

# Detector automático de caídas y monitorización de actividad para personas mayores

Guillaume Pérolle<sup>a</sup> e Igone Etxeberria Arritxabal<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Fundación Fatronik. San Sebastián. Guipúzcoa. España.

<sup>b</sup>Fundación Instituto Gerontológico Matia (INGEMA). San Sebastián. Guipúzcoa. España.

## RESUMEN

Nuestras sociedades modernas sufren un incremento de personas mayores mientras al mismo tiempo se reducen los presupuestos de seguridad social y atención médica. Para evitar la necesidad de centros de atención especializados para personas mayores (centros que representan un gasto importante), la tendencia actual refuerza el mantenimiento de las personas mayores en sus propios domicilios durante el máximo tiempo posible. El dispositivo que se presenta en este artículo se dirige precisamente a cumplir ese objetivo, ya que provee la localización del usuario, la detección automática de caídas y monitorización de actividad para su uso en interior y en exterior. Esa información se recibe y registra en un centro de llamadas donde se gestionan las situaciones de emergencia, en el caso de que se genere una alarma.

### Palabras clave

Personas mayores. Detector de caídas. Monitorización de la actividad. Teleasistencia móvil.

## Automatic fall detector and activity monitor for the elderly

### ABSTRACT

Modern societies are experiencing an increase in the elderly population while at the same time social security and health costs are being cut. To avoid the need for specialized care centers for the elderly (which represent substantial costs), the current trend is to encourage the elderly to stay in their homes as long as possible. The product presented in this article contributes to this objective, since it provides automatic fall detection and activity monitoring both for indoor and outdoor activities. The information is received

and registered by a call center, which provides support and manages emergency situations.

### Key words

Elderly people. Fall detector. Activity monitoring. Mobile tele-assistance.

## INTRODUCCIÓN

En la mayoría de nuestros países, las personas mayores son el segmento de población con más fuerte incremento, y esta tendencia irá aumentando durante los próximos años. En efecto, en el año 2035, un tercio de los europeos tendrá más de 65 años. Al mismo tiempo, los servicios de salud pública tienen que hacer frente a la reducción de presupuestos y a una presión cada día mayor para reducir los gastos. Considerando también la escasez de sitios especializados para atender a personas mayores, la solución se está orientando hacia el mantenimiento de la persona mayor en su propio domicilio. Para las personas mayores, que representan una parte importante de los gastos sociales, significa en muchos casos la obligación de vivir solos y de forma independiente en sus casas, con todos los riesgos que esto conlleva. Para dar respuesta a esas nuevas necesidades, la investigación ha llevado a cabo diferentes desarrollos de sistemas de telemedicina durante los últimos 20 años<sup>1</sup>. Estos sistemas están pensados para ofrecer mayor seguridad a personas que viven solas en sus casas, incluso a personas que viven en centros especializados, como una herramienta eficaz para ayudar a los cuidadores.

Uno de los riesgos mayores a los que se enfrenta la población más frágil (mayores, enfermos) son las caídas. En efecto, el 30% de las personas mayores se cae al menos una vez al año, lo que representa el 75% de las víctimas de caídas. La caída causa el 70% de los accidentes mortales en el colectivo de personas mayores de 75 años, y del incremento del miedo, la ansiedad o la depresión, lo que conduce a la reducción de la actividad diaria de ese colectivo. Estos hechos son la razón del desarrollo de varias soluciones de detección automática de caídas o de prevención, para asegurar una respuesta rápida en caso de que tal evento ocurra<sup>2</sup>. Sin embargo, hoy día se utilizan

Financiado por la Comisión Europea con el proyecto CRAFT HEBE con el contrato 5935.

Correspondencia: Dra. I. Etxeberria Arritxabal.  
Fundación Instituto Gerontológico Matia (INGEMA).  
Usandizaga, 6. 20002 San Sebastián. Guipúzcoa. España.  
Correo electrónico: ietxeberrria@fmatia.net

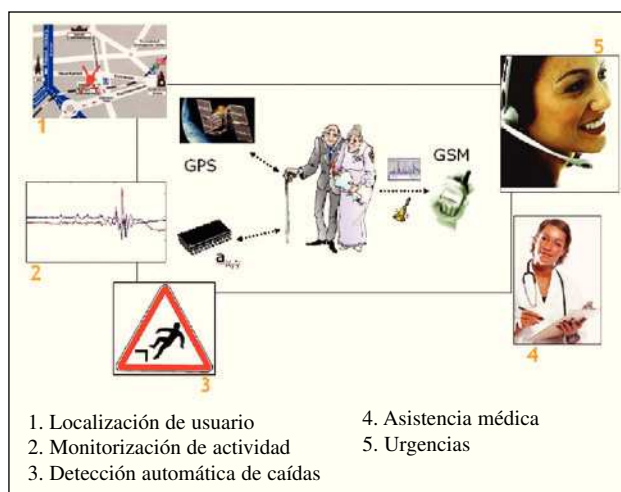


Figura 1. Servicios incluidos en el sistema.

pocos sistemas comerciales, debido a problemas de fiabilidad, facilidad de instalación y uso, o bien porque las personas no aceptan el dispositivo, por ser demasiado invasivo o caro, por ejemplo.

