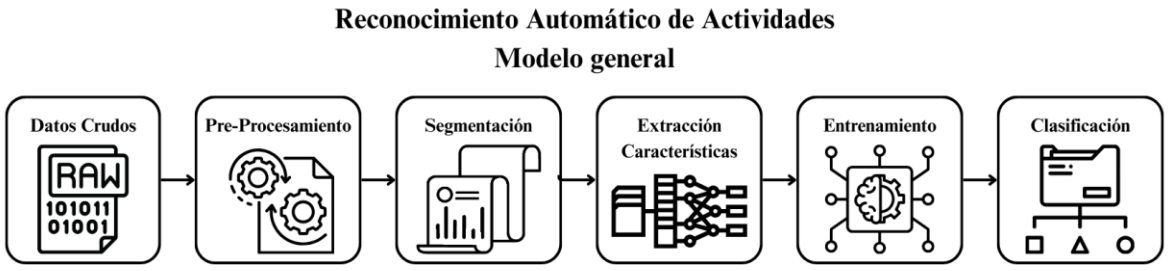


Figura 9. Esquema general para el modelo funcional en el reconocimiento automático de actividades. Elaboración propia.

En las últimas décadas, distintos estudios se han encargado de análisis los gestos humanos, en donde un gesto puede dividirse en cinco fases: preparación, retención pre-golpe, golpe, retención post-golpe y retracción. Una característica clave de la ingesta de líquidos es el conjunto de patrones de movimiento realizados por la mano, la muñeca y el brazo durante el acto de beber. En el caso de un contenedor de líquidos (una taza o vaso de agua) está sobre una mesa, estos patrones de movimiento incluyen sujetar el contenedor, elevarlo, inclinarlo para que el líquido fluya hacia la boca, bajarlo de nuevo a su posición original en la mesa y soltarlo, como se muestra en la Figura 10. Cuando son capturados por sensores inerciales colocados en la muñeca, estos patrones de movimiento constituyen un marcador de comportamiento estable de la ingesta de líquidos. Esto es así a pesar de las diferencias en la forma de la señal debido a la variabilidad interpersonal, la forma del contenedor, el tamaño del contenedor, el tipo de líquido, la velocidad de ingesta y otros factores (Chun et al., 2019).



Figura 10. Representación gráfica para la ingesta de líquido. Elaboración propia.

2.6 Investigaciones enfocadas en la detección de ingesta de líquidos

Según Hamatani et al., en su investigación realizada en 2018, se desarrolló un sistema para el monitoreo de la ingesta de líquidos mediante smartwatches (Microsoft Band 2 / Sony Smartwatch 3), integrando modelos de aprendizaje automático para la identificación precisa de eventos de consumo, ante una gran variedad de entornos. Se abordó la clasificación de la ingesta utilizando un enfoque basado en Conditional Random Fields (CRF), optimizando la segmentación y extracción de características a partir de datos de acelerómetros y giroscopios. Se llevaron a cabo experimentos en entornos controlados y vida libre, analizando un total de 1840 eventos de ingesta para evaluar la efectividad del sistema. Los resultados indicaron una tasa de recall del 87% y una precisión del 84%, lo que evidenció un desempeño aceptable. Además, se destacó que la estimación del volumen de líquido consumido presentó un error medio absoluto porcentual (MAPE) del 15%, lo que sugiere la necesidad de optimizar la calibración del sistema para mejorar la cuantificación del consumo. A pesar de estas limitaciones, el estudio demostró la viabilidad de emplear dispositivos portátiles comerciales para el reconocimiento automático de la ingesta de líquidos independientemente de la variabilidad de los componentes internos de los dispositivos, abriendo la posibilidad de futuras aplicaciones en el monitoreo de la hidratación en entornos reales (Hamatani et al., 2018).

Shiboni y Amfr propusieron en 2018 con la exploración de redes para la detección compuesta por modelos ocultos de Markov de mezclas Gaussianas (GMM-HMMs) para detectar gestos naturales dispersos en la vida cotidiana. Las características técnicas clave de enfoque fueron un método para extraer patrones no gestuales que maneja datos arbitrarios (Clase Nula) y una optimización basada en programación genética de múltiples poblaciones para aproximar los parámetros de la red de detección a través de modelos objetivo y no objetivo. Evaluaron 35 días de grabaciones anotadas de sensores inerciales de siete participantes. Se eligió la acción de beber como gesto objetivo. El método alcanzó un puntaje F1 promedio superior al 74%. Los resultados sugieren que el enfoque de red de detección es viable para la detección de patrones naturales dispersos (Schiboni & Amft, 2018).

Ortega *et al.* en 2018 crearon un algoritmo para refinar las clasificaciones de las actividades humanas basados en el uso de una pulsera de muñeca (Meta Motion R) simple equipada con un sensor de acelerómetro triaxial. Donde, se optó solo por el uso acelerómetro debido al alto consumo de energía por parte del sensor giroscopio. El estudio involucró siete actividades diarias sin dar instrucciones específicas a los participantes del estudio sobre cómo debían realizar las actividades. Aunque las actividades no se enfocaban en la ingesta de líquidos, se consideró pertinente la adición de esta investigación en este articulo para mostrar evidencia de precedentes que están altamente relacionados con mecanismo de identificación de actividades humanas. La frecuencia de muestreo utilizada fue de 100 Hz para evitar efectos no deseados en las señales. Se exploraron tres métodos de reducción de características para lidiar con la alta dimensionalidad de los datos: análisis de varianza (ANOVA), análisis de componentes principales (PCA) y descomposición de valores singulares truncados (SVD). Fueron utilizaron tres clasificadores diferentes (KNN, RF y SVM). El enfoque de refinamiento multinivel se diseñó para mejorar la precisión de clasificación al identificar y optimizar actividades que afectan negativamente el rendimiento del modelo. La validación del enfoque de refinamiento multinivel se realizó en un conjunto de datos externo, demostrando mejoras en la precisión de clasificación de actividades difíciles de clasificar en comparación con un enfoque de clasificación tradicional (Ortega-Anderez et al., 2019).

Henry Griffith, Yan Shi, Subir Biswas, en 2019 investigaron la estimación del volumen y nivel de llenado de bebidas utilizando un sensor inercial, InvenSense IMU-3000, en una botella, desarrollando 33 características para describir la inclinación durante el consumo. Se logró una obtener un error medio porcentual absoluto (regresión de volumen) del 52.4% y un error porcentual global medio absoluto (estimación agregada después de 12 acciones) del 19.49%, demostrando la viabilidad de este enfoque para monitorear la ingesta de líquidos. Observaron una correlación entre las características de movimiento y el volumen de bebida, respaldando la utilidad por mejorar este método para estimaciones precisas de consumo de líquidos en futuras investigaciones (Griffith et al., 2019).

En 2019, Chun et al. trabajaron para desarrollar un esquema para la detección de la ingestión de líquidos, cuyo principio funcional se basó en una segmentación adaptable para detectar patrones característicos en el proceso de la ingesta de líquidos y que también buscaba mejorar las limitaciones del uso de ventanas deslizantes fijas. Los investigadores consideraron dos puntos relevantes para la identificación de la ingesta de líquidos; normalización de la señal y la ampliación dinámica de la ventana de muestreo en función de la amplitud de la señal. En la parte correspondiente al entrenamiento del clasificador fueron generado fotogramas de 1 segundo y fueron consideradas 45 características, utilizando la técnica de bosques aleatorios. La evaluación LOPO que se realizó obtuvo una precisión media del 90.3% y una tasa de recuperación media del 91.0%. A pesar de sus ventajas en escalabilidad y versatilidad, observaron que su sistema era incapaz de detectar la ingestión de líquidos en situaciones en las que no se usan las manos. Un punto relevante en la investigación fue la

capacidad de incrementar de manera significativa la precisión del clasificador mediante el uso de la segmentación adaptable. Aunque los investigadores concluyeron que es necesario hacer más estudios en entornos libres, los resultados plantearon una metodología alternativa, práctica y escalable que no requiere materiales especiales (Chun et al., 2019).

El estudio realizado por Diana Gomes et al. (2019) se enfocó en el reconocimiento de la ingesta de alimentos y líquidos en condiciones de vida libre, con el objetivo de generar recordatorios inteligentes para adultos mayores. Desarrollaron un algoritmo de clasificación semi-jerárquico, probando la efectividad de modelos binarios frente a un modelo de clasificación multicategoría. Fueron utilizados sensores inercialesen muñeca para recopilar datos y se establecieron tres conjuntos de datos que incluyeron pruebas con adultos jóvenes y personas mayores. El proceso de validación incluyó la evaluación del sistema en 31 horas de datos de prueba, provenientes de cinco usuarios no vistos previamente, dos de los cuales eran adultos mayores. Se implementaron técnicas de segmentación de datos para optimizar la detección de movimientos relacionados con la alimentación y la hidratación o ingesta, mejorando la precisión en condiciones no controladas. En la detección de la ingesta de líquidos, el modelo obtuvo un recall del 60%, lo que evidencia su capacidad para identificar eventos de ingesta cuando ocurren. Sin embargo, la precisión del 71% sugiere que, si bien el sistema es relativamente eficiente al clasificar correctamente la acción de beber, aún presenta margen de mejora en la reducción de falsos negativos. En términos generales, el F1-Score del 65% indica un rendimiento moderado en la clasificación de la actividad de ingesta de líquidos (Ortega et al., 2020).

Gomes y Sousa en 2019 se encargaron de analizar los movimientos previos a la ingesta de líquidos, tomado como referencia tomar un recipiente, después llevarlo a la boca y finalizando con una pequeña inclinación. Una vez delimitado el rango de movimientos establecieron dos objetivos principales, el reconocimiento de la pre-ingesta de líquidos en tiempo real y en condiciones de vida libre, como también, evaluar la viabilidad de poder utilizar este enfoque en la activación de un sistema alterno que busque hacer una medición o estimación de la cantidad de líquido ingerido. El sistema propuesto se basaba en un sensor inercial IMU Boosch BMI-160, que a su vez estaba montado en una plataforma de la marca Pandlets y colocado en la parte del antebrazo de los participantes. La detección de los movimientos fue utilizando datos recabados de participantes en periodos de comida, en los cuales obtuvieron un puntuaje de 97% en validaciones fuera de línea con doce participantes, por otro lado, la validación en tiempo real y vida libre se obtuvo un 85% con la participación de cinco personas. Sin embargo, un punto a resaltar fue que el algoritmo establecido tuvo la capacidad de detectar el movimiento de la mano a la boca 0.70 segundos antes de que los participantes comenzaran con la ingesta de líquidos, demostrando una base alternativa para su uso en aplicaciones adicionales y permitiendo soluciones con mayor flexibilidad en el monitoreo de la ingesta de líquidos (Gomes & Sousa, 2019).

Donya Fozoonmayehl *et al.*, en 2020 basaron su investigación en la poca adherencia de los pacientes en su medicación. Fueron recolectados datos a través de sensores de acelerómetro y giroscopio integrados en un reloj inteligente, LG Watch Sport, donde las actividades principales eran la ingesta de medicamentos y otras acciones cotidianas como puntos de control. Se desarrollaron métodos de aprendizaje automático para clasificar las actividades, con resultados de precisión en un 98.3% mediante el uso de Gradient-Boosted Tree (G-BT), sin embargo, utilizando el método Random Forest (RF) se obtuvo un 97.7% de desempeño global, demostrando la viabilidad del sistema para futuros modelos para detectar actividades con la ingesta de medicamentos o pudiendo extrapolarse a otros tipos de ingestas según sea necesario (Fozoonmayeh et al., 2020).

Chun *et al* en 2020, aprovecharon las ventajas de las redes de sensores inalámbricos y las tecnologías de cómputo ubicuo para crear sistema de monitoreo de ingesta de líquidos automáticos, objetivos y poco intrusivos a través diseño una taza inteligente impresa en 3D, equipada con un sensor OPAL y un algoritmo de detección de eventos de consumo de líquidos, fue capaz de identificar gestos de ingesta de líquidos, especialmente para detectar eventos de consumo de líquidos y reconocer períodos completos de ingesta. Los resultados mostraron que el mejor rendimiento del sistema utilizando el modelo k-NN con un tamaño de ventana de 4 segundos logra un F-measure del 89,92% y el 85,88% en enfoques de evaluación definidos por eventos y definidos por fotogramas, respectivamente. El estudio demuestra que la taza inteligente podría proporcionar una señal de detección confiable y facilitar la identificación de la actividad de consumo de líquidos. Indicando que en trabajos futuros se pueden incluir sensores adicionales para identificar el tipo y volumen de líquido, y validar con diferentes grupos de sujetos, incluyendo personas con enfermedades crónicas (Liu et al., 2020).

Ortega *et al.* en 2020 se propusieron como objetivo la detección de gestos esporádicos en actividades humanes con el uso de tecnología vestible. Buscaron una solución innovadora utilizando técnicas de segmentación adaptativa basada en cruces (CAST) utilizando sensores inerciales. Tomado como enfoque la detección de los gestos producidos a la hora de comer o beber. En la experimentación se encontró que la media de discrepancia de los gestos mejoraba la clasificación utilizando dos, tres y cinco clases. Siendo la ronda dos (tres clases) la que mejor desempeño tuvo, logrando alcanzar una exactitud de 98.6%, una precisión 90.2% y un recall de 93.3%. Los autores concluyeron que la metodología propuesta puede ser ampliamente utilizada y aprovechada en el campo de reconocimiento de actividades humanas, aunque determinaron que existen limitaciones, representa un avance significativo para establecer sistemas automatizados para el seguimiento dietético de las personas (Ortega et al., 2020).

Huang, Hsieh *et al.* en 2020 en su estudio presenta un sistema de monitoreo de ingesta de líquidos que utiliza un sensor inercial portátil (Sensor OPAL) para detectar y estimar actividades de ingesta de líquidos. Proponen un enfoque jerárquico que incorpora actividades de consumo, gestos de sorbos y cantidades ingeridas, con modelos de estimación dependientes e independientes del contenedor. Los resultados experimentales muestran una detección con un 86.06% de recall, un 94.42% de exactitud, y una identificación de gestos de sorbos con un 95.50% de sensibilidad. Por otro lado, respecto a la estimación de volumen, se obtuvo un 40.11% de MAPE, particularmente logrando una mejora aproximada del 10% comparándose con los enfoques convencionales. Los resultados demostraron una viabilidad y efectividad para poder ser implementados en sistemas de monitoreo (Huang et al., 2020).

Rouast y Adam, en 2020 desarrollaron un modelo basado en redes neuronales profundas para la detección automática de gestos de ingesta utilizando videos 360 grados, con el objetivo de mejorar el monitoreo dietético y la identificación precisa de eventos de consumo. Para ello, fue recopilada información de 102 participantes, quienes consumieron una comida estandarizada en un entorno controlado mientras eran grabados con una cámara central. Se identificaron 4,891 gestos de ingesta, considerando dos etapas: estimar las probabilidades a nivel de fotograma utilizando diversas arquitecturas de aprendizaje profundo; después, se identificaron los eventos discretos de ingesta mediante un algoritmo de búsqueda de máximos locales. El análisis comparativo de los modelos reveló que el uso de características visuales mejora el rendimiento a comparación de las características de movimiento (flujo óptico) para la detección de gestos de ingesta. Sin embargo, la incorporación de contexto temporal a través de múltiples fotogramas mejoró el desempeño del modelo. Entre las

arquitecturas evaluadas, el modelo basado en ResNet-50 SlowFast obtuvo los mejores resultados, con un F1-Score del 85.8% (Rouast & Adam, 2020).

Moccia *et al*. en 2021 considerando el aumento de enfermedades crónicas debido al envejecimiento de la población mundial, proponen un método para monitorear objetivamente la adherencia a la medicación mediante el reconocimiento automático de gestos con una pulsera sensor comercial, MMR por MbientLab. Se emplearon algoritmos de aprendizaje automático (ML) y aprendizaje profundo (DL) para clasificar gestos múltiples y binarios. La mayor precisión se logró con una red neuronal convolucional con memoria a corto y largo plazo (CNN-LSTM), con una puntuación F1 mediana del 90.5% y 92.5% para clasificación de gestos múltiples y binarios, respectivamente. Estos resultados sugieren que la clasificación de gestos de mano desde señales de acelerómetros y giroscopios de muñeca puede realizarse con precisión razonable en entornos de laboratorio, abriendo la puerta a dispositivos médicos para monitorear la adherencia a la medicación (Moccia et al., 2020).

Ortega Anderez et al. (2021), crearon y evaluaron un sistema de reconocimiento de ingesta de alimentos y líquidos basado en aprendizaje profundo y sensores inerciales colocados en la muñeca, con el objetivo de mejorar el monitoreo dietético con adultos mayores. Fue utilizadó un acelerómetro triaxial en conjunto con técnicas de segmentación adaptativa para identificar gestos relevantes dentro de señales continuas. La clasificación se abordó como un problema de tres clases ("Eat", "Drink" y "Null"), utilizando redes neuronales convolucionales (CNNs) y estrategias de codificación de series temporales en imágenes para mejorar la precisión en la detección. El sistema fue retado con un conjunto de datos con seis participantes, quienes realizaron diferentes gestos de alimentación e ingesta de líquidos mientras llevaban el sensor en la muñeca dominante. Se utilizaron técnicas de validación cruzada Leave-One-Out para garantizar la robustez del modelo. Los resultados indicaron que el enfoque basado en CNN logró un recall del 89.83% en la detección de la ingesta de líquidos, con una precisión del 92.98%, reflejando un desempeño sólido en la identificación de gestos de beber. La precisión general del modelo fue del 98.73%, destacando su capacidad para diferenciar correctamente entre gestos de interés y movimientos irrelevantes (Ortega Anderez et al., 2021).

Pedram et al. en 2021, desarrollaron LIDS (*Liquid Intake Detection System*), un sistema portátil capaz de monitorear en tiempo real el tipo y volumen de líquidos ingeridos. Este dispositivo se monta en la tapa de una botella y utiliza una combinación de sensores ultrasónicos, de color RGB, de temperatura y acelerómetros. El sistema, mediante algoritmos de aprendizaje automático, logra una precisión en la detección del tipo de líquido entre el 74.93% y el 94.98%, y un error relativo cuadrático en la estimación del volumen que va del 1.12% al 13.36%. LIDS permite detectar actividades relacionadas con el consumo de líquidos, como beber o abrir la tapa, lo que optimiza su eficiencia energética. Este sistema se diseñó para ser utilizado en botellas reutilizables y se evaluó en diferentes entornos con varios tipos de líquidos y condiciones de luz. Aunque el sistema no está enfocado directamente en la detección de líquidos, indirectamente al momento de buscar hacer una estimación de volumen consumido, por consecuencia se realiza una detección de ingesta de líquido (Pedram et al., 2021).

Cohen *et al.* en 2022 realizaron un estudio comparativo de cuatro botellas inteligentes disponibles comercialmente, incluyendo H2OPal, HidrateSpark Steel, HidrateSpark 3 y Thermos Smart Lid, se llevó a cabo para evaluar su rendimiento y funcionalidad del monitoreo de la ingesta de líquidos. Cada botella registró cien eventos de ingesta que se analizaron comparados con una balanza de alta precisión que sirvió de referencia. Los resultados mostraron que H2OPal tuvo el menor error porcentual promedio (MPE) y pudo equilibrar los errores a lo largo de varios sorbos. HidrateSpark 3 proporcionó resultados más consistentes y confiables con el menor error por sorbo. Las botellas HidrateSpark mejoraron aún más sus valores de MPE mediante regresión lineal. En contraste,

Thermos Smart Lid tuvo la menor precisión debido a que sus sensores no cubren toda la botella, lo que resultó en muchas grabaciones perdidas. Sin embargo, en este análisis comparativo la detección de ingesta de líquidos es considerado al momento que las botellas inteligentes generan una estimación de la cantidad de volumen presente (Cohen et al., 2022b).

Cohen *et al.* en 2022 desarrollaron un sistema de detección de ingesta de líquidos con el uso de videos RGB. Empleando una cámara GoPro Hero 9 (60 fps) con una resolución de 2704 x 1520). El estudio se realizó en un apartamento simulado, con una media de edad de 24 años, cinco hombres y cuatro mujeres, todos sanos. Respecto al procesamiento de la información se buscó que los videos se redujeran a 3 o 6 cuadros por segundo y recorte de las imágenes para enfocarse a la persona y para optimizar el procesamiento durante el entrenamiento a una resolución de 224 x 224 píxeles. El algoritmo utilizado tenía por objetivo una clasificación binaria para identificar eventos de beber y no beber, Utilizando modelos de aprendizaje profundo de última generación, se entrenó una CNN utilizando tanto imágenes estáticas como segmentos de video para comparar los resultados. El modelo 3D obtuvo un mejor rendimiento (en comparación con la CNN 2D) con puntuaciones F1 del 94.3% y 84.2% en validaciones cruzadas de 10 divisiones y validación LOSO, respectivamente (Cohen et al., 2022a).

Wang *et al.* en 2022 en su estudio se centra en la detección de la ingesta de líquidos, se propone un sistema automático de monitoreo de ingesta de líquidos utilizando unidades de medición inercial (IMUs, sensor shimmer) en las muñecas para reconocer gestos de consumo en entornos semi-controlados y de vida libre. Se emplea un modelo de red convolucional temporal de múltiples etapas (MS-TCN) para la detección de gestos de consumo, evaluado en dos conjuntos de datos: uno en entornos semi-controlados y otro en entornos de vida libre. El modelo logra un F1-score segmental de 94.3% y 90% en los conjuntos de datos respectivos. Comparado con un modelo combinado de red neuronal convolucional y red neuronal de memoria a corto y largo plazo (CNN-LSTM), demuestra un rendimiento superior. La aplicación clínica destaca su capacidad para registrar la frecuencia de consumo de agua, siendo útil para personas mayores o pacientes hospitalizados. Aunque no mide el volumen de líquidos consumidos, el estudio destaca la promesa de este enfoque en entornos de vida libre (C. Wang et al., 2022).

