



Al3cord: dispositivos IoT e Inteligencia Artificial para monitorizar y prevenir la fragilidad en personas mayores

Arturo Gómez Pellín, Sergio Jiménez Monferrer, José Francisco Pedrero Sánchez, María Amparo López Vicente, José David Garrido Jaén, Carlos Atienza Vicente

Instituto de Biomecánica (IBV).
Universitat Politècnica de València.
Edificio 9C. Camino de Vera s/n.
(46022) Valencia. España

El alto coste social y económico que supone el envejecimiento progresivo de la población mundial pone de manifiesto la necesidad de promover modelos eficaces de envejecimiento saludable que ayuden a prevenir o retrasar la enfermedad.

En este contexto, el **Instituto de Biomecánica (IBV)**, a través del programa de Proyectos Estratégicos en Cooperación de la Agència Valenciana de la Innovació (AVI), ha movilizado un consorcio formado por agentes valencianos del sector tecnológico y asistencial para llevar a cabo el proyecto Al3cord, un proyecto de I+D+i puntero en el desarrollo y evaluación de una solución tecnológica innovadora orientada al seguimiento y prevención de la fragilidad-cronicidad en personas mayores.

Al3cord ha permitido generar una plataforma tecnológica que, a través del uso de dispositivos IoT y técnicas de análisis de datos basadas en IA, es capaz de evaluar de forma remota, dinámica y mínimamente intrusiva, nuevos indicadores orientados al seguimiento y prevención de la fragilidad en personas mayores.

Este proyecto abre las puertas a su aplicación en el abordaje de otras patologías o dolencias de carácter crónico que se pueden beneficiar de una tecnología de monitorización remota y no invasiva.



INTRODUCCIÓN

La tendencia acentuada hacia un envejecimiento progresivo de la población mundial supone un importante impacto y problema económico y social, que se ve especialmente agravado por el coste asociado a las enfermedades y estados de dependencia en este sector de la población. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de transformar las actuales políticas sociales y sanitarias, basadas en modelos de carácter intervencionista, reactivos y centrados en la enfermedad, hacia modelos más sostenibles, basados en la prevención y preservación de la salud.

Resulta esencial por tanto entender cómo se puede promover de forma eficaz un modelo de envejecimiento saludable, que permita prevenir y retrasar la aparición de la enfermedad, así como la pérdida de capacidades y autonomía que llevan a estados de dependencia más temprana.

La magnitud y relevancia de este problema se pone de manifiesto en la Estrategia de Especialización Inteligente para la Investigación y la Innovación en la Comunitat Valenciana (RIS3-CV). Se trata de una estrategia diseñada para concentrar recursos intensivos en I+D+i al servicio del impulso de la economía y la transformación del modelo productivo en nuestra comunidad, y que ha definido el envejecimiento activo y saludable y la mejora de la atención a personas en situación de fragilidad o crónicas a través de soluciones tecnológicas innovadoras como **uno** de los 4 pilares de especialización de la I+D+i en la CV y como el objetivo prioritario en materia de salud.

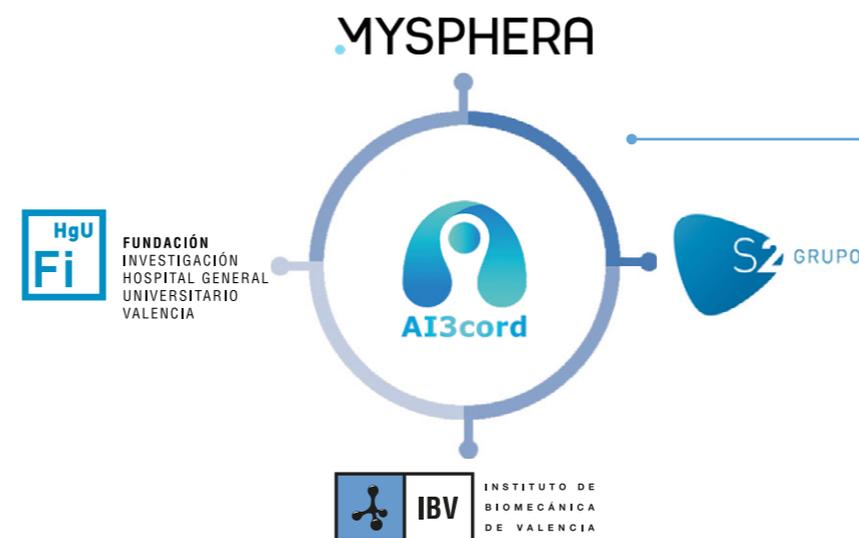
En esta misma línea, el Comité Estratégico de Innovación Especializado en Salud, órgano asesor de la Agència Valenciana de la Innovació (AVI) y cuya misión es aportar

soluciones tecnológicas innovadoras para los retos prioritarios de la CV en el ámbito de la salud y acelerar su implantación en el tejido empresarial, ha definido el control y prevención de la cronicidad-fragilidad como uno de los 3 grandes retos prioritarios.