Después de un resumen de los sistemas existentes, este artículo describe un producto innovador desarrollado para ofrecer nuevos servicios para mayores. Un dispositivo móvil y totalmente autónomo, asociado a un avanzado centro de llamadas, ofrece la completa monitorización de la actividad, la detección automática de la caída y la localización; se puede utilizar en entornos interiores y exteriores y todo ello en un único dispositivo. La funcionalidad del sistema (tanto al nivel de servicios como de tecnologías) y su uso se explican a continuación (fig. 1).

## CONTEXTO

Los sistemas de telemedicina incluyen todos los sistemas diseñados para ayudar a población con un alto grado de riesgo (debido a su edad, enfermedades, discapacidad) a mejorar su calidad de vida reduciendo el factor de riesgo y el estrés, dándole más libertad en sus movimientos y actividades y reduciendo el grado de preocupación de sus familiares y cuidadores. Este tipo de sistemas está diseñado para personas que viven solas en sus casas o en un centro especializado.

Se han desarrollado diferentes sistemas de telemedicina con diferentes grados de complejidad, desde un sistema sencillo para recordar al usuario tomar sus medicinas hasta una casa totalmente instrumentada con interfaces multiusuarios complejos e inteligencia artificial para tomar las decisiones adecuadas<sup>1,3</sup>. El sistema de uso más común en Europa es seguramente la llamada «telealarma», que consiste en un collar o reloj que lleva el usuario con un botón de pánico incorporado a la alarma a través de

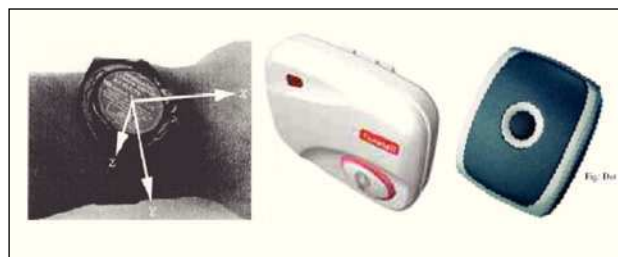


Figura 2. Ejemplo de detectores de caídas.

una central conectada al teléfono fijo en casa del usuario. Este tipo de sistema resulta muy limitado: si la persona no tiene la posibilidad de pulsar el botón (porque está inconsciente, se ha roto el brazo, etc.), no tiene posibilidad de mandar la alarma. Además, este tipo de dispositivo está limitado a un uso interior.

Ya que las caídas son un gran problema para las personas mayores y sus cuidadores, lógicamente la mayoría de estos aparatos de telemedicina están destinados a la detección de caídas. La detección de caídas requiere un aparato con características especiales debido al gran número de parámetros implicados y para evitar que el sistema sea incómodo o demasiado molesto<sup>4</sup>. Se han investigado diferentes tecnologías para detectar las caídas, que se pueden dividir en cuatro grandes grupos<sup>5</sup>:

1. Aparatos que se llevan, detección inmediata: esta categoría incluye pequeños aparatos llevados por los usuarios, capaces de detectar la caída cuando ocurre y de provocar una alarma inmediata. Las tecnologías de detección utilizadas son choque, posición, sensores de inclinación y acelerómetros junto con algoritmos de control adecuados en un microcontrolador. La figura 2 muestra ejemplos de los detectores de caídas.

2. Aparatos que se llevan, comportamiento inusual: estos detectores de caídas son también pequeños aparatos que llevan los usuarios, pero no son capaces de detectar una caída. Éstos monitorizan la actividad de la persona y detectan un comportamiento inusual comparando con un patrón de comportamiento típico de la persona. Estos sistemas pueden tardar algún tiempo antes de emitir una alerta (un comportamiento inusual puede detectarse solamente en una hora o más), y no diferencia una caída de otro comportamiento anormal.

3. Monitorización ambiental, detección inmediata: esta tecnología consiste en la instalación de sensores en el entorno de la persona para detectar una caída. Las tecnologías utilizadas son, por ejemplo, grabación en vídeo y análisis de imágenes, análisis de sonido, instalación de sensores de choque en el suelo o en las alfombras. Las principales desventajas de estos sistemas son que requieren instalación de sensores en cada habitación de la casa (incluido el cableado), que son demasiado mo-

lestos (invasivos) y que pueden ser caros (análisis de vídeos).

4. Monitorización ambiental, comportamiento inusual: como en la categoría anterior, el entorno se equipa con sensores para poder monitorizar la actividad de la persona. Por ejemplo, se colocan en las puertas y ventanas sensores de contacto o barreras de infrarrojo (IR), se instalan en las habitaciones detectores IR pasivos. Entonces se analiza la información recopilada por los sensores, gracias a los sistemas inteligentes de análisis (inteligencia artificial) para detectar un comportamiento inusual y, por tanto, una posible caída. Estos sistemas requieren una gran infraestructura (muchos sensores y un cableado complicado) y un buen sistema de análisis. A menudo resultan bastante caros.

Este rápido estado del arte evidencia que realmente ningún sistema hace frente completamente a los requisitos del usuario. Los aparatos que se llevan con detección inmediata parecen ser las soluciones más adecuadas para la detección de caídas en personas mayores. Sin embargo, muy pocos sistemas comerciales están disponibles actualmente en el mercado. La mayor dificultad es diseñar un detector fiable, que no sea incómodo y que sea fácil de utilizar. Con el nuevo producto presentado, Fatronik-INGEMA (Fundación Instituto Gerontológico Matia) pretende presentar un sistema innovador con prestaciones y funciones mejoradas, incluidas las funciones de seguimiento de la actividad y detección de caídas, tanto para su uso en el interior como en exterior. Las principales funciones del producto se presentan a continuación.

