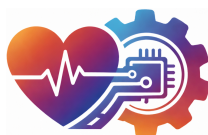




**UNIVERSIDAD
DE BURGOS**

Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería de la Salud



**TFG del Grado en Ingeniería de la
Salud**

**Sistemas alternativos de
comunicación para personas
con discapacidad
Documentación Técnica**

Presentado por Lucía Gil Aire
en Universidad de Burgos

8 de junio de 2026

Tutor: Pedro Luis Sánchez Ortega

Índice general

Índice general	i
Índice de figuras	iii
Índice de tablas	v
Apéndice A Plan de proyecto	1
A.1. Introducción	1
A.2. Metodología de ingeniería del software	2
A.3. Planificación temporal	2
Apéndice B Manual de especificación de diseño	9
B.1. Planos	9
B.2. Diseño arquitectónico	9
Apéndice C Especificación de requisitos	17
C.1. Requisitos Funcionales	17
C.2. Requisitos No Funcionales	19
C.3. Diagrama de casos de uso	20
C.4. Explicación casos de uso.	20
C.5. Prototipos de interfaz o interacción con el proyecto.	24
Apéndice D Documentación de usuario	43
D.1. Requisitos software y hardware para ejecutar el proyecto . . .	43
D.2. Instalación / Puesta en marcha	44
D.3. Manuales y/o demostraciones prácticas	45
Apéndice E Manual del desarrollador e investigador	47

E.1. Estructura de directorios	47
E.2. Diseño de clases y Modelado ORM	48
E.3. Especificación del diccionario de datos (Input Usuario)	49
E.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto	50
E.5. Pruebas del sistema	51
E.6. Instrucciones para la modificación o mejora del proyecto	51
Apéndice F Descripción de adquisición y tratamiento de datos	53
F.1. Descripción formal de los datos	53
F.2. Descripción clínica de los datos	55
F.3. Catálogo de soluciones (Base de datos)	59
Apéndice G Estudio experimental	61
G.1. Cuaderno de trabajo	61
G.2. Configuración y parametrización de las técnicas	62
G.3. Detalle de resultados	62
Apéndice H Anexo de sostenibilización curricular	65
H.1. Introducción	65
H.2. Sostenibilidad social, inclusión y análisis de cobertura lingüística	65
H.3. Sostenibilidad ética, soberanía de datos e infraestructura	66
H.4. Sostenibilidad económica y eficiencia de la inversión	67
H.5. Sostenibilidad tecnológica, autocrítica técnica y mantenibilidad	67
H.6. Reflexión final y compromiso con estándares	68
Apéndice I Registro de interacciones con sistemas de IA	69
Bibliografía	73

Índice de figuras

A.1. Planificación temporal inicial del proyecto (febrero 2026).	3
A.2. Planificación temporal final del proyecto (mayo 2026).	3
B.1. Diagrama de arquitectura de la aplicación.	10
B.2. Diagrama de flujo del algoritmo de asociación recursiva de peri- féricos.	15
C.1. Diagrama de Casos de Uso del sistema.	20
C.2. Página de inicio parte I.	24
C.3. Página de inicio parte II.	25
C.4. Página de ELA parte I.	26
C.5. Página de ELA parte II.	27
C.6. Página de SAAC parte I.	28
C.7. Página de SAAC parte II.	29
C.8. Página de SAAC parte III.	30
C.9. Base legal del cuestionario parte I.	31
C.10. Base legal del cuestionario parte II.	32
C.11. Respuesta del cuestionario parte I.	33
C.12. Respuesta del cuestionario parte II.	33
C.13. Respuesta del cuestionario parte III.	34
C.14. Respuesta del cuestionario parte IV.	35
C.15. Respuesta del cuestionario parte V.	36
C.16. Recomendación propuesta parte 1.	37
C.17. Recomendación propuesta parte 2.	38
C.18. Uso preventivo de SAAC.	39
C.19. Recomendación de voice banking.	39
C.20. Retroalimentación.	40
C.21. Mensaje de gracias por la retroalimentación.	40

C.22.Pestaña de historial.	41
E.1. Diagrama de clases UML del modelo de datos.	49

Índice de tablas

A.1. Coste real de recursos humanos según Convenio TIC.	5
A.2. Coste estimado de recursos materiales y software.	5
C.1. CU-1 Generar recomendación personalizada de SAAC.	21
C.2. CU-2 Enviar retroalimentación (Feedback) sobre la recomendación.	22
C.3. CU-3 Consultar panel de administración del historial.	23
F.1. Matriz de parametrización sistemática del catálogo de soluciones SAAC.	59
G.1. Matriz de resultados de las pruebas funcionales de caja negra.	63

Apéndice A

Plan de proyecto

A.1. Introducción

Este proyecto aborda el desarrollo de una herramienta web de apoyo a la decisión para la elección de Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC) en pacientes diagnosticados con Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA). La ELA es una enfermedad neurodegenerativa progresiva que afecta a las neuronas motoras, provocando una pérdida gradual de las capacidades motoras y, con frecuencia, del habla, lo que hace imprescindible el uso de sistemas de comunicación adaptados [Fundación Miquel Valls, 2024].

La selección de un SAAC adecuado es un proceso complejo que depende de múltiples variables clínicas extraídas habitualmente de escalas funcionales como la ALSFRS-R [Cedarbaum et al., 1999]: las capacidades funcionales del paciente, su nivel de alfabetización, el idioma, las plataformas tecnológicas disponibles y el entorno de uso. En la práctica clínica, esta decisión recae habitualmente en logopedas y terapeutas ocupacionales que deben conocer un catálogo amplio y en constante actualización de herramientas.

El objetivo del TFG es desarrollar una aplicación web que, a partir de un cuestionario, aplique un algoritmo de filtrado para proporcionar una recomendación personalizada de sistemas SAAC, periféricos y bancos de voz adaptados al perfil del paciente. Adicionalmente, la herramienta recoge feedback de los usuarios con fines de investigación y cuyo almacenado se realiza de forma anónima en cumplimiento del RGPD.

A.2. Metodología de ingeniería del software

El desarrollo de este proyecto ha seguido una metodología de carácter iterativo e incremental.

Se optó por este enfoque frente a una metodología en cascada por dos razones: Por un lado, los requisitos del sistema evolucionaron a lo largo del proyecto a medida que se fue ampliando el catálogo de sistemas SAAC y se refinó el algoritmo de filtrado. Por otro lado, la naturaleza del proyecto requería validar cada paso antes de poder avanzar al siguiente.

El desarrollo se organizó en las siguientes fases:

Fase 1: Análisis y requisitos Revisión bibliográfica sobre ELA y SAAC, definición de los requisitos funcionales del sistema, y diseño del cuestionario clínico junto con los criterios de filtrado.

Fase 2: Diseño Diseño de la arquitectura definida en el anexo C, modelado de la base de datos relacional y definición del algoritmo de filtrado.

Fase 3: Implementación Desarrollo iterativo de la aplicación Flask, construcción y rellenado de la base de datos PostgreSQL, implementación del algoritmo de filtrado y desarrollo de las plantillas Jinja2.

Fase 4: Validación Pruebas funcionales del cuestionario y del algoritmo, verificación del cumplimiento RGPD y recogida de feedback con casos reales y de prueba.

Fase 5: Documentación Redacción de la memoria y los anexos del TFG.

La principal fase que queda fuera del alcance de este TFG y que podría abordarse en un trabajo futuro es la validación clínica formal más extendida que la actual, con una muestra representativa de pacientes y profesionales.

A.3. Planificación temporal

La planificación inicial del proyecto se estableció en febrero de 2026 y se refleja en el siguiente diagrama de Gantt.



Figura A.1: Planificación temporal inicial del proyecto (febrero 2026).

La planificación seguida finalmente se establece en mayo teniendo en cuenta la evolución de *issues* del GitHub y pequeños cambios de planificación que fueron surgiendo al abordar el proyecto. Se refleja aquí:

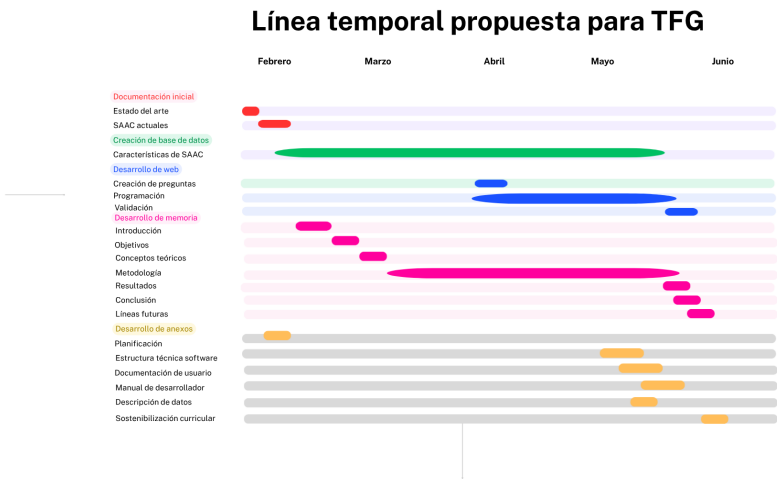


Figura A.2: Planificación temporal final del proyecto (mayo 2026).

Dicho repositorio de GitHub se puede consultar a través del siguiente enlace <https://github.com/itslxcy/Trabajo-fin-de-grado.git>

Planificación económica

A continuación se desglosan los costes reales del proyecto, calculados bajo estándares normativos del sector tecnológico y desglosados entre recursos humanos y recursos materiales.

Recursos humanos

El proyecto ha sido desarrollado por una única persona en el rol de analista, diseñadora y programadora. De acuerdo con la asignación académica del Trabajo de Fin de Grado, fijada en 15 créditos ECTS, se computa una dedicación oficial de 375 horas de trabajo autónomo.

Para dotar al presupuesto de un rigor de mercado profesional, el cálculo del precio por hora se ha fundamentado de forma estricta en las tablas salariales del XVIII Convenio Colectivo Estatal de Empresas de Consultoría, Tecnologías de la Información y Estudios de Mercado (Área 3: Programación y Gestión de Sistemas, Grupo D: Ingenieros/as Junior). [Boletín Oficial del Estado, 2023]

El cálculo detallado del coste por hora se desglosa a continuación:

- **Salario base anual de mercado:** Se toma como referencia un salario bruto de 24.000 €/año para un perfil de ingeniería de software junior en el ámbito de la salud con menos de dos años de experiencia.
- **Coste de cotización patronal:** Aplicando un 31 % en concepto de seguridad social a cargo de la empresa (según lo dispuesto en la Orden PJC/51/2024), el coste real anual para la organización asciende a 31.440 €.
- **Precio hora profesional:** Dividiendo el coste total entre la jornada laboral anual fijada por convenio (1.736 horas), resulta una tarifa horaria de **18,11 €/h** (redondeada de forma conservadora a 18 €/h).

Bajo estas premisas de ingeniería y cumplimiento normativo, el coste de la partida de personal asociado al desarrollo exclusivo de la solución web y su motor lógico es el siguiente:

Rol	Horas	Coste estimado
Analista / Desarrolladora Junior	375 h	6.750 €

Tabla A.1: Coste real de recursos humanos según Convenio TIC.

Este importe refleja el valor de mercado del esfuerzo de ingeniería necesario para implementar la lógica proposicional del sistema experto, la robustez de las consultas y la capa de seguridad web aplicada bajo estándares OWASP (Flask-Talisman).

Recursos materiales y software

Para el desarrollo de la actividad se cuantifica el coste de amortización de los equipos físicos e infraestructura lógica utilizada.

Recurso	Descripción	Coste
Ordenador portátil	Equipo de desarrollo	Amortización: 150 €
Python / Flask	Framework de desarrollo	Gratuito (<i>open source</i>)
PostgreSQL / SQLAlchemy	Persistencia y capa ORM	Gratuito (<i>open source</i>)
Visual Studio Code	Entorno de desarrollo integrado	Gratuito
TeXworks	Redacción de la memoria	Gratuito (<i>open source</i>)

Tabla A.2: Coste estimado de recursos materiales y software.

Considerando ambas partidas, el coste total de inversión del proyecto asciende a 6.900 €, donde el 97,7 % corresponde a la partida de ingeniería de software, justificando la complejidad del motor lógico de recomendación dinámico implementado.

Viabilidad legal

La herramienta desarrollada procesa datos clínicos de carácter sensible, por lo que su diseño se ha ajustado al Reglamento General de Protección de Datos (RGPD, UE 2016/679) [Unión Europea, 2016] y a la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (LOPDGDD) [Jefatura del Estado, 2018].

Las medidas adoptadas para garantizar la conformidad legal son las siguientes:

- No se almacena ningún dato de carácter personal que permita la identificación directa del paciente. Los registros de investigación se guardan de forma completamente anónima mediante un identificador autogenerado compuesto por combinaciones aleatorias de letras y números.
- El sistema requiere el consentimiento explícito del usuario para el procesamiento obligatorio de datos, sin este no se procesa el cuestionario.
- El consentimiento para el almacenamiento con fines de investigación es opcional e independiente del anterior.
- La aplicación incluye una página de información legal accesible desde el menú de navegación principal, donde se detalla la finalidad del tratamiento, las bases jurídicas, la política de conservación y los derechos del usuario.

Análisis de riesgos y limitaciones para la explotación clínica

Al tratarse de un proyecto de investigación académica con datos completamente anonimizados, el sistema opera en un entorno controlado exento de riesgos de reidentificación. No obstante, de cara a una futura transferencia tecnológica a un entorno sanitario real (como centros de salud o el Sacyl), la viabilidad legal exigiría el cumplimiento del Esquema Nacional de Seguridad [Jefatura del Estado, 2022], así como la subsanación de dos requisitos delimitados en [Unión Europea, 2016]:

1. **Evaluación de Impacto en la Protección de Datos (EIPD):** El tratamiento de datos de salud (categoría especial de datos según el Art. 9 del RGPD) a gran escala obliga a la realización de una EIPD previa

según el Art. 35 del RGPD. Este análisis formal de riesgos evaluaría el impacto del motor de recomendación sobre los derechos y libertades de los pacientes, identificando medidas de mitigación técnicas antes de cualquier despliegue.