De acuerdo con Malvuccio y Kamavuako, en 2022, analizaron el uso de electromiografía de superficie (sEMG) para la clasificación de eventos de deglución (interpretación indirecta como un evento de ingesta) y la estimación del volumen de ingesta de líquidos, con el objetivo de desarrollar un método no invasivo para el monitoreo de la hidratación en adultos mayores, principalmente aquellos que muestran una movilidad considerablemente reducida. Se analizaron señales de sEMG obtenidas de once participantes mientras realizaban diferentes tareas de deglución, utilizando sensores ubicados en los músculos esternohioideos. Se aplicó un enfoque basado en la extracción de 46 características en el dominio del tiempo y la frecuencia, y se evaluaron diversos clasificadores de aprendizaje automático. Los resultados indicaron que el mejor desempeño en la clasificación de eventos de deglución de líquidos se obtuvo con el clasificador k-Nearest Neighbors (k-NN) utilizando cinco características, logrando una precisión del 94.17% y un recall del 96.02%, con un F1-score del 94.93%. Además, se exploró la estimación del volumen ingerido mediante redes neuronales artificiales (ANNs), obteniendo un error medio cuadrático de 2.80 mL y un error medio de estimación del 15.43%. Estos resultados evidenciaron que el uso de sEMG puede ser una alternativa viable para la detección de eventos de deglución y la estimación del consumo de líquidos sin requerir sensores acústicos o de otro tipo (Malvuccio & Kamavuako, 2022).

Una propuesta alternativa haciendo uso de sensores auriculares fue desarrollada por Zhang y Gowda en 2023 demostrando la viabilidad de estimar la cantidad de volumen en la ingesta de líquidos. El estudio utilizó un micrófono de captación de voz que registra las vibraciones corporales durante el consumo de líquidos directamente desde el contacto con la piel y la conducción del cuerpo. Esto resulta en la extracción de señales más fuertes y con inmunidad al ruido ambiental. Fueron diseñados modelos de ML robustos basados en técnicas de aumento de datos y aprendizaje semisupervisado. Un extenso estudio de usuarios con 12 participantes muestra una precisión de estimación del volumen por deglución de 3.35 mL (error del 19.17%) y un error acumulado del 3.26% durante toda una botella, siendo robusto frente a movimientos corporales, tipo de recipiente, temperatura del líquido, posición del sensor, etc. Los modelos de ML se implementan en teléfonos inteligentes con bajo consumo de energía y latencia. En consecuencia, la investigación no se enfoca en la detección de la ingesta de líquidos, pero al momento que se busca hacer una estimación de volumen consumido, indirectamente se contribuye en la detección de la ingesta de líquidos (Zhang et al., 2022).

Cohen *et al.* en enero de 2023 muestran en su estudio comparación entre el rendimiento de cámaras de profundidad y RGB en la detección de eventos de beber, utilizando Redes Neuronales Convolucionales (CNN) 2D y 3D. Los datos recopilados de nueve participantes en actividades cotidianas revelan que los modelos 3D, tanto con cámaras RGB como de profundidad, logran puntuaciones F1 similares en validación cruzada y en la técnica Leave-One-Subject-Out (LOSO). Este resultado prometedor destaca la viabilidad de las cámaras de profundidad, que además abordan preocupaciones de privacidad. Los modelos 3D CNN se destacan como una opción más robusta, consolidando la utilidad de las cámaras de profundidad en la identificación precisa de eventos de consumo de líquidos reportando resultados de alcance F1 de 94.3% y LOSO de validación cruzada de 84.2%, considerando una tasa de muestreo de 3 a 6 fps (Cohen et al., 2023).

Ismail et al. en 2023, reportaron el uso de sensores de electromiografía de superficie con el objetivo de detectar la ingesta de líquidos y una estimación de volumen ingerido, considerando como factor clave los eventos de deglución. Para el estudio fueron utilizados cinco clasificadores y siete recuperadores para seleccionar el mejor conjunto de características que permitiera la detección de ingesta de líquidos y su posterior estimación de volumen. Los resultados obtenidos mostraron una precisión promedio del 85.5% en la clasificación de eventos de la deglución. Para la estimación del volumen, se encontró un error medio cuadrático (RMSE) de 6.34 mL. El trabajo demuestra una alternativa prometedora con el uso de sensores electromiográficos, permitiendo abrir la posibilidad que puede utilizarse con distintos propósitos de manera efectiva en la detección y cuantificación de la ingesta de líquidos en tiempo real. Estableciendo una base para el desarrollo de dispositivos no invasivos en el monitoreo de la ingesta de líquidos en personas con movilidad reducida, como pueden ser los adultos mayores en condiciones de cuidados del hogar u hospitalizados (Ismail et al., 2023).

El estudio realizado por Hsieh et al., en 2024 investigaron enfoques de monitoreo de ingesta de líquidos mediante sensores inerciales, comparando métodos basados en sensores de muñeca y sensores en contenedores inteligentes. Fue desarrollado un algoritmo jerárquico para la detección de gestos de bebida y la estimación del volumen consumido, evaluando el impacto del nivel de llenado del contenedor y el tamaño de los sorbos en la precisión del sistema. Para la detección de la ingesta de líquidos, el sistema basado en sensores de muñeca alcanzó un F1-Score del 93.01%, con una precisión del 93.09% y un recall del 92.93%, tras aplicar un proceso de postprocesamiento para corregir errores de clasificación. Por otro lado, el sistema basado en contenedores inteligentes obtuvo un F1-Score del 91.94%, con una precisión del 91.80% y un recall del 92.08%, mostrando un rendimiento ligeramente inferior al del método basado en sensores de muñeca. Los resultados

demostraron que ambos enfoques pueden ser utilizados para el monitoreo de la ingesta de líquidos, aunque el método de sensores de muñeca presentó mayor variabilidad debido a diferencias individuales en los movimientos (Hsieh et al., 2024).

Hsuan et al., en 2024 dentro de su investigación tenían como objetivo la detección de ingesta de líquidos a través de un enfoque multimodal; con la combinación de sensores inerciales y sensores acústicos, utilizando un sensor inercial por cada mano y otro sensor inercial colocado en un vaso, por último, se usó un audífono como sensor auditivo. Los resultados de desempeño general (F1-Score) reportados en la investigación fueron los siguientes: combinación de las tres señales (muñecas, vaso y audífono) un 96.5%. La mejor combinación entre dos señales (muñecas y audífonos) fue 95.3%, por último, el mejor desempeño individual fue para el sensor acoplado en el vaso con un 92.5%. Sin embargo, aunque el mejor desempeño se haya logrado con un enfoque multimodal, la aplicación real de este mecanismo podría resultar complicada debido a la dependencia de tantos sensores combinados, al igual con la combinación de los sensores en las muñecas y los audífonos representa un solución poco práctica ya que es necesario el uso de audífonos de forma permanente, por otro lado, el mejor desempeño de forma individual es para el vaso con un sensor inercial integrado demuestra una gran dependencia por utilizar el mismo vaso durante el día para poder asegurar un monitoreo automático (Li et al., 2024).

2.7 Diseño y desarrollo de productos

El diseño y desarrollo de productos representa una diciplina elemental en el ámbito comercial y tecnológico, ya que contempla todas las etapas desde la concepción de una idea hasta su producción y comercialización, considerando que es un proceso multidisciplinario y requiere la colaboración de áreas como la mercadotecnia, ingeniería, manufactura, diseño industrial, entre otras. El desarrollo de productos es un conjunto de actividades interrelacionadas con el propósito de concebir, diseñar, fabricar y comercializar un producto, de acuerdo con Ulrich y Eppinger, este proceso debe seguir a una metodología estructurada en busca de minimizar los riesgos, optimizar los recursos y maximizar el éxito en el mercado (Ulrich & Eppinger, 2012).

La clasificación del producto tiene como finalidad entender el posicionamiento en el mercado y comprender la mejor estrategia de implementación para el producto. Para esto, se ofrecen distintos enfoques de clasificación de producto, por ejemplo, la clasificación según su origen y motivación como se observa en la Figura 11, donde se divide según la tecnología, el tipo de mercado, la plataforma de desarrollo, la personalización y de una elaboración rápida.

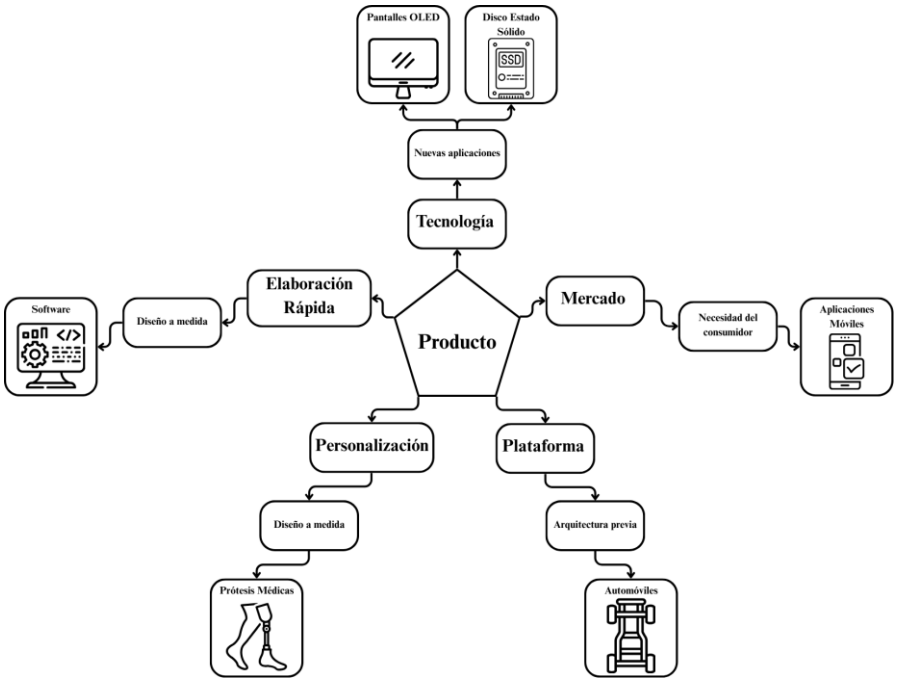


Figura 11. Diagrama esquemático - Clasificación e producto según su origen. Elaboración propia.

Considerando otro tipo de clasificación de productos, ampliamente reconocida en el ámbito de comerciales, distingue los productos en función del comportamiento del consumidor y el esfuerzo que requiere su adquisición, como se describe a continuación en la Figura 12.

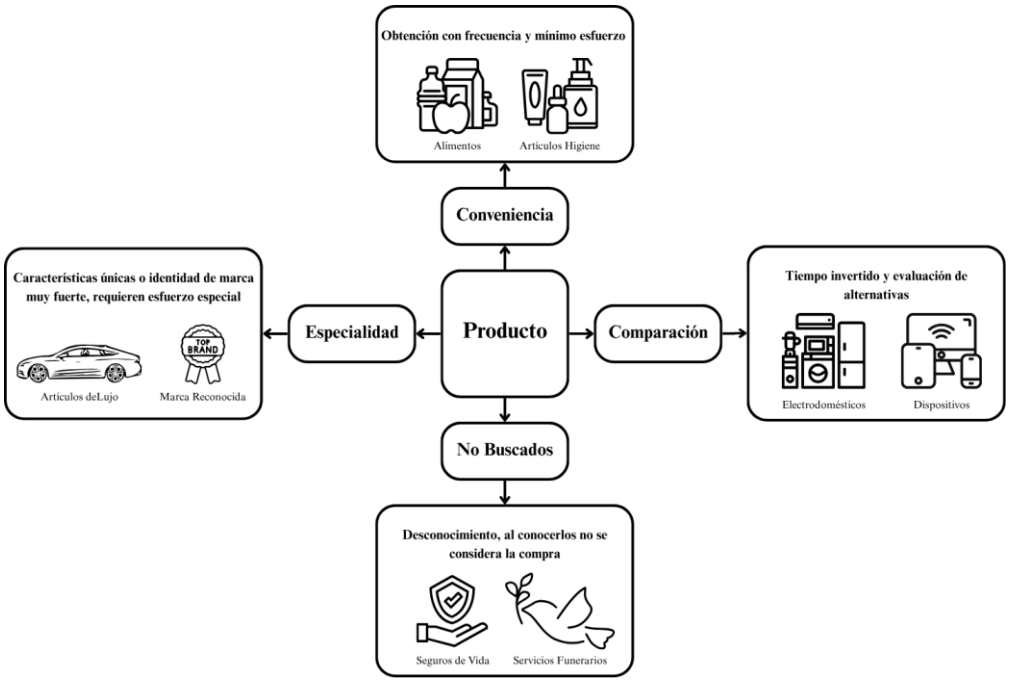


Figura 12. Diagrama esquemático - Clasificación de producto según comportamientos del consumidor. Elaboración propia.

Al menos considerando estos dos tipos de clasificaciones de producto, resulta en un punto de partida útil para el desarrollo de distintas estrategias de diseño y desarrollo de producto, permitiendo definir un plan de trabajo claro (Muente, 2019; Ulrich & Eppinger, 2012).

2.7.1 Diseño Centrado en el Usuario

El diseño centrado en el usuario (*Design Thinking*, por sus siglas en ingles), es un enfoque que coloca las necesidades, capacidades y limitaciones del usuario en el centro del proceso de desarrollo de productos, procurando que la solución final sea intuitiva, accesible y efectiva. De acuerdo con la metodología propuesta por el instituto de Stanford, el DCU se basa en la empatía con el usuario, la definición precisa del problema, la ideación de múltiples soluciones, la creación de prototipos y la validación a través de pruebas iterativas, permitiendo mejorar la experiencia de usuario y desarrollar productos que respondan a las necesidades contempladas. En general el DCU considera 6 fases: comprender al usuario, definir el problema, ideación de la solución, prototipado, evaluación y la implementación, como se observa en la figura 13 (Institute of Design of Stanford, 2009).

En el ámbito de los dispositivos de asistencia, incluso dispositivos médicos, el DCU ha demostrado ser una herramienta importante para mejorar la eficiencia y usabilidad de las tecnologías de salud y la asistencia. Un trabajo realizado por Rivera Cerón et al. (2023) describe cómo este enfoque fue aplicado en el desarrollo de una herramienta de diagnóstico para retinopatía diabética, la cual se incorporó DCU y los principios de Gui Bonsiepe para optimizar la interacción usuario-dispositivo. Esta metodología permitió realizar una validación basada en indicadores de eficiencia, efectividad y satisfacción, asegurando que el diseño final respondiera a las necesidades clínicas y operativas de los profesionales de la salud (Rivera Cerón et al., 2023).

Cuando el DCU se aplica en el diseño de dispositivos para adultos mayores, la integración de principios ergonómicos posee mayor importancia. Cano Henríquez et al. (2021), en su trabajo destacan que los cambios físicos, cognitivos y sociales en este grupo poblacional requieren enfoques de diseño que prioricen la accesibilidad, comodidad y facilidad de uso, lo que contribuye a mejorar la calidad de vida y el bienestar del usuario. Por lo tanto, el DCU además de ser una estrategia en el desarrollo de dispositivos médicos y de asistencia, es también una herramienta para garantizar que los productos tecnológicos sean inclusivos y adaptados a las necesidades específicas de cada usuario (Cano et al., 2021).

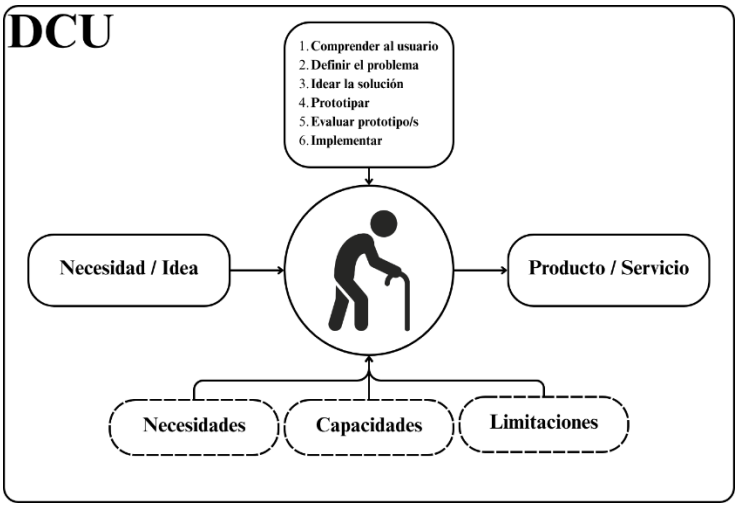


Figura 13. Representación del diseño centrado en el usuario (DCU). Elaboración propia.

2.7.2 Ergonomía del diseño

La ergonomía se encarga de estudiar la interacción de las personas y los sistemas con los que desarrollan alguna actividad, laboral o recreación, con el objetivo de optimizar el desempeño, la seguridad y el bienestar de las personas. La ergonomía puede dividirse en tres áreas principales; Ergonomía física, involucra las características anatómicas, antropométricas y biomecánicas del usuario. Por otro lado, la ergonomía cognitiva, estudia los procesos mentales involucrados en la interacción humano-máquina. Por último, la ergonomía organizacional, examina cómo el diseño de sistemas de trabajo afecta la eficiencia del usuario (Bridger, 2017; Wilson, 2014).

Considerando un entorno enfocado en el desarrollo de dispositivos portátiles, se necesita considerar un diseño lo más ergonómico posible que minimice el impacto en la movilidad, fatiga muscular y adaptabilidad del cuerpo humano. El diseño de un sistema sociotécnico implica considerar factores como la antropometría de la región anatómica donde se proyecta que será usado el dispositivo, permitiendo que se ajuste a distintos tamaños o zonas para no comprometer la movilidad, comodidad y función. Otro factor que tomar en cuenta es la carga y distribución del peso, generalmente se procurará que cualquier dispositivo portátil sea liviano para evitar fatiga y molestia durante usos prolongados. Para último, los materiales deben ser seleccionados de acuerdo con la función y zona anatómica donde se desean utilizar, por ejemplo, si el dispositivo estará en constante contacto con la piel, se busca que los materiales sean hipoalergénicos, que permitan la transpiración de la piel y que eviten irritaciones (Dul et al., 2012; Hendrick, 2003; Read et al., 2018).

La selección de la región anatómica para el diseño de dispositivos portátiles es un proceso multidimensional que necesita equilibrar la funcionalidad, ergonomía, accesibilidad, factores fisiológicos, aceptación social y seguridad. Partiendo por la finalidad del dispositivo para determinar la región óptima para su colocación y uso. Por ejemplo, los dispositivos vestibles destinados al monitoreo de actividad física suelen ubicarse en la muñeca debido a su movimiento constante, mientras que los dispositivos de rehabilitación muscular requieren posicionarse en áreas específicas que permitan una estimulación efectiva (Chapetón, 2020). Sin embargo, la ergonomía y comodidad juegan un papel importante, ya que un dispositivo mal diseñado puede generar fatiga o limitar la movilidad del usuario. Un diseño ergonómico debe minimizar la carga y distribuir el peso de forma uniforme para evitar o reducir incomodidad y garantizar una experiencia de uso prolongada, para mejor entendimiento vea la figura 14 (SEO.London, 2014).

Además, la accesibilidad y facilidad de uso son determinantes en la aceptación del dispositivo. Debe ubicarse en una zona anatómica que permita una interacción intuitiva, facilitando que el usuario pueda colocarlo, ajustarlo o retirarlo sin dificultades (SEO.London, 2014). Así mismo, los factores anatómicos y fisiológicos deben ser evaluados, debido a zonas del cuerpo que presentan variaciones en el grosor de la piel, presencia de terminaciones nerviosas o proximidad a estructuras óseas que pueden influir en la funcionalidad o desempeño del dispositivo. Por ejemplo, en dispositivos de monitoreo, es común seleccionar áreas con una buena irrigación sanguínea, como el antebrazo o el pecho, para obtener mediciones más precisas (Planas et al., 2020).

Otro factor que considerar es la apariencia estética y aceptación social, a causa de la percepción del usuario y del entorno influenciara en la disposición a utilizar un dispositivo portátil en espacios públicos. En este sentido, los dispositivos diseñados para ser discretos y estéticamente agradables tienden a tener una mayor aceptación, especialmente en entornos laborales o sociales (INTERIM GROUP, 2025). Sin embargo, la seguridad y riesgos potenciales deben ser evaluados desde el inicio del diseño, con el objetivo de evitar regiones anatómicas donde el dispositivo pueda causar lesiones, interferir con dispositivos implantados o aumentar el riesgo de accidentes en caso de caídas o impactos (World Health Organization, 2012).

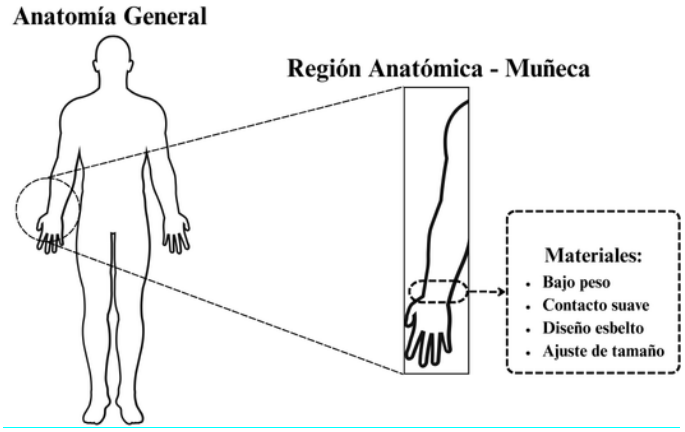


Figura 14. Región anatómica involucrada en un dispositivo portable - muñeca. Elaboración propia.