En este contexto, el **Instituto de Biomecánica (IBV)**, a través del programa de Proyectos Estratégicos en Cooperación de la AVI [1], ha movilizado un consorcio formado por agentes valencianos del sector tecnológico y asistencial para llevar a cabo Al3cord (Figura 1), un proyecto de I+D+i puntero en el desarrollo y evaluación de una solución tecnológica innovadora orientada al seguimiento y prevención de la fragilidad-cronicidad en personas mayores.

Figura 1

Socios del proyecto Al3cord.





Al3cord ha reunido el conocimiento y habilidades de **MySphera**, una PYME tecnológica líder en Europa con implementaciones basadas en Internet de las cosas (IoT) en más de 50 hospitales y desarrolladora de sensores inteligentes, y de **S2 Grupo**, una gran empresa con una fuerte inversión en I+D+i y líder en soluciones de gestión cibersegura de datos, monitorización y recolección de eventos e inteligencia avanzada. Por la parte clínica asistencial, el consorcio ha contado con la participación destacada de la **Fundación de Investigación del Hospital General Universitario de Valencia (FIHGUV)**, un organismo de investigación con amplia capacidad de innovación y altamente experimentado en la valoración clínica de personas mayores y tecnologías para el envejecimiento activo.

La iniciativa ha aunado la experiencia de sus socios y los avances más recientes en tecnologías como (i) la Inteligencia Artificial (IA), (ii) el procesamiento de datos masivos (BigData), (iii) los dispositivos IoT para la monitorización de la actividad y la medición de signos vitales, o (iv) la implantación de sistemas 5G para la transferencia

de datos masivos a altas velocidades, para desarrollar una tecnología innovadora capaz de evaluar de forma remota, dinámica y proactiva indicadores del estado de salud de las personas mayores, así como detectar situaciones de riesgo, a través de la adquisición y el análisis de datos registrados de forma no invasiva durante la actividad cotidiana en su propio entorno.

Esta solución se enmarca dentro de un modelo asistencial de tipo “**hospital líquido**”, basado en la digitalización de los procesos para atender a los pacientes más allá de las barreras físicas de los centros sanitarios, con soluciones tecnológicas flexibles adaptadas a su entorno y necesidades, en este caso de telemonitorización.

De esta forma, Al3cord pretende dar respuesta a las necesidades planteadas por las principales estrategias sanitarias y de investigación a través de una solución orientada al seguimiento y prevención de la fragilidad-cronicidad en personas mayores basada en la medicina personalizada, preventiva, deslocalizada y centrada en maximizar el valor de la atención.



DESARROLLO

El proyecto Al3cord se ha desarrollado en 3 fases: 1) diseño y desarrollo de la plataforma, 2) estudio demostrador y 3) procesado, análisis de los datos y evaluación de la experiencia de uso.

FASE 1 – Diseño y desarrollo de la plataforma

Durante la fase de concepción de la solución, se identificaron **seis dominios de la fragilidad**^[2] relevantes por su potencial para ser evaluados de forma remota y no invasiva mediante dispositivos tecnológicos (Figura 2), excluyendo muchos otros que, pese a su contribución a explicar el estado de salud y fragilidad de las personas, sólo pueden ser evaluados en la

práctica clínica asistencial y/o no son aptos para su registro de forma remota y no invasiva (p.ej., factores genéticos, marcadores hormonales, inflamatorios, etc.).

Los dominios seleccionados fueron la actividad física, el descanso, el deterioro cognitivo, el estado nutricional, la situación social y el estado emocional. Para cada uno de estos dominios, se identificaron indicadores heterogéneos con una demostrada alta correlación con el grado de fragilidad en personas mayores y capaces de ser registrados mediante tecnologías de monitorización remota y no invasiva. Además, adicionalmente se identificaron los datos socio-demográficos y clínicos de mayor valor en relación al estado de fragilidad de las personas, como información complementaria a los indicadores anteriores.

