

Hacia un Dispositivo Wearable Electrónico Inteligente de Corrección Postural Asociado a la Espalda

Back-Associated Postural Correction Smart Electronic Wearable Correction Device

Ana B. Gil-González

Dpto. de Informática y Automática

Bisite Research Group
Universidad de Salamanca
Salamanca, España
abg@usal.es

Sergio Márquez

Bisite Research Group
Universidad de Salamanca
Salamanca, España
smarquez@usal.es

Miguel Robles García

Dpto. de Anatomía e Histología Humanas
Universidad de Salamanca
Salamanca, España
mroblesgarcia@usal.es

Juan Manuel Corchado

Dpto. de Informática y Automática
Bisite Research Group
Universidad de Salamanca
Salamanca, España
corchado@usal.es

Ana Luis-Reboredo

Dpto. de Informática y Automática
Bisite Research Group
Universidad de Salamanca
Salamanca, España
adeluis@usal.es

Recibido: 30.10.2021 | Aceptado: 16.12.2021

Palabras Clave

Personal digital assistants
Mobile devices
Health care information systems
Consumer health
m-Health
corrector postural

Resumen

Este artículo describe un prototipo m-Health desarrollado, denominado STRAIGHTBACK, consistente en un dispositivo wearable que facilita la mejora de hábitos posturales que implican a la columna vertebral, generando todas las vías posibles para incentivar su uso y su aplicabilidad. El prototipo de sensorización incluye el uso de una app con un doble objetivo: por un lado, ser el enlace entre el dispositivo y la base de datos, asegurándose que se procesen y almacenen las mediciones y además permitir al usuario llevar la gestión de todos estos datos de manera integral y sencilla. Se vincula además su uso como apoyo a un sistema de rehabilitación o educación postural contemplando la asistencia de especialistas dentro de las funcionalidades previstas. El objetivo de este prototipo es prevenir, detectar y, en última instancia, ayudar a corregir los problemas posturales que arrastra una gran mayoría de la población de forma integradora y vinculada a interfaces y tecnologías avanzadas. Pretende llegar a ser un producto de gran utilidad a la hora de diagnosticar y prevenir problemas del raquis, así como también para la rehabilitación y el seguimiento de la evolución del paciente una vez iniciados los tratamientos prescritos por el profesional médico o como método de prevención.

Keywords

Personal digital assistants
 Mobile devices
 Health care information systems
 Consumer health
 m-Health
 posture corrector

Abstract

This article describes a m-Health prototype developed, called STRAIGHTBACK, consisting of a wearable device that facilitates the improvement of postural habits involving the spine, generating all possible ways to encourage its use and applicability. The sensorisation prototype includes the use of an app with a double objective: on the one hand, to be the link between the device and the database, ensuring that the measurements are processed and stored and also allowing the user to manage all this data in a comprehensive and simple way. It is also linked to its use as a support for a rehabilitation or postural education system, contemplating the assistance of specialists within the foreseen functionalities. The aim of this prototype is to prevent, detect and, ultimately, help to correct the postural problems that affect a large majority of the population in an integrated way and linked to advanced interfaces and technologies. It aims to become a very useful product for diagnosing and preventing back problems, as well as for rehabilitation and monitoring the evolution of the patient once the treatments prescribed by the medical professional have begun or as a method of prevention and self-diagnosis.

1. Introducción

El mantenimiento de la biomecánica de la columna vertebral durante las actividades del día a día es fundamental a la hora de prevenir la aparición de trastornos músculo esqueléticos, siendo en la actualidad la mayor causa de discapacidad (Hartvigsen *et al.*, 2018). La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que 37% del dolor de espalda son atribuidos a factores de riesgo ocupacionales y considera esta dolencia como una de las principales causas de absentismo laboral (OMS, 2014). Entre los riesgos ergonómicos más comunes en el trabajo se puede observar “el movimiento de elevación y el transporte de cargas pesadas, los movimientos bruscos, las vibraciones, las frecuentes flexiones, las rotaciones y las malas posturas” (Pereira *et al.*, 2016).