2.7.3 Usabilidad

La usabilidad, en el diseño centrado en el usuario, se define como la medida de lo bien que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar objetivos definidos, evaluando su efectividad, eficiencia y satisfacción dentro del contexto previsto (Clemmensen, 2024). Siendo una visión clásica, centrada en base a parámetros enfocados al desempeño, proporcionando una guía a la evolución entre la interacción del humano-computadora, sirviendo como base pilar para los fundamentos de diseños tecnológicos. En cambio, otros autores como Wixon, han cuestionado la relevancia de la literatura tradicionalista, argumentado que muchas de las evaluaciones de los métodos de usabilidad carecen de la practicidad en la aplicación, con base en los contextos reales en los que se pueden desarrollar las aplicaciones de los distintos productos o servicios. Sin embargo, se propone utilizar una evaluación de la usabilidad desde la lógica de la ingeniería aplicada, donde el éxito de los métodos debe tener una dependencia en medir la capacidad para generar cambios en productos reales bajo restricciones de tiempo, recursos y contexto organizacional (Wixon & Siegel, 2003).

Garrett en 2011, propone una estructura jerárquica de cinco planos en el diseño centrado en el usuario: estrategia, alcance, estructura, esqueleto y superficie (Figura 15). En este marco, la usabilidad se materializa como evaluación y como criterio activo de diseño que estructura la interacción y asegura que la funcionalidad y la presentación estén alineadas con las expectativas y necesidades del usuario (J. James. Garrett, 2011).

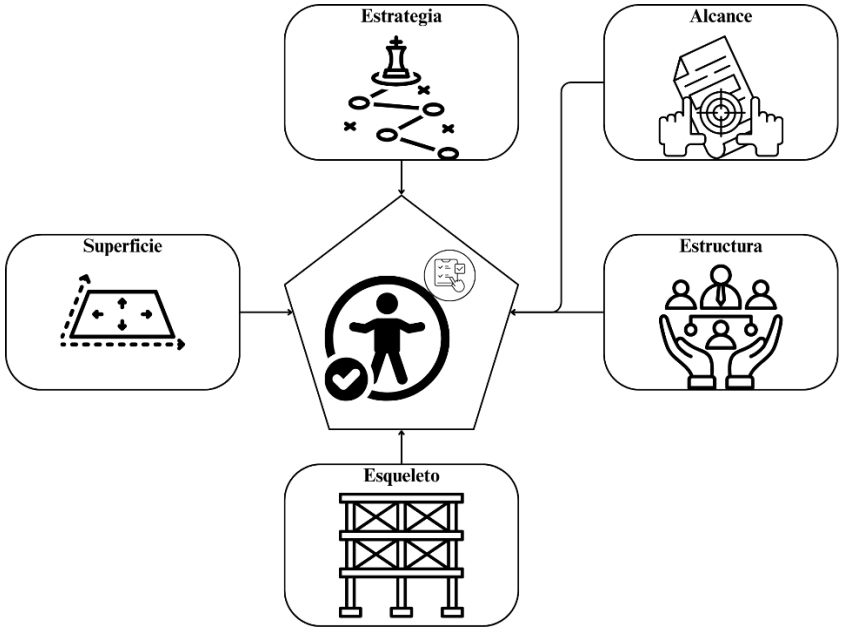


Figura 15. Diagrama esquemático para la estrategia de usabilidad propuesta por Garrent. Elaboración propia.

Existen distintos tipos de evaluaciones enfocadas en la usabilidad de los productos, donde se considera que la practicidad del uso de los distintos métodos debe tomar gran relevancia para que pueda ser mejor aprovechado el enfoque hacia un entorno más realista hacia el usuario final, para esto son consideradas las siguientes evaluaciones de usabilidad: enfoque en tareas críticas, sistema de escalación de usabilidad y evaluación ergonomía a través de encuesta semiestructurada.

La evaluación de usabilidad basada en tareas críticas es un método práctico que se centra en observar cómo los usuarios interactúan con un sistema o producto a través de tareas esenciales para su funcionamiento. Este enfoque permite identificar obstáculos, errores, tiempos de ejecución y comentarios espontáneos durante el uso realista del sistema. Su objetivo principal es evaluar la efectividad, eficiencia y satisfacción del usuario al realizar tareas que son representativas y cruciales dentro del contexto de uso del producto. Este tipo de evaluación permite obtener evidencia empírica sobre problemas de diseño, además facilita trabajar con una muestra pequeña de usuarios, alrededor de cinco, pudiendo detectar la mayoría de los problemas de usabilidad, especialmente si se utilizan tareas representativas del uso cotidiano, como se muestra el diagrama en la Figura 16 a) (Rubin & Chisnell, 2008).

Por otro lado, el sistema de escalabilidad de usabilidad (SUS) es una herramienta estandarizada diseñada para medir la percepción subjetiva de la usabilidad de un sistema interactivo. La estructura elemental se compone de un cuestionario de diez estatutos con respuestas en escala de ponderación de cinco puntos, que alternan entre afirmaciones positivas y negativas sobre la experiencia del usuario. El SUS se caracteriza por ser particularmente útil en contextos donde se requiere una evaluación rápida y comparativa de la experiencia del usuario, permite tener una medición confiable

y validada para cuantificar la usabilidad percibida por los usuarios, lo que facilita comparar múltiples versiones de un mismo producto o identificar necesidades de rediseño. Al igual que se pueden destacar las siguientes ventajas claves: rapidez en su aplicación, versatilidad para adaptarse según las necesidades, estandarización para ofrecer una comparación entre estudios y productos y sensibilidad para ser eficaz incluso en muestras pequeñas cuando no se puede disponer de muchos usuarios de prueba (Figura 16 b) para mejor entendimiento (Brooke, 1995).

Por último, la evaluación heurística con enfoque en la ergonómica mediante encuesta semiestructurada es un método cualitativo y cuantitativo que recaba información valiosa sobre la percepción del usuario sobre aspectos relacionados con el confort, la ergonomía, la facilidad de uso, la estética, la comprensión funcional y la experiencia emocional sobre un producto, especialmente tras un uso prolongado. A diferencia de los cuestionarios cerrados, las encuestas semiestructuradas combinan escalas de valoración con preguntas abiertas, permitiendo una exploración más profunda y contextualizada a la experiencia real del usuario. Este enfoque resulta especialmente útil cuando se busca comprender la experiencia del usuario más allá de la ejecución de tareas críticas o la percepción inmediata. Su enfoque centrado en la experiencia de uso tras periodos prolongados es clave en productos enfocados para el uso cotidiano, donde factores como la interacción, la manipulación, el peso del dispositivo o su visibilidad social pueden afectar la aceptación hacia el uso del producto (Figura 16 c) (Czaja & Lee, 2007; Gentile et al., 2015).

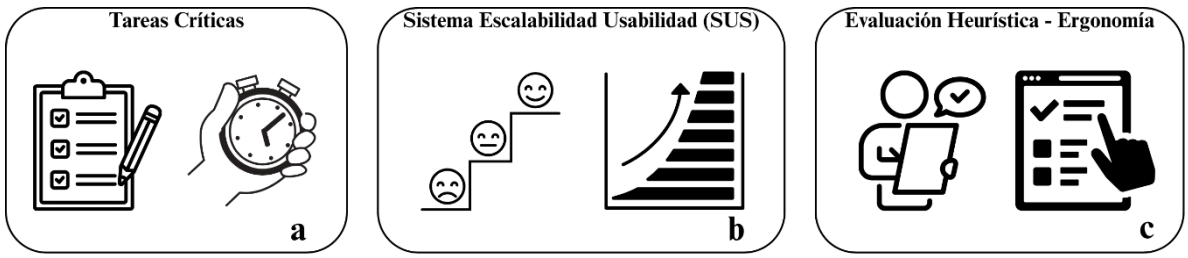


Figura 16. Diagrama esquemático para: a) Evaluación tareas críticas (tiempo/error), b) Sistema de escalabilidad de usabilidad, c) Evaluación heurística (encuesta semiestructurada).

3 Capítulo III

En el presente capítulo se describe la metodología empleada para el diseño y desarrollo del dispositivo portátil destinado al monitoreo de la ingesta de líquidos en adultos mayores. Este apartado expone los pasos, herramientas y enfoques metodológicos utilizados para garantizar que el dispositivo cumpla con los requisitos necesarios previamente establecidos.

El enfoque metodológico se centra en un diseño orientado al usuario con un enfoque de diseño pragmático a través de la investigación exhaustiva del estado del arte relacionado con dispositivos para el monitoreo de actividades. Para abordar estos retos, la metodología integra la selección de tecnologías adecuadas, el análisis de requerimientos, validación mediante prototipos funcionales y la evaluación de la experiencia del usuario.

El objetivo principal de este capítulo es ofrecer una visión clara y estructurada de los procedimientos y enfoques que fundamentan el desarrollo del dispositivo, asegurando la reproducibilidad y la validez de los resultados obtenidos en las etapas posteriores del proyecto.

3.1 Fase 1: Concientización de la problemática

En la fase 1 se tomó como objetivo principal el recabar la mayor cantidad de información sobre los siguientes tópicos: fisiología humana, adultos mayores, deshidratación, detección de actividades humanas y desarrollo de dispositivos de monitoreo, con la finalidad de generar una base sólida y poder detectar las necesidades de usuario y determinar los requerimientos del dispositivo a través de un análisis profundo, consulta con experto en la materia y una evaluación interna de la misma, véase la Figura 17 como referencia. Fueron contempladas bases de datos de divulgación científica como: Elsevier, Springer, IEEE, entre otras. Para mejorar los resultados se utilizó una ecuación de búsqueda estructurada.

(fluid intake" OR "liquid intake") AND

(accelerometer OR gyroscope OR accelerometry OR "human activity recognition") AND

(quantification OR monitoring)



Figura 17. Fase 1: Concientización de la problemática.

3.2 Fase 2: Diseño y desarrollo del prototipo

Para la fase 2, diseño y desarrollo del prototipo se consideraron 7 etapas (Figura 18). Se realizó una revisión literaria de artículos científicos sobre monitoreo de actividades en los adultos mayores, al igual que se hizo una evaluación de mercado sobre los dispositivos comerciales que existen actualmente. Después, se realizó un análisis comparativo entre los dispositivos referenciados en la literatura científica, especializados en la detección de actividades en el adulto mayor, por otro lado, fueron documentadas las principales características o funciones de los dispositivos comerciales. Por otra parte, fue desarrollado e integrado un algoritmo base para la detección de la ingesta de líquido en adultos mayores con el uso de técnicas de acelerometría y giroscopía, las plataformas de programación fueron Python 3.13, Visual Studio 1.105.1, utilizadas según fuera más conveniente en conjunto con un equipo de cómputo MSI 18-Hx-Vector con Intel i9 14900HX 2.2 GHz 4090 GPU RTX con 32 GB RAM. Sin embargo, para la apariencia externa, se realizó una consulta en repositorios digitales para modelos 3D que sirvieron como referencia, y también, se usaron herramientas de diseño asistido por computadora para crear al menos dos propuestas, el software utilizado fue Shapr3D (versión 5.980), el análisis de dispositivos comerciales, en conjunto con las necesidades y requerimientos, se buscó el uso de técnicas de prototipado rápido que mejor se adecuaron con la fabricación de dispositivos portátiles y el uso de materiales compatibles y cómodos, considerando contacto constante con la piel.



Figura 18. Fase 2: Diseño y Desarrollo de prototipo.

3.3 Fase 3: Validación funcional y evaluación de usabilidad

En la última fase se fueron abordadas dos grandes ramas (Figura 19). Estas ramas cubren la funcionalidad del dispositivo y la usabilidad. La validación funcional tuvo por objetivo verificar la precisión, exactitud, sensibilidad y el cálculo de F1-score, en conjunto, una evaluación de la estabilidad y fiabilidad en distintos entornos de uso de forma controlada. Por otra parte, a manera general, la evaluación de la usabilidad se contempla abarcar que los usuarios puedan usar el dispositivo de manera autónoma, determinar cuál es la percepción del usuario hacia el dispositivo de términos de operación, comodidad, ergonomía del dispositivo.



Figura 19. Fase 3: Validación y pruebas funcionales.

3.3.1 Selección de participantes

Para la selección de los participantes en las evaluaciones de funcionalidad y usabilidad se considera una muestra representativa de adultos mayores, de acuerdo con el principio de Nielsen citado y referenciado por France Wang en 2022 (France Wang, 2022; Nielsen & Landauer, 1993), siendo cinco personas consideradas las adecuadas para obtener una retroalimentación confiable sobre la usabilidad de un producto. El rango de edad con el que se planteó trabajar fue con adultos mayores en etapa

temprana entre los 55 a los 64 años de acuerdo con el consenso establecido por la asociación internacional de psicogeriatría (García et al., 2005), considerando que aunque en la literatura se observen variaciones para establecer un rango de edad específico para definir a una persona como adulto mayor en etapa temprana o joven, se seleccionó ese rango ya que se considera más adecuado el poder obtener una retroalimentación con mayor apertura a la aceptación por utilizar herramientas tecnológicas para el cuidado de la salud, sirviendo como punto de partida para futuros trabajos. Un requisito importante fue que los participantes tienen que mostrar buena salud y no tener algún padecimiento o restricción cognitiva o motriz.

3.3.2 Validación funcional

Dentro de las actividades de la validación funcional (Anexo I) se realizó un entrenamiento del algoritmo para la detección de ingesta de líquido, donde, se simularon diferentes escenarios en los que se ejecutaba la acción de ingesta de líquido, varios tipos de contenedores, variación en la velocidad al levantar el contenedor, diferentes posiciones anatómicas de partida y de finalización.

A continuación, se explican las cuatro variables evaluadas para este trabajo: precisión, exactitud, sensibilidad y F1-Score.

La precisión es la probabilidad en que la predicción positiva sea verdadera o correcta en la clasificación. Su fórmula se expresa en la Ecuación 1 como el número de predicciones positivas verdaderas (TP, por sus siglas en inglés), dividida entre el número total de predicciones, de manera verdadera, correspondiente a TP, o de manera negativa (FP, por sus siglas en inglés).

Ecuación 1

$$Precisión = \frac{TP}{(TP+FP)}$$

La especificidad es la probabilidad de clasificar correctamente un número de datos provenientes de un conjunto de datos específico. Esta se define como la suma de los datos predicción verdaderos, tomando en cuenta TP y el valor de predicción verdadero negativo (TN, por sus siglas en inglés), divididos entre el número total de predicciones, tanto verdaderos (TP, TN) como negativos (FP, FN), así como se muestra en la Ecuación 2.

Ecuación 2

$$Especificidad = \frac{(TP+TN)}{(TP+TN+FP+FN)}$$

La sensibilidad es una métrica que calcula la selectividad de una tasa verdadera positiva (TPR, por sus siglas en inglés), es decir, la probabilidad de clasificar correctamente un valor que es positivo por instancia. La fórmula de la sensibilidad se expresa matemáticamente como la Ecuación 3.

Ecuación 3

$$Sensibilid = \frac{TP}{(TP+FN)}$$

La métrica F1-Score, es definida como la media de la precisión y la especificidad de un algoritmo clasificador. Ésta es calculada por medio de la media geométrica, la cual toma en cuenta los valores FP y FN. A continuación, en la Ecuación 4, como se muestra a continuación.

Ecuación 4

$$F1 - Score = 2 * \frac{(Precisión*Especificidad)}{(Precisión+Especificidad)}$$

3.3.3 Validación Controlada, Semi-Controlada y Vida Libre

Para las tres validaciones: controlada, semi controlada y de vida libre fueron considerados los protocolos descritos en el Anexo I, donde se detalla todo el proceso a seguir en cada uno de ellos. Los protocolos fueron evaluados y aprobados por el Comité de Ética en la Investigación del la UACJ con el folio CEI-2025-1-1559.

3.3.4 Evaluación de usabilidad

Las evaluaciones de usabilidad son descritas a detalle en el Anexo II, donde se encontrará la evaluación de usabilidad basada en tareas críticas, evaluación de acuerdo con el sistema de escalabilidad de usabilidad y una evaluación heurística basada en la ergonomía después del uso prolongado del dispositivo. Las evaluaciones fueron evaluadas y aprobadas por el Comité de Ética en la Investigación de la UACJ con el folio CEI-2025-1-1559.

4 Capítulo

Resultados

4.1 Revisión del estado del arte – Bases de datos consultadas

Tras realizar una investigación exhaustiva en la literatura sobre el desarrollo de proyectos de investigación en la detección de la ingesta de líquidos, fueron encontrados artículos en las siguientes bases de datos:

- Chair of Digital Health - FAU Erlangen
- Elsevier
    - Archives of Gerontology and Geriatrics
    - Expert Systems with Applications
    - Mayo Clinic
    - Nutrition
    - ScienceDirect / Procedia Computer Science
- IEE
    - Engineering in Medicine & Biology Society
    - Journal of biomedical and health informatics
    - Sensors Council
    - Access
- MDPI
    - Electronics
    - Nutrients
    - Sensors
- National Institute of Health - National Library of Medicine
- Nature
- Nursing Times [Online]
- Scopus IJCRR (International journal of current research and review) – Healthcare
- Springer
    - European Journal of Nutrition
    - Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing
    - Nature – Science + Business Media
- The Pennsylvania State University

Además, se realizó una consulta con un experto en relación con el desarrollo de estrategias para mejorar la experiencia de los adultos mayores y su interacción con tecnologías modernas y emergentes.

A continuación, se muestra el resultado del análisis realizado en la literatura y consulta con experto en la materia para determinar las necesidades y requerimientos de usuario para generar una propuesta de dispositivo para la detección de líquidos en adultos mayores (Tabla 1).

Tabla 1. Necesidades de usuario y requerimientos de diseño.

Aspecto	Necesidades de usuario	Requerimientos de diseño
Fisiológicas y de salud	Monitorear la ingesta de líquidos para prevenir deshidratación.	Sensores de acelerometría y giroscopía de alta sensibilidad para detectar movimientos específicos relacionados con la ingesta de líquidos.
	Identificar patrones de consumo para alertar sobre riesgos	Algoritmos que distingan movimientos de beber frente a actividades cotidianas para reducir falsos positivos.
Ergonómicas	Garantizar comodidad en uso continuo, considerando limitaciones de movilidad.	Batería de larga duración para reducir la necesidad de carga frecuente.
		Materiales ligeros e hipoalergénicos para evitar irritaciones en la piel.
		Protección contra salpicaduras de agua para garantizar funcionamiento durante actividades diarias.
	Facilitar la colocación y ajuste del dispositivo.	Forma ajustable para adaptarse a diferentes tamaños de muñeca.
Cognitivas	Diseñar interfaces simples e intuitivas.	Indicadores visuales claros que muestren información básica.
		Compatibilidad con aplicaciones móviles o plataformas web para el acceso de datos por cuidadores.
Psicológicas	Promover confianza y aceptación del uso del dispositivo	Diseño amigable y estético, evitando estigmatización.
Sociales	Permitir a cuidadores o familiares acceder a datos relevantes para apoyo en el seguimiento y toma de decisiones.	Configuraciones personalizables para ajustar alertas y niveles recomendados de ingesta según las necesidades individuales.

4.2 Análisis de dispositivos comerciales en el mercado con un enfoque en la detección y monitoreo de actividades humanas

Fueron analizados los modelos de relojes inteligentes de las principales marcas comerciales ofertadas en Estados Unidos de América y México, con el objetivo de conocer las principales especificaciones y funciones que se ofrecen en el mercado actual de los relojes inteligentes, dispositivos que se consideran como la opción con mayor similitud de acuerdo con el dispositivo de este proyecto. A continuación, en la Tabla 2 se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 2. Dispositivos comerciales ofertados en el mercado actual.