## REQUISITOS DEL USUARIO

El primer paso en el diseño del producto fue identificar claramente los requisitos del usuario y analizar en qué pueden fallar los productos existentes con respecto a esas necesidades. Con objeto de analizar conjuntamente las especificaciones del dispositivo, se organizaron grupos de discusión con usuarios finales para analizar las funciones que el detector de caídas debería incluir, así como otros aspectos que los usuarios finales consideran importantes tener en cuenta (p. ej., interfaz del usuario, servicios, fácil utilización, estética, etc.). Estos grupos fueron organizados, coordinados y dirigidos por profesionales cualificados de INGEMA (Fundación Instituto Gerontológico Matia). Se han realizado esfuerzos importantes para obtener un producto orientado al usuario. En efecto, las personas mayores son usuarios bastante exigentes y el sistema tiene que diseñarse específicamente para cumplir sus necesidades. Los requisitos del usuario más importantes son tener en cuenta, en orden de importancia, los siguientes puntos:

1. Fiabilidad del sistema: llevar un sistema como éste es una complicación adicional para las personas mayores

y merece la pena sólo si el sistema es fiable en la detección de caídas y situaciones anormales. Uno de los objetivos más importantes del producto es dar más confianza a los usuarios en su vida diaria. Tal objetivo se consigue solamente con un sistema altamente fiable. Los usuarios finales no quieren ni falsas alarmas ni caídas no detectadas.

2. Funciones y servicios ofrecidos: se puede llevar a cabo una gran oferta de servicios en una plataforma como ésta. Sin embargo, según los usuarios finales, son tres los servicios más importantes para ellos. El seguimiento de la actividad es útil para tener un seguimiento médico de la persona. La detección automática de caídas, sin la necesidad de pulsar un botón para emitir la alarma, se considera un importante valor añadido comparado con los sistemas existentes. Finalmente, la localización del usuario tiene dos intereses principales: la localización del usuario cuando se detecta una caída para enviar a los servicios de emergencia al sitio donde se encuentra esa persona y ayudar a un usuario perdido a encontrar el camino a casa desde el centro de llamadas. La posibilidad de utilizar el detector tanto en interiores como exteriores se considera una ventaja real.

3. Diseñar un aparato para llevar no molesto y discreto: para las personas mayores, llevar un detector de caídas se percibe como algo molesto y bastante alarmante: pierden autonomía y es duro admitir la necesidad de un servicio como éste. Para hacerlo más fácil, hay que hacer un esfuerzo para diseñar un detector de caídas discreto y que no sea molesto en la vida diaria de las personas mayores. Lo ideal sería que los demás no vean que alguien lleva el detector de caídas.

4. Interfaz de usuario y utilización fácil: las personas mayores no están acostumbradas a las nuevas tecnologías y a los aparatos electrónicos, y el proceso de aceptación es siempre más difícil que en gente joven. La interfaz del detector tiene que ser simple, intuitiva y fácil de usar. La información que se enseña debe ser clara. Teniendo en cuenta posibles pequeñas discapacidades de las personas mayores, deberán utilizarse tanto las señales visuales como las auditivas. Finalmente, se pondrá un botón de alarma en la interfaz que permitirá desactivar una alarma generada automáticamente, así como activar una alarma voluntariamente si el usuario lo necesita.

5. Respeto a la privacidad y datos personales: algunos de los datos manejados por el detector y el centro de llamadas se consideran críticos y deberán protegerse para asegurar la privacidad de los datos. En efecto, la información como la localización del usuario o la actividad de la vida diaria se consideran suficientemente personales como para tratarse con las consideraciones necesarias y así respetar la privacidad de los usuarios.

La mayoría de los requisitos señalados por los usuarios finales se tuvieron en cuenta en el desarrollo del sistema.

Los grupos de debate permitieron validar la necesidad de desarrollar un nuevo sistema con nuevas características, así como las funciones principales a ser aplicadas. Los requisitos son realmente exigentes en relación con el tamaño final o el peso del sistema; sin embargo, las limitaciones tecnológicas tendrán que tomarse en cuenta. Las funciones consideradas necesarias son la localización del usuario, el seguimiento de la actividad y la detección automática de caídas. Las tecnologías GSM/GPRS y GPS serán aplicadas para permitir la utilización tanto en interiores como exteriores. Finalmente, se hará un esfuerzo especial para tener en cuenta los requisitos referentes a la interfaz, el uso y la privacidad. El proyecto se desarrollará en estrecha colaboración con las personas mayores y el centro gerontológico.

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En este párrafo se describe el sistema desarrollado, así como sus principales funciones. El sistema incluye los siguientes elementos principales:

1. Un módulo móvil que el usuario lleva, que permite la localización del usuario, la detección automática de la caída y el seguimiento de la actividad.

2. Un centro de llamadas para la recepción de datos del módulo móvil, el análisis y el archivo de datos, y para gestionar las situaciones de emergencia.

### Modulo móvil

#### Funciones

El módulo móvil es portado por el usuario en todo momento. Se analiza la actividad cinemática del usuario para llevar a cabo el seguimiento de esa actividad y la detección de caídas.