A la identificación de estos indicadores de seguimiento contribuyó el trabajo de profesionales sanitarios, que participaron en **grupos de discusión y entrevistas en profundidad** con el objetivo de analizar su experiencia y necesidades en relación a la vigilancia del estado de salud y fragilidad de las personas mayores, y definir indicadores orientados a la prevención de la pérdida de capacidades asociadas a la fragilidad y cronicidad, así como a la detección temprana de riesgos que requieran intervenciones.



Figura 2

Clasificación de dominios de la fragilidad e indicadores relacionados basada en diferentes estudios y proyectos consultados cuyo objetivo era la evaluación de la fragilidad de forma remota mediante tecnología.



A continuación, se llevó a cabo un **análisis exhaustivo de tecnologías** capaces de monitorizar de forma remota y no invasiva los indicadores definidos y que cumpliesen, entre otros, con requisitos de 1) integración en el entorno personal domiciliario y mínima intrusividad con las rutinas diarias de las personas, 2) precisión y confiabilidad de las medidas, 3) facilidad de uso por parte de personas mayores sin habilidades técnicas, 4) monitorización de información en tiempo real para la detección de anomalías e intervención temprana, 5) protección de la privacidad y confidencialidad de las personas, 6) compatibilidad para una fácil integración e intercambio de datos y 7) rentabilidad para no representar una carga económica excesiva para las personas mayores o sus cuidadores.

A partir de este trabajo y de la amplia experiencia del IBV y del resto de socios en envejecimiento activo y tecnologías para la valoración de la salud, se llevó a cabo la **definición de las especificaciones** de la plataforma Al3cord relati-

vas tanto a aspectos técnicos, tales como la tipología de datos, frecuencia de mediciones, conectividad, autonomía, mantenimiento, etc., como a aspectos no-técnicos como la usabilidad, seguridad, aspectos legales, accesibilidad, adaptabilidad al entorno, etc. Finalmente, y a partir de las especificaciones establecidas, se evaluaron diferentes propuestas, se definió la arquitectura más idónea para la red de dispositivos de sensorización, comunicación, procesado y almacenamiento de datos, y se seleccionaron los dispositivos más apropiados.

La figura 3 muestra un esquema general de la plataforma Al3cord que está compuesta por:

- Una **red de dispositivos IoT** que capturan información tanto en el domicilio como en el entorno exterior de la persona durante su actividad diaria.
- Un **gateway** o **pasarela** cuyas funciones son la interconexión de los dispositivos IoT, la recepción y dis-