2. **Designación de un Delegado de Protección de Datos (DPD):**
Mientras que en este TFG la supervisión y contacto recae de forma directa en el equipo investigador académico, el despliegue profesional requeriría la tutela del DPD designado legalmente por la entidad sanitaria o el hospital explotador, actuando como enlace con la Agencia Española de Protección de Datos (AEPD).

Apéndice *B*

Manual de especificación de diseño

B.1. Planos

Este proyecto es una aplicación web de software, por lo que no dispone de planos físicos de hardware ni esquemas de distribución de dispositivos.

B.2. Diseño arquitectónico

La aplicación sigue el patrón arquitectónico **MVC (Modelo-Vista-Controlador)** implementado sobre el framework Flask en Python. [Grinberg, 2018]

Modelo Gestiona la persistencia de datos mediante SQLAlchemy como ORM. El modelo de datos está compuesto por la tabla central `saac_sistema`, las tablas maestras de referencia (`tipo_entrada`, `idioma`, `plataforma`, `entorno_uso`, `metodo_comunicacion`), las tablas de relación muchos a muchos (`sistema_entrada`, `sistema_idioma`, `sistema_plataforma`, `sistema_metodo`, `sistema_entorno`, `sistema_dependencia`), la tabla de requisitos funcionales (`sistema_requisito_funcional`) y la tabla de historial anónimo (`historial_recomendacion`)

Vista Las plantillas HTML son renderizadas por el motor Jinja2. Las vistas principales son el formulario de cuestionario, la pantalla de resultados segmentada en tres bloques (sistemas finales, sistemas preventivos y bancos de voz), el formulario de feedback y el panel de administración.

Controlador La lógica de negocio reside en las rutas Flask: `/recomendar` procesa el cuestionario y ejecuta el algoritmo de filtrado clínico, `/guardar-feedback` vincula la retroalimentación del usuario con su registro en base de datos, y `/admin_historial` expone el panel de consulta para el investigador. La seguridad frente a vulnerabilidades críticas se alinea con los estándares OWASP [OWASP Foundation, 2021].

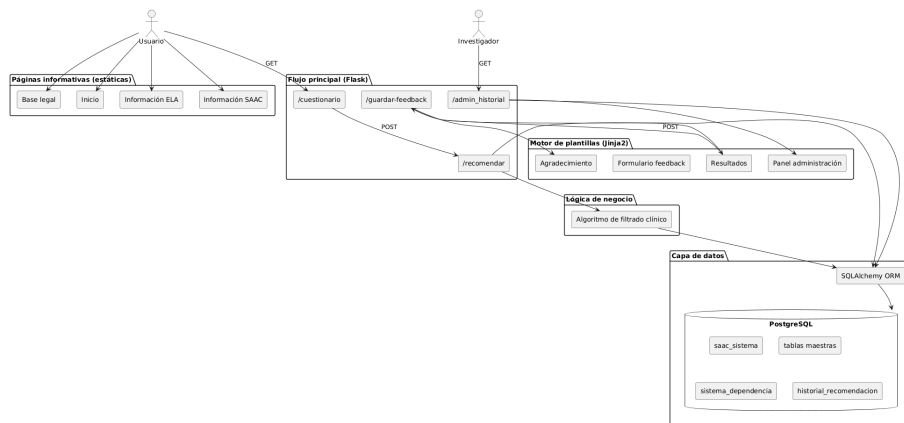


Figura B.1: Diagrama de arquitectura de la aplicación.

Diseño de vistas

La aplicación cuenta con las siguientes vistas, organizadas según su naturaleza.

Páginas informativas estáticas

Accesibles desde el menú de navegación principal, proporcionan contexto clínico y legal al usuario antes de interactuar con el cuestionario.

- Página de inicio: Presenta la naturaleza y propósito de la herramienta, los criterios utilizados para su desarrollo y las instituciones colaboradoras.
- Información sobre ELA: Explica qué es la Esclerosis Lateral Amiotrófica, sus tipos según el origen, sus fases de progresión y consideraciones sobre la preservación cognitiva. [ELA Andalucía, 2023]

- Información sobre SAAC: Describe los Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación, su clasificación según tecnología, la importancia de los sistemas escalables y aspectos sobre financiación. [Fundación Miquel Valls, 2024]
- Base legal: Detalla la finalidad del tratamiento de datos, las bases jurídicas, la política de conservación, los destinatarios de la información y los derechos del usuario en cumplimiento del RGPD. [Unión Europea, 2016]

Páginas funcionales:

Constituyen el flujo principal de interacción con el sistema.

- Cuestionario: Formulario web que recoge el perfil clínico del usuario mediante menús desplegables y botones de opción, incluyendo la casilla de consentimiento RGPD obligatorio. El diseño de la interfaz y la disposición de sus elementos sigue las directrices de accesibilidad de software para garantizar la usabilidad del sistema [International Organization for Standardization, 2010].
- Resultados: Renderiza dinámicamente la propuesta personalizada segmentada en tres bloques: sistemas finales, sistemas de uso preventivo y bancos de voz.
- Feedback: Formulario opcional para que el usuario evalúe la propuesta recibida.
- Agradecimiento: Pantalla de confirmación tras el envío del feedback.
- Panel de administración: Vista exclusiva para el investigador que lista cronológicamente todos los registros almacenados con consentimiento, diferenciando casos reales de pruebas.

Diseño de la base de datos

La base de datos relacional está compuesta por las siguientes tablas, organizadas en tres grupos funcionales.

Tablas maestras

Almacenan los valores de referencia del sistema de filtrado clínico.

tipo_entrada Métodos de entrada disponibles: manos, ojos, cabeza, voz y pulsador.

idioma Idiomas soportados: español, gallego, catalán y euskera.

plataforma Plataformas tecnológicas: Windows, iOS, Android, Web y panel físico.

entorno_uso Contextos de uso: domicilio, exterior y mixto.

metodo_comunicacion Métodos de comunicación: alfabeto y pictogramas.

Tablas principales de sistemas

saac_sistema Tabla central del catálogo. Almacena todos los sistemas, hardware y servicios recomendables, con sus atributos: nombre, descripción, si requiere interlocutor, nivel de fatiga física, portabilidad, compatibilidad con anclaje, enlace externo y categoría (sistema, hardware o servicio).

sistema_requisito_funcional Define los niveles mínimos funcionales que debe tener el usuario para poder utilizar cada sistema: nivel visual, auditivo, tecnológico y de habla, en una escala de 0 a 3.

Tablas de relación (muchos a muchos)

Vinculan cada sistema con sus características clínicas y técnicas.

sistema_entrada Relaciona cada sistema con los métodos de entrada que admite.

sistema_idioma Relaciona cada sistema con los idiomas en los que está disponible.

sistema_plataforma Relaciona cada sistema con las plataformas en las que funciona.

sistema_metodo Relaciona cada sistema con el método de comunicación que emplea.

sistema_entorno Relaciona cada sistema con los entornos de uso en los que es apto.

sistema_dependencia Define qué periféricos o hardware requiere cada sistema para funcionar, indicando además si dicho hardware es obligatorio u opcional.

Tabla de historial

historial_recomendacion Almacena de forma anónima los registros generados con consentimiento de investigación. Sus campos principales son: identificador único autogenerated (**id**), fecha del registro, perfil clínico del usuario en formato JSONB (**input_usuario**), sistemas recomendados, retroalimentación estructurada en JSON (**feedback**) e indicador booleano (**es_real**) que distingue casos clínicos reales de pruebas.

Flujo de datos

El flujo principal de la aplicación sigue estos pasos:

1. El usuario navega por las páginas informativas (inicio, ELA, SAAC y base legal) para conocer la herramienta.
2. El usuario completa el cuestionario y acepta el consentimiento RGPD.
3. El servidor recibe la petición POST en `/recomendar` y ejecuta el algoritmo de filtrado clínico.
4. Si el usuario otorgó consentimiento de investigación, el perfil se almacena de forma anónima en la base de datos.
5. Se renderiza la pantalla de resultados con los sistemas SAAC recomendados.
6. Opcionalmente, el usuario envía feedback, que queda vinculado a su registro mediante el `historial_id`.
7. El investigador puede consultar todos los registros almacenados accediendo a `/admin_historial`.

Lógica de asociación de hardware y recursividad

Para garantizar que la recomendación sea completa, el sistema no solo filtra el software principal, sino que deduce de forma recursiva los periféricos y accesorios necesarios para su funcionamiento. Esto se realiza mediante un algoritmo de búsqueda en cascada.

La lógica reside en una función recursiva que opera sobre la tabla `sistema_dependencia`. El proceso sigue los siguientes pasos:

1. **Detección de dependencia:** Por cada sistema recomendado, el algoritmo busca en la base de datos si existe hardware obligatorio asociado (ej. *Grid 3* requiere *Eye Tracker*).
2. **Filtros de viabilidad:** Antes de añadir un periférico, el sistema valida:
 - **Filtro táctil:** Si el periférico requiere uso manual (ej. *Lápiz táctil*), solo se incluye si el usuario declaró tener funcionalidad en las manos.
 - **Filtro de plataforma:** Solo se incluyen accesorios compatibles con el sistema operativo detectado o seleccionado (ej. no sugerir un *Apple Pencil* si el usuario usa *Android*).
3. **Recursión (Salto de nivel):** Una vez añadido un hardware, la función se llama a sí misma para comprobar si ese hardware necesita otro a su vez (ej. el *Eye Tracker* requiere un *Soporte de anclaje articulado*).
4. **Control de redundancia:** El sistema utiliza un conjunto de identificadores (**Set**) para evitar bucles infinitos y asegurar que cada accesorio aparezca una sola vez en la interfaz, independientemente de cuántos programas lo requieran.

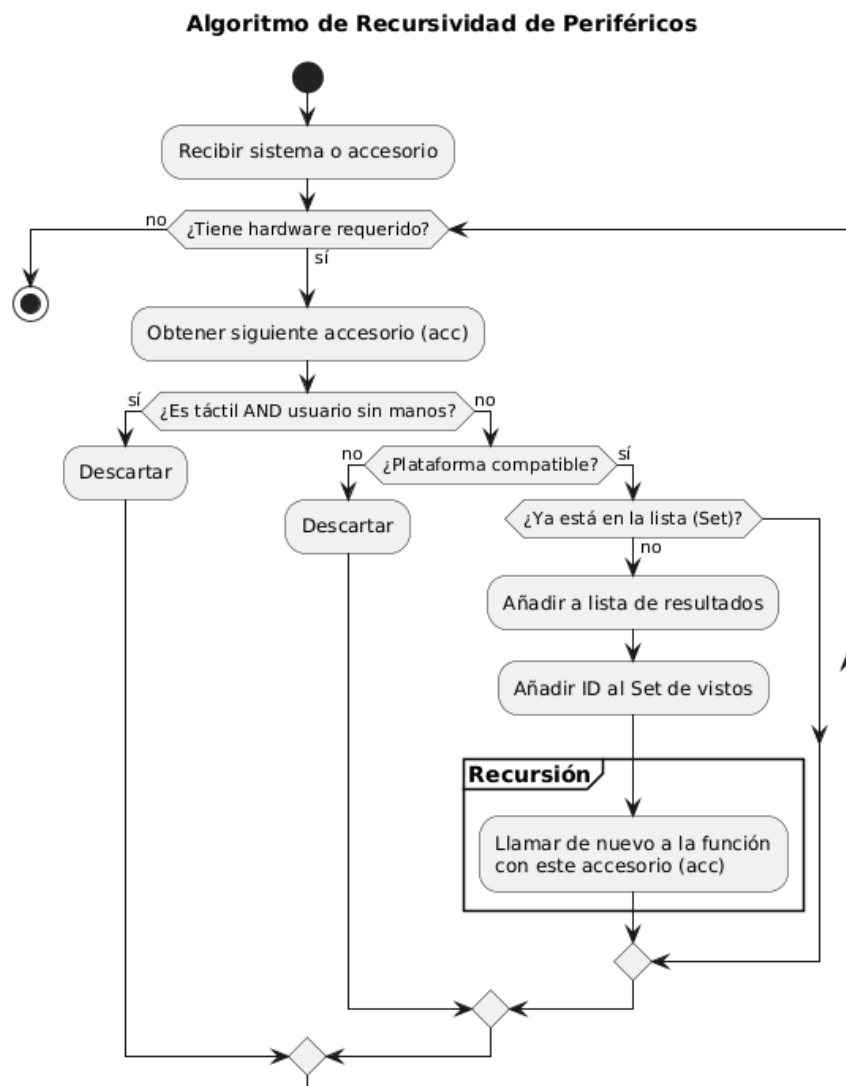


Figura B.2: Diagrama de flujo del algoritmo de asociación recursiva de periféricos.

Se puede acceder a la aplicación web desarrollada a través del siguiente enlace <https://cuestionario-tfg.onrender.com/>

Apéndice C

Especificación de requisitos

Los requisitos presentados en este documento se estructuran en Requisitos Funcionales (RF)", que describen el comportamiento y los servicios que ofrece la aplicación, y Requisitos No Funcionales (RNF)", que definen las propiedades, restricciones y cualidades de calidad del sistema, de acuerdo con las prácticas recomendadas para la especificación de requisitos de software [IEEE Computer Society, 1998].

C.1. Requisitos Funcionales

A continuación, se detallan los requisitos funcionales del sistema.

Captura de datos y filtrado clínico (Asociados a CU-1)

RF-01: Captura de perfil clínico. El sistema deberá proporcionar un formulario web que permita recabar las capacidades funcionales, el idioma, los métodos de entrada de hardware, el nivel de alfabetización, las plataformas tecnológicas preferidas y el entorno de uso del usuario.

RF-02: Algoritmo de filtrado clínico. El sistema deberá implementar un algoritmo capaz de contrastar el perfil del usuario con los requisitos de la base de datos de SAAC. Asimismo, deberá ejecutar de forma recursiva la asociación de periféricos y hardware necesario, garantizando la eliminación de duplicados de la propuesta.