El m-Health es, según definición de la OMS, “la práctica de la medicina y la salud pública soportada por dispositivos móviles como teléfonos, dispositivos de monitorización de pacientes, asistentes digitales y otros dispositivos inalámbricos”. Este nuevo paradigma, incluye aplicaciones (apps) sobre el estilo de vida y bienestar que conectan a las personas con dispositivos de todo tipo (Byambasuren *et al.*, 2018) y ecosistemas de sensores con el fin de mejorar la calidad de vida con la supervisión de los profesionales que a través de herramientas con un uso importante de la Inteligencia Artificial (IA), permiten tratar toda la información de salud (Schnall *et al.*, 2016), generando importantes avances en servicios de telemedicina (Rowland *et al.*, 2020).

La sensorización de Wearables, combinados con plataformas de juego de fácil acceso a través de teléfonos inteligentes o

tabletas, permite al usuario hacer ejercicio en cualquier momento y lugar que desee. En el ámbito de la fisioterapia y la rehabilitación, los denominados “juegos serios” han ido ganando protagonismo por sus efectos positivos sobre la motivación y los resultados funcionales en los pacientes tal y como anunciaran muchos años atrás trabajos como (Burke *et al.*, 2009) hasta desarrollos actuales como los de (Meijer *et al.*, 2018) o (Laver *et al.*, 2017). La penetración de plataformas con wearables para hacer ejercicio en nuestros hogares, unido al hecho de estudios que evalúan el efecto positivo de los juegos serios en fisioterapia, permitirá a los pacientes realizar ejercicios de rehabilitación a la vez que disminuirá las barreras para la adherencia a cualquier tratamiento. Este tipo de plataformas de m-Health permitirán acercar al profesional al tratamiento real, cuantificado y efectivo de cada paciente tan necesario para procesos de rehabilitación, tal como ya formulan recientes trabajos como (Adans-Dester *et al.*, 2020, Chen *et al.*, 2021; Du, Liu, Cai, Hu, & Dong, 2020; Sandal *et al.*, 2021).

En el contexto planteado, este trabajo muestra el prototipo desarrollado, Straightback, como un dispositivo que avanza en el objetivo de solucionar la mala higiene postural en el desarrollo de actividades cotidianas, vinculadas a la columna vertebral. Su desarrollo permite avanzar en la búsqueda de soluciones tecnológicas que admitan la asistencia en el diseño de medios que mejoren la calidad de vida de las personas con el apoyo de personal sanitario experto. La propuesta presentada se centra en el desarrollo del dispositivo corrector que se posicionará en el tronco de la persona a través de un soporte textil y equipado con sensores. La principal característica del producto en su conjunto es la información

que aporta, tanto en tiempo real como en el marco histórico deseado a través de la captura de los datos, el tratamiento de éstos y del desarrollo de su app vinculada. El tratamiento adecuado de estos datos permite tanto conocer la progresión en la corrección postural del individuo como hacer un plan para corregir pequeñas desviaciones de los objetivos marcados con ayuda de profesionales, ya que el usuario a través de la app puede compartir los datos con el profesional médico que le atiende.

El artículo comienza con esta breve introducción. El punto dos hará una contextualización más detallada de soluciones wearables vinculadas a dispositivos para el control postural de la espalda comerciales. El tercer punto hace una descripción de la arquitectura y funcionalidad de la aplicación, así como el soporte al usuario en aspectos relevantes de la interfaz. Finalizaremos con unas conclusiones al trabajo y las líneas de actuación futuras.

2. Wearables vinculados a monitoreo postural

Durante el desempeño de la actividad laboral, pese a los avances tecnológicos y ergonómicos, el ser humano puede verse abocado a la adopción de posturas forzadas que pueden implicar la aparición de trastornos en su organismo (Barthelme, Sauter, Mueller, & Liebers, 2021). La sociedad moderna ha virado de forma alarmante hacia el sedentarismo, en parte debido al aumento del uso de tecnología portátil. Las posturas que adoptamos durante el uso de las mismas aumentan el riesgo de sufrir desórdenes músculo esqueléticos (Kim, 2015; Yassierli & Juraida, 2016)

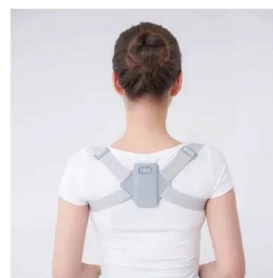
Si bien determinadas patologías sistémicas o estructurales pueden influir en la aparición de dolor en la columna vertebral, en la mayoría de las ocasiones no existe una única causa desencadenante del mismo, tratándose de sintomatología de origen multifactorial (Fernandez-Silano, Rísquez, & Caraballo-Arias, 2013). La postura que adoptamos durante la realización de nuestras actividades de la vida diaria puede ser uno de los factores que influyan en la aparición de dolor. (Jung, Jung, In, & Cho, 2021; Szczygieł, Zielonka, Mętel, & Golec, 2017).

