

Informe Técnico  
DPTOIA-IT-2025-003  
Abril, 2025

## GEMA – Gestos para la Emergencia y Movilidad Asistida

Máster Sistemas Inteligentes  
Marta de Castro Leira



Departamento de Informática y Automática  
Universidad de Salamanca

# Índice

Índice de figuras	II
Indice de tablas	III
<b>1. El prototipo</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción general del sistema . . . . .	1
1.1.1. Tecnologías empleadas . . . . .	1
1.1.2. Proceso de desarrollo . . . . .	2
1.1.3. Diseño e implementación de la interfaz gráfica . . . . .	4
1.1.4. Funcionamiento detallado . . . . .	5
1.2. Evaluación con usuarios . . . . .	8
1.2.1. Evaluación individual de los participantes . . . . .	9
1.2.2. Conclusiones preliminares . . . . .	10
<b>2. Memoria del proyecto</b>	<b>12</b>
2.1. Título, Acrónimo y Resumen . . . . .	12
2.2. Antecedentes y estado actual del tema . . . . .	12
2.2.1. Tecnologías existentes de asistencia mediante gestos y mirada . . .	13
2.2.2. Tendencias recientes en investigación . . . . .	13
2.2.3. Carencias identificadas . . . . .	14
2.2.4. Justificación del proyecto GEMA . . . . .	15
2.3. Objetivos generales y específicos . . . . .	16
2.4. Metodología . . . . .	16
2.5. Plan de trabajo y cronograma . . . . .	18
2.6. Recursos humanos, materiales y de equipamiento . . . . .	26
2.7. Resultados e impacto esperado . . . . .	28
2.8. Uso de IA . . . . .	31
<b>Referencias</b>	<b>31</b>

# Índice de figuras

1.	Logo de GEMA . . . . .	1
2.	Pantalla inicial: la cámara no ha sido iniciada aún. . . . .	4
3.	Menú principal tras iniciar la cámara. Se visualiza la imagen en tiempo real.	5
4.	Detección de puño cerrado, tanto con palma como con dorso visibles. . . . .	6
5.	Detección de mano abierta en diferentes inclinaciones. . . . .	6
6.	Reconocimiento del gesto de dedo índice levantado, usado para solicitar ayuda. . . . .	7
7.	Ejemplos de posiciones de mano en las que no se detecta gesto (posición neutra). . . . .	7
8.	Visualización del estado de cooldown (espera) entre gestos consecutivos. . .	8
9.	Prototipo de GEMA capturando gestos manuales con cámara estándar. . .	12
10.	Cronograma general del proyecto GEMA. . . . .	26

## **Indice de tablas**

1.	Plan de trabajo completo: actividades, tareas y subtareas . . . . .	19
2.	Ficha de planificación: Actividad 1, Tarea 1.1 . . . . .	20
3.	Ficha de planificación: Actividad 1, Tarea 1.2 . . . . .	20
4.	Ficha de planificación: Actividad 2, Tarea 2.1 . . . . .	21
5.	Ficha de planificación: Actividad 2, Tarea 2.2 . . . . .	21
6.	Ficha de planificación: Actividad 2, Tarea 2.3 . . . . .	22
7.	Ficha de planificación: Actividad 2, Tarea 2.4 . . . . .	22
8.	Ficha de planificación: Actividad 3, Tarea 3.1 . . . . .	23
9.	Ficha de planificación: Actividad 3, Tarea 3.2 . . . . .	23
10.	Ficha de planificación: Actividad 4, Tarea 4.1 . . . . .	24
11.	Ficha de planificación: Actividad 4, Tarea 4.2 . . . . .	24
12.	Ficha de planificación: Actividad 5, Tarea 5.1 . . . . .	25
13.	Ficha de planificación: Actividad 5, Tarea 5.2 . . . . .	25
14.	Análisis de riesgos del proyecto GEMA . . . . .	30

# 1. El prototipo

## 1.1. Descripción general del sistema

El prototipo funcional desarrollado para este proyecto, denominado GEMA (Gestos para la Emergencia y Movilidad Asistida), consiste en una aplicación de software construida íntegramente en el lenguaje de programación Python 3.11. Su principal finalidad es permitir la detección y reconocimiento de gestos manuales sutiles para facilitar la interacción de personas con movilidad reducida en contextos hospitalarios, residenciales o domiciliarios, y destacar que este sistema apuesta por una interacción sin contacto.

El objetivo principal de GEMA es ofrecer un medio de control accesible e intuitivo, basado en el reconocimiento gestual natural y el feedback inmediato, que permita realizar tareas básicas como solicitar ayuda, controlar dispositivos o interactuar con elementos del entorno de forma autónoma.



Figura 1: Logo de GEMA

El sistema combina diversas tecnologías avanzadas de visión por computador, procesamiento de vídeo en tiempo real, interfaces gráficas amigables y síntesis de voz local, de modo que la experiencia de usuario sea fluida, accesible y libre de barreras tecnológicas innecesarias. El sistema GEMA ha sido diseñado pensando en la accesibilidad integral, considerando tanto a personas con movilidad reducida como a aquellas con posibles limitaciones visuales o auditivas, ofreciendo retroalimentación visual, auditiva y un control gestual intuitivo y sencillo.

### 1.1.1. Tecnologías empleadas

Para el desarrollo de GEMA se integraron de manera modular varias tecnologías especializadas en un sistema operativo de macOS:

- **Python 3.11:** se utilizó como lenguaje principal por su flexibilidad, su amplia disponibilidad de librerías para visión artificial e interfaces gráficas, y su facilidad de integración de módulos externos.
- **MediaPipe Hands:** esta biblioteca, basada en modelos de aprendizaje profundo, permite detectar 21 puntos clave de la mano (landmarks) en tiempo real a partir de una imagen RGB. Constituye el núcleo del sistema de reconocimiento de gestos.
- **OpenCV:** se utilizó para capturar la imagen de la cámara, realizar preprocesamiento básico y superponer información visual como el menú o las anotaciones de los landmarks de la mano.
- **Tkinter:** la interfaz gráfica fue desarrollada con esta biblioteca nativa de Python, lo que garantizó compatibilidad multiplataforma y facilidad de despliegue.

- **pyttsx3**: para proporcionar retroalimentación auditiva local, independiente de conexión a internet, se integró este motor de síntesis de voz offline.
- **Threading**: se utilizó la programación concurrente para asegurar que la captura de vídeo y la detección de gestos no bloquearan la actualización de la interfaz gráfica.
- **Camo Studio**: durante el proceso de validación, se utilizó esta aplicación para conectar un teléfono móvil como cámara cenital, simulando una instalación real en una cama hospitalaria o en un entorno de asistencia domiciliaria.
- **Conda (como entorno alternativo)**: aunque inicialmente se empleó un entorno virtual clásico creado con `venv`, en macOS se detectaron problemas de permisos que impedían el acceso a la cámara cuando la aplicación se ejecutaba desde dicho entorno. Para solventarlo, se optó por utilizar un entorno gestionado con Conda, el cual ya contaba con los permisos necesarios para acceder a la cámara del sistema. Esta solución permitió continuar con el desarrollo y las pruebas del sistema de visión sin modificar configuraciones avanzadas del sistema operativo.

### 1.1.2. Proceso de desarrollo

El desarrollo del prototipo siguió una estrategia modular e iterativa. Inicialmente se establecieron los requisitos básicos: debía permitir la detección robusta de gestos sencillos y ejecutar acciones concretas a partir de ellos, todo mediante una interfaz clara y accesible.

Se comenzó por la implementación del módulo de captura de vídeo y detección de mano, empleando OpenCV y MediaPipe. Una vez asegurada la detección fiable de la mano y sus puntos de referencia en tiempo real mediante MediaPipe, se diseñó un sistema de reconocimiento gestual basado en análisis geométrico sencillo.

El enfoque escogido para reconocer los gestos no se basó en aprendizaje profundo, sino en reglas geométricas simples, aprovechando la información de los 21 puntos clave (landmarks) que MediaPipe proporciona para cada mano. Para reconocer qué gesto está realizando el usuario, se diseñó un método basado en el análisis geométrico sencillo de cada dedo. Este método aprovecha los 21 landmarks proporcionados, que representan las posiciones exactas de las articulaciones y puntas de los dedos.

El procedimiento que se sigue para cada dedo es el siguiente:

1. Se seleccionan tres puntos específicos de cada dedo:
  - La base del dedo (MCP).
  - La articulación media (PIP).
  - La punta del dedo (TIP).
2. Con estos tres puntos, se calcula el ángulo que forma el dedo en su parte media. Este ángulo nos indica si el dedo está estirado o doblado:
  - Si el dedo está completamente recto, el ángulo entre estos tres puntos es cercano a  $180^\circ$ .
  - Si el dedo está doblado, el ángulo disminuye.

3. Se establece un umbral de  $160^\circ$  para clasificar la postura del dedo:

- Si el ángulo es mayor que  $160^\circ$ , se considera que el dedo está estirado.
- Si el ángulo es menor que  $160^\circ$ , se interpreta que el dedo está doblado.

La elección de  $160^\circ$  como umbral no es arbitraria: se basa en observaciones prácticas. Aunque un dedo perfectamente estirado formaría un ángulo de  $180^\circ$ , en situaciones reales (especialmente en personas con limitaciones de movilidad) no siempre se logra una extensión perfecta. Por eso, se permite una cierta tolerancia, considerando dedos estirados aquellos cuyo ángulo supere los  $160^\circ$ .

Además del análisis de los ángulos, se añadió una segunda comprobación basada en la posición vertical de los puntos, para aumentar la robustez:

- Se compara la coordenada  $y$  de la punta del dedo (TIP) con la coordenada  $y$  de su base (MCP o PIP).
- Si la punta del dedo se encuentra más abajo que la base, se interpreta que el dedo está doblado hacia dentro.
- Si la punta está más arriba o al mismo nivel que la base, el dedo se considera extendido.

Esta doble comprobación (ángulo y posición vertical) permite reconocer de manera muy fiable el estado de cada dedo, incluso en situaciones donde la imagen no es perfecta, hay ligeras inclinaciones de la mano, o los dedos no están completamente alineados.

Combinando esta información para todos los dedos, el sistema puede detectar de forma sencilla y rápida los tres gestos principales definidos en GEMA:

- **Mano abierta:** todos los dedos extendidos ( $\text{ángulos} > 160^\circ$  y puntas por encima de la base).
- **Puño cerrado:** todos los dedos doblados (puntas más bajas que las bases).
- **Índice levantado:** solo el dedo índice estirado ( $\text{ángulo} > 160^\circ$ ) y los demás doblados (comparación vertical).