RF-03: Gestión de consentimiento y cumplimiento RGPD. El sistema debe validar obligatoriamente en tiempo real que el usuario

acepte los términos de procesamiento de datos antes de enviar el cuestionario. De manera opcional, capturará el consentimiento explícito para el almacenamiento anónimo de los datos con fines de investigación [Unión Europea, 2016, Jefatura del Estado, 2018].

RF-03b: Clasificación y anonimización del registro. En caso de contar con el consentimiento de investigación, el sistema deberá almacenar de forma anónima el perfil en formato JSON dentro de la tabla de historial, asignándole un identificador único (ID) y clasificando el registro entre un caso real o uno de prueba.

RF-03c: Segmentación en la interfaz de resultados. El sistema deberá renderizar dinámicamente la plantilla de resultados organizando los elementos recomendados en tres bloques independientes: sistemas finales, sistemas preventivos y bancos de voz.

Retroalimentación y evaluación (Asociados a CU-2)

RF-04: Captura de feedback del usuario. El sistema deberá ofrecer un formulario en la pantalla de resultados para que el paciente o cuidador evalúe la propuesta. Los campos incluirán el nivel de satisfacción, el uso actual de SAAC, los motivos de cambio y comentarios cualitativos.

RF-05: Vinculación con historial mediante ORM. El sistema deberá recuperar de forma segura el identificador oculto del historial (`historial_id`) de la sesión actual, buscar el registro correspondiente en la tabla `HistorialRecomendacion` por su clave primaria y guardar las respuestas indexadas en un diccionario JSON estructurado en el campo `feedback`.

Panel de administración (Asociados a CU-3)

RF-06: Visualización cronológica de registros. El sistema dispondrá de una ruta de administración protegida (`/admin_historial`) exclusiva para el investigador, que recupere y liste de manera descendente (por ID de historial) todos los registros clínicos almacenados con consentimiento.

RF-07: Visualización de etiquetado. La interfaz del panel de administración procesará mediante el motor de plantillas cada registro, evaluando un indicador booleano (`es_real`) para recrear etiquetas visuales

que diferencien los casos de «PACIENTE REAL» frente a los de «PRUEBA».

C.2. Requisitos No Funcionales

Los requisitos no funcionales garantizan las restricciones técnicas, el rendimiento y la viabilidad del sistema.

RNF-01: Seguridad y privacidad (RGPD). El sistema debe garantizar la confidencialidad de los datos de salud conforme al RGPD y la LOPDGDD 3/2018. [Unión Europea, 2016, Jefatura del Estado, 2018]

- **Capa de tránsito:** Las comunicaciones deben estar cifradas mediante protocolo HTTPS/TLS, asegurado mediante la configuración de cabeceras HSTS y CSP a través de la librería *Flask-Talisman*, mitigando los riesgos críticos descritos en el estándar OWASP [OWASP Foundation, 2021].
- **Estrategia de persistencia (Ámbito académico vs. clínico):** Para el alcance de este TFG (prototipo), se ha implementado un modelo de **anonimización irreversible desde el origen**. El sistema no almacena direcciones IP, nombres, correos ni metadatos identificativos, cada registro se disocia mediante un identificador alfanumérico aleatorio (ej. PAC-T5NE4D). Si bien esto exime al sistema de la gestión de derechos de acceso o rectificación *a posteriori* (al amparo del Art. 11 del RGPD [Unión Europea, 2016]), se reconoce que para un entorno hospitalario real sería mandatorio sustituir este enfoque por una **pseudonimización estructurada**. Esto permitiría al personal clínico trazar y vincular de forma segura la recomendación del SAAC con la Historia Clínica Electrónica (HCE) del paciente.
- **Cifrado en reposo (Trabajo futuro):** El prototipo almacena las variables en PostgreSQL de forma directa. Para una explotación en producción dentro de un servicio de salud pública se requeriría la implementación de cifrado de datos en reposo a nivel de sistema de archivos o mediante extensiones criptográficas de la base de datos, garantizando el cumplimiento de los niveles de seguridad requeridos por el Esquema Nacional de Seguridad (ENS). [Jefatura del Estado, 2022]

RNF-02: Robustez y tolerancia a fallos.

- Si un usuario no acepta el consentimiento obligatorio, el sistema detendrá el procesamiento del cuestionario de forma segura sin romper la navegación, solicitando de nuevo la aceptación.
- Si una petición de feedback carece de un `historial_id` válido o este no existe en el sistema, la aplicación abortará el proceso de guardado y redirigirá al usuario a una pantalla genérica de agradecimiento sin mostrar errores de servidor (500).
- Si la tabla `HistorialRecomendacion` no contiene registros, el panel del administrador se renderizará vacío de forma limpia sin interrumpir la interfaz.

C.3. Diagrama de casos de uso

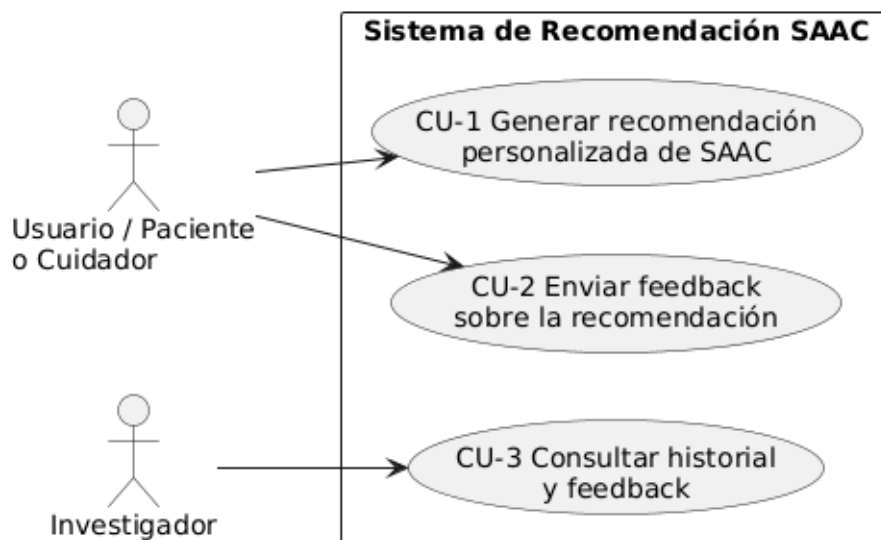


Figura C.1: Diagrama de Casos de Uso del sistema.

C.4. Explicación casos de uso.

CU-1	Generar recomendación personalizada de SAAC
Versión	1.0
Autor	Lucía Gil Aire
Requisitos asociados	RF-01, RF-02, RF-03
Descripción	El sistema procesa las capacidades funcionales, entorno y preferencias del usuario para devolver una propuesta de sistemas y periféricos, gestionando de forma segura su consentimiento legal.
Precondición	El usuario debe haber completado los campos obligatorios del formulario y marcado la casilla de aceptación de procesamiento de datos en tiempo real.
Acciones	El usuario rellena los campos del cuestionario (idioma, capacidades, métodos de entrada, etc.). El usuario envía el formulario mediante una petición POST a la ruta /recomendar. El sistema valida el consentimiento RGPD obligatorio. El algoritmo aplica el filtrado clínico en la base de datos comparando las capacidades. El sistema ejecuta la función recursiva para asociar periféricos y hardware necesario. Si hay autorización, el sistema almacena el perfil clínico en formato JSON de forma anónima. El sistema renderiza la plantilla de resultados dividiendo los sistemas recomendados.
Postcondición	Se muestra la pantalla de resultados y, si hubo consentimiento, se genera un registro en la base de datos con un ID anónimo único.
Excepciones	El usuario no marca la casilla de procesamiento obligatorio: el sistema no procesa el cuestionario y solicita la aceptación del término.
Importancia	Crítica.

Tabla C.1: CU-1 Generar recomendación personalizada de SAAC.

CU-2	Enviar retroalimentación (Feedback) sobre la recomendación
Versión	1.0
Autor	Lucía Gil Aire
Requisitos asociados	RF-04, RF-05
Descripción	El usuario (paciente o cuidador) evalúa la propuesta generada por el sistema y envía un formulario de opinión que se asocia directamente a su registro previo en la base de datos.
Precondición	El usuario debe haber generado una recomendación previamente, contar con un ID de historial (<code>historial_id</code>) activo en la sesión y encontrarse en la página de resultados.
Acciones	El usuario rellena los campos del formulario de feedback. El usuario envía el formulario mediante una petición POST a la ruta <code>/guardar-feedback</code>. El sistema recupera el identificador del historial enviado de forma oculta en el formulario. El sistema busca el registro correspondiente en la tabla <code>HistorialRecomendacion</code> por clave primaria. Si el registro existe, el sistema mapea las respuestas en un diccionario estructurado. El sistema notifica el cambio al ORM mediante la instrucción <code>flag_modified</code>. El sistema realiza el <code>db.session.commit()</code> y renderiza la plantilla de agradecimiento.
Postcondición	El campo de feedback del registro del historial se actualiza en la base de datos y se muestra la pantalla <code>gracias_feedback.html</code> .
Excepciones	El identificador del historial no se encuentra o la petición no incluye el ID: el sistema aborta el guardado de forma segura.
Importancia	Media-Alta (Crítica para el análisis de resultados del TFG).

Tabla C.2: CU-2 Enviar retroalimentación (Feedback) sobre la recomendación.

CU-3	Consultar historial y feedback de recomendaciones
Versión	1.0
Autor	Lucía Gil Aire
Requisitos asociados	RF-06, RF-07
Descripción	El investigador del proyecto accede a un panel donde se listan de forma cronológica todas las evaluaciones guardadas, diferenciando los casos de uso clínico real de las pruebas.
Precondición	Deben existir registros almacenados en la tabla de historial con el consentimiento de investigación otorgado por los usuarios.
Acciones	El investigador solicita la ruta de administración mediante una petición GET a <code>/admin_historial</code>. El sistema realiza una consulta a la base de datos sobre el modelo <code>HistorialRecomendacion</code>. El sistema ordena los registros de forma descendente utilizando el ID del historial. El sistema inyecta la lista completa de objetos en la plantilla <code>admin_historial.html</code>. El motor de plantillas (Jinja2) procesa de forma iterativa cada registro en la tabla HTML. Para cada elemento, el sistema evalúa la variable booleana <code>es_real</code> para renderizar la etiqueta correspondiente.
Postcondición	El investigador visualiza la tabla completa con el identificador anónimo del paciente, parámetros clínicos y bloques de feedback.
Excepciones	La base de datos está vacía: el sistema renderiza la tabla vacía sin romper la interfaz de usuario.
Importancia	Alta (Esencial para la consulta de datos de la investigación).

Tabla C.3: CU-3 Consultar panel de administración del historial.

C.5. Prototipos de interfaz o interacción con el proyecto.

A continuación se muestran capturas de pantalla de la interfaz del proyecto con su correspondiente especificación.

Página de inicio

La primera página que se vería al entrar al cuestionario. Contiene información como la naturaleza de la página, su propósito, los criterios utilizados para crearla y en colaboración a quien se ha realizado.

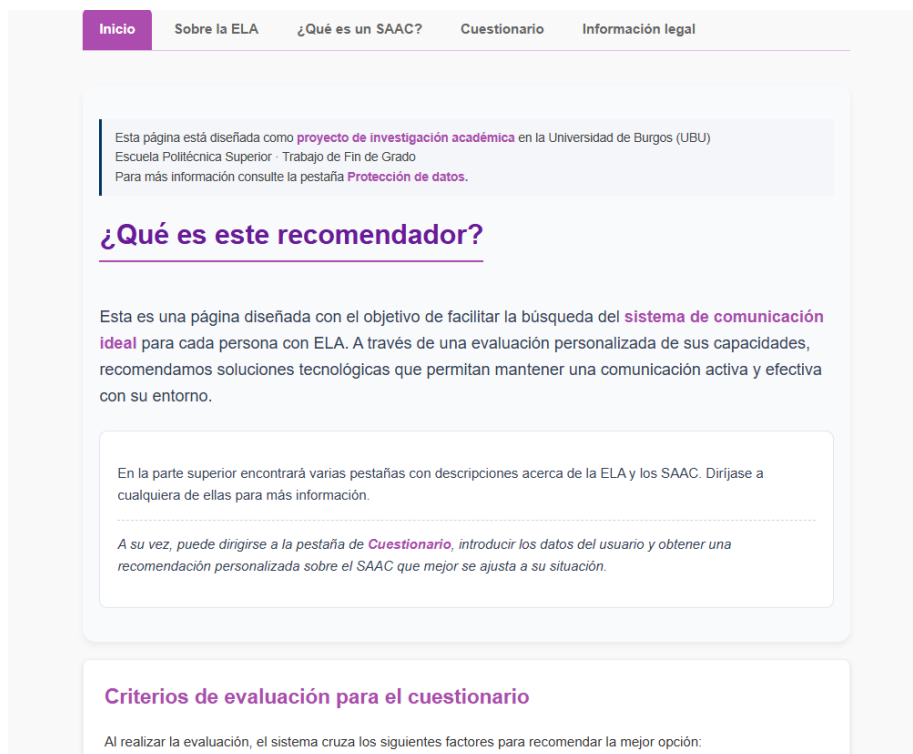


Figura C.2: Página de inicio parte I.



Figura C.3: Página de inicio parte II.

Página de información sobre ELA

Segunda página que se ve en el orden de navegación de las pestañas. Contiene información sobre qué es la ELA, sus tipos según el origen, sus fases y un apunte sobre la preservación cognitiva.