1. Aspectos ergonómicos e interfaz: el módulo móvil se llevará en el cinturón, ya que este lugar se ha definido como el más discreto y conveniente teniendo en cuenta el tamaño y el peso del módulo. Su interfaz incluirá un botón de alarma fácilmente accesible para cancelar una falsa alarma, si fuera necesario (en caso de falsas alarmas, o de caídas sin consecuencias para la persona) o activar voluntariamente la alarma (en caso de necesidad aunque no haya una caída). La interfaz del usuario se completa con señales luminosas y auditivas relacionadas con el estado del módulo móvil: carga de batería, detección de caídas, validación del envío de alarma, etc. Esta interfaz es simple y mínima.

2. Seguimiento de la actividad: la actividad cinemática del usuario se analiza en tiempo real mientras éste realiza cualquier actividad en su vida diaria. El seguimiento monitorizado clasifica la actividad del usuario de acuerdo con 4 grados: actividad nula, de grado bajo, medio o alto. Este seguimiento se efectúa cada minuto y los datos son ar-

chivados en el módulo. Una vez al día, se envía la actividad de las últimas 24 h al centro de llamadas para su análisis. Esta función permite a los cuidadores seguir la actividad del usuario y detectar actividades anormales.

3. Detección automática de caídas: también se lleva a cabo en tiempo real mientras el usuario realiza actividades en su vida diaria. El algoritmo aplicado detecta cuándo ocurre una caída. Basándose en un patrón de caídas, el sistema es capaz de diferenciar las actividades del día a día de caídas de cualquier tipo, y de esta manera evita falsas alarmas (actividades que han sido detectadas como una caída y que no lo son). Por una parte, las actividades diarias son numerosas y variadas, y por otra, se debe detectar todo tipo de caídas (fiabilidad), lo que conduce a la posible hipersensibilidad del sistema (numerosas falsas alarmas). El algoritmo aplicado a la detección de caídas tiene en cuenta estas dificultades para realizar una detección automática fiable. Además, en el caso extremo de que ocurra una falsa alarma, o que la caída no se haya detectado, se puede utilizar el botón de alarma.

4. Localización del usuario: el servicio de localización del usuario está integrado en el sistema. La utilización de la tecnología GPS permite la localización en cualquier sitio, lo que otorga más flexibilidad al uso del sistema. Esta función es necesaria para completar dos aspectos importantes: se envía la localización precisa del usuario en caso de alarma (debido a una detección automática de la caída o debido a la puesta en marcha de la alarma por el propio usuario que presiona el botón de alarma), o bien si desde el centro de llamadas se quiere localizar al usuario; esta funcionalidad es necesaria sobre todo en el caso de personas que pueden perderse fácilmente en sus desplazamientos diarios.

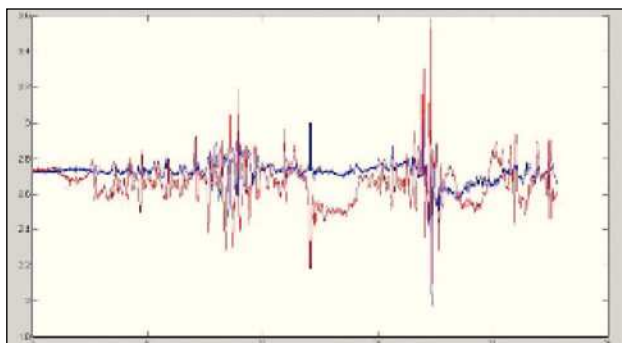
5. Comunicación de voz bidireccional: este sistema incluye también una comunicación de voz bidireccional entre el paciente y el centro de llamadas, es una especie de teléfono móvil. Sin embargo, el sistema no es un teléfono móvil, y esta función se activa solamente desde el centro de llamadas. Es muy útil en caso de que se reciba una alarma para poder hablar con el usuario y valorar la gravedad del suceso, así como el tipo de emergencia o ayuda necesaria en cada momento.

#### Tecnología

En el sistema se han aplicado tecnologías avanzadas para conseguir las funciones requeridas, así como para permitir su utilización en interiores y exteriores. Se ha tenido en cuenta desde el principio la miniaturización y el consumo bajo de energía, ya que el sistema se lleva y tiene que funcionar con baterías.

1. Actividad cinemática: tanto los algoritmos para el seguimiento de actividad como para la detección de caídas necesitan que la actividad cinemática del usuario sea monitorizada continuamente en tiempo real. Se utiliza un





**Figura 3.** Actividades cinemáticas típicas seguidas por una caída: salida de acelerómetro biaxial.

acelerómetro biaxial para detectar los diferentes movimientos del usuario durante sus actividades diarias. La figura 3 muestra los típicos datos de un acelerómetro durante distintos tipos de actividades. Para reducir al máximo el tamaño final del sistema, se ha elegido aplicar tecnología MEMS (Micro-Electro-Sistemas Mecánicos).

El seguimiento de la actividad se lleva a cabo a través de una red neuronal que, mediante un análisis de las señales del acelerómetro biaxial, es capaz de clasificar la actividad del usuario en 4 categorías principales: grado de actividad nula, bajo, medio y alto. Cada minuto, el grado de actividad es evaluado y guardado. El informe de seguimiento de actividad se envía al centro de llamadas una vez al día (24 h de grabación). El algoritmo de detección de caídas está basado principalmente en la comparación de los datos instantáneos de los acelerómetros, para definir patrones y parámetros de actividad y así diferenciar una caída de una actividad normal. Este algoritmo está diseñado para detectar fiablemente la mayoría de las caídas (de frente, de espaldas, lateralmente, pérdida de conocimiento) y para diferenciarlas de otras actividades normales (sentarse, subir o bajar escaleras, correr, etc.).