Este método basado en geometría simple proporciona un sistema de reconocimiento gestual que es al mismo tiempo ligero, rápido, robusto y adecuado para ejecutarse en tiempo real en ordenadores convencionales, sin necesidad de redes neuronales adicionales ni entrenamiento de modelos personalizados.

Con el fin de aumentar la fiabilidad, se estableció que un gesto debe mantenerse durante al menos 5 segundos consecutivos para ser considerado válido. Tras cada gesto reconocido, se inicia un **período de cooldown** de 5 segundos durante el cual se ignoran nuevas detecciones, minimizando errores por movimientos involuntarios.

### 1.1.3. Diseño e implementación de la interfaz gráfica

La interfaz gráfica de usuario (GUI) de GEMA ha sido diseñada con el objetivo de ofrecer una experiencia de uso intuitiva, accesible y visualmente clara para personas con movilidad reducida. Para ello, se ha priorizado una disposición sencilla de las opciones principales, una representación gráfica clara del estado de los dispositivos controlados, y una integración fluida de la imagen de cámara dentro de la misma ventana.

Al iniciar la aplicación, el usuario se encuentra con una ventana principal que presenta en la parte superior el título del sistema ("GEMA - Asistencia por Gestos") y, justo debajo, el nombre de la opción de menú actualmente seleccionada, que se actualiza dinámicamente en función de los gestos detectados.

Debajo del menú principal se disponen de forma vertical cuatro botones grandes y claramente diferenciados por color y función:

- **Iniciar cámara:** Botón verde que permite activar el flujo de cámara y comenzar la detección de gestos.
- **Detener cámara:** Botón rojo que detiene el procesamiento de imagen y libera la cámara.
- **Confirmar ayuda recibida:** Botón azul que inicialmente está deshabilitado y sólo se activa tras el envío de una alerta de emergencia. Su función es ser pulsado por la persona que acude a asistir, indicando así que la petición de ayuda ha sido atendida. Al pulsarlo, el sistema restablece el estado normal y finaliza la situación de emergencia.
- **Ayuda gestual:** Botón amarillo que proporciona una breve guía de los gestos disponibles mediante un mensaje de voz generado por el sistema.

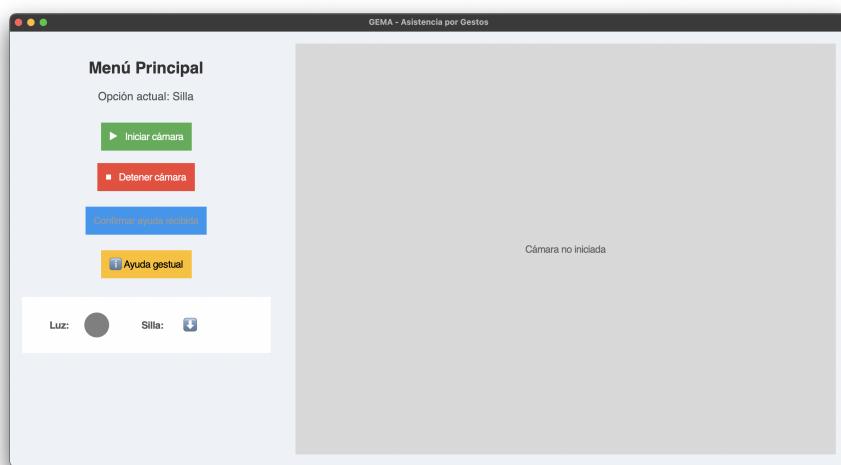


Figura 2: Pantalla inicial: la cámara no ha sido iniciada aún.

A continuación, se muestra un espacio dedicado a representar el estado actual de dos elementos controlables: la luz y la silla. En este panel visual, se presenta primero la

palabra “Luz” acompañada de un círculo, cuyo color varía entre gris (apagada) y amarillo (encendida). Junto a este, se representa el estado de la “Silla” mediante un texto y una flecha indicativa de la posición: hacia arriba (silla subida) o hacia abajo (silla bajada). De este modo, el usuario puede comprobar en todo momento el estado actual de los dispositivos de forma rápida y sencilla.

Finalmente, en el lateral derecho de la ventana, se integra el flujo de vídeo capturado por la cámara. Este espacio muestra en tiempo real la imagen de la mano del usuario, sobre la que se superponen las conexiones de los puntos detectados por MediaPipe. Esta retroalimentación visual permite verificar que los gestos son reconocidos correctamente.

La retroalimentación auditiva complementa la interfaz gráfica. Cada acción importante realizada (por ejemplo, encender la luz, mover la silla, enviar una alerta) genera un mensaje de voz a través del motor de síntesis local `pyttsx3`. Esto permite que el usuario reciba confirmaciones inmediatas tanto visuales como sonoras, reforzando la accesibilidad para personas con dificultades visuales o que no puedan atender en todo momento a la pantalla.

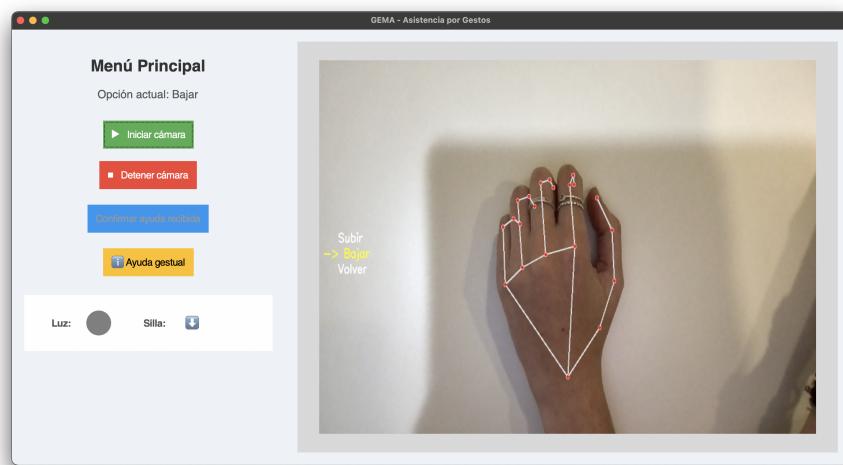


Figura 3: Menú principal tras iniciar la cámara. Se visualiza la imagen en tiempo real.

#### 1.1.4. Funcionamiento detallado

El sistema se inicia en un estado de reposo, mostrando en la interfaz los botones principales: iniciar cámara, detener cámara, confirmar ayuda recibida y acceder a la ayuda gestual.

Al activar la cámara, GEMA comienza a capturar el flujo de vídeo en tiempo real. Cada fotograma se analiza para detectar la mano del usuario y calcular sus puntos clave (landmarks). A partir de la forma de la mano, el sistema interpreta los siguientes gestos:

- **Mano abierta:** avanza a la siguiente opción del menú.
- **Puño cerrado:** selecciona la opción resaltada.
- **Dedo índice levantado:** solicita asistencia inmediata y bloquea temporalmente la detección de gestos.

El menú principal permite controlar diferentes elementos del entorno de forma intuitiva:

- **Silla:** abre un submenú con tres opciones —*Subir*, *Bajar* o *Volver*— que se recorren y seleccionan usando los mismos gestos.
- **Luz:** alterna directamente el encendido o apagado sin necesidad de submenú.
- **Ayuda gestual:** proporciona una explicación hablada de los gestos disponibles.

La navegación mediante gestos está acompañada de mensajes de voz sintetizados, que confirman cada acción para garantizar la accesibilidad incluso sin contacto visual con la pantalla. Además, en cualquier momento, el usuario puede levantar el dedo índice para solicitar ayuda prioritaria, deteniendo la interacción hasta recibir confirmación.

Durante las pruebas, se comprobó que el sistema GEMA es capaz de detectar los gestos predefinidos tanto con la palma de la mano orientada hacia arriba como con el dorso hacia arriba, adaptándose a ligeros movimientos e inclinaciones naturales de la mano. Esto resulta especialmente importante para usuarios con movilidad limitada que pueden no ser capaces de mantener posturas perfectamente ortogonales respecto a la cámara.

A continuación se muestran capturas de pantalla del sistema reconociendo correctamente los gestos de mano abierta, puño cerrado en distintas orientaciones y posiciones:

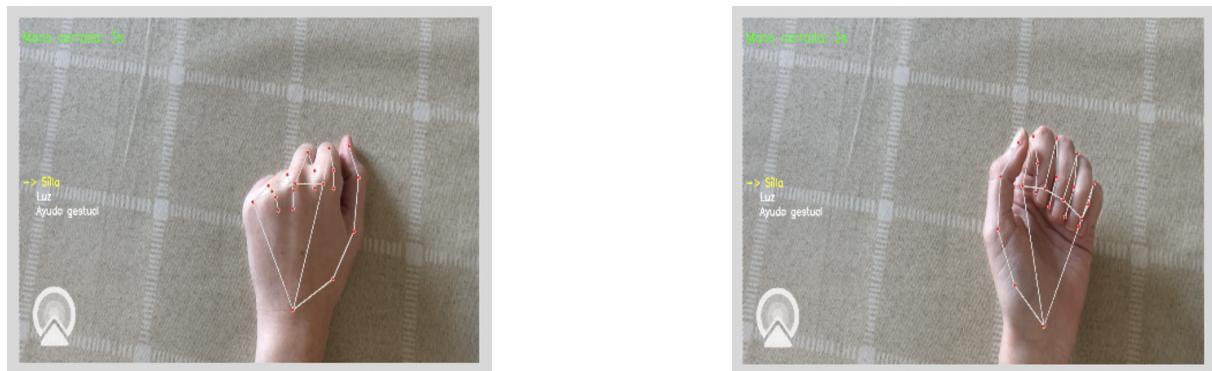


Figura 4: Detección de puño cerrado, tanto con palma como con dorso visibles.