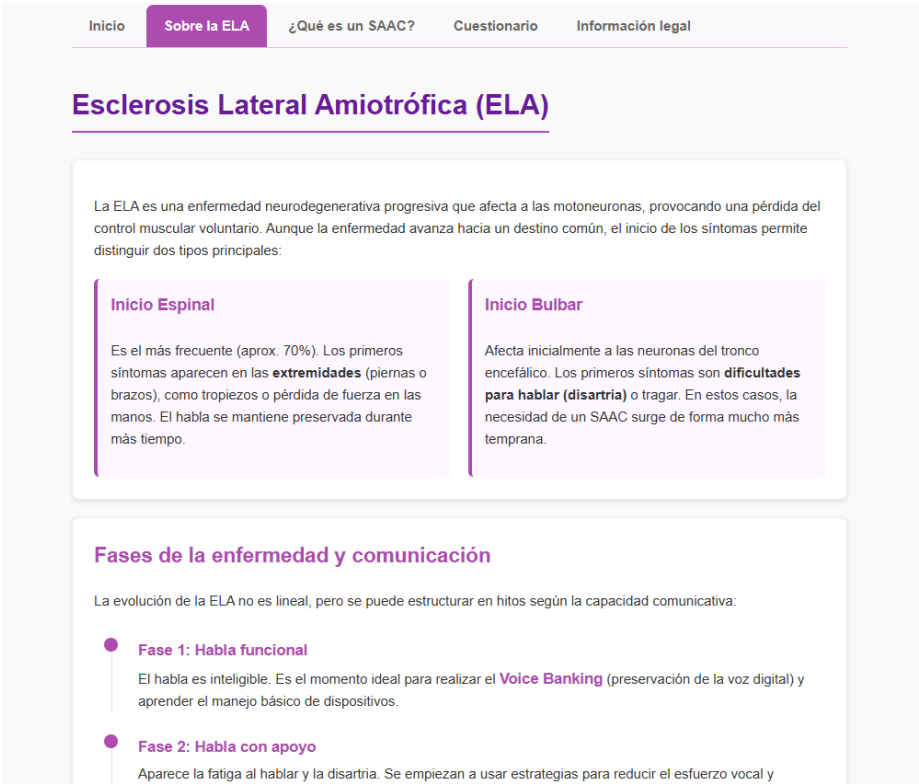


Figura C.4: Página de ELA parte I.

Fases de la enfermedad y comunicación

La evolución de la ELA no es lineal, pero se puede estructurar en hitos según la capacidad comunicativa:

- Fase 1: Habla funcional**
El habla es inteligible. Es el momento ideal para realizar el **Voice Banking** (preservación de la voz digital) y aprender el manejo básico de dispositivos.
- Fase 2: Habla con apoyo**
Aparece la fatiga al hablar y la disartria. Se empiezan a usar estrategias para reducir el esfuerzo vocal y sistemas SAAC sencillos para situaciones específicas.
- Fase 3: Comunicación Alternativa**
El habla ya no es funcional para la vida diaria. El paciente depende de **sistemas tecnológicos** (mirada, pulsadores) o baja tecnología (paneles) para expresarse.
- Fase 4: Pérdida de movilidad total**
Situación de anartria. Se requieren accesos de alta precisión (seguimiento ocular avanzado) para mantener el vínculo con el entorno y la toma de decisiones.

Preservación cognitiva

Es importante destacar que, en la gran mayoría de los casos, **las funciones cognitivas, la sensibilidad y el movimiento ocular permanecen intactos**. Esto permite que el paciente pueda seguir comunicándose, tomando decisiones y manteniendo su identidad a través de la tecnología adecuada.

Descubre cómo los **sistemas de comunicación** pueden ayudar en cada etapa en la pestaña **¿Qué es un SAAC?**

Figura C.5: Página de ELA parte II.

Página de información sobre SAAC

Tercera página presentada. Explica que son los SAAC, sus tipos, la clasificación según tecnología, la importancia de escoger sistemas escalables e información sobre la financiación.

Inicio Sobre la ELA **¿Qué es un SAAC?** Cuestionario Información legal

Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC)

Los SAAC son herramientas diseñadas para facilitar o sustituir el habla en personas con dificultades de comunicación oral. Su objetivo principal es garantizar que el usuario pueda expresar sus necesidades, sentimientos e ideas.

Definición conceptual

- **Sistema aumentativo:** Apoya el habla residual para que la comunicación sea eficaz.
- **Sistema alternativo:** Sustituye totalmente el habla cuando esta no es funcional.

Clasificación de soluciones disponibles

Para garantizar una comunicación continua, es vital combinar un sistema de alta tecnología con uno de baja tecnología como respaldo. Mientras que los sistemas avanzados ofrecen autonomía, la baja tecnología (como paneles físicos o pizarras) es indispensable en situaciones donde la tecnología falla o no es viable.

Baja tecnología	Software y Apps	Hardware y periféricos
SOPORTES FÍSICOS Y SISTEMAS SIN ELECTRÓNICA	PROGRAMAS QUE GESTIONAN EL LENGUAJE Y LA VOZ	DISPOSITIVOS DE ACCESO Y COMPLEMENTOS TÉCNICOS
Tableros E-TRAN: Láminas transparentes que	Software avanzado (Grid 3, Verbo, TD Snap):	Seguimiento ocular (Eye trackers):

Figura C.6: Página de SAAC parte I.



Figura C.7: Página de SAAC parte II.

Sistemas escalables: Una inversión a futuro

En enfermedades progresivas como la ELA, es fundamental elegir sistemas **escalables**. Estos son softwares avanzados que permiten cambiar el método de acceso sin que el usuario tenga que cambiar su vocabulario o aprender a usar un programa nuevo.

Inicio:

El paciente usa sus dedos y manos sobre la pantalla (Acceso táctil).

Progresión:

El mismo programa se configura para usarse con pulsadores (Barrido).

Etapa avanzada:

Se integra un lector ocular (Mirada).

Elegir un sistema escalable desde el inicio reduce la carga cognitiva y el estrés emocional del aprendizaje continuo.

Financiación

Muchos de los sistemas de alta tecnología (lectores oculares y software avanzado) están incluidos en la Cartera Común de Servicios del Sistema Nacional de Salud, aunque la gestión depende de cada Comunidad Autónoma.

Castilla y León (Sacyl):

Debe consultar el **Catálogo de Prestaciones Ortoprotésicas de Castilla y León**. Generalmente, se requiere la prescripción de un facultativo especialista (Neurología/Rehabilitación) y el informe de un logopeda del centro de referencia.

Otras comunidades:

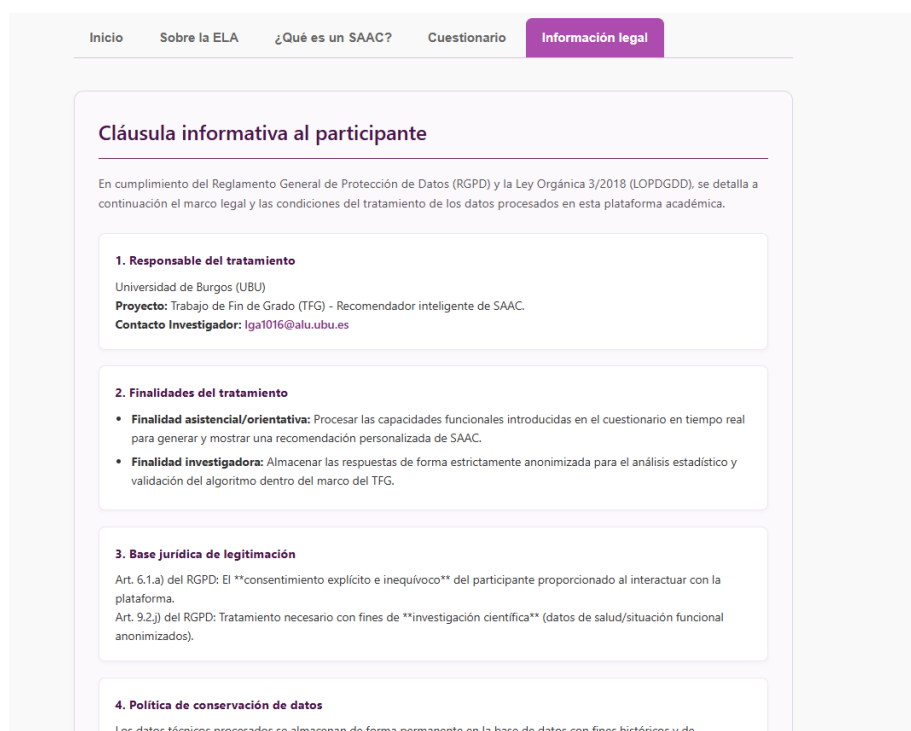
Le recomendamos solicitar el **catálogo de prestaciones de su servicio de salud autonómico** o consultar con la trabajadora social de su asociación de referencia.

*Nota: Los sistemas de "Soporte Físico / Baja Tecnología" no suelen estar financiados, pero las asociaciones a menudo disponen de ellos para entrega inmediata o préstamo gratuito.

Figura C.8: Página de SAAC parte III.

Página de información sobre legalidad

En esta pestaña se explican la finalidad del tratamiento de datos, las bases jurídicas, la política de conservación de datos, los destinatarios de la información y los derechos de usuario.



Inicio Sobre la ELA ¿Qué es un SAAC? Cuestionario **Información legal**

Cláusula informativa al participante

En cumplimiento del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) y la Ley Orgánica 3/2018 (LOPDGDD), se detalla a continuación el marco legal y las condiciones del tratamiento de los datos procesados en esta plataforma académica.

- 1. Responsable del tratamiento**
Universidad de Burgos (UBU)
Proyecto: Trabajo de Fin de Grado (TFG) - Recomendador inteligente de SAAC.
Contacto Investigador: lga1016@alu.ubu.es
- 2. Finalidades del tratamiento**
 - **Finalidad asistencial/orientativa:** Procesar las capacidades funcionales introducidas en el cuestionario en tiempo real para generar y mostrar una recomendación personalizada de SAAC.
 - **Finalidad investigadora:** Almacenar las respuestas de forma estrictamente anonimizada para el análisis estadístico y validación del algoritmo dentro del marco del TFG.
- 3. Base jurídica de legitimación**
Art. 6.1.a) del RGPD: El ****consentimiento explícito e inequívoco**** del participante proporcionado al interactuar con la plataforma.
Art. 9.2.j) del RGPD: Tratamiento necesario con fines de ****investigación científica**** (datos de salud/situación funcional anonimizados).
- 4. Política de conservación de datos**
Los datos técnicos procesados se almacenan de forma permanente en la base de datos con fines históricos y de

Figura C.9: Base legal del cuestionario parte I.

3. Base jurídica de legitimación

Art. 6.1.a) del RGPD: El **consentimiento explícito e inequívoco** del participante proporcionado al interactuar con la plataforma.

Art. 9.2.j) del RGPD: Tratamiento necesario con fines de **investigación científica** (datos de salud/situación funcional anonimizados).

4. Política de conservación de datos

Los datos técnicos procesados se almacenan de forma permanente en la base de datos con fines históricos y de investigación estadística del proyecto.

Al tratarse de un procedimiento de **anonimización irreversible** desde el origen (no se guarda IP, nombre, ni correos), no es posible asociar los registros a ninguna persona física identificada o identificable.

5. Destinatarios de la información

Los datos recopilados se alojan de forma segura en los servidores de la plataforma Render dentro del territorio de la **Unión Europea (Región de Frankfurt, Alemania)**. No se realizarán cesiones de datos a terceros ni transferencias internacionales fuera del espacio económico europeo.

6. Ejercicio de derechos del usuario

Conforme al RGPD, usted tiene derecho al acceso, rectificación, supresión o limitación del tratamiento. Sin embargo, se informa al participante que, debido a la **estricta anonimización de los datos**, el sistema no dispone de herramientas técnicas para vincular un cuestionario específico con un individuo concreto tras su envío, impidiendo la aplicación de modificaciones retroactivas.

Nota sobre la navegación: Puede consultar las secciones informativas en las pestañas superiores o acudir directamente a la pestaña de **Cuestionario** si desea iniciar la evaluación.

Figura C.10: Base legal del cuestionario parte II.

Interacción del usuario con el cuestionario

La interacción en esta sección describe el comportamiento dinámico del usuario con los controles del formulario. El usuario interactúa seleccionando sus parámetros clínicos a través de menús desplegables y botones de opción (*radio buttons*). Asimismo, se incluye la casilla interactiva de verificación legal obligatoria (RGPD). El flujo concluye operando directamente sobre el **botón de acción principal** (**«Obtener recomendación»**), lo que desencadena una petición POST HTTP hacia el servidor para procesar los datos de entrada recopilados.

Inicio Sobre la ELA ¿Qué es un SAAC? **Cuestionario** Información legal

Evaluación del Usuario SAAC

1. Información básica

Idiomas de comunicación:
Seleccione el o los idiomas en los que el usuario se comunique habitualmente.

☒ Español ☐ Gallego ☐ Catalán ☐ Euskera

2. Capacidades del usuario

Capacidad visual y de fijación:

0 1 2 3

0: Nula o sin control voluntario de la mirada.
1: Movimientos involuntarios o dificultad física para mantener el foco.
2: Funcional para distinguir símbolos y botones grandes.
3: Precisión total para lectura de texto y botones pequeños.

Figura C.11: Respuesta del cuestionario parte I.

Capacidad auditiva:

0 1 2 3

0: Sordera o hipoacusia severa (requiere avisos visuales).
1: Dificultad con voces sintéticas o en entornos con ruido ambiente.
2: Entiende voces sintetizadas en situaciones cotidianas.
3: Excelente (capaz de usar el sonido como guía principal).

Capacidad oral / Habla:

0 1 2 3

0: Comunicación verbal nula.
1: Habla residual difícil de entender para personas externas.
2: Habla comprensible pero con fatiga o lentitud significativa.
3: Habla fluida (uso de SAAC preventivo o por fatiga extrema).

Destreza tecnológica previa:

0 1 2 3

0: Nula (requiere interfaz de "pulsar y hablar" sin menús).
1: Principiante (uso de tablet básica pero sin manejo de configuración).
2: Habitual (uso autónomo de apps, redes sociales e internet).
3: Experto (dominio de configuración de sistemas y resolución de fallos).

Figura C.12: Respuesta del cuestionario parte II.