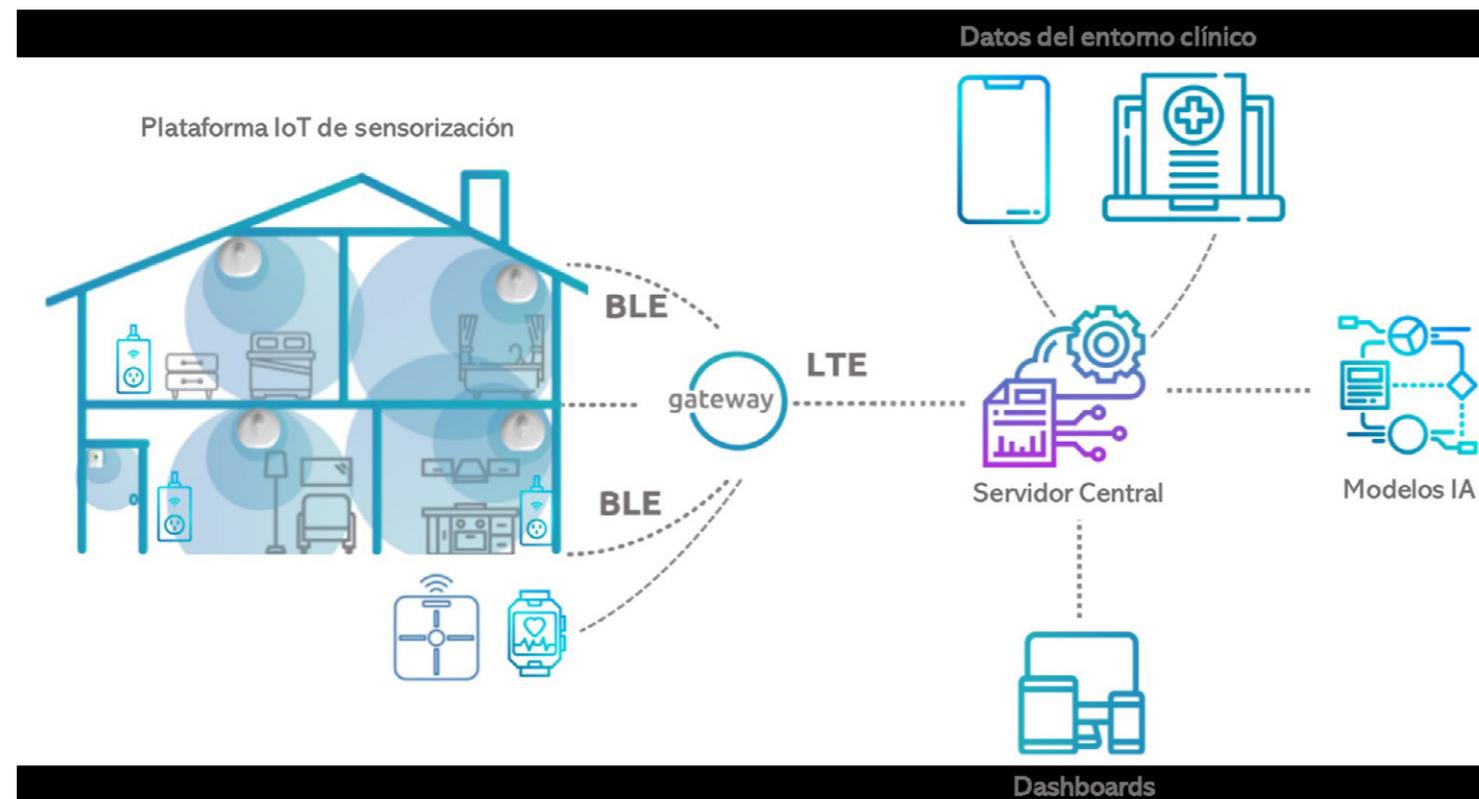


Figura 3
Esquema de la
plataforma Al3cord.



tribución de los datos, la gestión de las pérdidas de comunicación, así como la encriptación y seguridad de las comunicaciones.

- Un **servidor central** cuyas funciones son, entre otras, la recopilación y el almacenamiento de los datos capturados en un sistema de BBDD, el análisis preliminar de los mismos, el despliegue de diferentes microservicios responsables de la conexión con las diferentes fuentes de datos, el uso de APIs para la integración de las aplicaciones y el suministro de datos para su procesado por los módulos de IA.
- Dos **aplicaciones con sus respectivas interfaces** (dashboards) para el registro y visualización de información

tanto por parte del usuario (aplicación móvil, figura 4) como del clínico (aplicación web, figura 5).