Para mejorar la postura corporal, se tienen algunas recomendaciones:

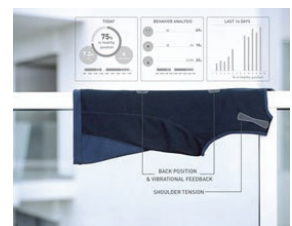
- Posición de sentado: la espalda erguida, los hombros hacia atrás y abajo, y las plantas de los pies apoyadas en el suelo. Evitando el hábito de cruzar las piernas, ya que puede alterar la circulación y

provocar piernas hinchadas, más cansadas y con varices. Levantarse y caminar periódicamente.

- Posición de pie: erguido, el pecho arriba y el abdomen contraído, ya que los músculos abdominales son los que ayudan a estabilizar el cuerpo. Hay que asegurar que el peso del cuerpo quede bien repartido en ambas piernas, y que los brazos cuelguen naturalmente.
- Al caminar: se debe mantener la cabeza arriba y el cuello erguido y evitar mirar al suelo, ya que puede provocar dolor cervical. Usar zapatos cómodos, de tacón bajo.
- La pisada: la forma correcta de pisar es primero con el talón del pie y luego con la punta.
- Al correr: los codos flexionados en ángulo recto para que el movimiento de los brazos acompañe a las piernas. Evitar el impacto que se produce al pisar sobre el talón.



(a)



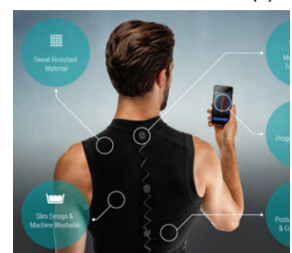
(b)



(c)



(d)



(e)

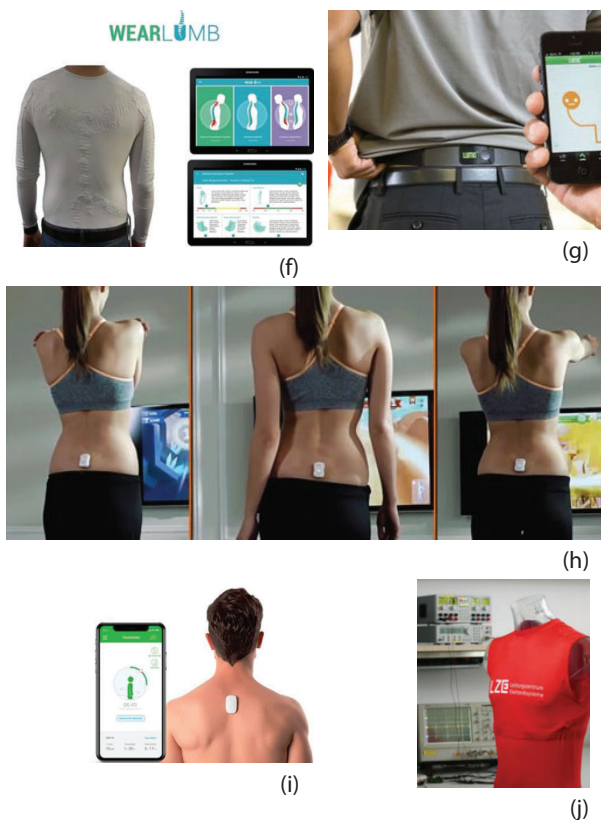


Figura 1: Dispositivos electrónicos comerciales para la corrección postural.

- Posición al dormir: Para dormir bien y evitar dolencias es mejor dormir de lado y con las piernas encogidas, ya que mantiene la columna vertebral en una posición adecuada. Además, contribuye a reducir los molestos ronquidos.