Resistencia a la fatiga física:

0 1 2 3

0: Crítica (<30s): Agotamiento casi inmediato.
1: Limitada (30s-2min): Requiere descansos tras mensajes cortos.
2: Funcional (2-10min): Permite conversaciones breves o párrafos.
3: Sostenida (>10min): Capacidad para ocio y escritura prolongada.

Nivel de autonomía comunicativa:

0 1 2 3

0: Siempre cuenta con alguien que le ayuda a comunicarse.
1: Tiene a alguien que le coloca o enciende el dispositivo pero luego lo usa solo.
2: Puede encender el equipo si está accesible pero se cansa y puede requerir ayuda puntual.
3: Maneja el encendido, carga el uso sin ayuda alguna.

3. Interacción y dispositivos

Formas de interacción posibles (Acceso):
(Seleccione aquella/s formas en las que pueda/prefiera interactuar con el sistema.)

☐ Manos ☒ Ojos ☒ Cabeza ☐ Voz

Figura C.13: Respuesta del cuestionario parte III.

Forma de comunicación preferida:
(Seleccione aquella/s opciones en las que prefiera expresarse.)

☒ Alfabeto ☐ Pictogramas

Plataformas o dispositivos preferidos:
(Seleccione aquella/s plataformas de las que ya disponga o que prefiera utilizar.)

Guía rápida:
Windows: Ordenadores portátiles o de sobremesa.
iOS: Dispositivos Apple (iPad o iPhone).
Android: Tablets y móviles de marcas como Samsung, Xiaomi, etc.
Web: Sistemas accesibles desde cualquier navegador por internet (Google).
Panel físico: Soluciones sin electrónica (cartón, plástico o láminas).

☒ Windows ☐ iOS ☒ Android ☐ Panel físico/Papel

☐ Web

4. Entorno de uso

¿Dónde se utilizará el sistema habitualmente?

Tenga en cuenta que sistemas de infrarrojos como el eye-tracker no funcionan bien con la luz solar. Si está pensando en comunicación fuera de casa pero en interiores (ej: Hospital, tiendas) seleccione la opción de Domicilio.

Figura C.14: Respuesta del cuestionario parte IV.

Tenga en cuenta que sistemas de infrarrojos como el eye-tracker no funcionan bien con la luz solar. Si está pensando en comunicación fuera de casa pero en interiores (ej. Hospital, tiendas) seleccione la opción de Domicilio.

¿Utiliza silla de ruedas de forma habitual?

☐ Sí (Se priorizarán sistemas de anclaje) ☒ No (Se priorizarán soportes de mesa/suelo)

Privacidad garantizada: Este estudio es totalmente anónimo. No se recogen nombres, correos ni datos personales. Al hacer clic en el botón de abajo, se le asignará un código ID aleatorio para procesar sus datos clínicos.

Cláusula de Consentimiento Informado

De conformidad con el RGPD, solicitamos su autorización inequívoca para las siguientes operaciones de tratamiento. Puede consultar los detalles completos de nuestra política en la pestaña de **Información legal**.

☒ Quiero utilizar esta herramienta para procesar mis respuestas y obtener una recomendación personalizada de SAAC en este momento (Finalidad asistencial).

☒ Autorizo voluntariamente que mis respuestas se almacenen en la base de datos para fines estadísticos e investigación científica del TFG.

☒ Marque esta casilla solo si los datos introducidos pertenecen a un caso real (persona afectada por ELA o cuidador), para diferenciarlos de las pruebas de desarrollo.

Generar informe de recomendación

Figura C.15: Respuesta del cuestionario parte V.

Obtención de recomendación

Tras procesar el formulario, la interfaz reacciona renderizando la propuesta. El usuario interactúa visualmente con una estructura segmentada en tres bloques independientes: sistemas finales recomendados, alternativas o complementos de uso preventivo y bancos de voz.

Cada producto o SAAC sugerido cuenta con un **botón interactivo externo** («Ver producto»). Al hacer clic sobre él, el sistema abre una nueva pestaña en el navegador para enlazar directamente con la página oficial del distribuidor o fabricante, permitiendo consultar detalles comerciales o proceder a su adquisición sin perder el informe clínico generado.

Resultados para: PAC-Q252HZ

A continuación se muestran los sistemas de comunicación recomendados. Si corresponde, también se recomendará un sistema periférico para combinar con este.

Sistemas recomendados y periféricos necesarios

NOMBRE	DESCRIPCIÓN / NOTA CLÍNICA	PERIFÉRICO SUGERIDO	MÁS INFORMACIÓN
Look to Speak	Mirada a través de cámara frontal para frases preestablecidas.	Tablet Android Soporte de anclaje articulado	Ver producto
Grid 3	Software integral para comunicación y control del entorno.	Ordenador Portátil Soporte de anclaje articulado BJOY Chin Plus Eye tracker Conmutador de pedal Conmutador por soplo (Pufo)	Ver producto
Verbo	Software de comunicación dinámico con salida de voz.	Ordenador Portátil Soporte de anclaje articulado BJOY Chin Plus Conmutador de pedal Conmutador por soplo (Pufo)	Ver producto
Communicator 5	Software de comunicación eficiente para texto y símbolos.	Ordenador Portátil Soporte de anclaje articulado BJOY Chin Plus Eye tracker Conmutador de pedal Conmutador por soplo (Pufo)	Ver producto
Look to learn	Software de entrenamiento para el control ocular.	Ordenador Portátil	Ver producto

Figura C.16: Recomendación propuesta parte 1.

Look to learn	Software de entrenamiento para el control ocular.	Ordenador Portátil Soporte de anclaje articulado Eye tracker	Ver producto
OptiKey	Teclado en pantalla gratuito optimizado para control ocular y Windows.	Ordenador Portátil Soporte de anclaje articulado EJOY Chin Plus Eye tracker	Ver producto
ComuniQa (TD Snap)	Pack tablet + seguimiento ocular + TD Snap.	Soporte de anclaje articulado	Ver producto

Recuerde: El plan de respaldo

Aunque los sistemas de alta tecnología aquí recomendados ofrecen la mayor autonomía, **nunca deben ser la única opción**. Sugerimos contar siempre con un sistema de baja tecnología (como un tablero alfabético o ETRAN) para:

- Situaciones de ducha o aseo personal.
- Exposición directa al sol (que afecta a los lectores oculares).
- Uso en exteriores bajo la lluvia.
- Momentos de agotamiento de batería o fallos del software.
- Traslados rápidos donde no se puede anclar el equipo.

Descripción de periféricos y hardware sugerido

Descripción de los periféricos recomendados para facilidad de uso de los SAAC.

PERIFÉRICO	DESCRIPCIÓN TÉCNICA
Tablet Android	Dispositivo versátil para Android.
Soporte de anclaje articulado	Brazo mecánico para fijación.
Ordenador Portátil	Necesario para software avanzado.

Figura C.17: Recomendación propuesta parte 2.

Sistemas recomendados para entrenamiento temprano (Uso preventivo)		
Los siguientes sistemas permiten acceso por mirada. Se recomienda practicar con ellos ahora para facilitar la comunicación en el futuro.		
NOMBRE	JUSTIFICACIÓN CLÍNICA	HARDWARE NECESARIO
Grid 3	RECOMENDACIÓN PREVENTIVA: Entrenamiento temprano para el futuro control ocular.	Ordenador Portátil Soporte de anclaje articulado BJOY Chin Plus Eye tracker Conmutador de pedal Conmutador por soplido (Pufo)
Communicator 5	RECOMENDACIÓN PREVENTIVA: Entrenamiento temprano para el futuro control ocular.	Ordenador Portátil Soporte de anclaje articulado BJOY Chin Plus Eye tracker Conmutador de pedal Conmutador por soplido (Pufo)
Look to learn	RECOMENDACIÓN PREVENTIVA: Entrenamiento temprano para el futuro control ocular.	Ordenador Portátil Soporte de anclaje articulado Eye tracker
OptiKey	RECOMENDACIÓN PREVENTIVA: Entrenamiento temprano para el futuro control ocular.	Ordenador Portátil Soporte de anclaje articulado BJOY Chin Plus Eye tracker

Figura C.18: Uso preventivo de SAAC.

Preservación de la identidad vocal	
Se ha detectado que su habla se encuentra conservada. Se le recomienda consultar la posibilidad de conservar su voz para utilizarla en un futuro mediante un proceso de Voice Banking	
MÉTODO	DESCRIPCIÓN
ModelTalker Gen3	Síntesis de voz personalizada.
MyOwnVoice (Acapela)	Voz digital idéntica.
VocaliD	Hibridación de voz personalizada.
* Se recomienda iniciar estos procesos lo antes posible.	

Figura C.19: Recomendación de voice banking.

Respuesta de feedback

Ejemplo de posible interacción con el formulario de feedback y su consiguiente página de agradecimiento.

Ayúdenos a mejorar: Validación de la recomendación

Aviso importante: Este apartado de feedback debe ser cumplimentado exclusivamente por **personas con ELA o sus cuidadores directos**. Por favor, si usted es un tutor o evaluador externo, **no responda a este cuestionario**.

1. ¿Usa actualmente alguno de los SAACs que se le ha recomendado? *

☒ Sí ☐ No

2. ¿Está satisfecho con dicho sistema? *

Satisfecho, aunque abierto a informarme sobre otras opciones

3. ¿Considera usar algún otro de los sistemas recomendados? *

Es posible, encuentro interesante alguna otra opción

4. ¿Se le ha recomendado algún sistema que usó en el pasado? *

Sí, lo dejé porque no se ajustaba al entorno

5. En general, ¿la recomendación le parece adecuada?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

6. ¿Tiene alguna sugerencia o información adicional? (Opcional)

Escriba aquí...

Enviar Feedback

Figura C.20: Retroalimentación.

¡Feedback registrado!

Tu opinión es fundamental para validar este sistema de recomendación y mejorar la atención a pacientes con ELA.

Volver al Inicio

Figura C.21: Mensaje de gracias por la retroalimentación.

Historial guardado

La siguiente pestaña no está diseñada para la interacción del usuario sino para la interacción del desarrollador. En la siguiente captura se puede observar el historial de pruebas guardado al completo así como el feed-

back si corresponde. Se ve la distinción entre una prueba real y una de funcionamiento.

Inicio

Panel administrativo

Historial de recomendaciones generadas

SESIÓN	PACIENTE	PERFIL CLÍNICO	PREFERENCIAS	RECOMENDACIÓN	FEEDBACK	
16/05/2026 19:37 PRUEBA / OTROS	PAC-RI6GGA	Visión: 2 Habilidad: 3 Tecnología: 3 Silla: No Entorno: No definido	Audición: 2 Resistencia: 2 Autonomía: Nivel 1	Idioma: Español Plataforma: Cualquiera Método: Alfabeto Interacción: manos, voz	SISTEMAS: Verbo, Predictable, Voice Access, Asistente de voz AAC, Speak4Me, Amazon Alexa / Google Home HARDWARE: Ordenador Portátil, Soporte de anclaje articulado, BJOY Chin Plus, Eye tracker, Conmutador de pedal, Conmutador por soplo (Pufo), iPad, Lápiz táctil, Tablet Android, Ratón Bluetooth, Conmutador Spec Amarillo, Enchufe Inteligente WiFi	Pendiente
16/05/2026 19:29 PACIENTE REAL	PAC-TSNE4D	Visión: 2 Habilidad: 0 Tecnología: 2 Silla: No Entorno: domicilio	Audición: 2 Resistencia: 1 Autonomía: Nivel 0	Idioma: Español Plataforma: Windows, Android Método: Alfabeto Interacción: ojos, cabeza	SISTEMAS: Look to Speak, Grid 3, Verbo, Communicator 5, Look to learn, OptiKey, ComuniQa (TD Snap) HARDWARE: Tablet Android, Soporte de anclaje articulado, Ordenador Portátil, BJOY Chin Plus, Eye tracker, Conmutador de pedal, Conmutador por soplo (Pufo)	Valoración: 6/10 Usa recomendación: Si Satisfacción: muy_satisfecho Cambiaría a otro: posible Motivo ese pasado: entorno "Ser sugerencias"

Figura C.22: Pestaña de historial.

Apéndice D

Documentación de usuario

D.1. Requisitos software y hardware para ejecutar el proyecto

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, se deben cumplir los requisitos mínimos indicados a continuación:

Software

- **Sistema operativo:** Multiplataforma (Linux, Windows o macOS).
- **Lenguaje de programación:** Python 3.9 o superior.
- **Gestor de base de datos:** PostgreSQL 13 o superior (debido al uso de psycopg2).
- **Navegador web:** Versiones actualizadas de Google Chrome, Mozilla Firefox o Microsoft Edge (compatibles con HTML5 y CSS3).

Hardware

- **Procesador:** Arquitectura x64.
- **Memoria RAM:** Mínimo 2 GB de RAM libres.
- **Almacenamiento:** 500 MB de espacio disponible para la aplicación y la base de datos local.

- **Conexión a internet:** Necesaria para el acceso remoto a la plataforma.

D.2. Instalación / Puesta en marcha

El proceso de instalación se basa en la creación de un entorno virtual para asegurar la estabilidad de las dependencias.

Pasos para la ejecución en local

1. **Descarga del código:** Clonar el repositorio o descomprimir el archivo del proyecto.
2. **Creación del entorno virtual:**

```
python -m venv venv
venv\ Scripts\ activate
```

3. **Instalación de dependencias:** Utilizar el archivo `requirements.txt` proporcionado:

```
pip install -r requirements.txt
```

4. **Configuración de variables de entorno:** Crear un archivo `.env` en la raíz con las credenciales de la base de datos y la `SECRET_KEY` (gestionado por `python-dotenv`).
5. **Inicialización de la base de datos:** Asegurarse de que PostgreSQL está ejecutándose y crear la base de datos definida en el archivo de configuración.
6. **Ejecución:**

```
flask run # Desarrollo
gunicorn -w 4 app:app # Producción (usando gunicorn v26.0.0) \cite{gunicorn:}
```

D.3. Manuales y/o demostraciones prácticas

La interacción con el sistema es intuitiva y sigue un flujo lineal dividido en tres áreas principales:

Generación de recomendación

El usuario accede a la página principal donde se presenta el cuestionario clínico.