2. Localización del usuario: se utiliza tecnología GPS para localizar al usuario. La mayor ventaja del GPS es que el usuario puede ser localizado en cualquier parte del mundo, excepto dentro de los edificios. Para optimizar el consumo de energía, la adquisición de coordenadas GPS se configura en función de la velocidad de movimiento del usuario: si el usuario se mueve rápidamente (p. ej., en un autobús o coche), las coordenadas GPS se tomarán más frecuentemente que cuando el usuario se mueve lentamente. Además se guardan en el sistema las últimas coordenadas del GPS, para utilizarlas en caso de que se pierda la recepción del GPS o en caso de que el usuario esté en el interior de un edificio (la última coordenada guardada del GPS indicará la puerta de entrada de este edificio, haciendo posible la localización del usuario). El receptor GPS y su antena están integrados en el módulo móvil.

3. Comunicaciones: el módulo móvil se utilizará tanto en los interiores como los exteriores, y necesitará comunicación permanente con el centro de llamadas. Para mayor flexibilidad de uso, se ha decidido utilizar tecnologías sin cables comúnmente disponibles. Por eso, se ha incluido un módulo GSM/GPRS de emisión/recepción y su antena en el módulo móvil. Esta red se utiliza tanto para enviar o recibir datos del centro de llamadas (alarma, informe de seguimiento de actividad, localización) como para la comunicación por voz bidireccional. La recepción y la emisión se dirigen a través del protocolo de comunicación UDP. La tecnología GSM/GPRS está disponible a bajo coste y hace posible la utilización del dispositivo sin problemas tanto en actividades en interiores como en exteriores.

Cuando se detecta una alarma, asegurar una buena comunicación es crítico. Un protocolo de comunicación específico, incluyendo las validaciones necesarias, se ha desarrollado para asegurar que el centro de llamadas reciba la alarma satisfactoriamente. Si no se puede enviar ninguna alarma (debido a la pérdida de red GPRS), el usuario es informado para darle la oportunidad de encontrar otra forma de obtener ayuda.

#### Utilización del sistema

Para ser efectivo, el usuario debe llevar el módulo móvil en todo momento. La figura 4 muestra el prototipo que se ha desarrollado; la figura 5, una mujer llevando el dispositivo durante el período de pruebas de usabilidad. El sistema final será estanco, de un tamaño más reducido y se fijará al cinturón del usuario. La única demanda por parte del usuario es que encienda el dispositivo y se lo coloque en el cinturón. Si no se detectan situaciones anormales, el sistema grabará periódicamente la localización del usuario y el grado de actividad. Una vez al día, un informe de



**Figura 4.** Prototipo del detector de caídas.



**Figura 5.** Mujer con el prototipo del detector de caídas.

actividad se manda de forma automática al centro de llamadas, sin ninguna intervención del usuario.

Si se detectara una situación anormal (caída, activación del botón de alarma, o cualquier otra situación de emergencia), el sistema manda una alarma al centro de llamadas con la información necesaria (tipo de alarma, localización del usuario, fecha y hora de la alarma) para que el centro de llamadas pueda actuar en consecuencia. El usuario recibe una confirmación cuando una alarma está a punto de ser mandada (el usuario tiene 30 s para cancelar una alarma antes de enviarla), así como una confirmación cuando la alarma ha sido efectivamente enviada y recibida por el centro de llamadas. El operador del centro de llamadas puede, si se requiere, contactar directamente con el usuario (como si de un teléfono móvil se tratara) para obtener más detalles de la situación y mandar un soporte adecuado.

El módulo móvil se alimenta con baterías recargables. Un indicador de carga de batería avisa al usuario cuándo es necesario recargar la batería. El sistema se entrega con dos baterías para que siempre se tenga una cargada.

## Centro de llamadas

### Funciones

Un centro de llamadas es una unidad que gestiona la entrada de llamadas y la información recibida por parte de los dispositivos conectados a este centro de llamadas. En este dispositivo, el centro de llamadas centraliza todos los datos recibidos de los diferentes módulos móviles en uso. Sus principales funciones son la recepción de los datos de los diferentes módulos, su análisis y almacenamiento en bases de datos, así como la detección y gestión de situaciones de emergencia.

1. Recibir y clasificar la información: un centro de llamadas puede manejar varios módulos móviles (varios

usuarios utilizando el mismo servicio centralizado). La información recibida del módulo móvil puede ser de diferentes tipos: informe de actividad cinemática, una vez al día, y mensaje de alarma, cuando se ha detectado una actividad anormal.

El informe de actividad cinemática se recibe una vez al día desde cada uno de los módulos móviles en servicio. Incluye el número de identificación del módulo, el día y la hora del informe y el grado de actividad del usuario cada minuto de las 24 últimas horas (el grado de actividad está monitorizado cada minuto). Esta información se recibe de forma automática, analizada, clasificada y guardada en las correspondientes bases de datos. Si se detecta una actividad fuera de los patrones o modelos de comportamiento predeterminados, se recibe una alarma en el centro de llamadas.