Según criterios mecánicos la postura ideal se define como la que utiliza la mínima tensión y rigidez, y permite la máxima eficacia, permitiendo a la vez un gasto mínimo de energía y en ese objetivo existen gran cantidad de dispositivos electrónicos, en el mercado. Algunos trabajos relacionados como (Mutlu et al., 2007) o (Rosero-Montalvo, 2017) han realizado diferentes estudios mediante técnicas de sensorización sobre la manera en la que la gente se sienta, así como sus consecuencias.

Encontramos dentro de los productos wearables, gran cantidad de productos comerciales que permiten la monitorización postural y que tienen una serie de características que analizaremos en esta sección.

Entre los correctores de espalda que tienen un único punto de medición destacan *Xiaomi Mijia Youpin Hi* (Figura 1(a) (Google1, s.f.)) y *Alex Posture* (Figura 1(d) (Google 4, s.f.)) que se colocan en el tronco y que mediante un “cinturón” o mediante un dispositivo en la zona cervical respectivamente permiten detectar y visualizar si el ángulo de inclinación es o no correcto en tiempo real. En el caso del gadget Xiaomi, mandará una vibración en caso de que el ángulo que tengamos no sea el óptimo, siempre buscando unos 63 grados, aproximadamente. *Lumo Lift*, (Figura 1(c) (Google 3, s.f.)), es otro dispositivo compuesto de un imán para colocar en la ropa del usuario y que a través de un sistema de vibración alerta de la necesidad de corregir la postura a través de una app. Precisa de vestir ropa ceñida para que el sensor esté pegado al cuerpo. *Upright go*, (Figura 1(i) (Google 9, s.f.)), se coloca en un único punto de la zona cervical y como los demás transmite una vibración cuando la postura no es la adecuada, pero destaca entre los demás porque incluye a través de su interfaz un entrenador postural que permite además poner metas. Otros desarrollos son *Lumoback*, (Figura 1(g) (Google 7, s.f.)), o *Valedo Therapy*, (Figura 1(h) (Google 8, s.f.)), que se colocan en la zona lumbar, destacando el último debido a que va asociado a un juego del tipo serio, que favorece la rehabilitación o el refuerzo de la zona de trabajo.

Por otro lado, existen una serie de dispositivos que incorporan varios puntos de medición y gracias a los mismos se pueden medir señales posturales en la columna cervical, cintura escapular y columna lumbar, y de esta forma tener una información más completa que con la medición de un único punto. Destacan *Fysiopal*, (Figura 1(b) (Google 2, s.f.)), *TruePosture*, (Figura 1(e) (Google 5, s.f.)), y *WearLumb*, (Figura 1(f) (Google 6, s.f.)), todos ellos al igual que la mayoría de los anteriores incorporan una aplicación móvil con el objetivo de avisar al usuario con vibración y/o notificación de posturas forzadas.

En muchos de los casos la sensorización va asociada a una especie de mallot, como en el caso de la *FitnessSHIRT*, (Figura 1(j) (Google 10, s.f.)), que posee diversos sensores que descargan sus datos en un dispositivo integrado que a su vez los transmite a una aplicación móvil. En base a esto, se han definido las funcionalidades que debía de incorporar la solución desarrollada, incorporando varios puntos de medición, el desarrollo de una app propia, así como los medios técnicos necesarios para su implementación donde la conexión con el servicio médico o empresa de salud laboral es parte importante del desarrollo. Estos trabajos se materializan por medio del diseño de la arquitectura del prototipo, la definición tanto de los componentes, como de los conectores

y la correcta identificación del flujo de la información a través de los diferentes módulos y las interfaces de soporte que mostramos en los puntos siguientes.

Encontramos dentro de los productos wearables comerciales analizados una serie de características comunes y que señalamos como fundamentales y necesarias en este tipo de soluciones como son la monitorización en tiempo real mediante sensorización, aviso mediante vibración y visualización en aplicaciones móviles. Podemos además realizar una clasificación básica entre los que tienen un único punto de medición o varios.

A continuación, describiremos el prototipo desarrollado en base a las necesidades detectadas.