- Debe completar todos los campos obligatorios sobre capacidades (motoras, cognitivas, visuales).
- Es imprescindible marcar la casilla de aceptación de términos legales para que el sistema procese la solicitud. [Unión Europea, 2016]
- Al finalizar, el sistema mostrará una página con los sistemas SAAC recomendados y el hardware complementario.

Envío de retroalimentación (Feedback)

Tras visualizar los resultados, el usuario encontrará un botón de Enviar Feedback. Al pulsarlo:

- Se le realizarán preguntas sobre la exactitud de los resultados de recomendación.
- Podrá valorar la precisión de la recomendación de 1 a 10.
- Podrá añadir comentarios adicionales sobre su experiencia actual con otros sistemas.
- Esta información se vincula de forma anónima al registro previo mediante el identificador de sesión.

Panel de administración (Uso del investigador)

Accediendo a la ruta protegida `/admin_historical`, el personal autorizado puede visualizar una tabla con todos los registros:

- Se diferencian visualmente los "Pacientes reales" de las "Pruebas".
- Se pueden analizar los datos JSON almacenados para estudios clínicos o mejora del algoritmo de filtrado.

Apéndice E

Manual del desarrollador e investigador

Este manual proporciona la información necesaria para comprender la arquitectura interna del software, facilitar su mantenimiento y permitir la replicación del entorno de investigación por parte de otros desarrolladores o personal científico.

E.1. Estructura de directorios

El proyecto se organiza en una estructura de carpetas que separa claramente el entorno de ejecución, la lógica de la aplicación, los scripts de la base de datos y la documentación técnica en LaTeX:

- `/Backend/`: Carpeta principal que contiene la lógica del servidor Flask.
 - `app.py`: Archivo que aloja las rutas y algoritmo de filtrado.
 - `extension.py`: Archivo de configuración donde se realiza la instancia de la base de datos (SQLAlchemy).
 - `modelos.py`: Definición de las clases y tablas de relación (mapeo ORM).
 - `templates/`: Directorio con las plantillas HTML (Jinja2) para la renderización de las vistas.
 - `static/`: Contiene los archivos CSS para el diseño visual y el archivo `Procfile` para el despliegue en la nube.

- `.env`: Archivo de configuración de variables de entorno (claves secretas y URLs de conexión).
- `/Base_de_datos/`: Contiene los scripts SQL necesarios para la inicialización.
 - `TFG.sql`: Script para la creación y población de la base de datos en entorno local.
 - `TFG_nube.sql`: Versión optimizada del script para el funcionamiento en servidores de producción.
- `/img/`: Almacena los diagramas y capturas de pantalla utilizados en la memoria y anexos.
- `/tex/`: Contiene los archivos fuente de LaTeX (`.tex`) que componen los capítulos y apéndices del trabajo.
- `/venv/`: Entorno virtual de Python con las librerías aisladas del sistema.
- Archivos en la raíz:
 - `requirements.txt`: Lista de requisitos del proyecto para su instalación directa.
 - `gitignore`: Configuración de archivos y carpetas excluidos del almacenamiento en Github.
 - `README.md`: Documentación de presentación del repositorio.
 - `memoria.tex` y `anexos.tex`: Archivos maestros para la compilación de la documentación final.

E.2. Diseño de clases y Modelado ORM

La persistencia de la aplicación se basa en un mapeo objeto-relacional (ORM) mediante SQLAlchemy. A continuación, se presenta el diagrama de clases que representa la jerarquía y las relaciones del catálogo SAAC.

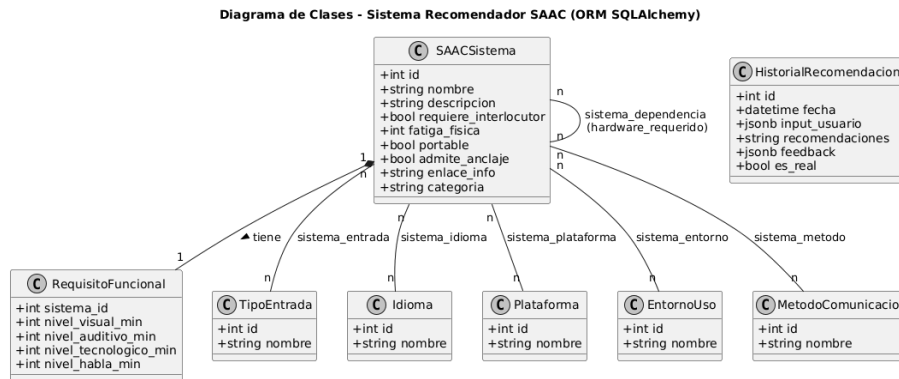


Figura E.1: Diagrama de clases UML del modelo de datos.

Este esquema destaca la centralidad de la clase **SAAC Sistema**, la cual actúa como principal para las relaciones de muchos a muchos (*Many-to-Many*) con las tablas maestras, permitiendo que el algoritmo realice consultas cruzadas eficientes durante el filtrado.

E.3. Especificación del diccionario de datos (Input Usuario)

El algoritmo de filtrado por exclusión recibe los datos del formulario en un objeto JSON estructurado. Este diccionario es el que permite realizar el "efecto embudo", descartando sistemas según se comparan las claves del JSON con los requisitos de la base de datos.

Estructura del diccionario JSON

A continuación se detalla la especificación del objeto `user_data` procesado en la ruta `/recomendar`:

```

{
  "input_usuario": {
    "visual": int,          // Nivel 0-3 (Criterio de exclusión)
    "auditivo": int,        // Nivel 0-3
    "tecnologico": int,     // Nivel 0-3
    "habla": int,           // Nivel 0-3 (Criterio para bancos de voz)
    "entradas": [int],      // Lista de IDs de la tabla tipo_entrada
    "plataformas": [int],   // Lista de IDs de la tabla plataforma
  }
}
  
```

```

        "idiomas": [int],      // Lista de IDs de la tabla idioma
        "metodos": [int],     // Lista de IDs (Alfabeto/Pictogramas)
        "entorno": int        // ID de entorno (Domicilio/Exterior)
    }
}
```

Lógica de Filtrado por Exclusión (Efecto Embudo)

El algoritmo opera mediante una cascada de filtros secuenciales que reducen el conjunto total de SAAC (S_{total}) hasta obtener la recomendación final (S_{rec}):

1. **Filtro de capacidades críticas:** Se eliminan sistemas cuyos `sistema_requisito_funcional` sean superiores a los niveles declarados por el usuario.
2. **Filtro de acceso:** Se excluyen sistemas que no soporten ninguno de los `metodos_entrada` disponibles para el paciente.
3. **Filtro tecnológico:** Se filtran sistemas que no operen en las `plataformas` accesibles para el usuario.
4. **Filtro de entorno:** Si el usuario requiere uso en exterior, se descartan sistemas marcados únicamente como domésticos.

E.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto

Entorno de desarrollo

Se recomienda el uso de `pip` y `virtualenv`. El sistema utiliza `python-dotenv` para cargar la configuración, por lo que es necesario definir `DATABASE_URL` y `FLASK_ENV` en el entorno local antes de la ejecución.

Base de datos y ORM

La persistencia se gestiona mediante **SQLAlchemy 2.0**. Para inicializar el esquema en un nuevo entorno de base de datos, se debe ejecutar desde la consola de Python:

```

from app import db
with app.app_context():
    db.create_all()
```

E.5. Pruebas del sistema

Para validar la fiabilidad del recomendador y la integridad de los datos, se han realizado los siguientes bloques de pruebas:

- **Pruebas funcionales (Caja negra):** Validación de los formularios de cuestionario y feedback, asegurando que los métodos POST envían correctamente los resultados al servidor.
- **Pruebas de lógica de filtrado:** Introducción de perfiles clínicos extremos (ej. ausencia total de movilidad) para comprobar que el algoritmo filtra correctamente los SAAC incompatibles.
- **Validación de persistencia:** Comprobación en el panel de administración (/admin_historial) que los datos guardados coinciden exactamente con los enviados por el usuario.
- **Pruebas de seguridad:** Verificación de las cabeceras de seguridad inyectadas por Flask-Talisman (HSTS, XSS Protection) mediante la web VirusTotal [[VirusTotal, 2026](#)].

E.6. Instrucciones para la modificación o mejora del proyecto

Ampliación del catálogo de SAAC

Para añadir nuevos sistemas o periféricos no es necesario modificar el código fuente, basta con insertar los nuevos registros en las tablas correspondientes de PostgreSQL, siguiendo el esquema de capacidades requerido por el algoritmo de filtrado.

Mejora del algoritmo de recomendación

Se recomienda el uso de técnicas de *Machine Learning* en futuras versiones [[Russell and Norvig, 2020](#)], utilizando el historial de **feedback** recolectado en este proyecto como conjunto de entrenamiento (Dataset) para refinar las sugerencias automáticas.

Apéndice *F*

Descripción de adquisición y tratamiento de datos

F.1. Descripción formal de los datos

Origen y adquisición

Los datos utilizados en este proyecto tienen dos orígenes diferenciados:

Base de datos de sistemas SAAC: Construida manualmente a partir de revisión bibliográfica y consulta de fuentes especializadas (fabricantes, distribuidores y documentación clínica). Constituye el catálogo estático sobre el que opera el algoritmo de filtrado.

Perfiles clínicos de usuarios: Recogidos dinámicamente a través del formulario web de la aplicación. Cada perfil se genera a partir de las respuestas del usuario al cuestionario y se almacena de forma anónima en la base de datos únicamente si el usuario otorga consentimiento de investigación.

Formato y estructura

Los datos del perfil clínico se almacenan en formato **JSONB** dentro del campo `input_usuario` de la tabla `historial_recomendacion`. Un ejemplo de registro tiene la siguiente estructura:

{

```

"idioma": "español",
"nivel_visual": 2,
"nivel_auditivo": 1,
"nivel_habla": 0,
"nivel_tecnologico": 2,
"metodo_entrada": ["ojos", "pulsador"],
"metodo_comunicacion": "alfabeto",
"plataforma": ["Windows", "iOS"],
"entorno_uso": ["domicilio"],
"silla_ruedas": sí
}

```

El campo `feedback`, también en formato JSON, almacena la retroalimentación del usuario con la siguiente estructura:

```

{
  "usa_sistema_recomendado": "Sí",
  "satisfaccion_sistema": "Satisfecho, aunque abierto a informarme
                           sobre otras opciones",
  "considera_otros_sistemas": "Es posible, encuentro interesante
                              alguna otra opción",
  "experiencia_previa": "Sí, lo dejé por progresión de la enfermedad",
  "valoracion_global": 8,
  "comentarios": "La recomendación ha sido muy útil y ajustada."
}

```

Volumen de datos

Durante el período de desarrollo y validación del TFG se han recogido cerca de 20 registros de pacientes en total, combinando casos reales y casos de prueba. El campo booleano `es_real` de la tabla `historial_recomendacion` permite distinguir ambos tipos en el panel de administración. Dado el volumen reducido, los datos tienen un valor cualitativo y de validación funcional del sistema, no estadístico.

Variables del cuestionario

Las variables recogidas por el cuestionario se agrupan en cuatro categorías:

Capacidades funcionales Nivel visual, auditivo, de habla y tecnológico del paciente, expresados en una escala ordinal de 0 (ausente o nulo) a 3 (conservado o alto), inspirada en los criterios funcionales de la escala revisada ALSFRS-R [Cedarbaum et al., 1999]. Estas variables se contrastan directamente con los requisitos mínimos de cada sistema en la tabla `sistema_requisito_funcional`.

Método de entrada preferido Método o métodos mediante los que el paciente puede interactuar con los dispositivos: manos, ojos, cabeza, voz o pulsador [International Organization for Standardization, 2010]. Es una variable multivalor que puede combinar varias opciones simultáneamente.

Idioma y método de comunicación Idioma en el que el paciente se comunica (español, gallego, catalán o euskera) y preferencia de comunicación (alfabeto o pictogramas).

Plataforma y entorno de uso Sistemas operativos o dispositivos disponibles (Windows, iOS, Android, Web, panel físico) y contexto en el que se usará el SAAC (domicilio o exterior).

F.2. Descripción clínica de los datos

Interpretación del idioma

El idioma es una variable de filtrado directo que elimina de la propuesta los sistemas que no están disponibles en la lengua del paciente. En el contexto, la herramienta contempla cuatro lenguas oficiales: español, gallego, catalán y euskera. Esta variable es clínicamente relevante porque algunos sistemas de comunicación tienen soporte limitado para lenguas cooficiales, lo que puede reducir significativamente el catálogo disponible para pacientes en determinadas comunidades autónomas.

Interpretación de las capacidades funcionales

Las cuatro capacidades funcionales recogidas por el cuestionario reflejan el estado clínico del paciente en el momento de la evaluación y condicionan directamente qué sistemas SAAC son viables.

Nivel visual Determina si el paciente puede utilizar sistemas basados en la mirada o en la lectura. Un nivel 0 excluye cualquier sistema

que requiera reconocimiento visual de símbolos o letras. Un nivel 2 o superior permite el uso de seguimiento ocular (*eye tracking*), fundamental en etapas avanzadas.

Nivel auditivo Condiciona el uso de sistemas con salida de voz sintetizada o de asistentes virtuales. Un nivel 0 implica que el paciente no puede beneficiarse de la retroalimentación auditiva del sistema.

Nivel de habla Es especialmente relevante en la ELA porque la disartria (deterioro del habla) es uno de los primeros síntomas en la forma bulbar de la enfermedad. Un nivel 3 (habla conservada) permite el uso de sistemas de control por voz y es el único requisito para acceder a los bancos de voz, que deben grabarse antes de que la voz se deteriore. Un nivel 0 excluye completamente estos sistemas.

Nivel tecnológico Refleja la familiaridad del paciente con la tecnología. Un nivel bajo orienta la recomendación hacia sistemas de baja tecnología (paneles físicos, tableros ETRAN) o hacia sistemas con interfaces simplificadas. Un nivel alto permite recomendar software avanzado como Grid3.