Marca	Modelo	Duración batería (horas)	Tamaño pantalla (mm)	Conectividad	Costo USD	Dimensiones (cm)	Peso (gramos)	Material	Puntuación (1-10)	ECG	SpO2	Frecuencia cardiaca	Monitoreo de sueño	Seguimiento actividad física	GPS	Acelerómetro	Giroscopio	Barómetro	Luz ambiente	Temperatura corporal	Bioimpedancia	Detección de caídas	Sonido ambiental	Actividad electrodermal	Altitud
Amazfit	Amazfit GTR 4	336	36.322	Bluetooth 5.0, Wi-Fi, GPS dual	200	46 x 46 x 10.6	34	Aleación de aluminio	8.5	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Amazfit	Amazfit T-Rex 2	576	35.306	Bluetooth 5.0 BLE, GPS doble banda	220	47.1 x 47.1 x 13.65	66.5	Polímero reforzado con fibra	8	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Apple	Apple Watch Ultra	36	48.768	Wi-Fi, Bluetooth 5.3, GPS/GNSS (L1 y L5), NFC, LTE	799	49 x 44 x 14.4	61.3	Titanio	9.8	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí
Apple	Apple Watch SE (2nd generation)	18	45.212	Wi-Fi, Bluetooth 5.3, GPS/GNSS, NFC, LTE	249	44 x 38 x 10.7	26.4	Aluminio	8.7	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí
Casio	G-SHOCK Rangeman GPR-H1000-1	33	30.48	Bluetooth y GPS integrados	800	60.3 x 57.7 x 20.2	142	Resina y acero inoxidable	8	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	No	Sí
Casio	PRO TREK PRW-3500T-7	Indefinida (solar)	33.02	No aplica	300	56.9 x 53.4 x 14.5	111	Resina y titanio	8.2	No	No	No	No	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	No	No	No	No	Sí
Casio	Edifice EQB-1000D-1A	Indefinida (solar)		Bluetooth	300	45.6 x 8.9	130	Acero inoxidable	8.3	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Fitbit	Fitbit Sense 2	144	40.64	Bluetooth 5.0, NFC, GPS+GLONASS	299.95	40.5 x 40.5 x 12.3	37.64	Aluminio	8.5	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Fitbit	Fitbit Versa 4	144	40.132	Bluetooth 5.0, NFC, GPS	299.95	40.5 x 40.5 x 11.2	37.64	Aluminio	8	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	No	No	No
Fitbit	Fitbit Charge 5	168	26.416	Bluetooth, NFC, GPS integrado	146.95	37 x 23 x 11	15	Aluminio y acero inoxidable	8.5	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	No	No	Sí	No
Fitbit	Fitbit Charge 6	168	26.416	Bluetooth 5.0, NFC, GPS + GLONASS	160	37.4 x 22.7 x 11.2	29	Aluminio	8	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No
Garmin	Garmin Forerunner 965	552	35.56	Bluetooth, Wi-Fi, ANT+	600	47.2 x 47.2 x 13.2	53	Polímero reforzado con fibra	8.5	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí
Garmin	Garmin Fenix 8	696	35.56	Bluetooth, Wi-Fi, ANT+	800	47 x 47 x 14.5	80	Acero inoxidable o titanio (dependiendo del modelo)	8.7	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí
Garmin	Garmin Instinct 2	672	22.86	Bluetooth, ANT+	350	45 x 45 x 14.5	52	Polímero reforzado con fibra	8	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Garmin	Garmin Venu 3	336	35.56	Bluetooth, Wi-Fi, ANT+	450	45.4 x 45.4 x 12.2	46.6	Polímero reforzado con fibra	8.5	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí
Garmin	Garmin Enduro 2	816	35.56	Bluetooth, Wi-Fi, ANT+	1100	51 x 51 x 15.6	70	Acero inoxidable o titanio (dependiendo del modelo)	8.5	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Google	Pixel Watch 3	24	35.56	Bluetooth 5.3, Wi-Fi, NFC, UWB	350	41 x 41 x 12.3	36	Acero inoxidable	8	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí
Huawei	Huawei Watch Fit 3	240	46.228	Bluetooth 5.2	150	46 x 30 x 10.7	21	Polímero reforzado con fibra	8	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Huawei	Huawei Watch GT 4	336	36.322	Bluetooth, GPS, NFC	250	46 x 46 x 11	48	Acero inoxidable	8.5	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Huawei	Huawei Watch Fit Special Edition	240	41.656	Bluetooth, GPS	150	46 x 28 x 10	21	Polímero duradero	8	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	No
imoo	imoo Watch Phone Z6	24	35.814	4G, Wi-Fi, Bluetooth	200	50.8 x 42.3 x 15.8	66	Aleación de aluminio	7.5	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No	No	No	No	No
imoo	imoo Watch Phone Z1	72	33.02	4G, Wi-Fi, Bluetooth	100	45 x 40 x 14.5	55	Aleación de aluminio	7	No	No	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No	No	No	No	No
LG	LG Watch W7	48	30.48	Bluetooth 4.2, Wi-Fi	450	44.5 x 44.5 x 12.9	79.5	Acero inoxidable	7.5	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	No
LG	LG G Watch R	48	33.02	Bluetooth 4.0	300	46.4 x 46.4 x 9.7	62	Acero inoxidable	7	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No	No	No	No
Pebble	Pebble Time	168	31.75	Bluetooth 4.0	150	40.5 x 37.5 x 9.5	42.5	Plástico	7.5	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Pebble	Pebble 2	168	32.004	Bluetooth 4.0	130	39.5 x 30.2 x 9.8	31.7	Plástico	7	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Pebble	Pebble Time Steel	240	31.75	Bluetooth 4.0	20	40.5 x 37.5 x 10.5	62.3	Acero inoxidable	7.5	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Pebble	Pebble Royale	120	36.322	Bluetooth 5.0	300	N/A	N/A	Acero inoxidable	7	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Pebble	Pebble Mega	120	52.324	Bluetooth 5.0	130	N/A	N/A	Acero inoxidable	7	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Pebble	Pebble Frost	120	47.498	Bluetooth 5.0	200	N/A	N/A	Acero inoxidable	7	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Polar	Vantage M2	30	30.48	Bluetooth Low Energy (BLE)	300	46 x 46 x 12.5	45.5	Polímero reforzado con fibra	8	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Polar	Ignite 2	20	30.48	Bluetooth Low Energy (BLE)	230	43 x 43 x 8.5	35	Polímero reforzado con fibra	8	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Polar	Grit X	40	30.48	Bluetooth Low Energy (BLE)	430	47 x 47 x 13	64	Acero inoxidable o titanio (dependiendo del modelo)	8.5	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Polar	Vantage V2	40	30.48	Bluetooth Low Energy (BLE)	500	47 x 47 x 13	52	Acero inoxidable o titanio (dependiendo del modelo)	8.5	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Polar	Ignite	17	30.48	Bluetooth Low Energy (BLE)	200	43 x 43 x 8.5	35	Polímero reforzado con fibra	8	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Samsung	Samsung Galaxy Watch7	30	33.02	Bluetooth 5.3, Wi-Fi, GPS, NFC, LTE	299.99	40.4 x 40.4 x 10.9	28.8	Aluminio	9	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Samsung	Samsung Galaxy Watch Ultra	100	38.1	Bluetooth 5.3, Wi-Fi, GPS de doble banda (L1 y L5), NFC, LTE	650	47 x 47 x 2	60.5	Titanio	9.5	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Xiaomi	Mi Watch Lite	10	35.56	Bluetooth 5.1	60	41 x 35 x 10.9	35	Polímero reforzado con fibra	7.5	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Xiaomi	Mi Watch	50	35.306	Bluetooth 5.0 BLE	100	45.9 x 53.3 x 11.8	32	Polímero reforzado con fibra	7.5	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Xiaomi	Mi Watch Pro	50	35.306	Bluetooth 5.0 BLE	150	N/A	N/A	Acero inoxidable	8	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No	Sí

Nota. - La información comprendida en esta tabla, fue extraída directamente de los sitios web oficiales de cada uno de los fabricantes mencionados.

Fueron analizados 40 modelos distintos de dispositivos comerciales existentes en el mercado actual, estos dispositivos se consideran con la capacidad de poder monitorear actividades humanas, al igual, que otros parámetros relacionados con la salud y medio ambiente. Se encuentran marcas comerciales como: Apple, Samsung, Xiaomi, Huawei, Google, y, por otro lado, se tienen marcas enfocadas en nichos de mercado que ofrecen dispositivos con características mejoradas, como son, Garmin y Polar.

Respecto a la duración de la batería en promedio existe una duración de 185.33 horas, la duración mínima encontrada es de 10 horas (Mi Watch Lite), la duración máxima corresponde a 816 horas (Garmin Enduro 2), considerando que los dispositivos están configurados en ahorro máximo de

energía, de acuerdo con información mostrada en las páginas oficiales de cada fabricante. A continuación, en la Tabla 3 se muestra la duración promedio de la batería por marca de mayor (Garmin) a menor (Google), tomando en cuenta que solo es una referencia que depende de la configuración y modo de uso que se le dé a cada dispositivo.

Tabla 3. Duración promedio por marca.

Marca	Promedio Duración Batería (Horas)
Garmin	614.4
Amazfit	456.0
Huawei	272.0
Fitbit	156.0
Pebble	156.0
Samsung	65.0
imoo	48.0
LG	48.0
Xiaomi	36.7
Casio	33.0
Polar	29.4
Apple	27.0
Google	24.0

Los datos muestran que el promedio de tamaño de las pantallas de los dispositivos es de 35.4 mm, un mínimo de pantalla encontrado en el dispositivo Garmin Instinct 2 con 22.86 mm y un máximo para el dispositivo Pebble Mega con 52.3 mm de tamaño de pantalla, demostrando que las marcas más generalistas tienen una tendencia hacia dispositivos grandes que llamen la atención de la mayoría de la población, mientas que una marcas de nicho, como lo es Garmin, busca la mejor optimización de sus dispositivos para uso en exteriores, donde un tamaño más reducido prevalece para ofrecer mayor comodidad con el uso constante.

Los materiales más utilizados en la construcción de los dispositivos son polímeros reforzados con fibra y acero inoxidable, estando presente en 10 de los dispositivos listados, representando un 25%. Sin embargo, otros materiales frecuentemente utilizados en esta muestra poblacional son el aluminio y el acero inoxidable o titanio, con 5 y 4 dispositivos respectivamente.

En la Tabla 4, se observa la distribución de los porcentajes con relación a los tipos de sensores y funciones que fueron evaluados en el análisis del mercado, haciendo notar que la mayoría de los fabricantes buscan integrar un acelerómetro dentro de sus dispositivos con una muestra porcentual de 80%, por otro lado, la integración de GPS hasta la medición de la altitud se considera relevante en más de la mitad de los dispositivos considerados en la muestra poblacional, yendo de un 77.5% a un 60%, respectivamente. Sin embargo, puede observarse que los sensores y funciones restantes representan una aplicación especializada dentro de los dispositivos comerciales, teniendo una presencia en un 37.5% hacia abajo, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Distribución de porcentajes por sensor / función en cada dispositivo.

Sensor / Función	Porcentaje
Acelerómetro	80.0%
GPS	77.5%
Seguimiento actividad física	72.5%
Luz ambiente	70.0%
Frecuencia cardiaca	67.5%
Monitoreo de sueño	67.5%
Giroscopio	65.0%
SpO2	62.5%
Altitud	60.0%
Barómetro	37.5%
Detección de caídas	27.5%
ECG	17.5%
Sonido ambiental	10.0%
Actividad electrodermal	7.5%
Temperatura corporal	5.0%
Bioimpedancia	5.0%

4.3 Análisis de dispositivos utilizados en publicaciones de investigación y desarrollo de prototipos para la detección de ingesta de líquidos en adultos mayores

Fue considerado hacer una revisión exhaustiva sobre la literatura en términos de investigaciones científicas relacionadas con el diseño y desarrollo de dispositivos enfocados en la detección de la ingesta de líquidos en adultos mayores, dando como resultado la creación de la Tabla 5.

Se encontraron 20 sensores únicos ya que el sensor BMI-160 IMU es utilizado en distintas integraciones modulares. Se observa que el costo mínimo de los sensores es de $2.00 USD, mientras que el máximo asciende a $400.00 USD, siendo el sensor Intel RealSense L515 Lidar. En contraste, sensores como el Adafruit TCS34725, cuyo costo es mucho más bajo, están diseñados para la detección de colores en proyectos de bajo costo y aplicaciones educativas. La mayoría de los sensores tienen un costo accesible, el costo promedio de los sensores es de $110.59 USD, con una mediana de $74.99 USD. No obstante, la desviación estándar de $177.60 USD, que refleja una gran dispersión, ya que algunos dispositivos, como el Intel RealSense L515 Lidar, son considerablemente más caros debido a sus características avanzadas y su enfoque en aplicaciones especializadas. En general, se detectó que la mayoría de los sensores pueden adquirirse en plataformas de venta digital, lo que facilita su accesibilidad.

Las dimensiones varían desde sensores muy pequeños como 2.5 x 3.0 x 0.83 mm, facilitando su posible aplicación en dispositivos portátiles y situaciones donde el espacio es limitado, hasta

dimensiones más grandes en dispositivos como las botellas inteligentes de HidrateSpark, donde las dimensiones son expresadas en volumen. Los sensores cubren una amplia gama de aplicaciones, desde dispositivos pequeños y discretos para monitoreo corporal hasta sensores más voluminosos para aplicaciones específicas como el monitoreo de líquidos. La duración de la batería también presenta una gran variabilidad, con algunos sensores como el GoPro Hero 9 ofreciendo apenas 2 horas de autonomía, mientras que otros, como el HidrateSpark Steel, pueden durar hasta 336 horas. Esta disparidad indica que los sensores que están diseñados para monitorear actividades durante largos períodos tienden a ofrecer una mayor duración de batería, mientras que los sensores destinados a usos más intensivos pero breves, como las cámaras de acción, priorizan otras características sobre la autonomía.

Los valores muestran una amplia variabilidad en el peso de los sensores yendo desde un gramo, como peso mínimo, hasta los seis cientos gramos como peso máximo, desde luego teniendo un peso promedio de 162.12 gramo con una desviación de 185.77 gramos. Los sensores más pesados, como el Shimmer3 IMU (600 g), tienden a ser más complejos y especializados, mientras que los sensores más ligeros, como algunos de 1 g, son más simples y diseñados para aplicaciones portátiles o discretas.

Tabla 5. Tabla de dispositivos utilizados en investigaciones científicas.

No	Sensor	Costo USD	Dimensiones (mm)	Peso (g)	Batería	Duración Batería (hrs)	Muestreo (Hz)	Conectividad	Material	Temperatura de operación	Acelerometro Triaxial	Giroscopio Triaxial
1	Shimmer3 IMU	200	51 x 34 x 14	600	Li-Ion	10	12.5, 25, 50	Bluetooth 2.1 + EDR	N/A	-20°C y 60°C	Si	Si
2	GoPro Hero 9	350	71 x 55 x 33.6	158	Li-Ion	2	240 (fps)	Wi-Fi, Bluetooth	N/A	-10°C a 35°C	N/A	N/A
3	HidrateSpark Steel	100	503 ml, 591 ml, 621 ml, 710 ml, 946 ml	272 - 740	N/A	336	N/A	Bluetooth	Acero inoxidable, aislado al vacío	N/A	N/A	N/A
4	HidrateSpark 3	150	260 x 70.1	329.2	N/A	336	N/A	Bluetooth	Plástico Tritan™	N/A	N/A	N/A
5	H2OPal	99.98	270	427.1	Li-ion	336	N/A	Bluetooth	N/A	N/A	N/A	N/A
6	Thermos Smart Lid	50	240	205.3	Li-ion	198	N/A	Bluetooth	N/A	N/A	N/A	N/A
7	Sonion Voice Pick-Up (VPU)	30	N/A	N/A	N/A	N/A	4000	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
8	Intel RealSense L515 Lidar	400	61 x 26	100	N/A	N/A	30 (fps)	N/A (conexión por USB)	N/A	0°C a 40°C	N/A	N/A
9	OPAL Inertial Sensor	150	48.5 x 36.5 x 13.5	22	N/A	16	128	Sincronización inalámbrica, precisión < 0.01 ms	N/A	N/A	Si	Si
10	MetaMotionR (MMR)	250	36 x 27 x 10 (con carcasa), 29 x 18 x 6 (sin carcasa)	8.5 (con carcasa), 2.8 - 5.6 (sin carcasa)	Li-ion	336	400	Bluetooth LE 4.2, alcance de hasta 30 m	N/A	N/A	Si	Si
11	Wavelet Health Wristband	100	41 x 41 x 12	25	Li-ion	48	256	Bluetooth LE 4.0, alcance de hasta 30 m	N/A	N/A	Si	Si
12	LG Watch Sport	200	45.4 x 51.2 x 14.2	89	Li-Ion	N/A	200	Bluetooth 4.2, Wi-Fi, A-GPS, NFC	N/A	N/A	Si	Si
13	Pandlets (Bosch BMI-160 IMU)	50	2.5 x 3.0 x 0.83	N/A	N/A	N/A	3200	Inalámbrica, integración con sistemas Android	Encapsulado en LGA de 14 pines	N/A	Si	Si
14	ADXL345	20	3 x 5 x 1	N/A	N/A	N/A	1600	802.15.4	Encapsulado robusto típico de sensores MEMS	-40°C a 85°C	Si	No
15	IMU-3000	30	4 x 4 x 0.9	N/A	N/A	N/A	256	802.15.4	Encapsulado robusto típico de sensores MEMS	-40°C a 85°C	No, external support	Si
16	iPhone 4 Accelerometer and Gyroscope	10	115.2 x 58.6 x 9.3	137	Li-Ion	7	60	Wi-Fi, Bluetooth	Carcasa de vidrio y acero inoxidable	0°C a 35°C	Si	Si
17	ADXL335 (Accelerometer)	5	4 x 4 x 1.45	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Encapsulado robusto típico de sensores MEMS	-40°C a 85°C	Si	N/A
18	HC-SR04 (Ultrasonic Sensor)	2	45 x 20 x 15	10	N/A	N/A	N/A	N/A	Encapsulado plástico	-15°C a 70°C	N/A	N/A
19	Adafruit TCS34725 (RGB Sensor)	5	20 x 20 x 3	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Encapsulado plástico	-30°C a 85°C	N/A	N/A
20	MLX90614 (Temperature Sensor)	10	18 x 10 x 4	4	N/A	N/A	N/A	N/A	Encapsulado plástico	-40°C a 85°C	N/A	N/A

4.4 Análisis y selección de dispositivo a utilizar

El análisis de mercado de mercado de los dispositivos comerciales demuestra que existe una clara tendencia por aumentar el tamaño de los dispositivos en las versiones más caras y con mayor cantidad de funciones, si bien, las funciones más destacadas son la detección de frecuencia cardiaca, monitoreo de sueño, rastreo por GPS, entre otras, siguen siendo funciones establecidas como referentes para este tipo de dispositivos. En contraste con otras funciones más especializadas como son la detección de caídas, medición de temperatura corporal, ECG, entre otras, son funciones en dispositivos más especializados a grupos de nicho. Sin embargo, por cuestiones de derechos de fabricante y compatibilidad con el hardware y software no es factible el poder utilizar algún dispositivo comercial para este proyecto, pero serán consideradas algunas características observadas en los dispositivos enfocados a grupos de nicho, las cueles son minimizar el tamaño del dispositivo, maximizar la duración de la batería, buscando evitar recargas durante el día.

Respecto a la investigación de trabajos especializados en la detección de ingesta de líquidos en adultos mayores, se descartan todos aquellos dispositivos que su principio de funcionamiento no sea a través del uso de sensores inerciales (acelerómetro y giroscopio) y que no puedan ser posicionados en la muñeca de los usuarios, al igual que son descartados todos aquellos dispositivos con un costo mayor a $100 USD. Sin embargo, aunque se hayan encontrado 20 dispositivos referenciados en distintos artículos de investigación, resulta no viable el uso de alguno de esos dispositivos ya que no se alinean con los requerimientos de diseño previamente establecidos en la Tabla 1.

Se realizó una investigación sobre dispositivos comerciales que contaran con circuitos integrados, como sensores inerciales (acelerómetro y giroscopio), con conexión inalámbrica, recargable con una duración de batería de al menos 10 horas, su tamaño sea relativamente pequeño y enfocado en aplicaciones en la detección de actividades humanas. El dispositivo seleccionado para el desarrollo de este proyecto fue el modelo WT9011DCL ofertado por la compañía WitMotion. Las especificaciones técnicas del dispositivo se enlistan en la Tabla 6 a continuación.

Tabla 6. Especificaciones del dispositivo WT9011DCL.

Característica	Especificación
Modelo	WT9011DCL-BT50
Nombre	WT9011DCL 9-axis BLE Magnetometer Gyroscope
Imagen	
Marca	WitMotion
Acelerometro Triaxial	Si
Giroscopio Triaxial	Si
Conectividad	Bluetooth 5.0 - Conexión Multiple
Alcance	50 - 90 metros
Frecuencia de muestreo	0.2 a 200 Hz
Compatibildiad	Android / IOS
Temperatura de Operación	*-20°C - 60°C
Temperatura de Almacenaje	*-40°C - 85°C
Dimensiones	32.5 mm x 23.5 mm x 11.6 mm
Material	Acrilonitrilo butadieno estireno
Peso Total	9 gramos
Duración de la Batería	40 horas
Tipo de Batería	Recargable
Tipo de puerto	Tipo C
Sitio WEB	WT9011DCL 9-axis BLE Magnetometer Gyroscope

4.5 Desarrollo e Integración del algoritmo

El desarrollo y la integración del algoritmo fue realizado utilizando el lenguaje de programación Python a través de Visual Studio Code como editor de código de fuente, ambas herramientas siendo totalmente gratis. Fue desarrollada una interfaz de usuario para poder gestionar todo lo relacionado con el software y hardware del sensor (Figura 20).



Figura 20. Interfaz general. Visualizaciones: a) Señal acelerómetro, b) Señal Giroscopio, c) Señal Cuaternion y d) Señal compuesta.

La interfaz creada aparte de visualizar las señales producidas por el dispositivo tiene las siguientes funcionalidades:

- Adquisición
  - Búsqueda y conexión del dispositivo
  - Calibración
  - Función de inicio y detención de grabaciones
- Etiquetado
  - Visualizar señales grabadas
  - Seleccionar y etiquetar ventanas
    - Beber agua
    - No beber agua
    - No movimiento
  - Guardar etiquetas seleccionadas
- Entrenamiento
  - Selección de muestras etiquetadas para entrenar el modelo
- Ejecución en vivo
  - Búsqueda y conexión del dispositivo
  - Calibración
  - Función de inicio y detención de grabaciones
  - Detección automática de la ingesta de líquidos

La arquitectura general del proceso para la detección de ingesta de líquidos se resume en 6 etapas: obtención de la señal, segmentación por ventanas, transformación de la señal, extracción de características (ResNet18), reducción dimensional y la clasificación de la señal (SVM, Support Vector

Machine), de esta manera se logró poder tener un sistema con la capacidad de detectar de forma automática la ingesta de líquidos, como se muestra en la Figura 21.

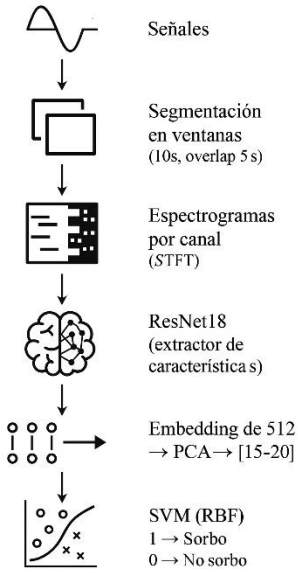


Figura 21. Arquitectura del algoritmo para la detección de ingesta de líquidos.