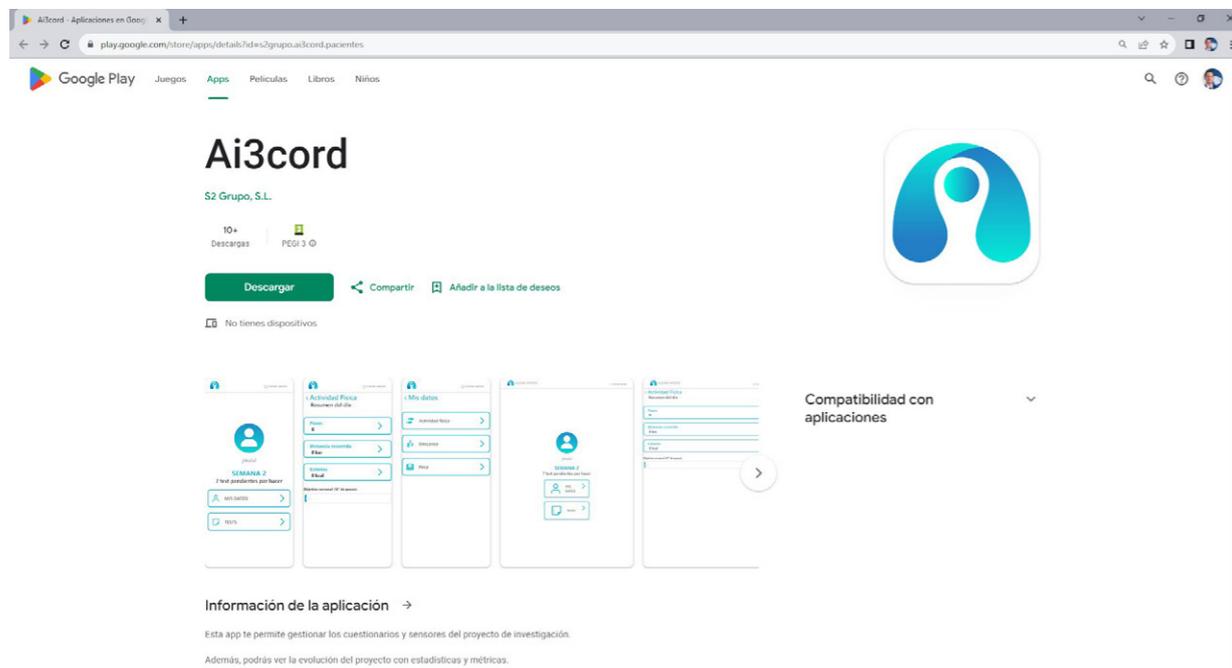


Figura 4
App móvil AI3cord.

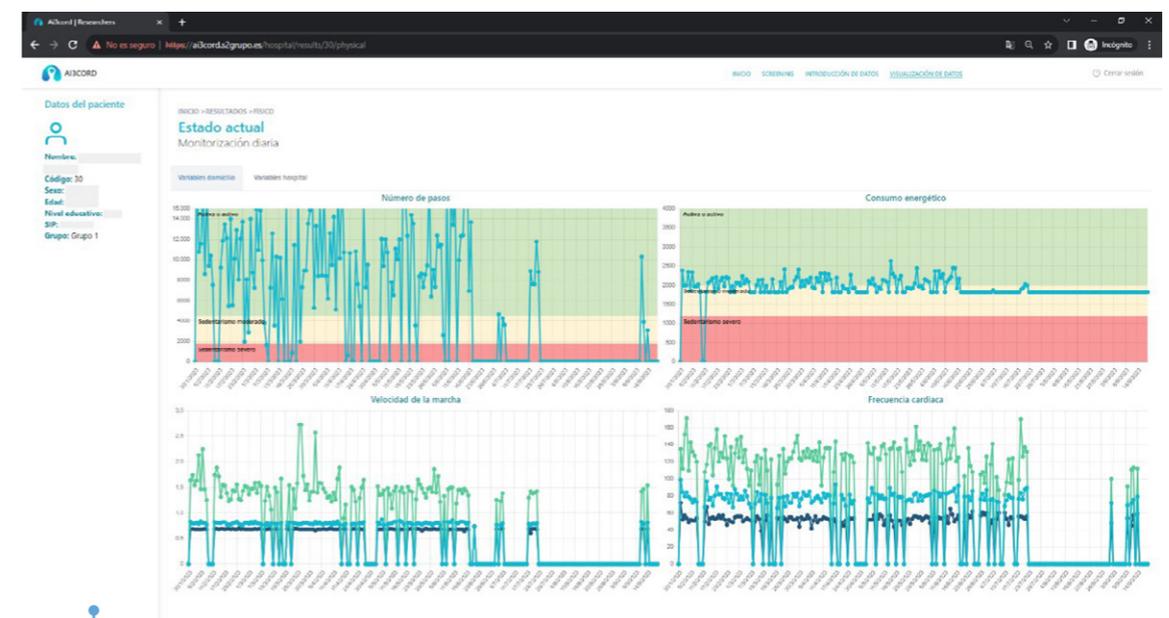
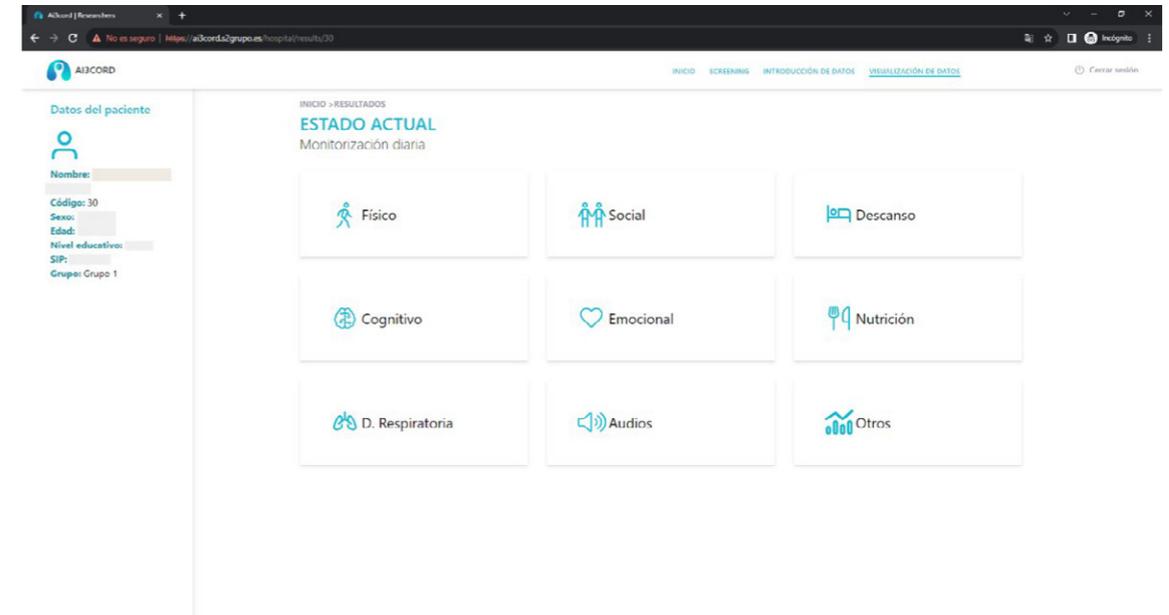