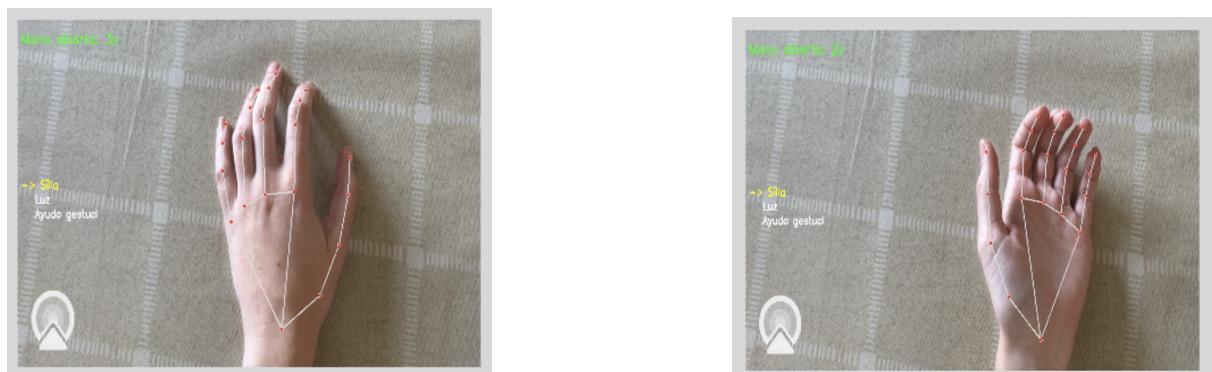


Figura 5: Detección de mano abierta en diferentes inclinaciones.

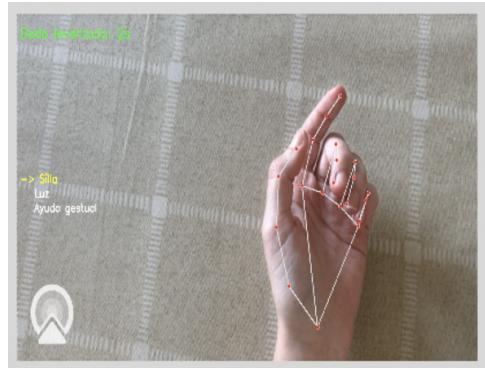


Figura 6: Reconocimiento del gesto de dedo índice levantado, usado para solicitar ayuda.

Gracias a esta tolerancia a pequeñas variaciones en el ángulo de la mano, el sistema GEMA ofrece una experiencia de uso más accesible y robusta, incluso en situaciones donde el control preciso de la postura de la mano resulta difícil para el usuario.

Aquí ahora se muestran unos ejemplos de posiciones en las que el sistema no reconoce ningún gesto, es decir, situaciones habituales en las que la mano está en reposo.

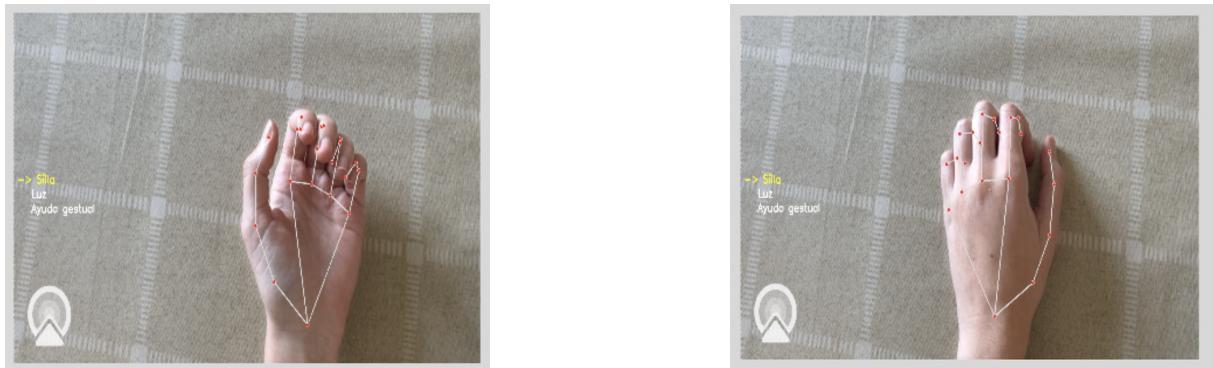


Figura 7: Ejemplos de posiciones de mano en las que no se detecta gesto (posición neutra).

Y finalmente esta imagen muestra el cooldown, una breve espera obligatoria entre la detección de un gesto y el siguiente, que evita repeticiones no deseadas si el usuario mantiene una postura más tiempo del necesario. La retroalimentación visual durante este estado contribuye a que la experiencia de interacción sea más predecible y usable.

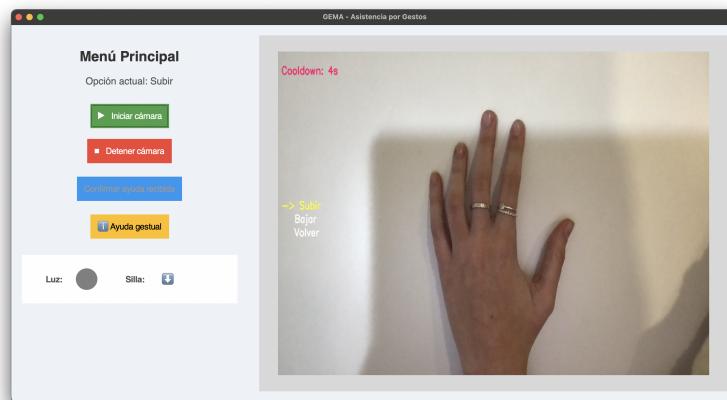


Figura 8: Visualización del estado de cooldown (espera) entre gestos consecutivos.

## 1.2. Evaluación con usuarios

Dado el alcance experimental del proyecto y el objetivo de validar su usabilidad básica, se realizó una evaluación formativa del prototipo GEMA con un pequeño grupo de usuarios voluntarios. La prueba se centró en analizar la facilidad de uso, la comprensión del sistema, la precisión de la detección de gestos y la adecuación del tiempo de espera configurado.

Antes de comenzar la prueba, se ofreció a cada participante una breve explicación sobre el funcionamiento general del sistema. Se les mostraron los tres gestos que podían utilizar (mano abierta, puño cerrado y dedo índice levantado) y se les indicó cómo navegar por el menú, seleccionar acciones y solicitar ayuda mediante estos gestos. Se les explicó también que para que un gesto fuera reconocido, debían mantenerlo de forma estable durante cinco segundos. A continuación, se les permitió interactuar libremente con la aplicación, animándoles a probar distintas acciones y explorar el sistema a su ritmo.

No se recogieron datos personales ni se grabaron imágenes o vídeos, preservando la privacidad de los participantes. La evaluación se realizó en una simulación de entorno doméstico, utilizando iluminación natural y una cámara cenital (móvil conectado mediante Camo Studio).

Se utilizó una técnica de observación directa complementada con notas de campo, recogiendo impresiones cualitativas durante y después de la prueba. Tras la interacción, se preguntó a los usuarios por sus percepciones generales, dificultades encontradas y sugerencias de mejora.

### Participantes:

- Usuario 1: 20 años, movilidad normal, con limitación de movilidad en un dedo.
- Usuario 2: 50 años, sin patologías relevantes.
- Usuario 3: 60 años, sin patologías relevantes.
- Usuario 4: 80 años, movilidad reducida general y fuerza limitada en las manos.

En términos generales, los resultados de la prueba fueron positivos. La detección de gestos fue correcta en más del 80% de los intentos, siempre que se mantuvieran buenas condiciones de iluminación. La mayoría de los participantes comprendieron rápidamente la lógica del sistema y se familiarizaron con la necesidad de mantener los gestos un poco para confirmar las acciones. La retroalimentación auditiva, generada mediante el motor de síntesis de voz, fue valorada de forma especialmente positiva, ya que ofrecía confirmaciones claras e inmediatas tras cada interacción.

No obstante, también se identificaron algunas áreas de mejora a partir de las observaciones y comentarios de los usuarios. Varios participantes señalaron que, al acceder a submenús, no se proporcionaba ninguna retroalimentación auditiva que indicara el cambio de menú, lo que generaba cierta confusión sobre en qué opción se encontraban, a pesar de que lo pusiera en el menú. Además, aunque la detección de la "mano abierta" fue correcta en términos de fiabilidad, algunos usuarios —especialmente el participante de 80 años y el de 60 años— encontraron físicamente exigente tener que mantener todos los dedos completamente estirados para que el gesto fuera reconocido. También, se observó que el ángulo y la posición de la mano respecto a la cámara influían en la fiabilidad de la detección: cuando la mano se ladeaba ligeramente o salía del encuadre, el reconocimiento de gestos se volvía menos estable, aunque seguía funcionando, afectando especialmente a usuarios con movilidad limitada. Finalmente, se detectó una limitación importante relacionada con las condiciones de iluminación. Este problema evidenció la dependencia del prototipo actual de unas condiciones lumínicas adecuadas para su correcto funcionamiento, lo que subraya la necesidad futura de integrar mecanismos de compensación de baja iluminación o advertencias automáticas en caso de pérdida de visibilidad.

### 1.2.1. Evaluación individual de los participantes

La evaluación realizada con los cuatro participantes permitió recoger observaciones específicas de cada perfil de usuario:

- **Usuario 1 (50 años):** Comprendió rápidamente el funcionamiento del sistema tras una breve explicación. La detección de gestos fue consistente y sin errores. Valoró la navegación por el menú como intuitiva, aunque sugirió incorporar una confirmación por voz al acceder a submenús para mejorar la orientación durante la interacción.
- **Usuario 2 (60 años):** Ejecutó correctamente todos los gestos, aunque en algunos momentos necesitó realizar un esfuerzo mayor para extender completamente los dedos, especialmente para el gesto de *mano abierta*. Aprecio positivamente la retroalimentación auditiva tras cada acción y propuso flexibilizar ligeramente los requisitos de extensión para facilitar el uso a personas con rigidez articular.
- **Usuario 3 (80 años):** Presentó algunas dificultades iniciales para mantener los gestos estables durante los cinco segundos requeridos, debido a su movilidad limitada. Tras pequeños ajustes en la posición de la mano, el sistema logró reconocer correctamente sus gestos. Valoró positivamente la sencillez general de la interfaz, aunque señaló que el texto de los menús resultaba pequeño y difícil de leer. Asimismo, consideró confuso el proceso de navegación entre menús y submenús, sugiriendo que además de la ayuda gestual por voz, las instrucciones sobre cómo interactuar deberían estar visibles permanentemente en pantalla en forma de texto. Insistió

también en la necesidad de incorporar retroalimentación auditiva al cambiar entre opciones del menú, para mejorar la orientación durante la interacción.

- **Usuario 4 (20 años, dedo fracturado):** A pesar de la limitación en uno de sus dedos, el sistema detectó correctamente todos sus gestos, demostrando una buena tolerancia ante deformaciones o movimientos incompletos. Señaló que la detección era robusta incluso con movimientos limitados y propuso que en futuras versiones se permita ajustar el tiempo de confirmación de los gestos para adaptarse mejor a las capacidades de cada usuario.