4.6 Diseño del prototipo

Para la conceptualización se comenzó creando el bocetaje tomando en cuenta el dispositivo seleccionado, sensor WT9011DCL-BT50 (Figura 24-A), de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, el mejor posicionamiento del sensor es de forma horizontal, se generaron los bocetos a continuación en la Figura 24-B.

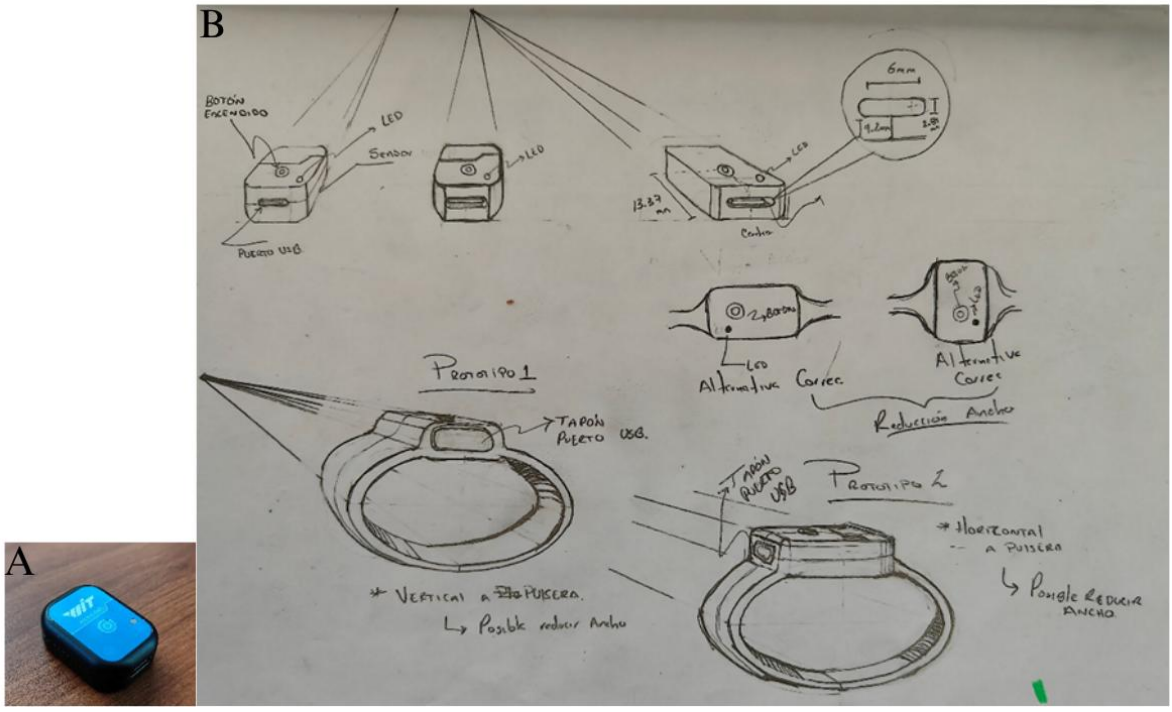


Figura 22. A) Sensor WT9011DCL-BT50. B)Bocetos para el diseño del dispositivo prototipo.

Los elementos claves considerados en este punto del proceso fueron que el dispositivo tendría que acoplarse en la muñeca de la mano dominante de la persona, permitiendo el acoplamiento y ajuste, al igual que, quitarlo de esa posición. Para facilitar el proceso de la conceptualización digital se recurrió al modelado 3D del sensor seleccionado (Figura 23).

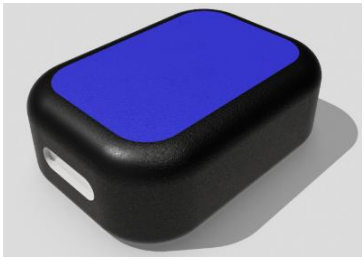


Figura 23. Modelado 3D del sensor WT9011DCL-BT50.

Tomando como referencia el modelado 3D del sensor WT9011DCL-BT50 se generaron dos propuestas de diseño para el dispositivo portátil (Figura 24), tomando en cuenta los requerimientos determinados en la Tabla 1.

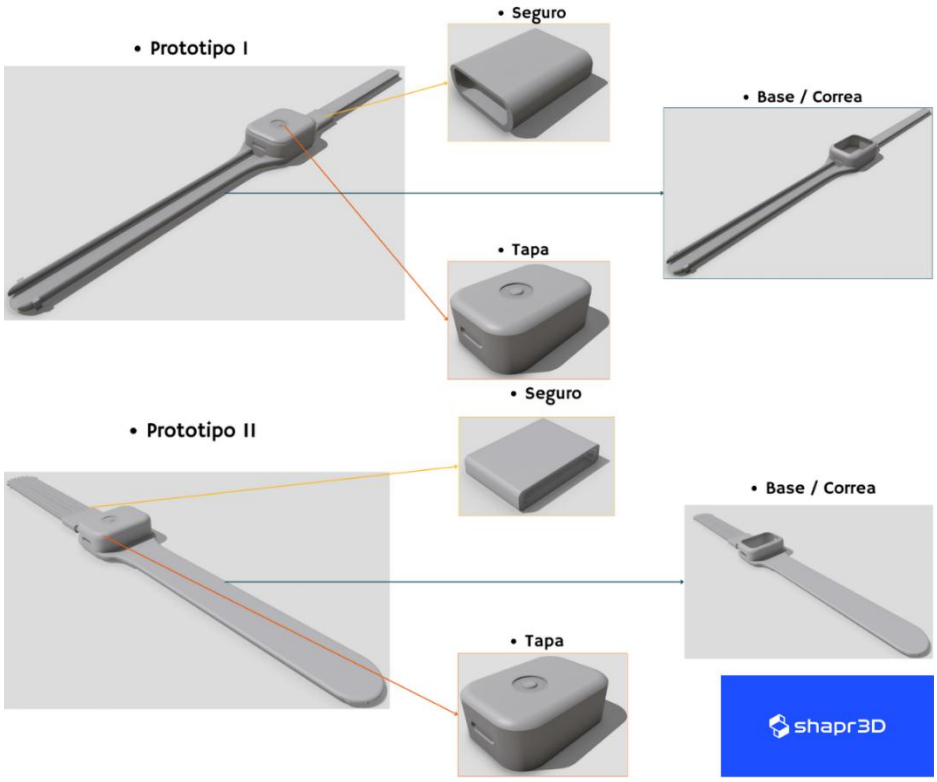


Figura 24. Modelo 3D digital para: Prototipo I y Prototipo II.

Ambos prototipos fueron impresos a través de tecnología de manufactura aditiva (impresión 3D) para poder realizar una evaluación interna inicial y determinar la selección del prototipo más adecuado (Figura 25), el material seleccionado fue el poliuretano termoplástico (TPU), este material se caracteriza por tener una gran flexibilidad y durabilidad, cambiando confort y adaptabilidad a distintas posiciones anatómicas del cuerpo, por ejemplo, las muñecas de los brazos. Además, ofrece las características de ser un material hipoalergénico y resistente al sudor y la humedad, ideal para

entornos cotidianos donde involucra el contacto con la piel (CES-EDUPACK, 2016; Ultimaker, 2017).

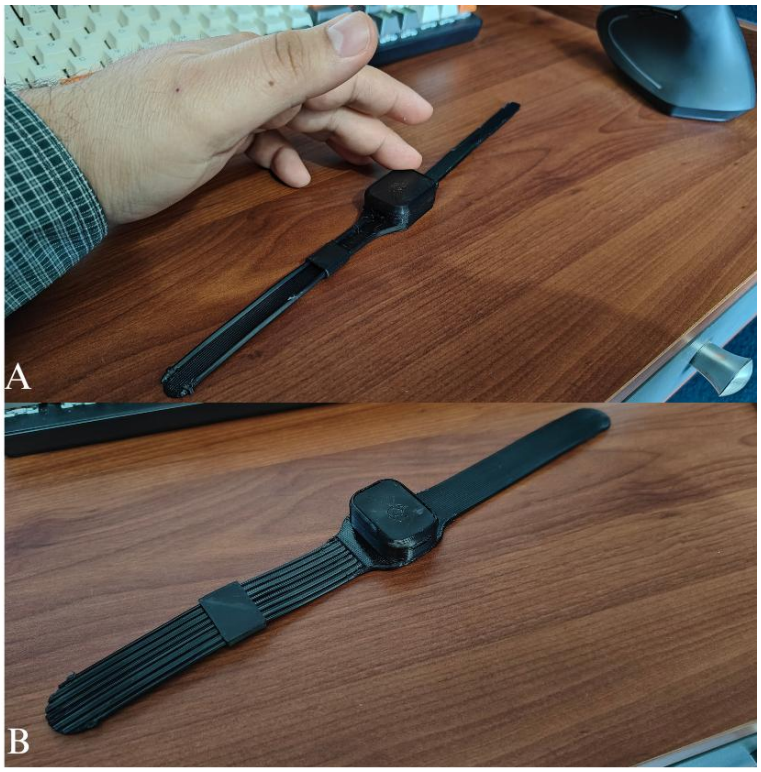


Figura 25. A) Prototipo I y B) Prototipo II impresos en 3D.

El prototipo seleccionado para este proyecto fue el prototipo II, ya que mostró ser una opción con mayor comodidad al colocarse en la parte de la muñeca de la mano dominante, además que su mecanismo de unión permitía más estabilidad y alineación entre las correas. También, se decidió el uso de una correa abierta, para permitir ajuste libre por parte del usuario. El prototipo fue impreso con una impresora K1C de la marca Creality, con ayuda del software de procesamiento de impresión 3D Creality Print (Figura 26), los parámetros de impresión se describen a continuación:

- Boquilla: 0.4mm
- Grosor de capa: 0.16mm
- Grosor primer y última capa: 0.1mm
- Material: TPU
- Relleno: 5%
- Tipo de relleno: línea monotónica
- Soportes: soporte de árbol – orgánico
- Cantidad de paredes: 2

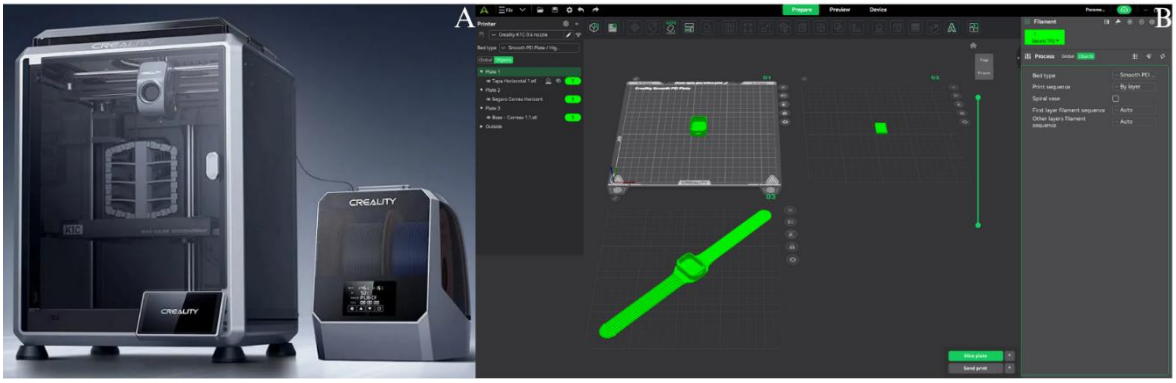


Figura 26. A) Impresora K1C Creality. B) Slicer Creality Print.

4.7 Validaciones Funcionales y de Usabilidad

Para todas las evaluaciones aplicables se tuvo la participación de cinco personas, 4 hombres (80%) y 1 mujer (20%) como se muestra en la Figura 27, los cuales la edad fue de 58 ± 3.32 años; los participantes reportaron que tres de ellos su mano dominante es la derecha y dos su mano izquierda.

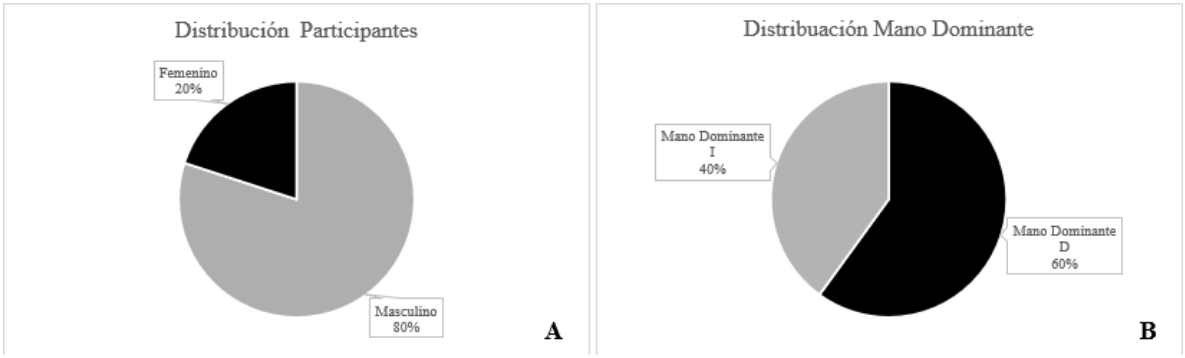


Figura 27. Distribuciones poblacionales: a) cantidad de participantes por sexo, b) distribución de manos dominantes.

4.7.1 Validación funcional del código

Se realizó la carga y procesamiento de un conjunto de datos, compuesto por 4,198 muestras y 11 características relevantes. Posteriormente, se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) con el objetivo de reducir la dimensionalidad y eliminar posibles redundancias en los datos, reteniendo 6 componentes principales que explican el 96.70% de la variación total del conjunto de datos.

Una vez completado el conjunto de datos transformado, se aplicó una optimización bayesiana para el ajuste de los hiperparámetros del modelo SVM con kernel RBF. El proceso de búsqueda arrojó como configuración óptima de los parámetros C=8.7119 y γ = 0.3073, valores que permiten equilibrar adecuadamente la penalización y complejidad del modelo. El modelo fue evaluado sobre los datos de entrenamiento, obteniendo un desempeño que se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Métricas para evaluación funcional del código.

Métrica	Resultado
Precisión	0.9981
Sensibilidad	0.997
Especificidad	1
F1-Score	0.998

4.7.2 Validación funcional controlada

Siguiendo el protocolo de validación para las pruebas funcionales controladas (Anexo I), fueron recabadas las señales de cada participante y se compilaron los resultados para obtener como resultado la Tabla 8, donde se muestra información relacionada con verdaderos positivos (TP) que indica beber agua, falsos positivos (FP), falsos negativos (FN) y verdaderos negativos (TN) que indica algo que no es beber agua. Se puede observar precisión promedio global de 94.70%, una sensibilidad de 93.49%, una especificidad de 95.84% y, por último, un desempeño global de 95.24%.

Tabla 8. Métricas obtenidas en pruebas controladas.

Participante	TP	FP	FN	TN	Positivos totales	Negativos totales	Total movimientos	Precisión	Sensibilidad	Especificidad	F1-score
Participante 1	14	0	1	25	14	26	40	1.0000	0.9333	0.9750	0.9873
Participante 2	11	1	0	19	12	19	31	0.9167	1.0000	0.9677	0.9415
Participante 3	10	1	1	21	11	22	33	0.9091	0.9091	0.9394	0.9240
Participante 4	12	0	1	26	12	27	39	1.0000	0.9231	0.9744	0.9870
Participante 5	10	1	1	19	11	20	31	0.9091	0.9091	0.9355	0.9221
							Promedio	0.9470	0.9349	0.9584	0.9524

4.7.3 Validación funcional semi-controlada

En el caso de las pruebas de validación funcionales semi-controladas (Tabla 9), fueron obtenidas las señales de los mismos participantes. Estas pruebas fueron similares a las pruebas controladas, solo dando libertad a que los participantes eligieran los movimientos que ellos consideraran adecuados, alineado a lo descrito en el protocolo de validaciones correspondiente a pruebas funcionales semi-controladas (Anexo II). Los valores obtenidos para las métricas fueron de 91.16% para la precisión, 92.83% para la sensibilidad, 95.15% para la especificidad y, mostrando un desempeño global de 93.11%, lo cual se considera un resultado aceptable aun considerando que hubo una reducción en comparación con las pruebas funcionales controladas que obtuvieron un desempeño global promedio de 95.24% pudiéndose deber a la variación natural en la esencia de cada prueba.

Tabla 9. Métricas obtenidas en las pruebas funcionales semi-controladas.

Participante	TP	FP	FN	TN	Positivos totales	Negativos totales	Total movimientos	Precisión	Sensibilidad	Especificidad	F1-score
Participante 1	10	1	1	26	11	27	38	0.9091	0.9091	0.9474	0.9278
Participante 2	9	1	1	27	10	28	38	0.9000	0.9000	0.9474	0.9231
Participante 3	10	1	1	24	11	25	36	0.9091	0.9091	0.9444	0.9264
Participante 4	11	1	0	29	12	29	41	0.9167	1.0000	0.9756	0.9452
Participante 5	12	1	1	21	13	22	35	0.9231	0.9231	0.9429	0.9329
							Promedio	0.9116	0.9283	0.9515	0.9311

4.7.4 Validación funcional entorno libre

Las pruebas para la validación funcional en entorno libre no fueron posibles de llevar a cabo debido a las limitaciones técnicas relacionadas con la estabilidad de la conexión entre el dispositivo y la aplicación desarrollada para detección automática de ingesta de líquidos. Durante las pruebas en entorno controlado y semi-controlado se observó una conexión estable entre el dispositivo y la aplicación, considerando que siempre estaban a una distancia cercana, asegurando una conexión estable. En cambio, las pruebas en entorno libre demandarían que el dispositivo en todo momento estuviera conectado al equipo de cómputo limitando las actividades diarias que normalmente pudiera hacer una persona.

Adicionalmente, la aplicación fue desarrollada y ejecutada con un equipo de cómputo que contaba con una unida de procesamiento gráfico (GPU) para ejecutar el modelo de aprendizaje profundo, esto limitaba que se pudiera llevar el equipo a un entorno de vida libre y garantizar la estabilidad del sistema.

4.7.5 Evaluación de usabilidad

Las tareas, colocar y ajuste del dispositivo, presentan un mayor tiempo promedio para su ejecución 20.60 s y 15.80 s, aunque con una tasa baja de error. Por otra parte, las tareas de operar y quitar el dispositivo tuvieron tiempos promedios rápidos y sin errores en su ejecución. De los cinco participantes solo uno necesitó de la asistencia para la colocación del dispositivo en su muñeca, puede observarse la Tabla 10 para más detalles.

En general los participantes tuvieron dificultades para colocar y ajustar el dispositivo, sin embargo, una vez que tuvieron el dispositivo expresaron que era cómodo de tenerlo puesto, incluso que es muy ligero y podría pasar desapercibido. También, indicaron que sería una buena opción que al menos pueda dar la hora para que pase como algo funcional a simple vista.

*Tabla 10. Resultados obtenidos para evaluación de usabilidad. creación propia. *CD-Colocar Dispositivo, AD-Ajustar Dispositivo, OD-Operar Dispositivo, QD-Quitar Dispositivo.*

Participante	1	2	3	4	5
Edad	55	55	63	59	58
Sexo	Masculino	Masculino	Masculino	Masculino	Femenino
Mano Dominante	Izquierda	Derecha	Derecha	Derecha	Izquierda
Colocar Dispositivo (Seg)	16	20	13	10	44
Ajustar Dispositivo (Seg)	10	15	17	27	10
Operar Dispositivo (Seg)	4	5	5	10	4
Quitar Dispositivo (Seg)	3	5	3	5	5
Errores CD	0	1	0	0	2
Errores AD	0	1	0	0	0
Errores OD	0	0	0	0	0
Errores QD	0	0	0	0	0
Asistencia	No	No	No	No	Si
Observaciones	Mostró dificultad para colocar la pulsera, resolvió en el momento. el seguro de la correa está muy justo para poder maniobrar con mayor libertad.	Dificultad para colocarlo, la persona dejo muy floja la pulsera.	El seguro estaba demasiado justo, aun así la persona mostró habilidad para colocárselo	La persona batalló para ajustar la correa por el seguro. Problemas con el botón de encendido	La persona necesitó apoyarse en la mesa para colocar la pulsera

4.7.6 Evaluación de la percepción

Los resultados recabados para la evaluación de percepción se muestran en la Tabla 11, donde la escala de evaluación iba de 1 a 5, siendo 5 la puntuación más alta y 1 la más baja. Para el caso donde es indicado como una formulación de la sentencia de manera inversa, obtener una calificación de 1 es favorable para la evaluación.

Tabla 11. Resultaos para la evaluación de percepción.