3. Visión general de STRAIGHTBACK

Las innovaciones que presenta el proyecto desarrollado, denominado STRAIGHTBACK, son fundamentalmente debidas a la sinergia de varias tecnologías que permiten diferentes funcionalidades asociadas, de un modo muy simple para el usuario final, según arquitecturas de configuración de wearables (Mukhopadhyay, 2015) y aplicaciones afines desarrolladas por el equipo y vinculadas a plataformas de multisensores asociados a Wearables en entornos laborables (Márquez-Sánchez *et al.*, 2021; Campero-Jurado *et al.*, 2020)

Principalmente, se han tenido en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

1. Visualización de forma vistosa de la postura en tiempo real y acceso a las mediciones por sesión.
2. Apoyo con contenido personalizado que dé soporte al usuario en su actividad.
3. Incorporación de interacción en la app de componentes sociales y opción de compartir la información de cada sesión para incentivar la mejora postural del usuario
4. Incorporación de roles sanitarios/supervisores, que permiten el análisis y la supervisión de personal sanitario vinculado a tareas propias a través de la plataforma.
5. Gestión y análisis de la progresión de los pacientes a lo largo de un periodo de tiempo.
6. Medición de los puntos clave fisiológicos para analizar la postura en tiempo real.

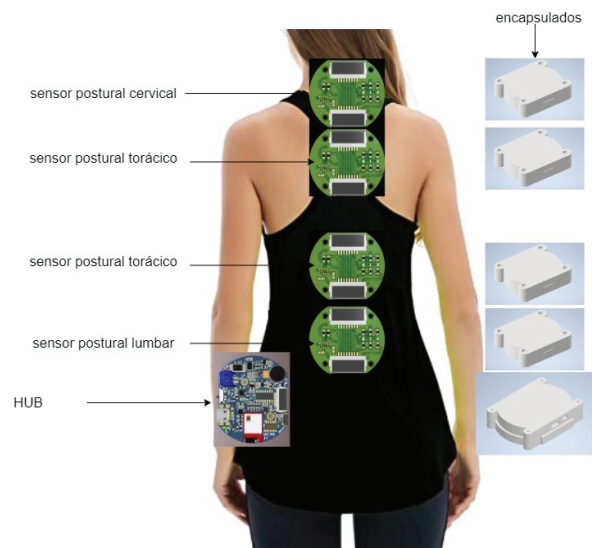


Figura 2: Dispositivos electrónicos comerciales para la corrección postural.

El desarrollo del proyecto ha seguido la metodología Agile *User Experience Design* (UXD), siguiendo la metodología para el desarrollo de Smart Clothes y Wearables (Häkkinen, 2017), así como una perspectiva más holística en la industria (Hussein *et al.*, 2020; Lim, 2020). Para el proyecto, la fase de ideación se ha llevado a cabo con *Design Thinking* y la ejecución con *Scrum*. Entrando en detalle de este enfoque, para la primera fase de elicitación de requisitos y diseño se realiza en diferentes talleres de co-creación de la solución con los usuarios de negocio de las entidades vinculadas al sector de la salud y el equipo de proyecto formado por desarrolladores y expertos en salud. Así, se puede obtener el diseño de una solución preparada para proporcionar una excelente experiencia de usuario. Mientras que la fase de ejecución del desarrollo se lleva a cabo con *Scrum*. Esta metodología implica que la ejecución total del desarrollo se divide en sprints (intervalos de tiempo determinado) con una duración fija de 3 semanas. Normalmente la metodología Agile requiere de sprints más cortos, pero dado el carácter de investigación del proyecto es más aconsejable hacer estos sprints largos para seguir manteniendo la filosofía de revisar continuamente las tareas y entregables realizados a la par que permitiendo realizar las tareas investigadoras con total normalidad. Gracias a que esta metodología fomenta la transparencia, comunicación entre los equipos multidisciplinares e inspección frecuente en los distintos eventos recurrentes que lleva implícita (reunión diaria de equipo, planificación de sprint, revisión de sprint y retrospectiva), se asegura una entrega que aporta valor al usuario y al negocio, pues estos últimos están involucrados durante toda la ejecución del proyecto.

En el progreso del desarrollo del prototipo, se han desarrollado dos tipos de módulos, el medidor y el denominado HUB, posicionados según muestra la Figura 2.