### 1.2.2. Conclusiones preliminares

Los resultados de esta evaluación preliminar muestran que el prototipo es funcional, accesible e intuitivo para perfiles de usuario diversos, incluyendo adultos mayores y personas con limitaciones físicas parciales. La detección de gestos se comportó de manera fiable en condiciones de buena iluminación, y la interfaz gráfica resultó clara y comprensible sin necesidad de formación previa extensa.

Sin embargo, también se identificaron algunas áreas de mejora relevantes:

- La falta de **retroalimentación auditiva** al acceder a submenús generó cierta confusión en varios usuarios, lo que sugiere la necesidad de añadir mensajes de voz que acompañen los cambios de contexto dentro del menú.
- La exigencia de mantener los dedos totalmente estirados para algunos gestos, como la *mano abierta*, puede suponer una barrera para personas con movilidad reducida severa. Sería recomendable **flexibilizar el umbral de detección** o incorporar mecanismos de calibración personalizados que adapten la sensibilidad del sistema a las capacidades de cada usuario.
- Se observó que, en algunas ocasiones, si la luz ambiental disminuía bruscamente —por ejemplo, al apagarse la luz de la sala—, la imagen de la cámara se oscurecía demasiado, lo que impedía la correcta detección de gestos. Este aspecto resalta la importancia de **asegurar una iluminación mínima** o de desarrollar estrategias de compensación automática en futuras versiones del sistema.
- El participante de 80 años manifestó que la estructura de navegación mediante menús y submenús le resultaba algo confusa, ya que requería varios pasos para completar una acción simple. A partir de esta observación, se propuso como mejora que la ayuda gestual que actualmente se proporciona mediante voz pudiera también mostrarse de forma permanente en pantalla en formato de texto, de manera que los usuarios pudieran consultar en todo momento qué gestos realizar.
- Asimismo, se detectó que el **tamaño del texto** en el menú y submenús podría resultar insuficiente para personas con dificultades visuales, especialmente en edades avanzadas, recomendándose **aumentar la tipografía** y mejorar el contraste visual de la interfaz.
- Finalmente, varios usuarios apuntaron que el hecho de tener que entrar en submenús para acciones básicas, como subir o bajar la silla, podría simplificarse. Se sugirió que

estas acciones fueran más directas, por ejemplo, permitiendo que el movimiento de la silla se mantuviera activo durante el gesto, sin necesidad de navegar a subopciones específicas.

En conjunto, los hallazgos obtenidos constituyen una base sólida para orientar el desarrollo de una versión mejorada de GEMA, con un diseño más adaptativo y simplificado, así como para planificar futuras evaluaciones formales en entornos de asistencia real, con una muestra de usuarios más amplia y protocolos de validación más estructurados.

## 2. Memoria del proyecto

### 2.1. Título, Acrónimo y Resumen

**Título:** *GEMA – Gestos para la Emergencia y Movilidad Asistida*

#### Resumen:

Las personas con movilidad reducida se enfrentan a importantes barreras para interactuar con su entorno, debido a la falta de soluciones accesibles, asequibles y adaptables. El proyecto GEMA tiene como objetivo desarrollar un sistema de asistencia que permita ejecutar acciones esenciales —como pedir ayuda o controlar dispositivos— mediante gestos de la mano o movimiento ocular, utilizando únicamente cámaras convencionales y sin necesidad de contacto físico. Para lograrlo, se ha adoptado una metodología basada en Design Science Research (DSR), que permite abordar el diseño, desarrollo y validación de artefactos tecnológicos orientados a resolver problemas reales. Esta metodología ha guiado todas las fases del proyecto: desde la identificación de necesidades, pasando por la definición de requisitos, hasta el diseño, implementación y evaluación del sistema en contextos reales de uso.

Se espera que GEMA permita reconocer gestos y patrones de mirada en tiempo real, activar dispositivos del entorno y enviar notificaciones al cuidador, proporcionando una experiencia de uso accesible, precisa y adaptable. Además, busca validarse en entornos reales mediante pruebas piloto. En conclusión, GEMA se plantea como una solución innovadora, económica y centrada en el usuario, orientada a mejorar la autonomía y calidad de vida de personas con movilidad reducida.



Figura 9: Prototipo de GEMA capturando gestos manuales con cámara estándar.

### 2.2. Antecedentes y estado actual del tema

En los últimos años, el desarrollo de sistemas de asistencia basados en gestos manuales y movimiento ocular ha avanzado significativamente, impulsado por la necesidad de proporcionar medios de interacción accesibles a personas con movilidad reducida. Sin em-

bargo, todavía persisten carencias que justifican la propuesta de soluciones innovadoras como el proyecto GEMA.

### 2.2.1. Tecnologías existentes de asistencia mediante gestos y mirada

Los sistemas de control basados en **movimiento ocular** (*eye-tracking*) han alcanzado en los últimos años un grado de madurez considerable. Dispositivos como el *Eyegaze Edge* o la serie *Tobii Dynavox I-Series* permiten a personas con parálisis severa o enfermedades neurodegenerativas controlar ordenadores, comunicarse de forma alternativa o interactuar con su entorno utilizando únicamente la mirada [1, 2]. Estos dispositivos funcionan mediante cámaras de alta resolución combinadas con emisores infrarrojos que rastrean con precisión la posición de las pupilas en relación a una pantalla. El usuario puede seleccionar iconos, escribir mensajes o activar sistemas domóticos simplemente fijando su mirada. No obstante, a pesar de sus beneficios, estas soluciones presentan ciertas limitaciones: su elevado coste, que puede oscilar entre varios miles de euros, la necesidad de calibraciones frecuentes para mantener su precisión, y la dependencia de condiciones de iluminación relativamente estables, lo que dificulta su adopción masiva en contextos domésticos [3].

En paralelo, los sistemas de **control por gestos corporales** han evolucionado significativamente gracias al desarrollo de cámaras de profundidad como la *Microsoft Kinect* o la *Intel RealSense*. Estos dispositivos permiten reconocer movimientos de las extremidades superiores o del cuerpo completo para controlar aplicaciones, robots o elementos del hogar [4, 5]. Sin embargo, el uso de cámaras de profundidad implica una cierta complejidad técnica y restricciones ambientales, como la necesidad de espacio suficiente y una correcta calibración del entorno, lo que puede limitar su implementación en espacios reducidos o desordenados.

Más recientemente, se han popularizado soluciones que utilizan únicamente **cámaras RGB convencionales** para el reconocimiento de gestos, sin necesidad de hardware especializado. Algunas de estas soluciones también permiten el control mediante movimientos faciales y oculares, utilizando la cámara frontal de dispositivos móviles [6]. Estas soluciones hacen que más personas puedan usar el control por gestos, ya que no necesitan dispositivos especiales. Sin embargo, aún tienen problemas como fallos en la detección cuando hay poca luz, diferencias entre usuarios, movimientos involuntarios o cansancio tras un uso prolongado.

### 2.2.2. Tendencias recientes en investigación

La investigación académica ha buscado solventar estas limitaciones en los últimos años. En el ámbito ocular, se ha trabajado intensamente en mejorar la robustez del seguimiento de mirada ante factores que tradicionalmente afectan su precisión, como el uso de gafas, las variaciones bruscas de iluminación o los micro-movimientos involuntarios de la cabeza. Para ello, se han explorado combinaciones de sistemas tradicionales de *eye-tracking* con señales de electrooculografía (EOG) para incrementar la fiabilidad en situaciones no controladas [7]. Asimismo, técnicas de aprendizaje profundo están siendo aplicadas para filtrar movimientos no intencionados y reconstruir trayectorias de mirada más estables en tiempo real [8].

En el ámbito del control gestual, se han propuesto soluciones basadas en hardware de bajo coste, como la Raspberry Pi combinada con cámaras web estándar, capaces de detectar gestos sencillos mediante algoritmos de visión por computador [9]. Estos enfoques democratizan el acceso a tecnologías de asistencia, reduciendo los requisitos de infraestructura, aunque siguen enfrentándose a retos como la necesidad de gestos amplios para una detección fiable y la pérdida de precisión en entornos visualmente complejos o poco iluminados.

Una tendencia emergente especialmente relevante es el diseño de interfaces multimodales adaptativas, que combinan mirada, gestos de cabeza, movimientos faciales y señales vocales para aumentar la flexibilidad del sistema [10, 11]. Estas interfaces permiten que el usuario seleccione dinámicamente la modalidad de interacción que mejor se ajuste a sus capacidades funcionales en cada momento, ofreciendo mayor accesibilidad a personas con discapacidades motoras heterogéneas o variables a lo largo del tiempo.

Otra línea de trabajo destacada es el desarrollo de modelos de interacción predictiva basados en inteligencia artificial, que no sólo detectan la acción realizada, sino que anticipan la intención del usuario mediante el análisis del contexto visual y patrones de comportamiento previos [12]. Este enfoque busca reducir el esfuerzo cognitivo requerido para interactuar, haciendo los sistemas más naturales y eficientes.

Finalmente, se observa un interés creciente por incorporar retroalimentación multisensorial (auditiva, háptica y visual) en las interfaces, con el fin de reforzar la comunicación del sistema hacia el usuario, mejorar la comprensión de los estados del dispositivo y aumentar la confianza durante su utilización [13].

### 2.2.3. Carencias identificadas

A pesar de los avances recientes en tecnologías de asistencia ocular y gestual, persisten carencias significativas que limitan su adopción generalizada y su efectividad en contextos de uso real:

- **Accesibilidad económica:** La mayoría de los sistemas comerciales de eye-tracking, como los dispositivos de Tobii o Irisbond, siguen teniendo costes elevados, que oscilan entre los \$2000 y los \$15000, lo que restringe su disponibilidad a una minoría de usuarios o instituciones con financiación específica [3]. Esta barrera económica impide que muchas personas que podrían beneficiarse de estas tecnologías puedan acceder a ellas.
- **Facilidad de uso y usabilidad:** Muchos sistemas requieren procedimientos de calibración inicial complejos, precisan condiciones de instalación controladas o demandan gestos físicamente exigentes (como mantener los dedos completamente estirados o la cabeza fija durante largos períodos) [14]. Esto dificulta su utilización por parte de personas con discapacidades severas, fluctuantes o progresivas.
- **Fiabilidad en entornos reales:** La variabilidad de las condiciones ambientales, como cambios en la iluminación, fondos visualmente saturados o posturas inusuales del usuario, sigue afectando de manera significativa a la precisión de los sistemas [8, 5]. Muchos prototipos muestran un rendimiento excelente en laboratorio, pero se degradan notablemente en escenarios domésticos o clínicos reales.