Interpretación del método de entrada

En la ELA, la capacidad motora se deteriora progresivamente y de forma asimétrica según el origen de la enfermedad. El método de entrada indica qué vía motora conserva el paciente para interactuar con el sistema:

Manos Presencia de movilidad funcional en las extremidades superiores. Permite el uso directo de pantallas táctiles, teclados y ratones. Es el método más frecuente en fases iniciales.

Ojos Capacidad de controlar la dirección de la mirada. El control ocular está especialmente preservado en la ELA avanzada, ya que los músculos oculomotores son de los últimos en verse afectados, lo que lo convierte en el método de acceso más importante en fases tardías.

Cabeza Presencia de movilidad cervical residual. Permite el uso de punteros láser adaptados o sistemas de seguimiento cefálico como EVA Facial Mouse.

Voz Capacidad de emitir sonidos con suficiente claridad para ser reconocidos por el sistema.

Pulsador Cualquier movimiento voluntario y repetible, por mínimo que sea (soplido, parpadeo, presión con el pie o un dedo), puede activar un conmutador. Es el método de acceso más adaptable y el último recurso en fases muy avanzadas de la enfermedad.

Interpretación del método de comunicación preferido

El método de comunicación refleja cómo prefiere expresarse el paciente y condiciona qué tipo de interfaz simbólica es más adecuada:

Alfabeto El paciente mantiene la capacidad lectora y prefiere comunicarse mediante texto escrito. Orienta la recomendación hacia teclados en pantalla, sistemas de predicción de texto y comunicadores alfabéticos como Predictable u OptiKey. Es el método habitual en pacientes con preservación cognitiva y nivel de alfabetización alto.

Pictogramas El paciente se comunica mejor mediante símbolos visuales [Centro Aragonés para la Comunicación Aumentativa y Alternativa (ARASAAC), 2017]. Orienta hacia sistemas basados en imágenes como Proloquo2Go, TD Snap o LetMeTalk. Puede ser especialmente útil cuando el nivel tecnológico o de alfabetización es bajo, o cuando la fatiga cognitiva desaconseja el uso del teclado.

Interpretación de la plataforma tecnológica

La plataforma indica los dispositivos o sistemas operativos disponibles en el entorno del paciente. Su correcta identificación es fundamental porque un sistema SAAC, por adecuado que sea clínicamente, no puede recomendarse si el paciente no dispone del hardware necesario para ejecutarlo. Las plataformas contempladas son Windows, iOS, Android, Web y panel físico o papel. Un paciente puede tener acceso a varias plataformas simultáneamente, lo que amplía el catálogo de sistemas recomendables.

Interpretación del entorno de uso

El entorno de uso indica dónde va a utilizar el paciente el sistema SAAC:

Domicilio Todos los sistemas del catálogo son aptos para uso en domicilio, incluidos los que requieren anclaje o equipos voluminosos.

Exterior Restringe la recomendación a sistemas portátiles y manejables fuera del hogar, como tableros físicos, tablets o aplicaciones móviles. Excluye sistemas que requieren infraestructura fija o conexión a equipos de sobremesa.

Mixto Al igual que el anterior deberá limitar a aquellos portables al ser la variable más restrictiva. Si el usuario va a usarlo fuera de su casa pero en interiores (hospital, tiendas) se le recomienda que ponga domicilio ya que no presentará problemas ambientales como al seleccionar Exterior.

Interpretación del feedback

El formulario de retroalimentación recoge seis variables cuyo significado clínico es el siguiente:

Uso actual de un sistema recomendado Variable dicotómica (sí/no) que indica si el paciente ya utiliza alguno de los sistemas incluidos en la propuesta generada. Permite detectar si la herramienta está recomendando sistemas que el paciente ya conoce y ha adoptado, lo que validaría la pertinencia del algoritmo.

Satisfacción con el sistema en uso Variable con tres opciones: satisfecho pero abierto a otras opciones, insatisfecho y en búsqueda de alternativas, o no aplicable. Esta variable es clínicamente relevante porque en la ELA la satisfacción con un sistema es temporal: la progresión de la enfermedad obliga a revisar periódicamente las opciones disponibles incluso cuando el sistema actual funciona bien.

Consideración de otros sistemas recomendados Recoge si el paciente está abierto a explorar otras opciones de la propuesta además de la que ya utiliza. Permite valorar si los resultados (sistemas finales, preventivos y bancos de voz) resultan útiles para el usuario.

Experiencia previa con sistemas recomendados Variable categórica que recoge si alguno de los sistemas recomendados fue utilizado en el pasado y, en caso afirmativo, el motivo de abandono: progresión de la enfermedad, incomodidad o fatiga, falta de fluidez, inadecuación al entorno, dificultad de aprendizaje u otras razones. Esta variable tiene un alto valor clínico porque el motivo de abandono orienta hacia qué ha podido fallar en la recomendación.

Valoración global de la recomendación Escala numérica del 1 al 10 que recoge la percepción general del usuario sobre la adecuación de la

propuesta a su perfil. Es la variable principal para evaluar la calidad del algoritmo de filtrado.

Sugerencias y comentarios Campo opcional que permite al usuario aportar información no recogida por el resto del formulario, como preferencias estéticas, condicionantes económicos o experiencias con sistemas no incluidos en el catálogo.

F.3. Catálogo de soluciones (Base de datos)

Para dar cumplimiento al objetivo de realizar un análisis comparativo y sistemático de los SAAC existentes, se detalla a continuación el catálogo completo de las 46 soluciones integradas en la base de conocimiento del sistema (`saac_sistema`).

La Tabla F.1 detalla los requisitos funcionales mínimos (escala [0,3]) exigidos por el algoritmo de filtrado, donde las columnas corresponden a: Capacidad Visual (**Vis.**), Auditiva (**Aud.**), Tecnológica (**Tec.**) y de Habla (**Hab.**).

Tabla F.1: Matriz de parametrización sistemática del catálogo de soluciones SAAC.

Nombre del Sistema	Vis.	Aud.	Tec.	Hab.	Plataformas	Ext.
<i>Categoría: Sistemas de baja tecnología</i>						
Panel pictogramas	1	0	0	0	Papel/Físico	Sí
Panel alfabético	1	0	0	0	Papel/Físico	Sí
SpeakBook	1	0	0	0	Papel/Físico	Sí
Tablero ETRAN	1	0	0	0	Papel/Físico	Sí
MegaBEE	1	0	1	0	Papel/Físico	No
QuickTalker 23	1	1	2	0	Papel/Físico	Sí
<i>Categoría: Software y aplicaciones</i>						
Look to Speak	2	1	1	0	Android, Web	Sí
Tallk	2	1	1	0	Android	Sí
Grid 3	2	1	2	0	Windows	No
Verbo	2	1	2	0	Windows	No
Proloquo2Go	2	1	2	0	iOS	No
TD Snap	2	1	2	0	Win, iOS, And	No
Communicator 5	2	1	2	0	Windows	No
Boardmaker 7	1	1	2	0	Windows, Web	No

Continúa en la siguiente página...

Tabla F.1 – Continuación

Nombre del Sistema	Vis.	Aud.	Tec.	Hab.	Plataformas	Ext.
Look to learn	2	1	1	0	Windows	No
LetMeTalk	2	1	2	0	iOS, And, Web	No
OptiKey	2	1	1	0	Windows, Web	No
Predictable	2	1	2	0	iOS	Sí
VirtualTEC	1	1	2	0	Android	Sí
EVA Facial Mouse	2	1	2	0	Android	No
Ease Touch	1	1	2	0	Android	No
Voice Access	0	1	2	3	Android	Sí
Asistente AAC	2	1	1	0	iOS, Android	Sí
Speak4Me	2	1	2	0	iOS	Sí
<i>Categoría: Hardware Integrado y domótica</i>						
ComuniQa (TD Snap)	2	1	2	0	Windows	No
ComuniQa (Grid 3)	2	1	2	0	Windows	No
TD Pilot	2	1	2	0	iOS	No
Alexa / Google Home	0	1	2	3	Web	No
Enchufe Smart WiFi	2	2	2	0	iOS, Android	No
iPad	1	1	1	0	iOS	Sí
Tablet Android	1	1	1	0	Android	Sí
Ordenador Portátil	1	1	1	0	Windows	No
<i>Categoría: Periféricos y soporte</i>						
Eye tracker	2	1	1	0	Windows	No
Puntero Láser	2	1	0	0	Papel/Físico	No
Gafas con Puntero	2	1	0	0	Papel/Físico	No
Soporte articulado	0	0	0	0	Todos	Sí
Conmutador soplido	1	1	1	0	Win, iOS, And	No
Conmutador pedal	1	1	0	0	Papel, Win...	No
Conmutador Spec	1	1	0	0	Papel, Win...	No
BJOY Chin Plus	1	1	1	0	Papel, Win...	No
Guantes	1	1	0	0	iOS, Android	No
Lápiz táctil	1	1	0	0	iOS, Android	No
Ratón Bluetooth	1	1	1	0	Win, iOS, And	No
<i>Categoría: Banco de voz</i>						
ModelTalker Gen3	0	1	2	3	Web	No
MyOwnVoice	0	1	2	3	Web	No
VocaliD	0	1	2	3	Web	No

Apéndice G

Estudio experimental

En este apéndice se describen las pruebas realizadas para validar la precisión del algoritmo de recomendación SAAC, así como los ajustes técnicos realizados durante el desarrollo para optimizar la experiencia del usuario y la seguridad de los datos.

G.1. Cuaderno de trabajo

Durante el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo tres fases de experimentación para asegurar la robustez del sistema:

1. **Experimento E1: Validación de lógica de exclusión (Satisfactorio):** Se introdujeron perfiles de usuario con capacidades críticas (visión 0, audición 0) para verificar que el sistema descartaba correctamente dispositivos dependientes de esos sentidos. El resultado fue exitoso, filtrando el 100 % de los sistemas incompatibles.
2. **Experimento E2: Recursividad de periféricos (No exitoso inicialmente):** Se detectó un fallo donde el sistema recomendaba varias veces el mismo soporte físico si este era compatible con varios softwares sugeridos. Se corrigió mediante la implementación de un conjunto de control (*Set*) en la función `obtener_periféricos_recursivo`.
3. **Experimento E3: Persistencia de Feedback (Satisfactorio):** Se probó la vinculación de encuestas de satisfacción con registros históricos preexistentes. El uso de `flag_modified` en SQLAlchemy resolvió los problemas de persistencia detectados en las primeras pruebas con campos JSON.

G.2. Configuración y parametrización de las técnicas

El comportamiento del algoritmo de recomendación se basa en la parametrización de los niveles funcionales del usuario, configurados en una escala discreta de $[0, 3]$:

- **Nivel 0 (Nulo/Crítico):** Actúa como un sistema de bloqueo para tecnologías dependientes.
- **Nivel 1 (Limitado):** Permite el paso de sistemas con alta tolerancia a errores o interfaces simplificadas.
- **Nivel 2 (Funcional):** Parámetro base para la mayoría de sistemas comerciales estándar.
- **Nivel 3 (Experto/Total):** Habilita sistemas de alta precisión (como teclados virtuales pequeños o configuraciones avanzadas).

La elección de esta escala se justifica por su alineación con las escalas de valoración clínica habituales en logopedia y terapia ocupacional, facilitando la interpretación tanto para el personal sanitario como para el cuidador. [Cedarbaum et al., 1999]

G.3. Detalle de resultados

Al tratarse de una validación funcional basada en escenarios de uso y reglas lógicas deterministas, los resultados se evalúan en función del éxito del comportamiento esperado del sistema ante los casos de prueba introducidos:

ID de Prueba	Comportamiento	Resultado esperado
P1 (Afectación bulbar)	Exclusión de SAAC orales.	Correcto. Sistemas segregados según base de datos.
P3 (Paneles físicos)	Exclusión total de software digital si no hay plataforma compatible.	Correcto. Filtrado estricto por coincidencia de <code>plataforma_ids</code> .
P4 (Precisión táctil)	Descarte de accesorios como lápices/guantes si no se usan las manos.	Correcto. Filtrado condicionado a la persistencia de la variable de funcionalidad motora manual.
P5 (Casos duplicados)	Unificación de periféricos comunes en el informe.	Correcto. Limpieza de duplicados mediante <i>Set</i> .
P6 (Control RGPD)	Bloqueo de escritura en BD si no hay consentimiento explícito.	Correcto. Persistencia condicionada al <i>opt-in</i> .
P7 (Prevención Eye-Tracker)	Derivación de software ocular a la lista de Preventivos ante fatiga física extrema (<code>resistencia = 0</code>).	Correcto. Inserción de nota clínica para entrenamiento temprano.

Tabla G.1: Matriz de resultados de las pruebas funcionales de caja negra.

Anexo de sostenibilización curricular

H.1. Introducción

La sostenibilidad en la Ingeniería de la Salud trasciende el ámbito medioambiental, abarca dimensiones sociales, éticas, económicas y tecnológicas que condicionan la viabilidad a largo plazo de cualquier sistema de información clínica. El desarrollo de este Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) para la prescripción de Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC) en pacientes con ELA se ha evaluado bajo estos cuatro conceptos.

H.2. Sostenibilidad social, inclusión y análisis de cobertura lingüística

La pérdida progresiva de la comunicación en pacientes con ELA exige soluciones tecnológicas que garanticen la equidad en el acceso. Se ha realizado un análisis cuantitativo de la cobertura lingüística del catálogo de datos actual (46 sistemas registrados) para verificar el impacto real del algoritmo de filtrado sobre la diversidad lingüística cooficial:

- **Soporte en Castellano:** 100 % de los sistemas del catálogo (46 de 46 registros) operan de forma nativa en este idioma, asegurando la línea base de prescripción nacional.
- **Soporte en Catalán:** 43,4 % del catálogo (20 de 46 sistemas, principalmente *software* de grandes desarrolladores como Tobii Dynavox

o Smartbox) integran traducción de interfaz y síntesis de voz en esta lengua.