Los mensajes de alarma se reciben cuando se detecta una caída o bien cuando el usuario de forma voluntaria activa una alarma. El protocolo de recepción de este tipo de mensaje sigue pautas específicas con las confirmaciones necesarias para asegurar que la información crítica no se pierda y llegue completa al centro de llamadas. Este tipo de mensaje incluye como mínimo el número de identificación del módulo móvil, el tipo de alarma (caída, activada por el usuario), la fecha y la hora, y la localización del usuario. Cuando se recibe un mensaje de alarma, se analiza de forma automática y un mensaje de emergencia se abre en la interfaz del centro de llamadas con toda la información relativa al evento. Además, se indican las pautas y actuaciones que debe seguir el personal del centro de llamadas para dar una respuesta adecuada a la demanda.

2. Adquirir información: además de la información recibida de forma automática desde el módulo móvil, existe la posibilidad de adquirir información específica desde el centro de llamadas, tal y como pedir un informe de actividad o una localización de un dispositivo en concreto. En cualquier momento, el cuidador tiene la posibilidad de adquirir una información específica desde un módulo móvil en servicio. En efecto, si se sospecha una actividad anormal, se puede requerir desde el centro de llamadas un informe de actividad anticipado, sin esperar a que el módulo lo mande de forma automática. En cuanto a la localización del usuario, se puede también adquirir información referente a la localización del usuario en tiempo real; esto es muy útil cuando el usuario se pierde y requiere ayuda para regresar a su casa. La información de localización adquirida es la última información GPS válida guardada por el sistema.

3. Localización: los datos de localización del usuario se dan desde el módulo móvil a través de coordenadas GPS. El centro de llamadas incorpora mapas para traducir de forma automática las coordenadas GPS en información útil, tal como la ciudad, el barrio y la calle que corresponden a estas coordenadas.

4. Informes: toda la información recibida desde los módulos móviles se guarda en bases de datos. Para facilitar la utilización de estos datos y ayudar al seguimiento médico de los pacientes, el centro de llamadas ofrece una serie de funciones de selección de información y generación de informes. Adaptados a los cuidadores y los médicos, estos informes permiten obtener de forma automática la información útil de las bases de datos seleccionando una serie de parámetros puestos a disposición de los usuarios. Por ejemplo, se puede buscar la historia de caídas de una persona, del conjunto de usuarios del servicio, de las mujeres de más de 85 años, etc. La monitorización de estos datos permite hacer un seguimiento de los usuarios en el tiempo.

### Tecnología

Desde el punto de vista tecnológico, el centro de llamadas está principalmente basado en 2 elementos: el *software* de recepción y la aplicación del centro de llamadas.

1. *Software* de recepción: se ha desarrollado un programa específico para gestionar la comunicación con los módulos móviles y recibir o adquirir la información requerida. La aplicación se desarrolló bajo Visual Basic y está integrada al centro de llamadas, de forma totalmente transparente para el usuario. El conjunto se instala en un ordenador tradicional. A través del puerto serie, se activa un módem para gestionar el protocolo de comunicación sobre el *socket* UDP. El programa de recepción tiene distintas rutinas desarrolladas, dependiendo del tipo de información recibida (para información más crítica, se han implementado sistemas de seguridad y de confirmación adicionales). En cualquier caso, el programa de recepción desarrolla sus tareas de forma totalmente automática y transparente para el usuario final.

2. Centro de llamadas: el centro de llamadas se ha desarrollado como aplicación basada en interfaz web, es decir, accesible desde cualquier navegador con acceso a la red, desde cualquier parte del mundo. Esta solución, además de ser práctica y muy flexible, permite reducir el coste de mantenimiento y abre nuevas posibilidades de uso y explotación. Se ha elegido la plataforma de Microsoft frente a aplicaciones Java para un coste de desarrollo reducido y una escalabilidad facilitada. En cuanto a las bases de datos que se han implementado, todas las aplicaciones necesarias se han desarrollado con las herramientas de SQL Server, ya que ofrece todas las funcionalidades necesarias a este proyecto. El centro de llamadas se ha construido con la siguiente estructura: el sistema operativo utilizado es Windows, las bases de datos se desarrollan con SQL Server, las herramientas de desarrollo son de la plataforma Microsoft y la interfaz de usuario está basado en exploradores de internet.

Además, los problemas de seguridad se gestionan a través de la aplicación; se definen diferentes niveles de acceso dependiendo de la información asequible en cada parte del sistema.



Figura 6. Ejemplo del formulario «Pacientes» del centro de llamadas.

3. Utilización del sistema: la utilización del *software* de recepción es totalmente transparente para el usuario del centro de llamadas y no requiere ningún tipo de manejo. El centro de llamadas está basado en formularios accesibles a los usuarios, dependiendo de sus privilegios a la hora de registrarse en el sistema. Cada categoría de usuario tiene acceso a un nivel de seguridad determinado, con acceso a funcionalidades diferentes del sistema.

Una vez conectado al sistema (el centro de llamadas está basado en la aplicación web, y entonces es accesible desde cualquier parte del mundo mediante un navegador), el usuario tiene acceso a diferentes formularios (fig. 6) desde los cuales se puede acceder a información, añadir datos, realizar búsquedas o valorar el sistema. Los principales formularios accesibles en el centro de llamadas son los siguientes:

- Pacientes: información sobre los pacientes que están utilizando el servicio.
- Dispositivos: información sobre los módulos móviles en servicio.
- Eventos: información relativa a los eventos recibidos por el centro de llamadas, tales como alarmas o informes de actividad.
- Informes: funciones analizables para realizar informes y sacar la información deseada de las bases de datos.
- Parámetros: para personalizar el centro de llamadas con parámetros libres para el usuario.