Figura 5
Interfaz de registro y visualización de datos del paciente de uso clínico.



La figura 6 muestra los **dispositivos IoT** específicamente utilizados en la plataforma Al3cord para la monitorización del estado de salud de las personas en su domicilio y entorno exterior:

Un **reloj inteligente** que permite medir parámetros de actividad tales como la frecuencia cardiaca, velocidad de la marcha, número de pasos, calorías consumidas y distancia recorrida.

Una **aplicación móvil** que permite registrar a través de cuestionarios periódicos aspectos relacionados con la percepción de soledad, fatiga, calidad del descanso o memoria entre otros.

Sensores de presencia que permiten detectar la actividad de la persona en su hogar y evaluar aspectos relacionados con su actividad física, así como patrones de comportamiento relevantes en estados de fragilidad (p.ej., rutinas de alimentación o aseo).

Sensor de puerta que permite detectar entradas y salidas en el domicilio y evaluar aspectos como el tiempo que la persona pasa en el hogar o fuera de él, o el tiempo que pasa acompañado en el hogar.

Báscula digital para el control regular del peso.

FASE 2 - Estudio demostrador

Durante la segunda fase del proyecto se llevó a cabo un estudio demostrador para evaluar el uso de la plataforma



Figura 6

Dispositivos de la plataforma Al3cord.



AI3cord en un entorno real, con una muestra de 23 personas mayores de 60 años en distintos estadios de fragilidad.

El estudio, que tuvo una duración de 8 meses, permitió capturar de forma ininterrumpida y a través de la plataforma AI3cord, datos de los participantes relacionados con su estado físico, cognitivo, social, emocional, nutricional y de descanso.

Además, los participantes fueron citados y evaluados en dos ocasiones (al inicio y final del estudio) en las instalaciones del Hospital General por personal clínico del proyecto utilizando diferentes cuestionarios y pruebas clínicas estandarizadas, con el fin de caracterizar el estado de salud y

nivel de fragilidad de los mismos desde el punto de vista clínico.

La figura 7 muestra de forma esquemática la metodología de estudio piloto descrita.

FASE 3 – Procesado, análisis de los datos y evaluación de la experiencia de uso

Durante la última fase del proyecto se llevó a cabo el procesado y análisis de los datos registrados durante el estudio, así como la evaluación de la experiencia de uso de la plataforma por los participantes.



Figura 7
Metodología del estudio piloto.



A continuación, se describen de forma resumida los principales análisis realizados y los resultados obtenidos.

Evaluación del estado emocional a partir de la voz

La aplicación móvil desarrollada para el registro de información por los usuarios, permitió, además de cumplimentar de forma periódica cuestionarios relacionados con factores predictores de fragilidad, que los usuarios registrasen mediante su voz cómo se habían sentido durante la semana (Figura 8).

Posteriormente, los ficheros de audio registrados fueron analizados utilizando técnicas de procesamiento del lenguaje natural que permitieron estimar, a partir del lenguaje utilizado por las personas y mediante algoritmos basados en IA, el estado emocional de los participantes durante el estudio (Figura 9).