Participante	1	2	3	4	5
Edad	55	55	63	59	58
Sexo	Masculino	Masculino	Masculino	Masculino	Femenido
Mano Dominante	Izquierda	Derecha	Derecha	Derecha	Izquierda
Me gusta como luce el dispositivo cuando lo tengo puesto	4	3	3	5	4
Encuentro que el dispositivo es innecesariamente complejo. (*Inversa*)	1	1	3	2	2
Considero que el dispositivo es fácil de usar.	5	4	3	4	4
Creo que necesitaría la ayuda de un experto para usar este dispositivo. (*Inversa*)	1	1	1	1	1
El indicador para saber si el dispositivo está funcionando es claro	5	5	5	5	5
Encuentro mucha inconsistencia en el funcionamiento del dispositivo. (*Inversa*)	1	1	1	1	1
Creo que la mayoría de las personas aprenderían a usar este dispositivo rápidamente.	5	4	5	5	5
Encuentro el dispositivo difícil de usar. (*Inversa*)	1	1	3	1	1
Me siento seguro/a usando este dispositivo.	5	5	5	5	5
Necesito aprender muchas cosas nuevas antes de poder usar el dispositivo. (*Inversa*)	1	1	1	1	1
Considero importante mantenerme hidratado	5	4	5	5	5

Considerando los rubros enfocados en la usabilidad y la claridad, los ítems obtuvieron puntuaciones promedio igual o superior a 4, por ejemplo, “fácil de usar”, “indicador claro”, “sin inconsistencias”, reflejando una percepción de fluidez y simplicidad en la interacción con el dispositivo. Por otra parte, relacionado con la percepción de la confianza y el atractivo, “ me siento seguro/a usándolo” y “me gusta cómo luce”, destacan con puntuaciones promedio de 3.8 y 5 indicando aceptación positiva tanto funcional y estética. Además, los ítems clasificados como “inverso” obtuvieron puntuaciones bajas (debajo de 2), indicándonos que el dispositivo no es complejo, no es necesaria la asistencia de algún experto, no se muestra inconsistencia en cómo funciona, no es difícil de usar el dispositivo y no se necesita conocimiento especializado para utilizar el dispositivo, un resumen de las puntuaciones por ítem se encuentra registradas en la Tabla 12.

Tabla 12. Síntesis de puntuaciones obtenidas en evaluación de percepción.

Dimensión / Ítem	**Tipo**	**Promedio**	**DE**	**Interpretación**
Me gusta cómo luce el dispositivo cuando lo tengo puesto	Directo	3.8	0.84	Alto atractivo visual
Encuentro que el dispositivo es innecesariamente complejo	Inversa	1.8	0.84	Baja complejidad percibida
Considero que el dispositivo es fácil de usar	Directo	4	0.71	Alta facilidad de uso
Necesitaría la ayuda de un experto para usarlo	Inversa	1	0.00	Alta autonomía
El indicador para saber si está funcionando es claro	Directo	5	0.00	Excelente claridad
Encuentro mucha inconsistencia en el funcionamiento	Inversa	1	0.00	Estabilidad percibida alta
La mayoría aprendería a usarlo rápidamente	Directo	4.8	0.45	Buena curva de aprendizaje
Encuentro el dispositivo difícil de usar	Inversa	1.4	0.89	Alta percepción de facilidad
Me siento seguro/a usando el dispositivo	Directo	5	0.00	Alta confianza y seguridad
Necesito aprender muchas cosas nuevas antes de usarlo	Inversa	1	0.00	Bajo esfuerzo cognitivo
Considero importante mantenerme hidratado	Directo	4.8	0.45	Relevancia máxima del objetivo

4.7.7 Evaluación Heurística

La evaluación heurística se detalla en el Anexo II, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 13. Se utilizó una encuesta semiestructurada con respuesta escalada de 1 a 5, donde 1 es la puntuación más baja y 5 la más alta.

Tabla 13. Resultados evaluación heurística.

Participante	1	2	3	4	5
Edad	55	55	63	59	58
Sexo	Masculino	Masculino	Masculino	Masculino	Femenido
Mano Dominante	Izquierda	Derecha	Derecha	Derecha	Izquierda
¿Sientes que el dispositivo es cómodo de llevar?	5	4	5	4	3
¿El ajuste del dispositivo en la muñeca es adecuado?	5	4	4	5	3
¿Cuánto esfuerzo requiere realizar las funciones básicas del dispositivo?	5	1	5	4	1
¿Qué tan claro te resultó el manual o las instrucciones del dispositivo?	5	5	5	5	4
¿Te parece que el diseño del dispositivo es atractivo?	3	3	2	5	4
¿Crees que el diseño es apropiado para un adulto mayor?	5	5	3	5	5
¿Te sentiste frustrado/a al usar el dispositivo? (Invertido)	1	1	1	4	2
¿Hubo momentos en los que consideraste dejar de usar el dispositivo por frustración?	1	1	1	5	3
Observaciones	Adecuado percibir una función (Hora). El dispositivo casi no pesa	El seguro es muy difícil de maniobrar para recorrerlo, esta muy ajustado	La correa es muy delgadita		Necesario ajuste para dimensiones anatomicas mas reducidas
Sugerencia	Agregar que de la hora, agregar alarma para medicamentos	Mayor suavidad en las correas, percibir otra función, no solo como pulsera	Que sea mas discreto con estetica, podria tener una pantalla sutil para mostrar algo relevante , hora conteo.		Que se le integre al menos la hora, posibildiad de colocar un material que tenga mas acolchonamiento

En la Tabla 14, se muestra la perspectiva generalizada de los participantes hacia el dispositivo después de usarlo durante un tiempo prolongado, donde se puede observar que el dispositivo es cómodo de llevar, el ajuste es adecuado y las instrucciones de cómo usarlo son claras, sin embargo, se observa una variabilidad moderada-alta, indicando que hay aspectos que podrían mejorarse y mejorar la opinión. Además, la opinión de los participantes sobre el diseño es adecuado para personas mayores obtuvo una alta puntuación promedio con un 4.6 y una desviación moderada alta de 0.89. En cambio, los ítems sobre un diseño atractivo, esfuerzo de realizar las funciones básicas, frustración al usar el dispositivo y la posibilidad de quitarse el dispositivo durante el día, a pesar de obtener una buena puntuación promedio se observa una muy alta desviación estándar indicando que es necesario abordar de mejor manera lo ítems antes mencionados.

Tabla 14. Síntesis de puntuaciones de la evaluación heurística.

Ítem / Heurística	Tipo	Promedio	DE	Interpretación
¿Sientes que el dispositivo es cómodo de llevar?	Directo	4.20	0.84	Buena comodidad general
¿El ajuste del dispositivo en la muñeca es adecuado?	Directo	4.20	0.84	Ajuste aceptable, pero con variabilidad según usuario
¿Cuánto esfuerzo requiere realizar las funciones básicas del dispositivo?	Directo	3.20	2.05	Esfuezo en nivel medio-alto, alta DE entre los participantes
¿Qué tan claro te resultó el manual o las instrucciones?	Directo	4.80	0.45	Excelente claridad informativa
¿Te parece que el diseño del dispositivo es atractivo?	Directo	3.40	1.14	Atractivo visual moderado–alto
¿Crees que el diseño es apropiado para un adulto mayor?	Directo	4.60	0.89	Alta adecuación al público objetivo
¿Te sentiste frustrado/a al usar el dispositivo?	Inverso	1.80	1.30	Baja frustración (positivo)
¿Hubo momentos en los que consideraste dejar de usarlo por frustración?	Inverso	2.20	1.79	Muy baja frustración sostenida (positivo)

Durante las evaluaciones y la captura de estas, los participantes expresaron observaciones centradas principalmente en el confort físico y el diseño funcional del dispositivo. Algunos mencionaron que el dispositivo era muy ligero y casi no pesaba, aunque la correa resultó delgada o difícil de maniobrar, especialmente para quienes tenían muñecas más pequeñas. También se señaló que el seguro del brazalete era rígido y requería mayor suavidad o facilidad de ajuste. En cuanto a las sugerencias, varios participantes propusieron agregar nuevas funciones, como la visualización de la hora o alarmas para recordar la hidratación o medicación, además de mejorar la estética general del producto para hacerlo aún más discreto. Asimismo, se recomendó incorporar materiales más acolchonados o ergonómicos para aumentar la comodidad durante el uso prolongado. En conjunto, los comentarios reflejaron una satisfacción general alta con el uso del dispositivo, acompañada de propuestas específicas para perfeccionar su ergonomía y diseño exterior.

5 Discusión de Resultados

Con este trabajo se identificaron los dispositivos y tecnologías que existen actualmente tanto en el mercado, así como los dispositivos que están involucrados en investigaciones profundas dedicadas a la detección automática en la ingesta de líquidos. Por la parte comercial, actualmente se ofertan dispositivos denominados como relojes inteligentes, estos cuentan con diversos sensores y funciones que son aprovechados en el monitoreo de otras funciones que no son la detección automática de la ingesta de líquidos, pero algunas marcas ofrecen una alternativa para el control y monitoreo de hidratación a través de un sistema de registros y recordatorios relacionados con beber agua, siendo una alternativa a la propuesta a este trabajo (Tabla 2). Sin embargo, investigaciones enfocadas en la detección automática de ingesta de líquidos han utilizado distintos dispositivos como sensores inerciales, sensores de visión, sensores sónicos entre otros, logrando obtener resultados favorables en el desempeño para la detección automática de ingesta de líquidos (Tabla 5). En cambio, a pesar de obtener buenos resultados, se observaron deficiencias en otros rubros como el costo, la dependencia de la integración en otros sistemas con mayor complejidad y las condiciones de operación de los mismos dispositivos.

Considerando la selección la selección del dispositivo para la obtención de las señales inerciales, complementado con el uso de tecnología de manufactura aditiva (FDM) y el uso de software para la asistencia en el diseño se logró diseñar, desarrollar y prototipar un dispositivito a manera de pulsera, con la funcionalidad para colocar, ajustar y removerlo de la muñeca. El material utilizado para la fabricación es el TPU, siendo un material viable debido a sus propiedades mecánicas y químicas que no ponen en riesgo la integridad de los usuarios por su contacto con la piel.

Se logró desarrollar un modelo para la detección automática de ingesta de líquidos con una arquitectura basada en modelos de aprendizaje profundo permitiendo poder hacer un entrenamiento del modelo con muestras de señal acorde al tipo de movimiento objetivo, con alto potencial para escalarlo a otro tipo de actividades de interés. Modelo el cual fue sometido a distintas pruebas de funcionalidad en ambiente simulado, entorno controlado y semi-controlado obteniendo resultados favorables acorde a lo esperado, donde para el entorno simulado se obtuvo con desempeño global del 99.8%, para el entorno controlado un 95.24% y para el entorno semi-controlado un 93.11%, pudiendo observar que el desempeño global para la detección automática de la ingesta de líquidos tiene un decremento, el cual pudiera atribuirse a las variables que se suman en cada una de las distintas etapas de evaluación, con esto pudiendo detectar oportunidades de mejora para futuras investigaciones. Sin embargo, en este trabajo se planteó poder evaluar el dispositivo en un entorno de vida libre, estas

pruebas no pudieron llevarse acabo debido a distintos factores que limitaban su ejecución, como fueron la estabilidad en la conexión del dispositivo al modelo de detección al igual que el recurso técnico de cómputo necesario para procesar la información.

Por la parte de la evaluación de la usabilidad , percepción y ergonomía del dispositivo, los resultados observados muestran una buena calificación hacia el dispositivo, destacando la simplicidad, la ligereza y la similitud con productos comerciales actualmente, sin embargo se detectaron algunas oportunidades de mejora hacia el dispositivo como lo fue reducir el tamaño donde se encuentran los sensores, mejorar el ajuste del dispositivo al momento de colocarlo en la muñeca, al igual, la posibilidad de al menos integrar que se pueda apreciar la hora para poder trasmitir un factor de utilidad del dispositivo para el usuario final.

6 Capítulo

Conclusiones

En este trabajo se logró el diseño y desarrollo de un sistema portátil de detección y monitoreo de ingesta de líquidos en adultos mayores en etapa temprana como auxiliar en la prevención de la deshidratación mediante el uso de sensores inerciales. Se analizaron los dispositivos y tecnologías actuales y de relevancia identificando sus limitaciones y oportunidades de mejora. Por otra parte, se logró el desarrollo de un algoritmo para la detección de ingesta de líquido a partir de sensores inerciales y además se creó un modelo con una arquitectura escalable a otro tipo de movimientos. Se logró diseñar y prototipar un dispositivo portátil, compacto y ergonómico para que los adultos mayores puedan utilizarlo sin limitar sus actividades diarias. La interfaz física del dispositivo se limitó a tener correa para su colocación en la muñeca y un solo botón de encendido y apagado con la asistencia de un indicador led. Se logró la validación funcional del dispositivo en entornos simulado, controlado y semi-controlado, aunque no se logró validar el funcionamiento del dispositivo en un entorno libre debido a varias limitantes técnicas, se detectaron oportunidades de mejora para futuros trabajos de investigación y desarrollo. Se obtuvieron resultados aceptables en las evaluaciones de usabilidad del dispositivo, así como la identificación de puntos de mejoras en el diseño del dispositivo.

7 Referencias

Aguileta, A. A., Brena, R. F., Mayora, O., Molino-Minero-re, E., & Trejo, L. A. (2019). Multi-sensor fusion for activity recognition—a survey. *Sensors (Switzerland)*, *19*(17), 1–41. https://doi.org/10.3390/s19173808

Bijker, K. E., De Groot, G., Hollander, A. P., Bijker, A., De Groot, G., & Hollander, A. P. (2001). Delta efficiencies of running and cycling. En *Med. Sci. Sports Exerc* (Vol. 33, Número 9). http://www.acsm-msse.org

Botigué, T., Miranda, J., Escobar-Bravo, M. Á., Lavedán, A., Roca, J., & Masot, O. (2021). Analysis of dehydration in older people in a nursing home in Spain: Prevalence and associated factors. *Nutricion Hospitalaria*, *38*(2), 252–259. https://doi.org/10.20960/nh.03260

Bridger, R. (2017). *Introduction to Human Factors and Ergonomics 4th Edition*.

Brooke, J. (1995). *SUS: A quick and dirty usability scale*. https://www.researchgate.net/publication/228593520

Bunn, D., Jimoh, O., Karrouze, I., Wyatt, K., & Hooper, L. (2019). Effective hydration care for older people living in care homes. *Nursing Times*, *115*(10), 54–58.

Campó, S. (2024, octubre 24). *¿Eres un adulto mayor o un anciano? Esta es la clasificación de la OMS para las personas desde los 60 hasta los 90 años?* https://www.infobae.com/peru/2024/10/25/eres-un-adulto-mayor-o-un-anciano-esta-es-la-clasificacion-de-la-oms-para-las-personas-desde-los-60-hasta-los-90-anos/

Cano, M., Giraldo, E., & Vélez, Y. (2021). *Diseño_Centrado_Usuario como herramienta para el bienestar del adulto mayor*.

CES-EDUPACK. (2016). *TPU (Thermoplastic Polyurethane elastomer)*.

Chapetón, M. (2020). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE DISPOSITIVO BIOMÉDICO NO INVASIVO PARA LA PREVENCIÓN DE LA POSTURA INCORRECTA A NIVEL DORSAL*.

Chen, X., & Kamavuako, E. N. (2023). Vision-Based Methods for Food and Fluid Intake Monitoring: A Literature Review. *Sensors*, *23*(13), 1–32. https://doi.org/10.3390/s23136137

Chun, K. S., Streeper, N., Sanders, A. B., Conroy, D. E., Adaimi, R., & Thomaz, E. (2019). Towards a generalizable method for detecting fluid intake with wrist-mounted sensors and adaptive segmentation. *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI*, *Part F147615*, 80–85. https://doi.org/10.1145/3301275.3302315

Clemmensen, T. (2024). *Usability and User Experience*. https://doi.org/10.1201/9781003495147-1/usability-user-experience-torkil-clemmensen

CNDH. (2018). *Los Derechos Humanos de las Personas Mayores*.

Cohen, R., Fernie, G., & Fekr, A. R. (2021a). Fluid intake monitoring systems for the elderly: A review of the literature. *Nutrients*, *13*(6), 1–28. https://doi.org/10.3390/nu13062092

Cohen, R., Fernie, G., & Fekr, A. R. (2021b). Fluid intake monitoring systems for the elderly: A review of the literature. *Nutrients*, *13*(6), 1–28. https://doi.org/10.3390/nu13062092

Cohen, R., Fernie, G., & Fekr, A. R. (2023). Contactless Drink Intake Monitoring Using Depth Data. *IEEE Access*, *11*, 12218–12225. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3241835

Cohen, R., Fernie, G., & Roshan Fekr, A. (2022a). Automated Fluid Intake Detection Using RGB Videos. *Sensors*, *22*(18). https://doi.org/10.3390/s22186747

Cohen, R., Fernie, G., & Roshan Fekr, A. (2022b). Monitoring fluid intake by commercially available smart water bottles. *Scientific Reports*, *12*(1), 1–6. https://doi.org/10.1038/s41598-022-08335-5

Czaja, S. J., & Lee, C. C. (2007). The impact of aging on access to technology. *Universal Access in the Information Society*, *5*(4), 341–349. https://doi.org/10.1007/s10209-006-0060-x

Davies, I., O'neill, P. A., Mclean, K. A., Catania, J., & Bennett, D. (1995). *Age-associated Alterations in Thirst and Arginine Vasopressin in Response to a Water or Sodium Load*.

Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., Wilson, J. R., & van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: Developing the discipline and profession. *Ergonomics*, *55*(4), 377–395. https://doi.org/10.1080/00140139.2012.661087

Edmonds, C. J., Foglia, E., Booth, P., Fu, C. H. Y., & Gardner, M. (2021a). Dehydration in older people: A systematic review of the effects of dehydration on health outcomes, healthcare costs and cognitive performance. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *95*(September 2020). https://doi.org/10.1016/j.archger.2021.104380

Edmonds, C. J., Foglia, E., Booth, P., Fu, C. H. Y., & Gardner, M. (2021b). Dehydration in older people: A systematic review of the effects of dehydration on health outcomes, healthcare costs and cognitive performance. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *95*. https://doi.org/10.1016/j.archger.2021.104380

Ehatisham-Ul-Haq, M., Malik, M. N., Azam, M. A., Naeem, U., Khalid, A., & Ghazanfar, M. A. (2020). Identifying users with wearable sensors based on activity patterns. *Procedia Computer Science*, *177*, 8–15. https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.10.005

Ehatisham-Ul-haq, M., Murtaza, F., Azam, M. A., & Amin, Y. (2022). Daily Living Activity Recognition In-The-Wild: Modeling and Inferring Activity-Aware Human Contexts. *Electronics (Switzerland)*, *11*(2), 1–24. https://doi.org/10.3390/electronics11020226

Engelheart, S., Forslund, H. B., Brummer, R. J., & Ljungqvist, O. (2021a). Dehydration and loss of appetite: Key nutrition features in older people receiving home health care. *Nutrition*, *91–92*. https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111385

Engelheart, S., Forslund, H. B., Brummer, R. J., & Ljungqvist, O. (2021b). Dehydration and loss of appetite: Key nutrition features in older people receiving home health care. *Nutrition*, *91–92*. https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111385

Espinosa, M., Daniel, A., Durán, C., & Hernández, L. (2021). *Deshidratacíon en el paciente adulto*. *64*, 2021. https://doi.org/10.22201/fm.24484865e.2021.64.1.03

Felipe Salech, D. M., Rafael Jara, D. L., & Luis Michea, D. A. (2012). CAMBIOS FISIOLÓGICOS ASOCIADOS AL ENVEJECIMIENTO PHYSIOLOGICAL CHANGES ASSOCIATED WITH NORMAL AGING. En *REV. MED. CLIN. CONDES* (Vol. 23, Número 1).

Fozoonmayeh, D., Le, H. V., Wittfoth, E., Geng, C., Ha, N., Wang, J., Vasilenko, M., Ahn, Y., & Woodbridge, D. M. kyung. (2020). A Scalable Smartwatch-Based Medication Intake Detection System Using Distributed Machine Learning. *Journal of Medical Systems*, *44*(4). https://doi.org/10.1007/s10916-019-1518-8

France Wang. (2022, diciembre 19). *How many testers do you need? 3 frameworks to answer the question*. https://www.tandemz.io/posts/3-frameworks-testers?

García, L. V., García, L., & Grupo de Psicogeriatría. (2005). *El adulto mayor maduro: condiciones actuales de vida*.

Garrett, D. C., Rae, N., Fletcher, J. R., Zarnke, S., Thorson, S., Hogan, D. B., & Fear, E. C. (2018). Engineering Approaches to Assessing Hydration Status. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, *11*(c), 233–248. https://doi.org/10.1109/RBME.2017.2776041

Garrett, J. James. (2011). *The elements of user experience : user-centered design for the Web and beyond*. New Riders.