- **Flexibilidad limitada y falta de adaptación:** La mayoría de las soluciones existentes están centradas en una única modalidad de interacción (mirada o gesto) y no permiten adaptarse dinámicamente a las capacidades cambiantes del usuario [11]. Esto es especialmente problemático en colectivos donde la condición física puede variar día a día, como en enfermedades degenerativas o situaciones postoperatorias.

Estas carencias evidencian la necesidad de desarrollar nuevas soluciones que sean accesibles, robustas, flexibles y centradas en el usuario desde su concepción.

#### 2.2.4. Justificación del proyecto GEMA

Este proyecto surge precisamente como respuesta a las limitaciones detectadas en las tecnologías de asistencia actuales, proponiendo un enfoque innovador basado en cuatro pilares fundamentales:

- **Accesibilidad económica:** GEMA está diseñado para funcionar con hardware convencional de bajo coste, como cámaras web estándar y ordenadores personales, eliminando la necesidad de equipamiento especializado costoso. Esto lo hace accesible a una base de usuarios mucho más amplia, incluyendo entornos domésticos de bajos recursos y centros asistenciales con presupuestos limitados.
- **Facilidad de uso:** La aplicación minimizará la necesidad de calibraciones complejas, mediante interfaces intuitivas y gestos naturales que requieran poco esfuerzo. Además, incluirá mecanismos de configuración automática y ajustes predefinidos que faciliten la adaptación a distintos perfiles de usuario.
- **Fiabilidad adaptativa en entornos reales:** GEMA utilizará métodos de procesamiento de imagen que funcionen bien incluso cuando las condiciones no son ideales, como cuando hay poca luz, el fondo es complicado o la mano o la cabeza están en posiciones poco habituales.
- **Multimodalidad flexible:** El sistema permitirá al usuario alternar entre control gestual y control ocular, seleccionando dinámicamente la modalidad que mejor se ajuste a sus capacidades funcionales en cada momento. Esto aumenta la flexibilidad, mejora la experiencia de usuario y garantiza una mayor autonomía ante fluctuaciones en el estado físico del usuario.

GEMA aporta una solución original e innovadora al campo de las tecnologías asistencia, al combinar en un único sistema el control gestual y ocular utilizando únicamente cámaras convencionales, sin necesidad de dispositivos costosos ni sensores especializados. A diferencia de otras propuestas existentes, GEMA ha sido diseñado específicamente para adaptarse a diferentes niveles de movilidad, permitiendo que cada persona utilice la forma de control que mejor se ajuste a sus capacidades en cada momento.

Además, GEMA destaca por su enfoque práctico y realista: funciona en condiciones no controladas (como variaciones de luz o posturas inusuales), es fácil de configurar y utilizar, y puede integrarse en el hogar o en entornos clínicos sin requerir conocimientos técnicos. Su diseño centrado en la accesibilidad, la flexibilidad y el bajo coste lo convierte en una herramienta con alto potencial de impacto social, facilitando la autonomía de personas con movilidad reducida y promoviendo su participación activa en la vida diaria.

## 2.3. Objetivos generales y específicos

### Objetivo general

Diseñar y desarrollar un sistema inteligente de asistencia mediante interacción gestual y ocular que permita a personas con movilidad reducida realizar acciones cotidianas en entornos hospitalarios o domiciliarios (como solicitar ayuda, controlar la iluminación o ajustar una cama), mediante gestos sutiles captados por visión por computador, mejorando su autonomía, seguridad y calidad de vida.

### Objetivos específicos

- Definir un vocabulario de gestos manuales y patrones oculares accesibles, adaptados a diferentes grados de movilidad reducida.
- Implementar un sistema robusto de detección de gestos de mano y de control ocular, basado en visión por computador, utilizando cámaras convencionales sin necesidad de sensores físicos adicionales.
- Diseñar una interfaz accesible y multiplataforma que permita la interacción sencilla mediante el vocabulario gestual y ocular definido.
- Incorporar un sistema de gestión de usuarios y notificaciones en tiempo real, permitiendo a cuidadores o familiares recibir alertas y consultar el historial de interacciones del usuario.
- Habilitar la interacción directa con dispositivos físicos del entorno, de manera que las acciones reconocidas mediante gestos o mirada se traduzcan en órdenes automáticas para controlar luces, camillas u otros elementos asistenciales.
- Evaluar la eficacia, usabilidad y aceptación del sistema con usuarios reales en contextos controlados y reales, aplicando metodologías de evaluación participativa y recopilando métricas de rendimiento, ergonomía y satisfacción.
- Documentar y difundir los resultados del proyecto, incluyendo el código, las metodologías empleadas y las guías de uso, para fomentar la reproducibilidad y la adopción en contextos clínicos, educativos y sociales.

## 2.4. Metodología

El desarrollo del sistema GEMA — Gestos para la Emergencia y Movilidad Asistida — se basará en la **metodología Design Science Research (DSR)**, un enfoque ampliamente utilizado en ingeniería y ciencias computacionales para crear y evaluar soluciones tecnológicas ante problemas del mundo real. DSR es especialmente adecuada para proyectos orientados a la innovación y al diseño de artefactos funcionales, como el sistema GEMA, que busca mejorar la interacción de personas con movilidad reducida mediante gestos y control ocular.

A diferencia de metodologías centradas únicamente en la gestión de tareas, DSR proporciona una estructura investigadora completa, que abarca desde la identificación del problema hasta la validación del artefacto en contextos reales, promoviendo tanto la generación de conocimiento como el desarrollo práctico.

### **Fase 1: Identificación del problema y motivación**

Esta fase tiene como objetivo comprender en profundidad el contexto de uso del sistema GEMA. Se analizarán las barreras de accesibilidad existentes en sistemas tecnológicos de asistencia, especialmente en aquellos que implican interacción mediante gestos o mirada. La motivación del proyecto se fundamenta en la necesidad real de soluciones inclusivas que puedan ser utilizadas por personas con movilidad reducida en entornos hospitalarios o domiciliarios. Esta fase incluye:

- Una revisión exhaustiva del estado del arte en interacción gestual y ocular.
- La identificación de soluciones actuales, sus limitaciones y retos.

El resultado principal será un diagnóstico claro del problema y la justificación del desarrollo del sistema GEMA como respuesta innovadora.

### **Fase 2: Definición de objetivos y requisitos de solución**

A partir del diagnóstico inicial, se establecerán los objetivos que deberá cumplir el sistema. Se definirán los requisitos técnicos, de accesibilidad y de usabilidad, que guiarán la construcción del artefacto. Esta fase incluye:

- La especificación de los gestos manuales y patrones oculares más adecuados.
- Criterios de diseño accesible y adaptativo.
- Requisitos de interoperabilidad con dispositivos físicos del entorno.

### **Fase 3: Diseño y desarrollo del artefacto**

En esta fase se construirá el sistema GEMA mediante un enfoque modular. El desarrollo se dividirá en bloques funcionales alineados con las tareas descritas en el cronograma: implementación del reconocimiento gestual con MediaPipe, desarrollo del control ocular mediante parpadeo y seguimiento de mirada, integración de ambos modos en una interfaz accesible, conexión con dispositivos físicos (luces, camilla), base de datos de usuarios, y app móvil para cuidadores.

Cada componente se diseñará de forma coherente con los requisitos previamente definidos, aplicando buenas prácticas de ingeniería de software y principios de diseño centrado en el usuario. Se realizarán pruebas internas por módulo antes de avanzar a la integración completa.

#### **Fase 4: Evaluación del artefacto en contexto real**

Una vez desarrollado el sistema completo, se ejecutará una fase de evaluación empírica con usuarios reales. Se realizarán pruebas piloto tanto en entornos hospitalarios como domiciliarios, bajo supervisión de profesionales sociosanitarios. Esta evaluación se centrará en:

- Verificar el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto.
- Medir la precisión de detección de gestos y movimientos oculares.
- Evaluar los tiempos de respuesta y la estabilidad del sistema.
- Recoger opiniones sobre accesibilidad, ergonomía y satisfacción de uso.

Los datos obtenidos permitirán aplicar ajustes y mejoras iterativas sobre el sistema, cerrando el ciclo de retroalimentación que caracteriza a DSR.

#### **Fase 5: Comunicación, despliegue y sostenibilidad**

Tras la evaluación y mejora del artefacto, se desarrollarán los materiales necesarios para su adopción y sostenibilidad en contextos reales. Esto incluirá:

- Documentación técnica y manuales de usuario accesibles.
- Materiales didácticos para formación de cuidadores y personal técnico.
- Un plan de despliegue inicial en centros piloto seleccionados.
- Un plan de soporte técnico y mantenimiento.

Finalmente, se documentará el conocimiento generado a lo largo del proceso, contribuyendo a la comunidad científica y tecnológica mediante la publicación de resultados y buenas prácticas.

Este enfoque se alinea plenamente con el plan de trabajo y cronograma detallado en la siguiente sección, en el que cada actividad contribuye al avance de las fases de DSR, garantizando coherencia metodológica y rigurosidad científica.

### **2.5. Plan de trabajo y cronograma**

El plan de trabajo del sistema ha sido diseñado para garantizar la trazabilidad directa entre los objetivos generales y específicos planteados y las actividades ejecutadas. Cada actividad y tarea ha sido cuidadosamente definida para contribuir a la consecución de resultados concretos en términos de accesibilidad, funcionalidad, validación práctica y escalabilidad del sistema.

El trabajo se organiza en **actividades, tareas y subtareas**, siguiendo el enfoque estructurado de la metodología **Design Science Research (DSR)**.