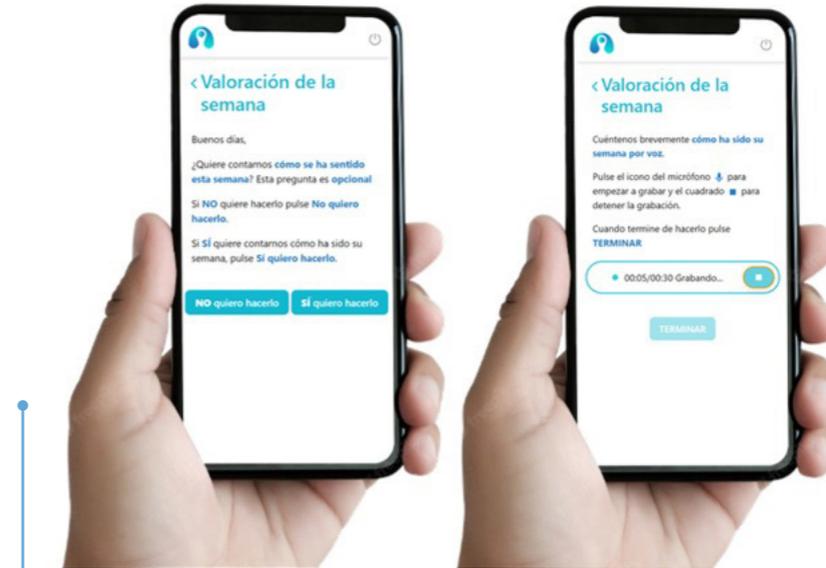


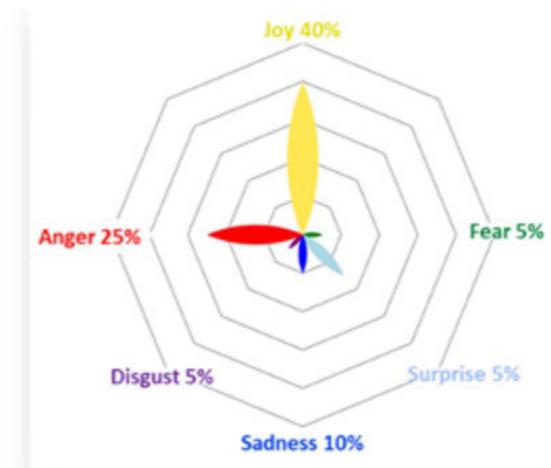
Figura 8

Funcionalidad de la app Al3cord para el registro del estado anímico a través de la voz.



Figura 9

Proceso de análisis para la evaluación del estado emocional a partir de la voz.





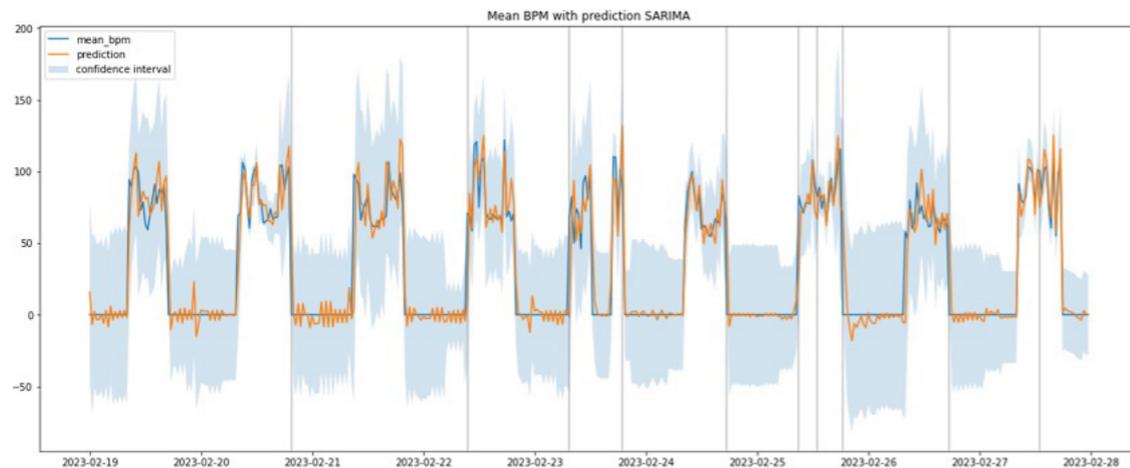
Detección y análisis de anomalías a través del *smartwatch*

El objetivo de este análisis fue la detección de patrones anómalos en las señales proporcionadas por el *smartwatch* (i.e., señal de ritmo cardíaco, número de pasos y velocidad de marcha) mediante el uso combinado de técnicas estadísticas o el uso de redes neuronales (Figura 10).