Gentile, V., Malizia, A., Sorce, S., & Gentile, A. (2015). Designing touchless gestural interactions for public displays in-the-wild. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *9170*, 24–34. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20916-6_3

Gomes, D., Mendes-Moreira, J., Sousa, I., & Silva, J. (2019). Eating and drinking recognition in free-living conditions for triggering smart reminders. *Sensors (Switzerland)*, *19*(12). https://doi.org/10.3390/s19122803

Gomes, D., & Sousa, I. (2019). Real-time drink trigger detection in free-living conditions using inertial sensors. *Sensors (Switzerland)*, *19*(9). https://doi.org/10.3390/s19092145

Griffith, H., Shi, Y., & Biswas, S. (2019). A container-attachable inertial sensor for real-time hydration tracking. *Sensors (Switzerland)*, *19*(18). https://doi.org/10.3390/s19184008

Hamatani, T., Elhamshary, M., Uchiyama, A., & Higashino, T. (2018). FluidMeter: Gauging the human daily fluid intake using smartwatches. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, *2*(3). https://doi.org/10.1145/3264923

Hamrick, I., Norton, D., Birstler, J., Chen, G., Cruz, L., & Hanrahan, L. (2020). Association Between Dehydration and Falls. *Mayo Clinic Proceedings: Innovations, Quality & Outcomes*, *4*(3), 259–265. https://doi.org/10.1016/j.mayocpiqo.2020.01.003

Hendrick, H. W. (2003). Determining the cost-benefits of ergonomics projects and factors that lead to their success. *Applied Ergonomics*, *34*(5), 419–427. https://doi.org/10.1016/S0003-6870(03)00062-0

Hsieh, C. Y., Huang, H. Y., Chan, C. T., & Chiu, L. T. (2024). An Analysis of Fluid Intake Assessment Approaches for Fluid Intake Monitoring System. *Biosensors*, *14*(1). https://doi.org/10.3390/bios14010014

Huang, H. Y., Hsieh, C. Y., Liu, K. C., Hsu, S. J. P., & Chan, C. T. (2020). Fluid intake monitoring system using a wearable inertial sensor for fluid intake management. *Sensors (Switzerland)*, *20*(22), 1–17. https://doi.org/10.3390/s20226682

Institute of Design of Stanford. (2009). *bootcamp bootleg*. https://dschool.stanford.edu/resources/the-bootcamp-bootleg

INTERIM GROUP. (2025, enero 10). *Tecnología wearable en el trabajo: seguridad y productividad*. https://interimgrouphr.com/blog/tecnologia-wearable/

Ismail, I., Niazi, I. K., Haavik, H., & Kamavuako, E. N. (2023). A Cross-Day Analysis of EMG Features, Classifiers, and Regressors for Swallowing Events Detection and Fluid Intake Volume Estimation. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *23*(21). https://doi.org/10.3390/s23218789

Keng, K. Y. C., Hung, L. Y., Nie, K. S., Balakrishnan, S., Murugesan, R. K., & Wei, G. W. (2018). A Review of Ambient Intelligence Based Activity Recognition for Ageing Citizens. *Proceedings - 2018 4th International Conference on Advances in Computing, Communication and Automation, ICACCA 2018*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ICACCAF.2018.8776786

Kenney, W. L., & Chiu, P. (2001). *Influence of age on thirst and fluid intake*. http://www.acsm-msse.org

Li, J. H., Yu, P. W., Wang, H. C., Lin, C. Y., Lin, Y. C., Liu, C. P., Hsieh, C. Y., & Chan, C. T. (2024). Multi-Sensor Fusion Approach to Drinking Activity Identification for Improving Fluid Intake Monitoring. *Applied Sciences (Switzerland)*, *14*(11). https://doi.org/10.3390/app14114480

Lindborg, C. M., Propert, K. J., & Pignolo, R. J. (2015). Conservation of pro-longevity genes among mammals. *Mechanisms of Ageing and Development*, *146–148*, 23–27. https://doi.org/10.1016/j.mad.2015.03.004

Liu, K. C., Hsieh, C. Y., Huang, H. Y., Chiu, L. T., Hsu, S. J. P., & Chan, C. T. (2020). Drinking Event Detection and Episode Identification Using 3D-Printed Smart Cup. *IEEE Sensors Journal*, *20*(22), 13743–13751. https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3004051

Malvuccio, C., & Kamavuako, E. N. (2022). The Effect of EMG Features on the Classification of Swallowing Events and the Estimation of Fluid Intake Volume. *Sensors*, *22*(9). https://doi.org/10.3390/s22093380

Martinez, H., Morin, C., Gandy, J., Carmuega, E., Arredondo, J. L., Pimentel, C., Moreno, L. A., Kavouras, S. A., Salas-Salvadó, J., & Guelinckx, I. (2018). Fluid intake of Latin American adults: results of four 2016 Liq.In7 national cross-sectional surveys. *European Journal of Nutrition*, *57*(3), 65–75. https://doi.org/10.1007/s00394-018-1724-z

Masot, O., Miranda, J., Santamaría, A. L., Pueyo, E. P., Pascual, A., & Botigué, T. (2020a). Fluid intake recommendation considering the physiological adaptations of adults over 65 years: A critical review. *Nutrients*, *12*(11), 1–14. https://doi.org/10.3390/nu12113383

Masot, O., Miranda, J., Santamaría, A. L., Pueyo, E. P., Pascual, A., & Botigué, T. (2020b). Fluid intake recommendation considering the physiological adaptations of adults over 65 years: A critical review. *Nutrients*, *12*(11), 1–14. https://doi.org/10.3390/nu12113383

Masot, O., Miranda, J., Santamaría, A. L., Pueyo, E. P., Pascual, A., & Botigué, T. (2020c). Fluid intake recommendation considering the physiological adaptations of adults over 65 years: A critical review. En *Nutrients* (Vol. 12, Número 11, pp. 1–14). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/nu12113383

Mentes, J. (2006). *Oral hydration in older adults-Greater awareness is needed in preventing, recognizing, and treating dehydration.*

Moccia, S., Solbianti, S., Khornegah, M., Bossi, F., & Caiani, E. (2020). Towards monitoring medical adherence using a wristband and machine learning. *Expert Systems with Applications*, *140*. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112888

Muente, G. (2019, septiembre 29). *Aprende cómo puede ayudarte saber cuales son los tipos de productos para tus estrategias de marketing*. https://rockcontent.com/es/blog/tipos-de-productos/

Musso, C. G., & Oreopoulos, D. G. (2011). Aging and physiological changes of the kidneys including changes in glomerular filtration rate. *Nephron - Physiology*, *119*(SUPPL. 1). https://doi.org/10.1159/000328010

Nielsen, J., & Landauer, T. K. (1993). *A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems*.

Ortega Anderez, D., Lotfi, A., & Pourabdollah, A. (2021). A deep learning based wearable system for food and drink intake recognition. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *12*(10), 9435–9447. https://doi.org/10.1007/s12652-020-02684-7

Ortega, D., Lotfi, A., & Pourabdollah, A. (2020). Eating and drinking gesture spotting and recognition using a novel adaptive segmentation technique and a gesture discrepancy measure. *Expert Systems with Applications*, *140*. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112888

Ortega-Anderez, D., Lotfi, A., Langensiepen, C., & Appiah, K. (2019). A multi-level refinement approach towards the classification of quotidian activities using accelerometer data. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *10*(11), 4319–4330. https://doi.org/10.1007/s12652-018-1110-y

Pedram, M., Mirzadeh, S. I., Rokni, S. A., Fallahzadeh, R., Woodbridge, D. M. K., Lee, S. I., & Ghasemzadeh, H. (2021). LIDS: Mobile System to Monitor Type and Volume of Liquid Intake. *IEEE Sensors Journal*, *21*(18), 20750–20763. https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3081012

Planas, E., Tomás, J., & Ducun, M. (2020). *Ergonomía 4.0 y Exoesqueletos Mitos, leyendas y certezas*.

Read, G. J. M., Salmon, P. M., Goode, N., & Lenné, M. G. (2018). A sociotechnical design toolkit for bridging the gap between systems-based analyses and system design. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, *28*(6), 327–341. https://doi.org/10.1002/hfm.20769

Rivera Cerón, B. B., Tovar Arriaga, S., Moreno, M. Á., & Casarrubias, D. G. (2023). *USER-CENTERED DESIGN FOR MEDICAL DEVICES DEVELOPMENT*.

Rouast, P. V., & Adam, M. T. P. (2020). Learning Deep Representations for Video-Based Intake Gesture Detection. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, *24*(6), 1727–1737. https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2942845

Rubin, J., & Chisnell. (2008). *Handbook of usability testing: How to plan, design, and conduct effective tests* (2a ed.).

Schiboni, G., & Amft, O. (2018). Sparse natural gesture spotting in free living to monitor drinking with wrist-worn inertial sensors. *Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC*, 140–147. https://doi.org/10.1145/3267242.3267253

SCHOLS, J. M. G., DE GROOT, C. P. G. M., & VAN DER CAMMEN, T. J. M. (2009). *PREVENTING AND TREATING DEHYDRATION IN THE ELDERLY DURING PERIODS OF ILLNESS AND WARM WEAATHER*.

SEO.London. (2014, junio 27). *Tecnología vestible: ¿Ergonomía o usabilidad?* https://ux247.com/es/wearable-technology-ergonomics-usability/

Soria-Romero, Z., & Montoya-Arce, B. J. (2017). Envejecimiento y factores asociados a la calidad de vida de los adultos mayores en el Estado de México. *Papeles de Poblacion*, *23*(93), 59–93. https://doi.org/10.22185/24487147.2017.93.022

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2012). *Diseño y desarrollo de productos* (Vol. 5).

Ultimaker. (2017). *Denominación química*.

United Nations. (2022). *Ageing - Global Issues*. https://www.un.org/en/global-issues/ageing

Vasudavan, H., Balakrishnan, S., & Murugesan, R. K. (2021). A Study on Activity Recognition Technology for Elderly Care. *International Journal of Current Research and Review*, *13*(12), 107–111. https://doi.org/10.31782/ijcrr.2021.131225

Wang, C., Kumar, T. S., De Raedt, W., Camps, G., Hallez, H., & Vanrumste, B. (2022). Drinking Gesture Detection Using Wrist-Worn IMU Sensors with Multi-Stage Temporal Convolutional Network in Free-Living Environments. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, *2022-July*, 1778–1782. https://doi.org/10.1109/EMBC48229.2022.9871817

Wang, Z., Yang, Z., & Dong, T. (2017). A review of wearable technologies for elderly care that can accurately track indoor position, recognize physical activities and monitor vital signs in real time. *Sensors (Switzerland)*, *17*(2). https://doi.org/10.3390/s17020341

Weidmann, P., Beretta-Piccoli, C., Ziegler, W. H., Keusch, G., Glcjck, Z., & Reubi, F. C. (1978). Age versus urinary sodium for judging renin, aldosterone, and catecholamine levels: Studies in normal subjects and patients with essential hypertension. En *Kidney International* (Vol. 14).

Weinberg, A. D., & Minaker, K. L. (1995). *Dehydration Evaluation and Management in Older Adults*. http://jama.jamanetwork.com/

Wilson, J. R. (2014). Fundamentals of systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics*, *45*(1), 5–13. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.021

Wixon, D., & Siegel, -David A. (2003). *EVALUATING USABILITY METHODS Why the Current Literature Fails the Practitioner*.

World Health Organization. (2012). *Un resultado del Proyecto sobre Dispositivos Médicos Prioritarios DISPOSITIVOS MÉDICOS: LA GESTIÓN DE LA Discordancia*. www.who.int

Zhang, S., Liu, Y., & Gowda, M. (2022). *Let's Grab a Drink: Teacher-Student Learning for Fluid Intake Monitoring using Smart Earphones*. https://ieeexplore.ieee.org/document/9797397

Fabricante	Dirección Web	Referencia en
Amazfit	https://www.amazfit.com/	Amazfit. (n.d.). Amazfit official website. https://www.amazfit.com/
Apple	https://www.apple.com/	Apple. (n.d.). Apple official website. https://www.apple.com/
Casio	https://www.casio.com/	Casio. (n.d.). Casio official website. https://www.casio.com/
Fitbit	https://www.fitbit.com/	Fitbit. (n.d.). Fitbit official website. https://www.fitbit.com/
Garmin	https://www.garmin.com/	Garmin. (n.d.). Garmin official website. https://www.garmin.com/
Google	https://store.google.com/	Google. (n.d.). Google Store. https://store.google.com/
Huawei	https://consumer.huawei.com/	Huawei. (n.d.). Huawei consumer products. https://consumer.huawei.com/
imoo	https://www.imoo.com/	imoo. (n.d.). imoo official website. https://www.imoo.com/
LG	https://www.lg.com/	LG. (n.d.). LG official website. https://www.lg.com/
Pebble	https://www.pebble.com/	Pebble. (n.d.). Pebble official website. https://www.pebble.com/
Polar	https://www.polar.com/	Polar. (n.d.). Polar official website. https://www.polar.com/
Samsung	https://www.samsung.com/	Samsung. (n.d.). Samsung official website. https://www.samsung.com/
Xiaomi	https://www.mi.com/	Xiaomi. (n.d.). Xiaomi official website. https://www.mi.com/

Anexo I

7.1 Protocolos de validación funcional

8 Diseño de un dispositivo portátil para el monitoreo de ingesta de líquidos en adultos mayores.

Estudiante

Mario Hernández Villa

Asesores

Dra. Nelly Gordillo Castillo, Dr. David Cortés Sáenz

Departamento de Diseño

Maestría en Diseño y Desarrollo de Producto

Marzo de 2025

8.1.1 Objetivo General

Diseñar y desarrollar un sistema portátil de detección y monitoreo de ingesta de líquidos en adultos mayores en etapa temprana como auxiliar en la prevención de la deshidratación mediante el uso de sensores inerciales (acelerometría y giroscopía).

8.1.2 Metodología

Fase 1. Completado en 2024, investigación documental sin participación de personas. Concientización sobre la problemática: identificación del proyecto, planteamiento de la problemática, justificación, revisión del estado del arte, evaluación interna, consulta con experto sobre usabilidad en adultos mayores. Al finalizar esta etapa se identificó el tipo de dispositivo, un brazalete, se definió el tipo de sensores para el dispositivo, sensores inerciales, se seleccionaron los materiales para el brazalete y se seleccionó el algoritmo que permite la identificar la ingesta de líquidos.

Fase 2. Desde 2024 al 29 de febrero de 2025, experimentación sin participación de personas. Diseño y Desarrollo de prototipo: Revisión sobre artículos de investigación en el área, análisis comercial, selección de circuito integrado, desarrollo de algoritmo, propuestas de apariencia estética, integración del prototipo. Al finalizar esta fase se tendrá integrado el dispositivo, un brazalete de materiales sintéticos (plásticos) que contiene encapsulados los sensores que detectarán la ingesta de líquidos, el brazalete se comunica a través de Bluetooth hacia un dispositivo móvil o computadora donde se procesarán los datos recolectados y se estimará la ingesta de líquidos.

Fase 3. Del 01 de abril de 2025 al 22 de mayo de 2025, experimentación con participación de personas. Validación funcional y evaluación de usabilidad. Explicación detallada en archivo adjunto “Protocolos de validación funcional”. El enfoque principal es evaluar la funcionalidad operativa del dispositivo y evaluar aspectos relacionados con usabilidad y comodidad del dispositivo.

Para la selección de los participantes en las evaluaciones de funcionalidad y usabilidad se considera una muestra representativa de adultos mayores, de acuerdo con el principio de Nielsen citado y

referenciado por France Wang en 2022 (France Wang, 2022; Nielsen & Landauer, 1993), siendo 5 personas consideradas las adecuadas para obtener una retroalimentación confiable sobre la usabilidad de un producto. El rango de edad con el que se planteó trabajar fue con adultos mayores en etapa temprana entre los 55 a los 64 años de acuerdo con el consenso establecido por la asociación internacional de psicogeriatría (García et al., 2005) , considerando que aunque en la literatura se observen variaciones para establecer un rango de edad específico para definir a una persona como adulto mayor en etapa temprana o joven, se seleccionó ese rango ya que se considera más adecuado el poder obtener una retroalimentación con mayor apertura a la aceptación por utilizar herramientas tecnológicas para el cuidado de la salud, sirviendo como punto de partida para futuros trabajos. Uno de los requisitos importantes considerados es que los participantes tienen que mostrar buena salud y no tener algún padecimiento o restricción cognitiva o motriz.

A continuación, se describe a detalle lo relacionado con los protocolos de validación funcional.

9 Protocolos de Validación

9.1 Validación Funcional

9.1.1 Validación Funcional del Código

- Requisitos:
    - Necesario tener señales de entrenamiento listas
        - Estas señales pueden ser generadas por los mismos integrantes del grupo de investigación y registros previos que se tengan disponibles.
    - Entrenar el algoritmo
- Ejecución de validación
    - Medición de:
        - Precisión
        - Exactitud
        - Sensibilidad
        - F1 – Score (Desempeño global)

(No es necesaria la participación de sujetos de prueba)

9.1.2 Validación Controlada

- Requisito
    - Validación funcional del código lista
    - Usuarios / Sujetos de prueba
- Ejecución de validación
    - Se dará una explicación sobre el alcance y el objetivo de la prueba.
        - Alcance: monitorear los patrones de movimiento en un periodo no mayor a 10 min.
        - Objetivo: Obtener señales producidas por el movimiento de la mano dominan al momento de ingerir algún tipo de líquido que este contenido en algún recipiente, se excluye el uso de cualquier otra herramienta que permita ingerir líquidos, por ejemplo, popotes, cucharas, entre otros. Solo se considera que los sujetos se encuentren sentados o de pie, se excluye cualquier otra posición anatómica donde sea posible beber agua o variaciones no típicas para beber agua.

- Se explicará el aviso de consentimiento y se firmará siempre y cuando el sujeto este de acuerdo con lo establecido
- Registro de datos del sujeto
    - Numero de participante
    - Sexo
    - Mano dominante
    - Edad
- Se dará explicación general de cómo debe utilizarse el dispositivo
    - Colocar el dispositivo en la mano dominante
    - Encender y apagado del dispositivo
    - Remover el dispositivo de la mano dominante
- Se dará explicación general rápida del protocolo a seguir
    - Protocolo:
        - Durante un periodo de alrededor de 10 min se estará monitoreando los movimientos del sujeto.
        - Se le indicará al sujeto que tipo de movimiento es necesario que realice.
            - Movimiento objetivo:
                - Ingesta de líquidos con un recipiente.
                - Entiéndase como ingesta de líquidos de manera "típica" a los siguientes pasos:
                    - 1. Sujetar recipiente, que contiene algún líquido, con mano dominante
                    - 2. Sujetando el recipiente, desplazar el recipiente en dirección a la boca del sujeto.
                    - 3. Sujetando el recipiente - Movimiento de inclinación combinada entre la cabeza-cuello y mano dominante.
                    - 4. Sujetando el recipiente - Mantener posición de inclinación, periodo de deglución única o repetida para la ingesta de líquido.
                    - 5. Sujetando el recipiente - Movimiento a posición natural antes de inclinación.
                    - 6. Sujetando el recipiente – Desplazar el recipiente, con un volumen menor a la inicial o no presencia de algún líquido, alejándolo de la boca y colocarlo en una superficie.
                    - 7. Dejar de sujetar el recipiente y desplazar la mano dominante a otra posición anatómica o mantener la

mano cerca del recipiente, pero sin sujetarlo.
    - **Nota. - al sujeto no se le dará explicación del proceso de ingesta de líquido, es necesario que ellos lo hagan según su entendimiento. Se manejará con el término “Beber o tomar agua”
- Otros movimientos (ejemplos):
    - Movimientos muy similares: Patrón de movimiento casi idéntico al de beber con un recipiente
        - Levantar un vaso vacío y simular beber
        - Llevar un termo a la boca sin líquido
        - Sujetar un recipiente y hacer el gesto de beber
        - Sostener una botella con tapa y simular beber
        - Llevar un popote o palillo a la boca
        - Sostener y levantar un objeto (como una lata o frasco) cerca del rostro
    - Movimientos similares: Movimientos con patrones biomecánicos similares, pero con diferente propósito
        - Llevar un celular a la boca simulando una llamada
        - Sujetar un vaso o botella sin beber
        - Colocar la mano sobre la barbilla o el mentón como si estuviera pensando
        - Ajustarse los lentes o gafas tocando la parte frontal del rostro
        - Taparse la boca con la mano (como al toser)
        - Usar un bálsamo labial o pintalabios
        - Retirarse el cabello de la cara con una mano
        - Tocar el cuello de la camisa o un collar
        - Ajustar una bufanda o pañuelo en el cuello

- Movimientos poco similares: Involucran cierta movilidad de brazo y mano, pero sin el patrón de beber.
    - Sostener un celular con una mano y revisar la pantalla
    - Guardar un celular en el bolsillo
    - Sujetar una pelota pequeña y levantarla a la altura del rostro
    - Ajustar un reloj o pulsera en la muñeca
    - Tocarse la oreja o ajustar un audífono
    - Subirse la manga de la camisa
    - Usar un espejo pequeño para verse el rostro
    - Tocar una corbata o moño en el cuello
    - Sujetar una tapa de botella y girarla sin abrir
- Movimientos nada similares:
    - Escribir en un celular o tableta
    - Golpear la palma de una mano con la otra
    - Aplaudir suavemente
    - Rascarse la cabeza o la nuca
    - Meter la mano en un bolsillo y sacarla
    - Frotarse las manos juntas
    - Ajustar un cinturón o doblar una prenda
    - Girar una llave en una cerradura
    - Lanzar una pelota pequeña con una mano
    - Tocar el respaldo de una silla mientras se está sentado
- Movimiento no hacer nada
    - Solicitar que se quede en alguna posición cómoda, según considere el sujeto.
- **Nota los movimientos descritos anteriormente son solo algunos ejemplos de lo que se puede pedir al sujeto que haga, será considerado los recursos, objetos u otra cosa que se tenga en el momento de la prueba.
- **Nota 2. No se dará explicación de cómo se realizan los movimientos ejemplo, solo

se mencionarán que se deben hacer según el entendimiento de cada sujeto.

- Se solicitará una secuencia de movimientos, tomando como referencia, pero no limitado al listado anteriormente mencionado.
  - La secuencia dependerá del evaluador
    - Considerando uno hasta cinco movimientos como máximo.
      - No hacer nada es considerado como un movimiento
    - Sera registrada la secuencia de movimientos para relacionarla a la señal capturada
    - Los movimientos no serán explicados, y no se limitarán en cuestión de tiempo.
    - El evaluador o algún auxiliar tomara notas relevantes para la correlación entre la secuencia de movimientos y la señal capturada (ejemplo, inicio y finalización de cada movimiento)
- Se repetirá la captura de la secuencia de movimientos según sea necesario de acuerdo con el criterio del evaluador y será considerado como registro de otra señal,
  - Procurando los siguientes puntos:
    - Secuencia nula variación
      - Exactamente igual a la secuencia previa
    - Secuencia con variaciones en pequeña escala
      - Cambiando el orden de los movimientos
      - Cambiando 1 movimiento
    - Secuencia con variaciones en media escala
      - Cambiando entre 2 a 4 movimientos
    - Secuencia con variaciones en alta escala
      - Cambiando el total de movimientos
  - **NOTA. - en todo el proceso de pruebas el evaluador es quien tiene la capacidad para iniciar o finalizar la captura de la señal con el dispositivo.
- Finalizar la prueba
  - Se preguntará al sujeto si existe alguna duda y/o comentario sobre las pruebas realizadas.
  - En caso de haberlas, se buscará resolverlas en el momento.
- Se agradecerá por la participación en la prueba

9.1.3 Validación Semi-Controlada

Consideraciones

- Está validación tiene la misma estructura y lógica que la validación controlada, solo considerando los siguientes cambios:
    - En vez que el evaluador indique la secuencia de movimientos, el sujeto podrá elegir la secuencia de movimientos que dese.