<b>ACTIVIDADES</b>	
<b>Actividad 1. Investigación inicial y definición de requisitos</b>	
Tarea 1.1: Estado del arte	Subtarea 1.1.1: Búsqueda de literatura Subtarea 1.1.2: Análisis de soluciones existentes
Tarea 1.2: Definición de gestos y mirada	Subtarea 1.2.1: Selección de gestos Subtarea 1.2.2: Definición de patrones oculares
<b>Actividad 2. Desarrollo del sistema de interacción gestual y ocular</b>	
Tarea 2.1: Implementación de gestos	Subtarea 2.1.1: Desarrollo con MediaPipe Subtarea 2.1.2: Ajuste de sensibilidad
Tarea 2.2: Implementación ocular	Subtarea 2.2.1: Exploración y selección de técnicas de control ocular Subtarea 2.2.2: Desarrollo del módulo de control ocular
Tarea 2.3: Integración de módulos	Subtarea 2.3.1: Adaptación de interfaz Subtarea 2.3.2: Retroalimentación visual y sonora
Tarea 2.4: Activación de dispositivos físicos	Subtarea 2.4.1: Diseño del protocolo de comunicación con dispositivos Subtarea 2.4.2: Implementación de encendido/apagado de luz y ajuste de camilla Subtarea 2.4.3: Pruebas de funcionamiento de los dispositivos conectados
<b>Actividad 3. Plataforma de gestión de usuarios y comunicación remota</b>	
Tarea 3.1: Base de datos de usuarios	Subtarea 3.1.1: Modelado de datos Subtarea 3.1.2: Sistema de asignación de ID a usuarios
Tarea 3.2: App para cuidadores	Subtarea 3.2.1: Desarrollo de app multiplataforma Subtarea 3.2.2: Implementación de sistema de notificaciones y visualización de historial
<b>Actividad 4. Evaluación y validación en entornos reales</b>	
Tarea 4.1: Pruebas piloto	Subtarea 4.1.1: Coordinación de pruebas Subtarea 4.1.2: Instalación y testeo
Tarea 4.2: Análisis de resultados	Subtarea 4.2.1: Recogida de métricas Subtarea 4.2.2: Análisis y mejoras iterativas
<b>Actividad 5. Despliegue, documentación y formación</b>	
Tarea 5.1: Documentación y formación	Subtarea 5.1.1: Generación de documentación técnica y guía de uso Subtarea 5.1.2: Formación a cuidadores y personal médico
Tarea 5.2: Despliegue y soporte	Subtarea 5.2.1: Estrategia de despliegue progresivo en centros Subtarea 5.2.2: Plan de mantenimiento y soporte

Tabla 1: Plan de trabajo completo: actividades, tareas y subtareas

A continuación se detallan las fichas de planificación correspondientes a cada tarea

principal, indicando responsable, duración, objetivos, subtareas y resultados esperados.

ACTIVIDAD 1	TAREA 1.1	Estado del arte
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 1 mes	
<b>Participan:</b> Especialista externo en búsqueda tecnológica y revisión de literatura		
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí		
<b>Objetivo de la actividad:</b> Realizar una revisión exhaustiva y crítica de la literatura científica y tecnológica existente en el ámbito del control gestual y ocular aplicados a la asistencia de personas con movilidad reducida. Esta tarea tiene como fin identificar las tendencias actuales, las principales soluciones comerciales y académicas, sus limitaciones técnicas y de accesibilidad, y las oportunidades de innovación que justifican el desarrollo del sistema GEMA. El análisis permitirá sentar una base sólida para definir los requisitos funcionales y no funcionales del proyecto.		
<b>Subtareas:</b> Subtarea 1.1.1: Búsqueda de literatura Subtarea 1.1.2: Análisis de soluciones existentes		
<b>Resultados:</b> Informe detallado del estado del arte, recogiendo tendencias recientes, barreras de accesibilidad, carencias técnicas y requisitos preliminares que orientarán el diseño y desarrollo del sistema GEMA durante todo el proyecto.		

Tabla 2: Ficha de planificación: Actividad 1, Tarea 1.1

ACTIVIDAD 1	TAREA 1.2	Definición de gestos y mirada
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 1 mes	
<b>Participan:</b> Especialista en accesibilidad		
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí		
<b>Objetivo de la actividad:</b> Definir un conjunto de gestos manuales y patrones de control ocular que sean accesibles, ergonómicos y adecuados para distintos perfiles de usuarios con movilidad reducida, garantizando su viabilidad técnica y facilidad de ejecución.		
<b>Subtareas:</b> Subtarea 1.2.1: Selección de gestos Subtarea 1.2.2: Definición de patrones oculares		
<b>Resultados:</b> Listado validado de gestos de mano y patrones de mirada, optimizados para su implementación práctica en GEMA, considerando factores de accesibilidad, robustez de detección y comodidad para el usuario.		

Tabla 3: Ficha de planificación: Actividad 1, Tarea 1.2

<b>ACTIVIDAD 2 TAREA 2.1 Implementación de gestos</b>	
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 2 meses
<b>Participan:</b> Especialista en visión por computador	
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí	
<b>Objetivo de la actividad:</b>	
Desarrollar un módulo de reconocimiento de gestos manuales en tiempo real utilizando técnicas de visión por computador y la librería MediaPipe, adaptado a usuarios con movilidad reducida.	
<b>Subtareas:</b>	
Subtarea 2.1.1: Desarrollo con MediaPipe	
Subtarea 2.1.2: Ajuste sensibilidad	
<b>Resultados:</b>	
Motor de reconocimiento de gestos manuales en tiempo real, capaz de identificar gestos predefinidos de forma fluida y configurable. Este componente constituirá el núcleo de la interacción gestual en GEMA, asegurando robustez y facilidad de uso.	

Tabla 4: Ficha de planificación: Actividad 2, Tarea 2.1

<b>ACTIVIDAD 2 TAREA 2.2 Implementación ocular</b>	
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 2 meses
<b>Participan:</b> Especialista en eye-tracking y accesibilidad	
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí	
<b>Objetivo de la actividad:</b>	
Diseñar y desarrollar un sistema de control ocular basado en parpadeo y seguimiento de mirada, usando cámaras convencionales. Este módulo permitirá a los usuarios ejecutar acciones sin intervención manual, favoreciendo la accesibilidad para personas con movilidad reducida.	
<b>Subtareas:</b>	
Subtarea 2.2.1: Exploración y selección de técnicas de control ocular	
Subtarea 2.2.2: Desarrollo del módulo de control ocular	
<b>Resultados:</b>	
Módulo funcional de control ocular basado en detección de parpadeo y seguimiento de mirada, que se integrará con la plataforma GEMA y permitirá ejecutar acciones básicas sin intervención manual. El sistema estará diseñado para operar en tiempo real con cámaras estándar.	

Tabla 5: Ficha de planificación: Actividad 2, Tarea 2.2

<b>ACTIVIDAD 2 TAREA 2.3 Integración de módulos</b>	
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 1 mes
<b>Participan:</b> Especialista en accesibilidad e interfaces	
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí	
<b>Objetivo de la actividad:</b>	
Integrar los módulos de control gestual y ocular en una única interfaz gráfica accesible, asegurando la coherencia visual, la fluidez en la interacción multimodal y la retroalimentación inmediata, orientada a usuarios con diversidad funcional.	
<b>Subtareas:</b>	
Subtarea 2.3.1: Adaptación de la interfaz	
Subtarea 2.3.2: Retroalimentación visual y auditiva	
<b>Resultados:</b>	
Sistema unificado que integra el control gestual y ocular en una interfaz accesible, con retroalimentación visual y sonora adaptada. Permitirá la navegación fluida y el uso combinado de diferentes modos de interacción en GEMA.	

Tabla 6: Ficha de planificación: Actividad 2, Tarea 2.3

<b>ACTIVIDAD 2 TAREA 2.4 Activación de dispositivos físicos</b>	
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 2 meses
<b>Participan:</b> Especialista en IoT y automatización doméstica	
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí	
<b>Objetivo de la actividad:</b>	
Desarrollar un módulo que traduzca las órdenes de usuario detectadas (a través de gestos o mirada) en activaciones reales sobre dispositivos físicos del entorno, utilizando comunicación inalámbrica mediante protocolos como WiFi, MQTT o HTTP, e integrando hardware de bajo coste (ESP32, relés inteligentes).	
<b>Subtareas:</b>	
Subtarea 2.4.1: Diseño del protocolo de comunicación con dispositivos	
Subtarea 2.4.2: Implementación de acciones de encendido/apagado y control de camilla	
Subtarea 2.4.3: Pruebas de funcionamiento de los dispositivos conectados	
<b>Resultados:</b>	
Módulo funcional que conecta el sistema GEMA con dispositivos físicos reales (luz, camilla) mediante comunicación inalámbrica. Permitirá traducir gestos detectados en acciones tangibles en el entorno del usuario.	

Tabla 7: Ficha de planificación: Actividad 2, Tarea 2.4

<b>ACTIVIDAD 3 TAREA 3.1 Base de datos de usuarios</b>	
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 1 mes
<b>Participan:</b> Especialista en bases de datos y sistemas de información	
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí	
<b>Objetivo de la actividad:</b>	
Diseñar y desarrollar una base de datos eficiente que permita gestionar usuarios únicos, almacenar interacciones relevantes y mantener la vinculación entre usuarios y dispositivos de asistencia.	
<b>Subtareas:</b>	
Subtarea 3.1.1: Modelado de datos	
Subtarea 3.1.2: Sistema de asignación de ID a usuarios	
<b>Resultados:</b>	
Base de datos funcional que gestiona usuarios mediante un sistema de identificación único (ID), almacena historiales de interacción gestual y ocular, y vincula de manera eficiente cada usuario a los dispositivos asociados. Este sistema permitirá el seguimiento individualizado y seguro del uso del sistema GEMA.	

Tabla 8: Ficha de planificación: Actividad 3, Tarea 3.1

<b>ACTIVIDAD 3 TAREA 3.2 App para cuidadores</b>	
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 2 meses
<b>Participan:</b> Especialista en desarrollo móvil y accesibilidad	
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí	
<b>Objetivo de la actividad:</b>	
Desarrollar una aplicación multiplataforma para cuidadores que permita recibir notificaciones de asistencia en tiempo real, consultar históricos de eventos y monitorizar el estado de los usuarios vinculados al sistema GEMA desde dispositivos móviles o de escritorio.	
<b>Subtareas:</b>	
Subtarea 3.2.1: Desarrollo de app multiplataforma	
Subtarea 3.2.2: Implementación de sistema de notificaciones y visualización de historial	
<b>Resultados:</b>	
Aplicación multiplataforma funcional que permite a los cuidadores recibir alertas en tiempo real, consultar registros de interacción y monitorizar el estado de los usuarios. La app estará conectada con la base de datos central de GEMA, facilitando una supervisión remota continua y eficiente.	