La aplicación de estas técnicas permitió detectar cambios significativos en los datos registrados por el *smartwatch* que se relacionaron con la aparición de eventos clínicos registrados durante el estudio como problemas de salud física, procedimientos médicos o empeoramientos del estado de salud mental de los participantes.

Clasificación en grupos y seguimiento evolutivo

El objetivo de este análisis fue el uso de técnicas de clustering para generar agrupaciones de personas de características similares de acuerdo a múltiples indicadores relacionados con la fragilidad registrados durante el estudio a través de la plataforma Al3cord.



Estas agrupaciones posibilitan hacer un seguimiento del estado de las personas en el tiempo y enviar una alerta cuando una persona se aleja de su grupo y está en riesgo de formar parte de otro grupo de mayor nivel de fragilidad, a fin de tomar medidas terapéuticas de forma preventiva.

Evaluación de la experiencia de uso

Para valorar la experiencia de uso de la plataforma, tanto por parte del personal sanitario como de las personas mayores participantes en el estudio, se llevaron a cabo entrevistas en profundidad que permitieron recoger, entre otros aspectos, la opinión en relación a la facilidad de uso de la plataforma, grado de aceptación, interpretación de los resultados, calidad y utilidad de la información proporcionada, cumplimiento de expectativas, identificación de carencias y necesidades no cubiertas, etc.

La valoración general de la plataforma Al3cord ha sido muy positiva, destacando, entre otros aspectos, que mejora el problema que cubre, es cómoda y fácil de utilizar y ofrece un gran potencial para el seguimiento de personas en estado de fragilidad.

Figura 10

Modelado de la señal de ritmo cardíaco de un participante de Al3cord utilizando un modelo SARIMA. Eje X: Tiempo, Eje Y: BPM medio por 30 minutos (azul), predicción de SARIMA (naranja) e intervalo de confianza de SARIMA (sombreado). Las líneas verticales corresponden a anomalías detectadas.



CONCLUSIONES

El proyecto Al3cord ha permitido generar una plataforma tecnológica que, a través del uso de dispositivos IoT y técnicas de análisis de datos basadas en IA, es capaz de evaluar de forma remota, dinámica y mínimamente intrusiva, nuevos indicadores orientados al seguimiento y prevención de la fragilidad en personas mayores.

El estudio llevado a cabo ha permitido evaluar el uso de la solución Al3cord en el entorno real de las personas y el valor de los indicadores registrados para la detección de cambios en el estado de salud de las personas.

La evaluación de la experiencia de uso de los participantes ha puesto de manifiesto un alto grado de aceptación, participación y satisfacción con la tecnología Al3cord.

El proyecto Al3cord, gracias al carácter flexible y extensible de su arquitectura abierta IoT, abre las puertas a su aplicación en el abordaje de otras patologías o dolencias de carácter crónico que se pueden beneficiar de una tecnología de monitorización remota y no invasiva, como por ejemplo la insuficiencia cardíaca avanzada [3] o la rehabilitación en áreas rurales [4] en las que trabaja activamente el IBV. □

[1] El proyecto Al3cord se enmarca dentro del **Reto 1** del Comité Estratégico de Innovación Especializado en Salud, orientado al **control y prevención de la cronicidad-fragilidad**.

[2] La multidimensionalidad de la fragilidad hace referencia a las diferentes características y aspectos de las personas y su entorno que pueden condicionar o verse afectadas con el declive de la salud y las capacidades.

[3] PCP Tique - <https://www.tiquepcp.eu/>

[4] PCP Rosia - <https://rosia-pcp.eu/>

Agradecimientos

Al3cord se ha llevado a cabo gracias al apoyo y financiación de la Agencia Valenciana de la Innovación a través del programa 2021-2023 de apoyo al desarrollo de grandes proyectos de I+D+i en cooperación entre agentes del Sistema Valenciano de Innovación (INNEST/2021/237), y a la colaboración entre los cuatro socios del proyecto: MySphera, S2 Grupo, FIHGUV e IBV.