El centro de llamadas se ha diseñado para usuarios sin ningún conocimiento informático específico, con aplicaciones muy intuitivas y simples de usar. No es necesario haber utilizado este tipo de aplicaciones con anterioridad. Se han desarrollado aplicaciones avanzadas para facilitar el uso del sistema para gente no iniciada.

## PRUEBAS DE USABILIDAD CON USUARIOS FINALES

Se realizaron pruebas de usabilidad con usuarios finales con el objeto de analizar el funcionamiento del prototipo de detector de caídas en entornos de laboratorio y entornos reales (domicilios y centros gerontológicos), así como recoger información relevante con respecto al detector por parte de los usuarios finales. Profesionales cualificados de INGEMA diseñaron, organizaron y coordinaron estas pruebas.

Las pruebas de usabilidad se realizaron en 3 entornos diferentes: laboratorio, domicilios y centros gerontológicos. A continuación se ofrece una descripción detallada de las pruebas realizadas, así como de las conclusiones obtenidas.

### Sujetos

Un total de 100 personas mayores de 65 años tomaron parte voluntariamente en las pruebas de usabilidad. Fueron captadas en hogares de jubilado, pisos tutelados y centros gerontológicos de la provincia de Guipúzcoa. Cada una de ellas accedió voluntariamente a participar en el estudio y, consecuentemente, firmó el consentimiento informado previo inicio de las pruebas. A continuación se expondrá el procedimiento llevado a cabo en cada uno de los entornos mencionados.

### Entorno laboratorio

Cincuenta personas mayores de 65 años tomaron parte en esta fase de las pruebas de usabilidad. Se llevaron a cabo en un centro de rehabilitación física de INGEMA (Larsarte, Guipúzcoa) y una sala habilitada y equipada especialmente con el material necesario de los apartamentos tutelados de Berio (San Sebastián, Guipúzcoa). Las personas captadas eran citadas en los correspondientes lugares para un día y una fecha concretos, se les explicaba cuáles eran los objetivos del estudio de usabilidad, así como los objetivos generales del proyecto, y si accedían a participar se les pedía que realizaran lo siguiente: colocarse el prototipo de detector de caídas y realizar un pequeño itinerario dentro de la sala que incluía caminar, sentarse y levantarse de un sofá, tumbarse y levantarse de una camilla, sentarse y levantarse de una silla, y subir y bajar escaleras, y finalmente simular una caída sobre una colchoneta. Se adoptaron las medidas de seguridad convenientes para salvaguardar la seguridad física de los participantes, por lo que se pusieron a su disposición medios (cascos, rodilleras y coderas) que asegurasen la realización de las pruebas con el menor riesgo posible. El objetivo de la consecución de este pequeño recorrido era asegurar que el detector sólo detectara la caída cuando ésta se produjera, es decir, cuando el sujeto caía sobre la colchoneta y no en otra situación, como podría ser tumbarse en una camilla. Se quería obtener, por tanto, una optimización del dispositivo, maximizando la detección de caídas y minimizando la generación de falsas alarmas. Para

que los usuarios finales pudieran comprobar la eficacia del sistema, el prototipo fue configurado para enviar un SMS al teléfono móvil de uno de los responsables del proyecto señalando la detección de la caída y el éxito en la comunicación de ésta. Al finalizar el recorrido se administraba a los participantes un cuestionario muy sencillo en el cual se recogía la impresión que les había causado el prototipo.

### Entornos reales

#### *Domicilios*

Veinticinco sujetos captados en los mismos lugares que los anteriores accedieron a utilizar el dispositivo las 24 h del día (excepto el tiempo que pasaban acostados en la cama), durante una semana, y realizar sus actividades diarias habituales. Profesionales de INGEMA acudían a los domicilios de los usuarios finales con el objetivo de explicarles el funcionamiento del dispositivo y el modo en que debían de proceder en caso de que ocurriera algún percance. En el caso de que se detectara una falsa alarma o una caída, se procedió del mismo modo que en el caso anterior, enviando un SMS a un teléfono que portaba uno de los responsables del proyecto de INGEMA. En los casos en los se recibieron mensajes de alarma, se comprobó llamando al usuario de que nada grave ocurría. Al finalizar el período de prueba, se recogieron las impresiones de los usuarios finales en sus propios domicilios.

#### *Centros gerontológicos*

Con objeto de obtener información sobre la utilización del dispositivo en entornos residenciales, se optó por realizar una prueba de usabilidad en un centro gerontológico perteneciente a la Fundación Matia. La tipología de los usuarios variaba con respecto a los sujetos con los cuales se realizaron las pruebas previamente mencionadas, ya que en su gran mayoría los sujetos institucionalizados eran personas deterioradas cognitivamente, es decir, con una demencia en estadio moderado-grave. Veinticinco pacientes participaron en el estudio para lo cual fue necesario informar a los familiares-tutores de los objetivos del estudio, así como al personal sanitario encargado de ofrecer los cuidados necesarios en el día a día de los pacientes. El procedimiento fue el mismo que el utilizado en entornos domiciliarios, ya que se solicitó al personal sanitario que colocara el dispositivo durante el mismo tiempo y durante el mismo período que en los domicilios: 24 h durante una semana. Se configuró el dispositivo para que enviara un SMS al teléfono móvil de la DUE en caso de detección de caída. En estos sujetos se produjeron más incidentes que en usuarios sin deterioro cognitivo, ya que en ocasiones el personal sanitario se encontraba con que el dispositivo estaba apagado o fuera del lugar correcto de colocación. Al finalizar el período de prueba, se recogieron las incidencias e impresiones del personal.