- **Soporte en Gallego y Euskera:** 26,1 % del catálogo (12 de 46 sistemas) ofrecen soporte completo, viéndose limitado en soluciones de *Voice Banking* de carácter comercial anglosajón.

El algoritmo mitiga esta brecha al cruzar la variable del idioma del paciente con la disponibilidad real del sistema, evitando prescripciones frustrantes. La sostenibilidad social se cuantifica aquí mediante la capacidad de la herramienta para ofrecer alternativas válidas de comunicación adaptada a la realidad demográfica del usuario, independientemente de su entorno geográfico o lingüístico.

H.3. Sostenibilidad ética, soberanía de datos e infraestructura

El tratamiento de datos funcionales y clínicos de pacientes con patologías neurodegenerativas exige un análisis de riesgos éticos y legales más allá del cumplimiento normativo del RGPD y el principio de minimización de datos.

Un factor crítico evaluado en la arquitectura actual es la dependencia de una infraestructura en la nube comercial externa para el despliegue del prototipo (*Render*, con servidores ubicados en la región de Frankfurt (Alemania)). Aunque el almacenamiento de los datos de investigación se realiza de forma completamente anónima y cumple con las directrices de la Unión Europea sobre la ubicación de servidores, la dependencia de terceros proveedores comerciales introduce un vector de riesgo para la soberanía de los datos a largo plazo y la sostenibilidad del servicio.

Como mejora ética y de infraestructura, se propone la migración del sistema hacia servidores propios de la red hospitalaria pública o de la propia Universidad. Este cambio garantizaría el control absoluto sobre el ciclo de vida del dato, alineando el software con los exigentes criterios de la Guía de Auditorías de Tratamientos de Datos del Esquema Nacional de Seguridad (ENS). [[Telefónica Tech, 2021](#)]

H.4. Sostenibilidad económica y eficiencia de la inversión

La sostenibilidad económica de un desarrollo de ingeniería no puede limitarse a la ausencia de costes de licencias mediante el uso de tecnologías *open-source* (Python, Flask, PostgreSQL); debe ponderar el coste del esfuerzo de ingeniería frente al impacto clínico generado.

Tomando como referencia el presupuesto real calculado en el Plan de Proyecto, el coste total de desarrollo del software asciende a 6.750 € (derivado de las 375 horas de ingeniería valoradas según el Convenio TIC y la amortización de hardware). Para evaluar la viabilidad y eficiencia de esta inversión frente a una consulta humana tradicional de terapia ocupacional (estimada de media en un coste público general de 50 € por sesión especializada), se define el **Coste por Recomendación Exitosa (CRE)** bajo la siguiente función:

$$CRE = \frac{\text{Coste total de Inversión}}{\text{Número de pacientes evaluados}} + \text{Coste de mantenimiento anual de servidor}$$

Considerando un coste de servidor básico de 60 €/año, si la plataforma es adoptada de forma piloto por una red de asociaciones (como ELACyL u otras delegaciones) dando servicio a 150 pacientes en su primer año, el CRE se sitúa en 46 € en el año de amortización, descendiendo por debajo de los 5 € por paciente en los años sucesivos al requerir únicamente costes de mantenimiento técnico. Este cálculo demuestra que el software optimiza los recursos económicos del sistema sanitario al automatizar el triaje inicial de soluciones complejas y liberar horas de atención directa de los profesionales sanitarios.

H.5. Sostenibilidad tecnológica, autocrítica técnica y mantenibilidad

El diseño modular del modelo relacional implementado mitiga la obsolescencia inmediata del catálogo al separar los datos del código fuente. No obstante, un análisis de ingeniería riguroso revela dos deficiencias críticas en el estado actual del desarrollo que comprometen su sostenibilidad tecnológica a medio plazo:

1. **Gestión manual del catálogo:** La carga de datos y la modificación de la estructura de las tablas se realiza mediante *scripts* .sql estáticos. La ausencia de un sistema automatizado de migraciones (como *Alembic* para SQLAlchemy) reduce la escalabilidad del sistema y eleva la probabilidad de errores humanos en entornos de producción.
2. **Ausencia de pruebas automatizadas:** El proceso de validación actual se fundamenta en pruebas de "caja negra" manuales. La falta de un *framework* de tests unitarios (como *PyTest*) genera una deuda técnica sustancial, ya que cualquier actualización de las reglas lógicas o de las librerías base de Python puede provocar fallos de regresión inadvertidos en el algoritmo de filtrado.

Para solventar estos puntos débiles, la sostenibilidad tecnológica futura se estructurará mediante la adopción de metodologías DevSecOps, implementando un flujo de Integración Continua (CI) en el repositorio que ejecute de manera automatizada las pruebas de regresión ante cualquier cambio, garantizando la estabilidad operativa del recomendador a lo largo del tiempo.

H.6. Reflexión final y compromiso con estándares

La sostenibilidad de este proyecto no se valida mediante juicios de valor morales, sino a través del cumplimiento estricto de estándares de calidad, accesibilidad y seguridad del software. En el ámbito de la Ingeniería de la Salud, la responsabilidad ética del desarrollador se consolida aplicando las pautas internacionales de accesibilidad web WCAG 2.1 (Nivel AA) [(W3C), 2018] para asegurar que los pacientes con afectación motora severa naveguen de forma autónoma, y alineando los sistemas con el Esquema Nacional de Seguridad (ENS). El verdadero valor de este desarrollo radica en su capacidad de transformar recursos de ingeniería acotados en una solución tecnológica medible, segura, económicamente eficiente y diseñada para perdurar.

Apéndice I

Registro de interacciones con sistemas de IA

Este anexo tiene como objetivo garantizar la transparencia en el uso de herramientas de inteligencia artificial generativa durante la realización del Trabajo de Fin de Grado.

Interacción 1: Validación del catálogo de SAAC

Herramienta: Gemini (Google).

Fecha aproximada de uso: Marzo de 2026.

Prompt: Proporcioné a la IA el catálogo preliminar de Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC) que había diseñado para la aplicación y le planteé la siguiente consulta: *Este es el catálogo de SAAC que he recopilado para el sistema de recomendación enfocado en pacientes con ELA. Analiza la selección actual basándote en la literatura clínica y tecnológica sobre comunicación asistida. ¿Consideras que he pasado por alto algún sistema o categoría de SAAC que sea fundamental incluir para estos pacientes?*

Respuesta de la IA: La IA evaluó la lista proporcionada, validó la estructura existente y sugirió expandir el catálogo incluyendo alternativas específicas de acceso (como sistemas de seguimiento ocular de bajo coste o aplicaciones de voice banking) para garantizar que la herramienta cubriera de forma realista todas las fases de progresión de la enfermedad.

Uso posterior en el TFG: Generación de ideas y orientación conceptual. La respuesta de la IA se utilizó como un filtro para ampliar el catálogo de SAAC del proyecto. Permitió identificar lagunas en los sistemas recomenda-

dos, ayudando a asegurar que la base de la aplicación fuera verdaderamente exhaustiva y representativa de las tecnologías de apoyo actuales.

Interacción 2: Diseño y estética de la interfaz web

Herramienta: Gemini (Google).

Fecha aproximada de uso: Abril de 2026.

Prompt: *Quiero editar mi página web para que tenga una visualización más bonita. Para ello crea estilos CSS donde la página esté centrada, los títulos y botones aparezcan en color morado, los sliders tengan una regla graduada, la pestaña en la que estás navegando actualmente esté marcada en color y más cosas que consideres necesarias para una buena visualización.*

Respuesta de la IA: La IA generó varios estilos CSS que se aplicaron a la interfaz; el código resultante se integró en el directorio `backend/static/estilos`.

Uso posterior en el TFG: Apoyo técnico ayudando a una personalización y mejora de la estética general de la herramienta.

Interacción 3: Implementación de seguridad OWASP

Herramienta: Gemini (Google).

Fecha aproximada de uso: Mayo de 2026.

Prompt: *Mi tutor me ha indicado que, aunque el sitio responde por HTTPS, debo asegurar técnicamente la redirección automática HTTP → HTTPS, activar HSTS (Strict-Transport-Security) e implementar cabeceras seguras como Content-Security-Policy (CSP) siguiendo las recomendaciones de OWASP para prevenir ataques XSS, inyecciones y problemas con cookies de sesión. ¿Cómo puedo implementar esto en mi código?*

Respuesta de la IA: La IA recomendó la utilización de la librería `Flask-Talisman` como la solución estándar para acoplar las directivas de seguridad de OWASP en Flask, proporcionando la estructura de configuración necesaria.

Uso posterior en el TFG: Apoyo técnico y generación de código. La respuesta se utilizó para implementar el módulo de seguridad mediante el siguiente bloque:

```
# Inicializamos Talisman con las directivas de OWASP
Talisman(
    app,
    force_https=True,
    strict_transport_security=True,
    content_security_policy=csp_config,
    session_cookie_secure=True,
    session_cookie_http_only=True
```

)

Interacción 4: Generación de casos de prueba para el algoritmo**Herramienta:** Gemini (Google).**Fecha aproximada de uso:** Mayo de 2026.**Prompt:** *Necesito probar un algoritmo de recomendación de SAAC en personas con ELA. Genera una variedad de posibles combinaciones de parámetros a marcar para comprobar el correcto funcionamiento en distintas condiciones.***Respuesta de la IA:** La IA proporcionó una serie de respuestas detallando distintas combinaciones de selección (clínicas y técnicas) y la respuesta esperada que el algoritmo debería devolver.**Uso posterior en el TFG:** Apoyo técnico y pruebas. Los datos sirvieron como banco de pruebas para verificar el funcionamiento de las reglas lógicas antes de la fase de despliegue, garantizando que el sistema no generara salidas inesperadas o nulas.**Interacción 5: Redacción de cláusula legal (RGPD)****Herramienta:** Gemini (Google).**Fecha aproximada de uso:** Mayo de 2026.**Prompt:** *Actúa como un experto en reglamento de protección de datos en España. Redacta el borrador de una cláusula de consentimiento informado para una aplicación web académica que recopila datos de salud de pacientes con ELA para recomendarles sistemas de comunicación (SAAC). El consentimiento debe ser explícito, revocable, detallar que los datos se usarán solo con fines de investigación y que están completamente anonimizados.***Respuesta de la IA:** La IA devolvió una plantilla legal estructurada con las secciones obligatorias según el RGPD (Responsable, finalidad, legitimación, derechos y conservación).**Uso posterior en el TFG:** Orientación conceptual y redacción de contenido. El texto se adaptó para la vista de Base legal y el formulario del cuestionario (Apéndice C), garantizando el cumplimiento normativo.

Bibliografía

- [Boletín Oficial del Estado, 2023] Boletín Oficial del Estado (2023). Resolución de 14 de julio de 2023, de la dirección general de trabajo, por la que se registra y publica el xviii convenio colectivo estatal de empresas de consultoría, tecnologías de la información y estudios de mercado y de la opinión pública. BOE núm. 177, de 26 de julio de 2023, Referencia: BOE-A-2023-17238. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-17238.
- [Cedarbaum et al., 1999] Cedarbaum, J. M., Stambler, N., Malta, E., Fuller, C., Hilt, D., Thurmond, B., and Nakanishi, M. (1999). The ALSFRS-R: a revised ALS functional rating scale that incorporates assessments of respiratory function. *Journal of the Neurological Sciences*, 169(1):13–21.
- [Centro Aragonés para la Comunicación Aumentativa y Alternativa (ARASAAC), 2026] Centro Aragonés para la Comunicación Aumentativa y Alternativa (ARASAAC) (2026). Portal aragonés de la comunicación aumentativa y alternativa: Materiales y recursos. Disponible en: <https://arasaac.org/>.
- [ELA Andalucía, 2023] ELA Andalucía (2023). *Publicación sobre Esclerosis Lateral Amiotrófica*. Disponible en: <https://www.elaandalucia.es/wp-content/uploads/2023/02/publication.pdf>.
- [Fundación Miquel Valls, 2024] Fundación Miquel Valls (2024). Ela y comunicación: Sistemas alternativos y aumentativos de comunicación (saac). Disponible en: <https://lesturnerals.org/ela-y-comunicacion/>.
- [Grinberg, 2018] Grinberg, M. (2018). *Flask Web Development: Developing Web Applications with Python*. O'Reilly Media, 2nd edition.

- [IEEE Computer Society, 1998] IEEE Computer Society (1998). Ieee recommended practice for software requirements specifications (ieee std 830-1998). Technical report, IEEE, New York, NY.
- [International Organization for Standardization, 2010] International Organization for Standardization (2010). Ergonomics of human-system interaction – part 129: Guidance on software accessibility (ISO 9241-129:2010). Technical report, ISO, Geneva, CH.
- [Jefatura del Estado, 2018] Jefatura del Estado (2018). Ley orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales. Boletín Oficial del Estado, núm. 294, de 6 de diciembre de 2018.
- [Jefatura del Estado, 2022] Jefatura del Estado (2022). Real decreto 311/2022, de 3 de mayo, por el que se regula el esquema nacional de seguridad. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-7191>.
- [OWASP Foundation, 2021] OWASP Foundation (2021). Owasp top 10:2021 the most critical web application security risks. Disponible en: <https://owasp.org/www-project-top-ten/>.
- [Russell and Norvig, 2020] Russell, S. and Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson, 4th edition.
- [Telefónica Tech, 2021] Telefónica Tech (2021). Auditoría del esquema nacional de seguridad (ens). Documento técnico de referencia, código 802. Disponible en: https://media.telefonicatech.com/telefonicatech/uploads/2021/1/4480_802-Auditoria_ENS-jun10.pdf.
- [Unión Europea, 2016] Unión Europea (2016). Reglamento (ue) 2016/679 del parlamento europeo y del consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la directiva 95/46/ce (reglamento general de protección de datos). *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 119:1–88. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2016/119/L00001-00088.pdf>.
- [VirusTotal, 2026] VirusTotal (2026). Virustotal: Analizar archivos y urls sospechosos. Disponible en: <https://www.virustotal.com/gui/home/upload>.

- [(W3C), 2018] (W3C), W. W. W. C. (2018). Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.1. W3c recommendation, W3C.