El módulo medidor, se trata de dispositivos que se colocan en serie en la columna vertical a distintas alturas (cervical, torácico 1, torácico 2 y lumbar). Se compone de un IMU (*Inertial Measurement Unit*) BMI160 del fabricante Bosch. Este integrado de bajo consumo está formado por un acelerómetro y un giroscopio de 3 ejes, gracias a ellos y a partir de una posición de referencia se puede medir el grado de inclinación del punto en el que se encuentra el módulo en la espalda. El circuito está preparado para cambiar el bus de comunicación entre 3 posibles y para cambiar la dirección I2C del dispositivo entre 2 posibles.

El módulo HUB, consiste en un dispositivo concentrador que permite centralizar la lectura del dato de inclinación proporcionado por los módulos medidores, procesarlo y enviarlo vía Bluetooth de baja potencia al dispositivo móvil del sujeto con el fin de ser analizado por una app móvil. Este dispositivo se compone de:

- ESP32: microcontrolador de 32 bits con módulo de comunicación inalámbrico incorporado. Es el dispositivo encargado de hacer las lecturas de posición de los distintos Módulos Medidores. Posee conectividad BLE (Bluetooth Low Energy) gracias a la cual, los datos recogidos por el microcontrolador son enviados a la aplicación móvil del usuario.
- Multiplexor I2C PCA9546AD: debido a la cantidad de dispositivos IMU BMI160 de la que se compone el dispositivo STRAIGHTBACK y que solo pueden conectarse un máximo de dos dispositivos al bus I2C, se ha incorporado un chip multiplexor del bus I2C con 3 canales I2C de salida. Esto quiere decir, que podrían leerse los datos desde el microcontrolador ESP32 de un total de 6 IMU BMI160. Estos, van conectados en serie a través de un conector de "flat cable".
- IMU BMI160: Unidad de medición inercial utilizada para "despertar" al dispositivo de un estado de bajo consumo.
- Vibrador: el dispositivo posee un circuito vibrador diseñado para vibrar en caso de mala postura cuando el usuario habilita dicha característica en la aplicación móvil.
- Circuito cargador y monitor de batería: el diseño incluye un circuito cargador y monitor de batería

con el fin de poder cargar la batería por USB y monitorizar el estado de la misma desde el microcontrolador, obteniendo parámetros como el porcentaje de carga, el estado de la batería, la corriente de carga, etc. El dato de nivel de batería será enviado a la app móvil vía BLE y mostrado en la misma aplicación, de modo que el usuario pueda visualizar este dato.

- Regulador de tensión: regulador de tensión de 3,3 voltios con el que alimentar el dispositivo.

En cuanto a la programación resumida del dispositivo, este se inicia configurando los distintos integrados y el Bluetooth de baja potencia. Una vez la app móvil se conecta al dispositivo, este comienza la ejecución del programa de medición y envío de datos.

El microcontrolador hace peticiones de lectura del dato de inclinación de cada uno de los ejes de cada IMU BMI160. Para ello, primero selecciona el canal I2C al que pertenece el IMU que se desea leer por medio del multiplexor I2C y a continuación se realiza la lectura de dicho dato, repitiendo el proceso con cada uno de los Módulos Medidores situados en la espalda. Una vez se han obtenido todos los datos de forma satisfactoria, se realiza una petición al monitor de batería, el cual devuelve el valor del nivel de batería del dispositivo. Con estos datos guardados en memoria, se procede a enviar la información a la app móvil y se reinicia el bucle hasta que se desconecta, reiniciando el dispositivo.

3.1 App móvil vinculada

Además del dispositivo físico detallado, STRAIGHTBACK hace uso de una app móvil con un doble objetivo: por un lado, ser el enlace entre el dispositivo y la base de datos, asegurándose de que se procesen y almacenen las mediciones y además permitir al usuario llevar la gestión de todos estos datos de manera integral y sencilla.

La interfaz de acceso del usuario en la app móvil resulta por tanto un elemento de gran importancia ya que le permite realizar un seguimiento de su progreso, recibir avisos sobre sus malas posturas y ejercicios recomendados para mejorarlas, así como establecer el intercambio de información con el profesional con el que comparta los datos y progresos.