Protocolo

- Se dará explicación general sobre la validación Semi-Controlada tomado en cuenta las consideraciones previamente descritas
- Proceso de captura de señales
    - Según sea necesario, de acuerdo con el criterio del evaluador
- Finalizar la prueba

9.1.4 Validación en Entorno Libre

- Se dará explicación general de cómo debe utilizarse el dispositivo
    - Colocar el dispositivo en la mano dominante
    - Encender y apagado del dispositivo
    - Remover el dispositivo de la mano dominante
- Se dará explicación al sujeto sobre el protocolo a seguir en la validación en Entorno Libre
    - Protocolo
        - Se considera que el dispositivo será entregado al sujeto por al menos un período de 8 horas.
            - El dispositivo se entregará con batería cargada para su uso
            - El dispositivo se dejará configurado para que este capturando y registrando las señales durante todo el tiempo que lo tenga el sujeto
        - Se explicarán / solicitarán los siguientes puntos al sujeto
            - No hay restricciones en los tipos de movimientos por parte del usuario utilizando el dispositivo
                - Solo se solicitará que se use de la mejor manera evitando causar algún daño mayor a la integridad del dispositivo.
            - Procurar que se tenga la mayor parte de su tiempo el dispositivo colocado en su mano dominante
                - Si el sujeto considera que es mejor no utilizarlo por algún motivo y que este comprometida la integridad del dispositivo
                    - Indicar que no apague el dispositivo, que lo deje encendido
                    - Si es posible, inmediatamente volver a colocarse el dispositivo en la mano dominante, siguiendo las indicaciones previamente descritas
        - Se establecerá con el sujeto ya sea directamente en el momento o después de entregarle el dispositivo a través de los medios de comunicación normalmente utilizados (llamada, mensajería electrónica, correo) para establecer la fecha, hora y lugar para el retorno del dispositivo al evaluador.
        - En la entrega del dispositivo se considera lo siguiente

- Solicitar una retroalimentación general sobre el uso del dispositivo
    - Aplicando las preguntas complementarias citadas en la sección de evaluación de usabilidad.
- Se preguntará al sujeto si existe alguna duda y/o comentario sobre las pruebas realizadas.
    - En caso de haberlas, se buscará resolverlas en el momento.
- Se agradecerá por la participación en la prueba

▪ Finalizar la prueba

El protocolo antes descrito puede estar complementado con el uso de cualquier mecanismo para la captura de notas / observaciones relacionadas con las pruebas, por ejemplo, pero no limitado a:

- Formatos impresos de acuerdo con el protocolo aquí definido
- Formatos electrónicos
- Dispositivos electrónicos para captura de sonido/imágenes/video (ejemplo, celular)

9.1.4.1 Ejemplo de formato de soporte para el registro de notas / observaciones

Formato de Registro de Observaciones - Evaluación validación funcional

Datos del Participante

Código de Participante	
Edad	
Sexo	
Mano Dominante	
Fecha de Evaluación	
Evaluador	

1. Validación Funcional del Código

Evaluación de precisión, exactitud, sensibilidad y F1-Score del algoritmo.

Métrica	Valor Obtenido	Observaciones
Precisión		
Exactitud		
Sensibilidad		
F1-Score		

2. Validación Controlada

Registro de datos del participante y secuencia de actividades realizadas durante la evaluación.
Registro de secuencia de actividades:

Actividad	Tiempo (seg.)	Errores	Observaciones

3. Validación Semi-Controlada

Registro de movimientos seleccionados por el participante y observaciones generales.

Actividad	Tiempo (Seg.)	Veces Realizado	Observaciones

4. Validación en Entorno Libre

Registro del tiempo total de uso del dispositivo y comentarios sobre la experiencia de uso.

Tiempo total de uso (horas)	
Número de interrupciones	
Motivo de interrupciones	

Comentarios del participante sobre la experiencia de uso:

_____

Observaciones Generales y Sugerencias

Comentarios generales sobre la funcionalidad y usabilidad del dispositivo:

_____

Sugerencias para mejoras en el diseño o funcionalidad del dispositivo:

_____

Figura 28. Formato de soporte para observaciones - Validación Funcional

Anexo II

9.2 Protocolos de evaluación de usabilidad

10 Diseño de un dispositivo portátil para el monitoreo de ingesta de líquidos en adultos mayores.

Estudiante

Mario Hernández Villa

Asesores

Dra. Nelly Gordillo Castillo, Dr. David Cortés Sáenz

Departamento de Diseño

Maestría en Diseño y Desarrollo de Producto

Marzo de 2025

10.1.1 Objetivo General

Diseñar y desarrollar un sistema portátil de detección y monitoreo de ingesta de líquidos en adultos mayores en etapa temprana como auxiliar en la prevención de la deshidratación mediante el uso de sensores inerciales (acelerometría y giroscopía).

10.1.2 Metodología

Fase 1. Completado en 2024, investigación documental sin participación de personas. Concientización sobre la problemática: identificación del proyecto, planteamiento de la problemática, justificación, revisión del estado del arte, evaluación interna, consulta con experto sobre usabilidad en adultos mayores. Al finalizar esta etapa se identificó el tipo de dispositivo, un brazalete, se definió el tipo de sensores para el dispositivo, sensores inerciales, se seleccionaron los materiales para el brazalete y se seleccionó el algoritmo que permite la identificar la ingesta de líquidos.

Fase 2. Desde 2024 al 29 de febrero de 2025, experimentación sin participación de personas. Diseño y Desarrollo de prototipo: Revisión sobre artículos de investigación en el área, análisis comercial, selección de circuito integrado, desarrollo de algoritmo, propuestas de apariencia estética, integración del prototipo. Al finalizar esta fase se tendrá integrado el dispositivo, un brazalete de materiales sintéticos (plásticos) que contiene encapsulados los sensores que detectarán la ingesta de líquidos, el brazalete se comunica a través de Bluetooth hacia un dispositivo móvil o computadora donde se procesarán los datos recolectados y se estimará la ingesta de líquidos.

Fase 3. Del 01 de abril de 2025 al 22 de mayo de 2025, experimentación con participación de personas. Validación funcional y evaluación de usabilidad. Explicación detallada en archivo adjunto “Protocolos de validación funcional”. El enfoque principal es evaluar la funcionalidad operativa del dispositivo y evaluar aspectos relacionados con usabilidad y comodidad del dispositivo.

Para la selección de los participantes en las evaluaciones de funcionalidad y usabilidad se considera una muestra representativa de adultos mayores, de acuerdo con el principio de Nielsen citado y referenciado por France Wang en 2022 (France Wang, 2022; Nielsen & Landauer, 1993), siendo 5

personas consideradas las adecuadas para obtener una retroalimentación confiable sobre la usabilidad de un producto. El rango de edad con el que se planteó trabajar fue con adultos mayores en etapa temprana entre los 55 a los 64 años de acuerdo con el consenso establecido por la asociación internacional de psicogeriatría (García et al., 2005) , considerando que aunque en la literatura se observen variaciones para establecer un rango de edad específico para definir a una persona como adulto mayor en etapa temprana o joven, se seleccionó ese rango ya que se considera más adecuado el poder obtener una retroalimentación con mayor apertura a la aceptación por utilizar herramientas tecnológicas para el cuidado de la salud, sirviendo como punto de partida para futuros trabajos. Uno de los requisitos importantes considerados es que los participantes tienen que mostrar buena salud y no tener algún padecimiento o restricción cognitiva o motriz.

A continuación, se describe a detalle lo relacionado con los protocolos de evaluación de usabilidad.

11 Evaluación de usabilidad

11.1.1 Evaluación basada en tareas críticas

Objetivo:

- Evaluar la usabilidad del dispositivo ante un primer contacto con el mismo
- Detectar y registrar comentarios positivos y/o negativos sobre el uso del dispositivo

Requisitos:

- Usuario / Sujeto de prueba
- Protocolo de evaluación definido
- Mecanismo para registrar información relacionada con la evaluación, a continuación, se indican algunos ejemplos, pero no se limitan a los mismos:
    - Formatos impresos de acuerdo con el protocolo aquí definido
    - Formatos electrónicos
    - Dispositivos electrónicos para captura de sonido/imágenes/video (ejemplo, celular)

Protocolo de evaluación

- Para la evaluación de usabilidad se definen las siguientes tareas claves y sus respectivas evaluaciones, de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 15. Tareas y evaluación en la evaluación de la usabilidad.

Tarea clave	Evaluación
Colocar y ajustar el dispositivo en la muñeca	Tiempo necesario para completar cada tarea
Operar los controles principales	Frecuencia de errores y necesidad de asistencia
Quitar el dispositivo de la muñeca	Comentarios del usuario durante las pruebas

- Se darán indicaciones al usuario sobre el objetivo de la evaluación de usabilidad

- Se preguntará si las indicaciones han quedado claras para confirmar el entendimiento de este.

- Se seguirán las tareas de acuerdo con la tabla 1
  - En simultaneo el evaluador / observador permanecerá atento para capturar cualquier nota / registro relevante sobre la prueba, basado principalmente en los criterios de evaluación de la tabla 1.
    - Podrá hacerse uso de toma de video / imágenes y/o formatos de asistencia para registro de notas/observaciones
- Una vez completadas las tareas criticas definidas en la tabla 1, se preguntará al usuario por algún comentario relacionado con la prueba.
    - Podrá hacerse uso de toma de video / imágenes y/o formatos de asistencia para registro de notas/observaciones

11.1.1.1 Ejemplo de formato de soporte para registro de notas / observaciones

Formato de Registro de Observaciones - Evaluación de Usabilidad

Datos del Participante

Código de Participante	
Edad	
Sexo	
Mano Dominante	
Fecha de Evaluación	
Evaluador	

Evaluación Basada en Tareas

Tarea Clave	Tiempo (seg.)	Errores cometidos	Necesidad de asistencia (Sí/No)	Observaciones adicionales
Colocar el dispositivo en la muñeca				
Ajustar correctamente la correa				
Operar los controles principales				
Quitar el dispositivo				

Observaciones General

Observación	Clasificación de observación

Sugerencias y Comentarios

Aspectos que le gustaron al usuario:

_____

Aspectos que le generaron incomodidad o dificultad:

_____

¿Qué mejoraría del dispositivo?

_____

Figura 29. Formato de soporte para registro de observaciones - Evaluación de Usabilidad.

11.1.2 Evaluación de percepción

También se considera utilizar el sistema escalado de usabilidad (*System Usability Scale*, por sus siglas en ingles) para medir la percepción general del usuario. A continuación, en la Tabla 2 se muestra la propuesta de cuestionario SUS.

Objetivo:

- Evaluar la percepción del usuario por el dispositivo ante un primer contacto con el mismo
- Detectar y registrar comentarios positivos y/o negativos sobre el uso del dispositivo

Requisitos:

- Usuario / Sujeto de prueba
- Protocolo de evaluación definido
- Mecanismo para registrar información relacionada con la evaluación, a continuación, se indican algunos ejemplos, pero no se limitan a los mismos:
    - Formatos impresos de acuerdo con el protocolo aquí definido
    - Formatos electrónicos
    - Dispositivos electrónicos para captura de sonido/imágenes/video (ejemplo, celular)

Protocolo de evaluación

- Para la evaluación de percepción se definen siguientes preguntas basadas en el sistema SUS, en la tabla 2.

Tabla 16. Propuesta Cuestionario SUS.

N.º	Afirmación	Escala evaluación (1-5)
1	Me gusta como luce el dispositivo cuando lo tengo puesto	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
2	Encuentro que el dispositivo es innecesariamente complejo. (*Inversa*)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
3	Considero que el dispositivo es fácil de usar.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
4	Creo que necesitaría la ayuda de un experto para usar este dispositivo. (*Inversa*)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
5	El indicador para saber si el dispositivo está funcionando es claro	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
6	Encuentro mucha inconsistencia en el funcionamiento del dispositivo. (*Inversa*)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
7	Creo que la mayoría de las personas aprenderían a usar este dispositivo rápidamente.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
8	Encuentro el dispositivo difícil de usar. (*Inversa*)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
9	Me siento seguro/a usando este dispositivo.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
10	Necesito aprender muchas cosas nuevas antes de poder usar el dispositivo. (*Inversa*)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
11	Considero importante mantenerme hidratado	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

*Nota. – 1 indica el más bajo nivel, 5 indica el más alto nivel.

- Se darán indicaciones al usuario sobre el objetivo de la evaluación de percepción
    - Se preguntará si las indicaciones han quedado claras para confirmar el entendimiento de este.
- Se seguirán le preguntará al usuario de acuerdo con la tabla 2

- En simultaneo el evaluador / observador permanecerá atento para capturar cualquier nota / registro relevante sobre la prueba, basado principalmente en los criterios de evaluación de la tabla 2.
  - Podrá hacerse uso de toma de video / imágenes y/o formatos de asistencia para registro de notas/observaciones

- Una vez completado la tabla 2, se preguntará al usuario por algún comentario relacionado con la prueba.
  - Podrá hacerse uso de toma de video / imágenes y/o formatos de asistencia para registro de notas/observaciones

11.1.2.1 Ejemplo de formato de soporte para registro de notas / observaciones

Formato de Registro de Observaciones - Evaluación de Percepción

Datos del Participante

Código de Participante	
Edad	
Sexo	
Mano Dominante	
Fecha de Evaluación	
Evaluador	

Evaluación de Percepción (Escala 1-5)

N.º	Afirmación	Escala evaluación (1-5)
1	Me gusta como luce el dispositivo cuando lo tengo puesto	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
2	Encuentro que el dispositivo es innecesariamente complejo. (*Inversa*)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
3	Considero que el dispositivo es fácil de usar.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
4	Creo que necesitaría la ayuda de un experto para usar este dispositivo. (*Inversa*)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
5	El indicador para saber si el dispositivo está funcionando es claro	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
6	Encuentro mucha inconsistencia en el funcionamiento del dispositivo. (*Inversa*)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
7	Creo que la mayoría de las personas aprenderían a usar este dispositivo rápidamente.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
8	Encuentro el dispositivo difícil de usar. (*Inversa*)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
9	Me siento seguro/a usando este dispositivo.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
10	Necesito aprender muchas cosas nuevas antes de poder usar el dispositivo. (*Inversa*)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
11	Considero importante mantenerme hidratado	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Observaciones Generales

Observación	Clasificación de observación

Figura 2. Formato de soporte para registro de observaciones – Evaluación de percepción.

11.1.3 Evaluación Heurística

Objetivo:

- Evaluar la comodidad del dispositivo después de ser utilizando durante un período prolongado.
- Detectar y registrar comentarios positivos y/o negativos sobre el uso del dispositivo

Requisitos:

- Usuario / Sujeto de prueba
- Protocolo de evaluación definido
- Mecanismo para registrar información relacionada con la evaluación, a continuación, se indican algunos ejemplos, pero no se limitan a los mismos:
  - Formatos impresos de acuerdo con el protocolo aquí definido

- Formatos electrónicos
- Dispositivos electrónicos para captura de sonido/imágenes/video (ejemplo, celular)

Protocolo de evaluación

- Se considera el siguiente cuestionario semiestructurado:

Comodidad

- ¿Sientes que el dispositivo es cómodo de llevar?
  - 1 = Muy incómodo | 5 = Muy cómodo
- ¿El ajuste del dispositivo en la muñeca es adecuado?
  - 1 = Muy malo | 5 = Excelente

Facilidad de uso

- ¿Cuánto esfuerzo requiere realizar las funciones básicas del dispositivo?
  - 1 = Mucho esfuerzo | 5 = Muy poco esfuerzo
- ¿Qué tan claro te resultó el manual o las instrucciones del dispositivo?
  - 1 = Muy confuso | 5 = Muy claro

Estética

- ¿Te parece que el diseño del dispositivo es atractivo?
  - 1 = Nada atractivo | 5 = Muy atractivo
- ¿Crees que el diseño es apropiado para un adulto mayor?
  - 1 = Nada apropiado | 5 = Muy apropiado

Nivel de frustración

- ¿Te sentiste frustrado/a al usar el dispositivo? (Invertir) ¿Qué tan útil se sintió con el dispositivo)
  - 1 = Muy frustrado/a | 5 = Nada frustrado/a
- ¿Hubo momentos en los que consideraste dejar de usar el dispositivo por frustración?
  - 1 = Muchas veces | 5 = Nunca

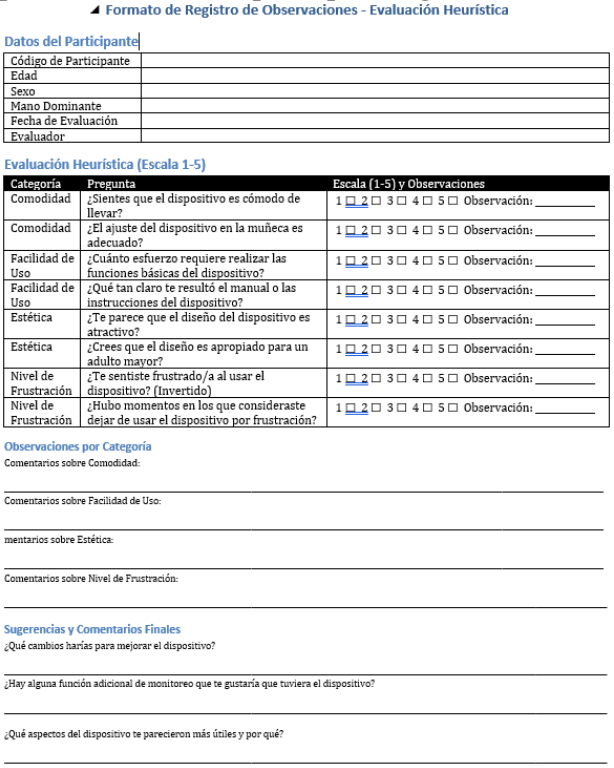
Sugerencias

- ¿Qué cambios harías para mejorar el dispositivo? (Por favor, describe brevemente).
- ¿Hay alguna función adicional de monitoreo que te gustaría que tuviera el dispositivo?

- ¿Qué aspectos del dispositivo te parecieron más útiles y por qué?

- Se darán indicaciones al usuario sobre el objetivo de la evaluación de comodidad
  - Se preguntará si las indicaciones han quedado claras para confirmar el entendimiento de este.
- Se seguirá el cuestionario semiestructurado
  - En simultaneo el evaluador / observador permanecerá atento para capturar cualquier nota / registro relevante
    - Podrá hacerse uso de toma de video / imágenes y/o formatos de asistencia para registro de notas/observaciones
- Una vez completado el cuestionario se preguntará al usuario por algún comentario extra
    - Podrá hacerse uso de toma de video / imágenes y/o formatos de asistencia para registro de notas/observaciones

11.1.3.1 Ejemplo de formato de soporte para registro de notas / observaciones



◢ Formato de Registro de Observaciones - Evaluación Heurística

Datos del Participante

Código de Participante	
Edad	
Sexo	
Mano Dominante	
Fecha de Evaluación	
Evaluador	

Evaluación Heurística (Escala 1-5)

Categoría	Pregunta	Escala (1-5) y Observaciones
Comodidad	¿Sientes que el dispositivo es cómodo de llevar?	1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Observación: _____
Comodidad	¿El ajuste del dispositivo en la muñeca es adecuado?	1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Observación: _____
Facilidad de Uso	¿Cuánto esfuerzo requiere realizar las funciones básicas del dispositivo?	1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Observación: _____
Facilidad de Uso	¿Qué tan claro te resultó el manual o las instrucciones del dispositivo?	1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Observación: _____
Estética	¿Te parece que el diseño del dispositivo es atractivo?	1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Observación: _____
Estética	¿Crees que el diseño es apropiado para un adulto mayor?	1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Observación: _____
Nivel de Frustración	¿Te sentiste frustrado/a al usar el dispositivo? (Invertido)	1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Observación: _____
Nivel de Frustración	¿Hubo momentos en los que consideraste dejar de usar el dispositivo por frustración?	1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Observación: _____

Observaciones por Categoría

Comentarios sobre Comodidad:

_____

Comentarios sobre Facilidad de Uso:

_____

mentarios sobre Estética:

_____

Comentarios sobre Nivel de Frustración:

_____

Sugerencias y Comentarios Finales

¿Qué cambios harías para mejorar el dispositivo?

_____

¿Hay alguna función adicional de monitoreo que te gustaría que tuviera el dispositivo?

_____

¿Qué aspectos del dispositivo te parecieron más útiles y por qué?

_____

Figura 3. Formato de soporte para registro de observaciones – Evaluación Heurística.

Anexo III

UACJ | Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Comité de Ética en la Investigación

Resolución CEI-2025-1-1559

Ciudad Juárez, Chihuahua, a 20 de marzo de 2025

Mario Hernández Villa
Dra. Nelly Gordillo Castillo
Dr. David Cortés Sáenz
Presente.

El Comité de Ética en la Investigación (CEI), después de recibir las recomendaciones atendidas del protocolo de investigación CEI-2025-1-33, denominado: "Diseño de un dispositivo portátil para el monitoreo de ingesta de líquidos en adulto mayores", resolvió:

Dictamen favorable

Atentamente
"Por una vida científica
Por una ciencia vital"

Dra. Gwendolyne Peraza Mercado
Presidente del Comité de Ética en la Investigación

Dra. Fany Thelma Solís Rodríguez
Secretaria del Comité de Ética en la Investigación

c.c.p. Archivo.