Tabla 9: Ficha de planificación: Actividad 3, Tarea 3.2

<b>ACTIVIDAD 4 TAREA 4.1 Pruebas piloto</b>	
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 2 meses
<b>Participan:</b> Personal sanitario + Voluntarios	
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí	
<b>Objetivo de la actividad:</b> Realizar pruebas del sistema GEMA en contextos reales, tanto hospitalarios como domiciliarios, para validar su uso con usuarios finales.	
<b>Subtareas:</b> Subtarea 4.1.1: Coordinación de pruebas Subtarea 4.1.2: Instalación y testeo	
<b>Resultados:</b> Realización de pruebas reales en entornos hospitalarios y domiciliarios, obteniendo un informe completo que recoge observaciones de usuarios, incidencias técnicas detectadas, nivel de satisfacción y propuestas de mejora para la siguiente fase de optimización del sistema GEMA.	

Tabla 10: Ficha de planificación: Actividad 4, Tarea 4.1

<b>ACTIVIDAD 4 TAREA 4.2 Análisis de resultados</b>	
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 1 mes
<b>Participan:</b> Especialista en accesibilidad	
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí	
<b>Objetivo de la actividad:</b> Analizar métricas de uso y experiencia recogidas durante las pruebas, identificando mejoras necesarias y validando resultados.	
<b>Subtareas:</b> Subtarea 4.2.1: Recogida de métricas Subtarea 4.2.2: Análisis y mejoras iterativas	
<b>Resultados:</b> Análisis detallado de los datos recogidos en las pruebas piloto, generando un informe técnico que identifica métricas de precisión, ergonomía y usabilidad, junto con un conjunto de recomendaciones y ajustes iterativos aplicados para mejorar la fiabilidad y experiencia de usuario de GEMA.	

Tabla 11: Ficha de planificación: Actividad 4, Tarea 4.2

<b>ACTIVIDAD 5 TAREA 5.1 Documentación y formación</b>	
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 1 mes
<b>Participan:</b> Especialista en accesibilidad	
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí	
<b>Objetivo de la actividad:</b> Crear documentación técnica completa y materiales formativos que faciliten la instalación, uso y mantenimiento del sistema GEMA, garantizando su comprensión y accesibilidad para distintos perfiles de usuarios.	
<b>Subtareas:</b> Subtarea 5.1.1: Generación de documentación técnica y guía de uso Subtarea 5.1.2: Formación a cuidadores y personal médico	
<b>Resultados:</b> Documentación técnica clara y accesible (manual de usuario, guía de instalación, mantenimiento) y materiales didácticos prácticos (presentaciones, guías rápidas, recursos audiovisuales) para la formación de personas cuidadoras y personal técnico.	

Tabla 12: Ficha de planificación: Actividad 5, Tarea 5.1

<b>ACTIVIDAD 5 TAREA 5.2 Despliegue y soporte</b>	
<b>Responsable:</b> Marta de Castro Leira	<b>Duración:</b> 2 meses
<b>Participan:</b> Técnico de soporte	
<b>Subcontratación de la tarea:</b> Sí	
<b>Objetivo de la actividad:</b> Ejecutar el despliegue inicial del sistema GEMA en centros piloto seleccionados, verificar su correcto funcionamiento y establecer un plan de soporte técnico y mantenimiento a medio y largo plazo.	
<b>Subtareas:</b> Subtarea 5.2.1: Estrategia de despliegue progresivo en centros Subtarea 5.2.2: Plan de mantenimiento y soporte	
<b>Resultados:</b> Despliegue operativo del sistema en entornos reales con validación técnica en cada centro, y un plan de soporte activo que garantice la continuidad del sistema, las actualizaciones futuras y la resolución de incidencias.	

Tabla 13: Ficha de planificación: Actividad 5, Tarea 5.2

A continuación, se presenta el cronograma general de trabajo del proyecto GEMA, que muestra de forma estructurada la planificación temporal de todas las actividades y tareas previamente descritas. El cronograma ha sido elaborado utilizando un diagrama de Gantt, una herramienta gráfica especialmente útil para representar la duración, el solapamiento y la secuenciación de tareas a lo largo del tiempo.

Cada bloque de color en la figura indica el periodo estimado de ejecución de una tarea específica dentro del marco temporal del proyecto, expresado en meses (de M1 a M18). Esta representación permite identificar con claridad la distribución de cargas de trabajo, la relación temporal entre tareas dependientes y la progresión lógica desde la fase de investigación hasta el despliegue final del sistema en contextos reales.

El cronograma refleja también la naturaleza incremental del desarrollo, compatible con la metodología Design Science Research adoptada en el proyecto.

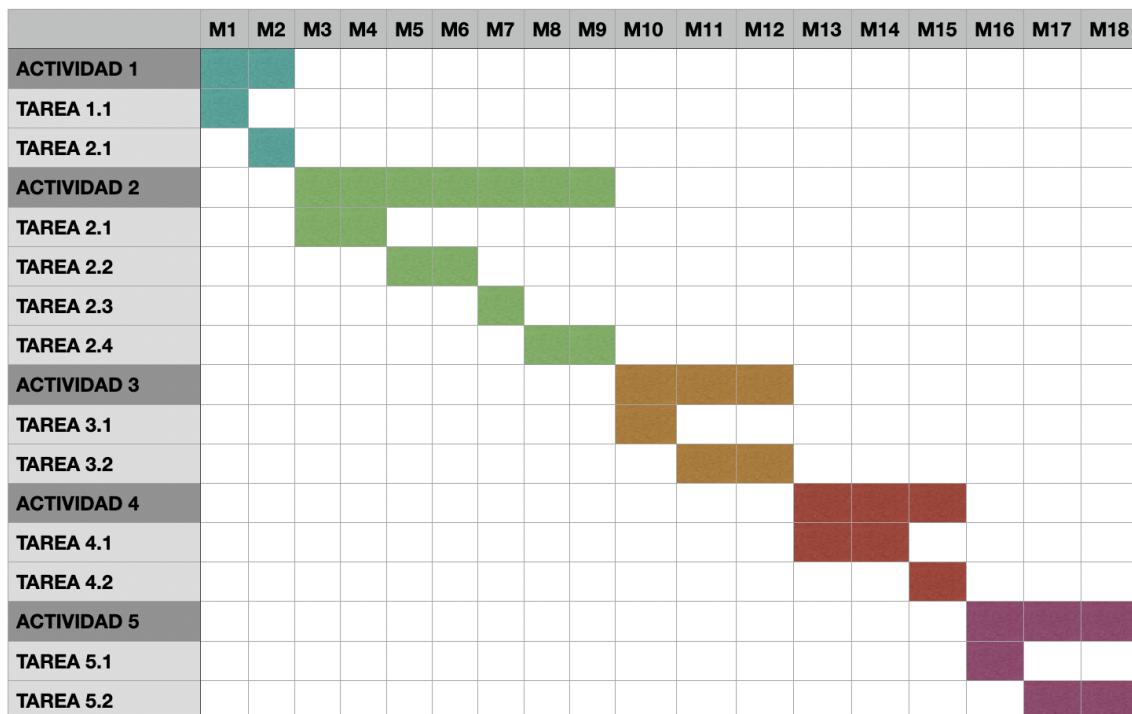


Figura 10: Cronograma general del proyecto GEMA.

## 2.6. Recursos humanos, materiales y de equipamiento

El proyecto está liderado por Marta de Castro Leira, quien asume funciones de coordinación, análisis, diseño e implementación del sistema GEMA. Sin embargo, dada la amplitud y especialización de las tareas, se ha previsto la colaboración puntual de perfiles profesionales subcontratados para cubrir áreas específicas como accesibilidad, visión por computador, eye-tracking, automatización de dispositivos físicos, soporte técnico y validación en entornos hospitalarios.

### Recursos humanos

Los perfiles necesarios a lo largo del proyecto son los siguientes:

- **Ingeniera en Informática (Marta de Castro Leira)** *Responsabilidades:* Coordinación general del proyecto, diseño de la arquitectura de GEMA, integración de

módulos, desarrollo de la base de datos y supervisión del proceso de pruebas y validaciones.

- **Especialista externo en búsqueda tecnológica y revisión de literatura** *Responsabilidades:* Realización de la revisión del estado del arte para definir las bases tecnológicas y de accesibilidad del proyecto.
- **Especialista en accesibilidad y usabilidad** *Responsabilidades:* Definición de gestos accesibles, asesoramiento en la integración de la interfaz gráfica, validación de la accesibilidad y colaboración en la documentación y formación de usuarios.
- **Especialista en visión por computador** *Responsabilidades:* Desarrollo del sistema de reconocimiento gestual mediante MediaPipe.
- **Especialista en eye-tracking** *Responsabilidades:* Desarrollo del módulo de control ocular mediante parpadeo y seguimiento de mirada usando cámaras convencionales.
- **Especialista en IoT y automatización doméstica** *Responsabilidades:* Diseño e implementación de la conexión del sistema con dispositivos físicos como luces inteligentes y camillas motorizadas.
- **Especialista en bases de datos** *Responsabilidades:* Diseño de la base de datos de usuarios y de la arquitectura de gestión de historiales de interacción.
- **Especialista en desarrollo móvil y accesibilidad** *Responsabilidades:* Desarrollo de la aplicación móvil para cuidadores, conectada a la base de datos de GEMA.
- **Personal sanitario y asistencial** *Responsabilidades:* Apoyo en la validación del sistema durante pruebas piloto en entornos hospitalarios y domiciliarios.
- **Técnico de soporte** *Responsabilidades:* Instalación, configuración y mantenimiento del sistema GEMA en los centros piloto.

La colaboración de estos perfiles mediante subcontratación permite asegurar el rigor técnico.

## Recursos materiales y de equipamiento

Para el desarrollo, pruebas y validación del sistema GEMA se requieren los siguientes recursos materiales:

- **Equipo de trabajo completo:** Varios ordenadores portátiles y de sobremesa, necesarios para las fases de programación, pruebas de prototipos, análisis de datos y gestión de la documentación.
- **Cámaras de captura:**
  - **Cámara integrada en ordenador:** utilizada en el prototipado inicial.
  - **Cámara externa RGB con alta sensibilidad en baja luz:** necesaria para capturar gestos sutiles y movimientos oculares en entornos de baja iluminación, con soporte ajustable para optimizar su colocación.

**■ Hardware de comunicación para control físico:**

- Dispositivos ESP32 o relés WiFi compatibles con MQTT o HTTP.
- Módulos de comunicación inalámbrica para interacción con dispositivos físicos (luces inteligentes, camillas motorizadas).

**■ Camilla motorizada y luces inteligentes:** Equipo de asistencia real (camilla de movilidad eléctrica) para validar la ejecución de comandos físicos como subir o bajar de forma remota mediante gestos o control ocular.**■ Software de desarrollo:**

- **Visual Studio Code** para programación general.
- **Python 3.11** y librerías especializadas (`mediapipe`, `opencv-python`, `numpy`) para visión por computador.
- **Node.js**, **React** y **Vite** para el desarrollo de la versión web de GEMA.