## Resultados

### *Características sociodemográficas de la muestra*

La mayoría de los participantes eran mujeres (91%), el 51% vivía solo, el 24%, con sus cónyuges y el 25%, en centros gerontológicos. La edad osciló entre los 70 y los 80 años (43%); el 21% tenía entre 60 y 70 años y el 36%, más de 80 años. En relación con el nivel educativo de los participantes, mayoritariamente poseían estudios primarios (61%), el 33% tenía estudios básicos y un bajo porcentaje (6%) tenía estudios universitarios.

### *Deficiencias sensoriales y motoras*

Como sucede a la mayoría de las personas mayores, esta muestra presentaba deficiencias visuales (97%), lo cual les obligaba a utilizar gafas. Las limitaciones auditivas eran menos comunes (30%) y en cuanto a problemas motores (relacionados con las caídas), el 50% de la muestra refirió tener problemas motores en las extremidades inferiores.

### *Historia de caídas*

Se preguntó a los participantes el número de caídas sufridas en el último año; los resultados señalaron que el 52% de la muestra se había caído en el último año, el 59% había tenido consecuencias físicas, como rotura de huesos, y el 53% relató tener miedo (consecuencia psicológica) a sufrir una nueva caída.

### *Opinión de los usuarios*

Las impresiones de los usuarios finales del detector de caídas son alentadoras. El 100% de los usuarios consideró muy adecuadas las funciones que ofrece el dispositivo. En relación con el grado de seguridad y fiabilidad que les ofrece, los resultados muestran que el 95% de los sujetos encuentra que el prototipo es seguro y fiable. Comprobar que el mensaje de caída detectada llegaba al teléfono móvil durante el período de pruebas fue una garantía de seguridad y fiabilidad para los participantes.

### *Conclusiones*

La aceptación del dispositivo por parte de los usuarios finales así como del personal sanitario fue muy buena. Valoraron muy positivamente la funcionalidad del prototipo y refirieron que encontraban muy necesario y útil el sistema. En general, las personas más mayores (mayores de 80 años), y sobre todo las que vivían solas, encontraban muy interesante el dispositivo y verbalizaron su interés en adquirirlo.

Con respecto a los aspectos técnicos, la fiabilidad y la seguridad ofrecidas por el sistema durante el período de

pruebas de usabilidad han tenido como consecuencia que la totalidad de la muestra manifestara un grado de seguridad y fiabilidad con el dispositivo del 100%.

La versión comercial del detector de caídas deberá mejorar el sistema de enganche para elevarlo al cinturón, así como optimizar todavía más el tamaño y peso del dispositivo.

## CONCLUSIONES

El incremento de demanda de soluciones y servicios orientados al mercado de las personas mayores justifica el desarrollo de sistemas para ayudar a este colectivo a vivir más tiempo de forma autónoma y mejorar su calidad de vida. El servicio presentado en este artículo ofrece una mejora sustancial frente a los servicios ya existentes, y participa en el objetivo global de mejorar la calidad de vida de las personas mayores que residen en sus domicilios. En efecto, ofrecer monitorización de actividad completa, detección automática de caídas y localización de usuario en un dispositivo pequeño y portátil, utilizable dentro y fuera de casa, es un avance importante. El sistema, compuesto por un módulo móvil llevado por el usuario y por el centro de llamadas que analiza y guarda la información, se ha desarrollado para un uso sencillo, accesible a todos y fiable. Durante todo el proceso de desarrollo se tuvieron en cuenta las exigencias del usuario final para desarrollar un sistema adaptado y bien aceptado por los usuarios finales.

Las primeras pruebas de validación que se han realizado, en entorno de laboratorio y en situaciones reales de la vida diaria (domicilios y centros gerontológicos), han permitido averiguar los primeros resultados de aceptación y fiabilidad del sistema. El sistema se ajusta bien a las necesidades de los usuarios y ha recibido una buena aceptación. Una vez valorado correctamente el sistema, se llega a una buena fiabilidad (se superará el 90% con el producto final).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Noury N, Virone G, Barralon P, Ye J, Rialle V, Demongeot J. New Trends in Health Smart Homes. 5th International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industries (IEEE), 6-7 June, 2003. p. 118-27.
2. Kelly E, Brownsell S, Hawley MS. Falls and Telecare Evaluation. Assistive Technology – Shaping the Future. Amsterdam: IOS Press; 2003. p. 798-802.
3. Fugger E, Hochgatterer A, Prazak B. Integrated Alert & Communication System for Independent Living of Older Adults. Assistive Technology – Shaping the Future. Amsterdam: IOS Press; 2003. p. 803-7.
4. Doughty K. Fall Prevention and Management Strategies Based on Intelligent Detection, Monitoring and Assessment. En: New Technologies in Medicine for the Elderly. London: Charing Cross Hospital; 2000.
5. IRV. Kenniscentrum voor Revalidatie en Handicap (Institute for Rehabilitation Research, Netherlands). Disponible en: [www.irv.nl/irv/index.asp](http://www.irv.nl/irv/index.asp)