**■ Entorno de pruebas:** Espacio doméstico adaptado para simular condiciones de uso reales, incluyendo iluminación variable para evaluar la robustez del sistema en distintos escenarios.**■ Herramientas de planificación y documentación:**

- **Trello** para la gestión ágil de tareas y proyectos.
- **Overleaf** para la redacción técnica en LaTeX.

La adquisición de una cámara externa de calidad, los módulos de control inalámbrico y una camilla motorizada son esenciales para garantizar la validez práctica del sistema.

## Justificación de los recursos

La complejidad del proyecto GEMA —integrando visión por computador, control ocular, activación de dispositivos físicos y validación asistencial— requiere una combinación de trabajo individual especializado y colaboración puntual de perfiles externos. La selección de los recursos humanos y materiales responde a la necesidad de garantizar el éxito técnico, la viabilidad práctica y la accesibilidad universal del sistema, optimizando al mismo tiempo el coste y asegurando la sostenibilidad y el impacto social del proyecto.

### 2.7. Resultados e impacto esperado

El proyecto GEMA tiene como objetivo principal desarrollar un sistema de interacción accesible mediante gestos manuales y control ocular para personas con movilidad reducida.

## Resultados esperados

Como resultado tangible del proyecto, se prevé la obtención de un sistema completamente funcional que integre tecnologías de visión por computador para la detección en tiempo real de gestos y patrones de mirada, utilizando herramientas como MediaPipe. Este sistema estará acompañado de una interfaz gráfica accesible, diseñada para adaptarse a distintos perfiles de usuario, y conectada a una base de datos segura que permitirá la gestión individualizada de usuarios, dispositivos y registros de interacción.

Además, se desarrollará una aplicación multiplataforma destinada a cuidadores, que facilitará la supervisión remota del sistema mediante notificaciones de alerta y consulta de históricos. El conjunto estará respaldado por documentación técnica exhaustiva (manuales, guías de instalación y materiales de formación), que garantizará tanto el correcto uso del sistema como su futura escalabilidad. Por último, la validación funcional se llevará a cabo mediante pruebas piloto en entornos reales, lo que permitirá recoger métricas clave sobre la precisión del sistema, su usabilidad y la satisfacción de los usuarios finales.

## Impacto esperado

Se espera que GEMA contribuya de manera significativa en varios niveles. En primer lugar, aumentará la autonomía personal de los usuarios, al permitirles controlar su entorno sin depender continuamente de asistencia externa. En segundo lugar, promoverá la accesibilidad tecnológica, al estar basado en soluciones de bajo coste y alto potencial de replicabilidad. Su diseño modular y adaptable favorecerá además su transferibilidad a otros ámbitos como la educación especial o la rehabilitación.

## Análisis de riesgos

Durante la planificación del proyecto se han identificado diversos riesgos potenciales que podrían afectar negativamente al desarrollo y despliegue del sistema GEMA. Para cada riesgo se ha evaluado su severidad —es decir, el grado de impacto que tendría sobre el proyecto si llegara a ocurrir—, así como su probabilidad de aparición. Ambos valores se califican en una escala del 1 al 5.

El nivel de riesgo se obtiene como el producto de severidad y probabilidad. Este valor permite priorizar los riesgos según su peligrosidad: cuanto mayor sea el resultado, mayor atención requerirá. Los riesgos con valores altos se consideran críticos y deben abordarse con estrategias específicas de mitigación.

El objetivo principal de esta matriz de riesgos es anticipar problemas potenciales y planificar medidas para reducir su impacto, garantizando así la viabilidad técnica, la accesibilidad y la usabilidad del sistema. Esta planificación proactiva permite detectar y resolver posibles obstáculos antes de que afecten significativamente al desarrollo o a la experiencia de usuario final.

A continuación, se presenta una tabla con los riesgos identificados más relevantes para el sistema GEMA.

Riesgo	Severidad	Probabilidad	Nivel	Estrategia de mitigación
Baja precisión en la detección de gestos o mirada	4	4	16 (Alto riesgo)	Iteraciones de prueba, ajuste de sensibilidad y uso de bibliotecas optimizadas.
Dificultades de uso para usuarios con discapacidad severa	5	3	15 (Alto riesgo)	Diseño iterativo basado en validaciones continuas y asesoramiento de especialistas en accesibilidad.
Problemas de funcionamiento en condiciones de baja iluminación	3	4	12 (Medio riesgo)	Uso de cámaras externas sensibles a baja luz y validación en distintos entornos.
Dificultades futuras en mantenimiento y actualización del sistema	3	2	6 (Bajo)	Documentación técnica completa y diseño modular para facilitar actualizaciones y mejoras.

Tabla 14: Análisis de riesgos del proyecto GEMA

## Mecanismos de calidad

Para asegurar que el sistema GEMA cumpla con los objetivos de funcionalidad, accesibilidad y usabilidad, se implementarán varias medidas de calidad a lo largo del desarrollo del proyecto. Estas medidas permitirán detectar errores a tiempo, validar que el sistema funciona como se espera y garantizar que sea fácil de usar por personas con movilidad reducida.

Las principales estrategias de calidad serán:

- **Pruebas continuas durante el desarrollo:** Cada módulo (como el reconocimiento de gestos, el control ocular o la interfaz gráfica) será probado individualmente conforme se desarrolle. Esto permitirá detectar errores y corregirlos antes de integrar todo el sistema.
- **Evaluaciones con usuarios reales:** Una vez que el sistema esté en funcionamiento, se realizarán pruebas piloto en entornos reales (hospitalarios y domiciliarios), recogiendo opiniones, observaciones y métricas objetivas. Esto ayudará a adaptar el sistema a las necesidades reales de los usuarios finales.
- **Asesoramiento experto en accesibilidad:** Durante el diseño y validación se contará con especialistas que evaluarán la facilidad de uso del sistema para personas con distintas limitaciones funcionales, asegurando que el sistema sea realmente accesible.
- **Documentación clara y completa:** Se elaborará documentación técnica (para mantenimiento) y guías de usuario (para cuidadores y personal sanitario), asegurando que cualquier persona pueda instalar, utilizar o adaptar el sistema sin dificultad.

Estas medidas contribuirán a garantizar un resultado final de calidad, útil y sostenible, cumpliendo con los estándares esperados para soluciones tecnológicas en el ámbito de la accesibilidad y la asistencia personal.

## 2.8. Uso de IA

Durante la elaboración de esta memoria se ha utilizado de forma complementaria la herramienta de inteligencia artificial ChatGPT, desarrollada por OpenAI, con el objetivo de mejorar la redacción de ciertos apartados, aclarar conceptos técnicos y revisar la coherencia general del contenido. En concreto, se ha empleado para:

- Reformular y clarificar secciones clave del documento, como la metodología (Design Science Research), el análisis de riesgos, la planificación temporal y la descripción de tareas y subtareas técnicas.
- Corregir y mejorar la redacción de tablas de planificación, justificaciones de actividades, y explicaciones metodológicas para asegurar una presentación clara, coherente y profesional.
- Recibir sugerencias para expresar de manera más precisa conceptos como accesibilidad tecnológica, impacto social o mecanismos de calidad.
- Ayuda puntual en la depuración de errores de código y estructura del sistema, especialmente durante la implementación de módulos en Python (reconocimiento gestual, interfaz).

El uso de esta herramienta se ha centrado principalmente en ofrecer apoyo durante el proceso de redacción y presentación del informe, facilitando la estructuración clara de ideas, la mejora del estilo académico y la coherencia entre secciones. En ningún caso se ha utilizado para generar el contenido técnico del proyecto ni sustituir el trabajo intelectual y creativo propio. Todas las decisiones de diseño, implementación y desarrollo del sistema GEMA han sido realizadas por la autora.

## Referencias

- [1] LC Technologies. Eyegaze Edge, <https://eyegaze.com/>, consultado en abril de 2025.  
[Citado en pág. 13.]
- [2] Tobii Dynavox. I-Series, <https://www.tobiidynavox.com/>, consultado en abril de 2025.  
[Citado en pág. 13.]
- [3] Irisbond. Hiru Eye-Tracker, <https://www.irisbond.com/>, consultado en abril de 2025.  
[Citado en págs. 13 y 14.]
- [4] Zhang, Z. (2012). Microsoft Kinect Sensor and Its Effect. *IEEE Multimedia*, 19(2), 4–10.  
[Citado en pág. 13.]

- [5] Mitra, S., & Acharya, T. (2007). Gesture Recognition: A Survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*, 37(3), 311–324. [Citado en págs. 13 y 14.]
- [6] Apple Inc. Accesibilidad en iOS y iPadOS, <https://www.apple.com/accessibility/ios/>, consultado en abril de 2025. [Citado en pág. 13.]
- [7] Majaranta, P., & Räihä, K.-J. (2002). Twenty Years of Eye Typing: Systems and Design Issues. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 15–22. [Citado en pág. 13.]
- [8] Hansen, D. W., & Ji, Q. (2010). In the Eye of the Beholder: A Survey of Models for Eyes and Gaze. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(3), 478–500. [Citado en págs. 13 y 14.]
- [9] Sadi, M. S., & Islam, M. R. (2022). Low-Cost Gesture Controlled Wheelchair. *Journal of Rehabilitation Research*, 59(3), 263–274. [Citado en pág. 14.]
- [10] Rudigkeit, N., & Kirchner, E. A. (2019). Multimodal interaction in assistive robotics: a survey. *Frontiers in Robotics and AI*, 6, 75. [Citado en pág. 14.]
- [11] Stalljann, M., et al. (2020). Comparative Study of Multimodal Control Interfaces for Assistive Robotics. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(5), 1100–1110. [Citado en págs. 14 y 15.]
- [12] A. Martinez, J. Smith, and L. Zhao, “Predictive Intent Recognition for Assistive Interfaces: Reducing Cognitive Load in Motor-Impaired Users”, *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 54, no. 1, pp. 48-59, 2024. [Citado en pág. 14.]
- [13] E. Kim, M. Gonzalez, and T. Tanaka, “Enhancing Assistive Device Interaction through Multisensory Feedback: A User-Centered Study”, *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 39, no. 2, pp. 123–137, 2023. [Citado en pág. 14.]
- [14] Roccati, M., et al. (2021). User Challenges in Eye-Gaze Based Control Systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, 148, 102591. [Citado en pág. 14.]