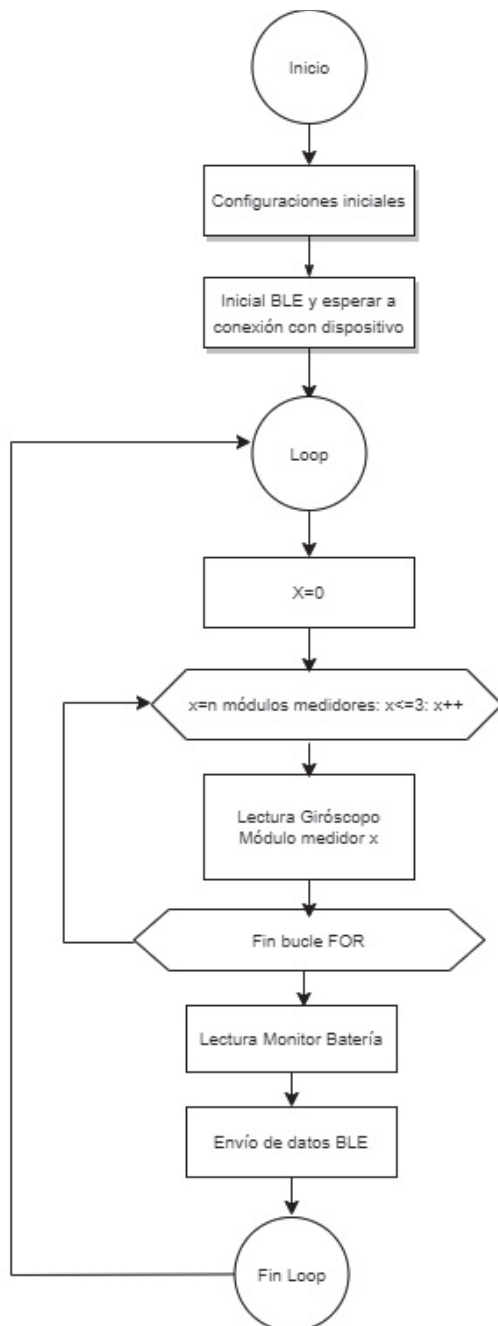


Figura 3: Diagrama de bloques resumido del código del microcontrolador.

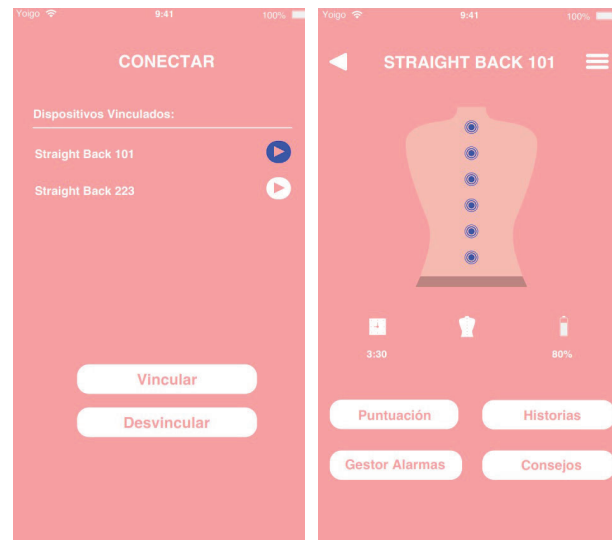


Figura 4: Interfaces de la app (Izq) Conexión al dispositivo (Dcha.) Pantalla Principal.

Se desarrolla la aplicación móvil de STRAIGHTBACK con el SDK 30 de Android, en cuanto al lenguaje de programación, se trata de Java 8. La compatibilidad mínima se establece en el SDK 23, que aparece en 2015 (Clifton, 2015). Además, se han seguido las recomendaciones de buenas prácticas de diseño visual establecidas por *Material Design*¹³.

Desde la página de bienvenida, ver figura 4, el usuario puede iniciar sesión o registrarse. Con el registro del usuario en la app, se almacenan los datos biométricos necesarios para una mejor personalización de la experiencia de uso, como la altura, el peso y el tipo de trabajo y si tiene algún tipo de patología diagnosticada. Una vez se ha iniciado sesión, la página de bienvenida se actualiza permitiendo al usuario visualizar los dispositivos de su entorno y acceder a las instrucciones de uso. Una vez se ha seleccionado un dispositivo, el usuario tiene la opción de acceder a la pantalla principal de STRAIGHTBACK, ver Figura 4, donde se presenta acceso a utilidades del desarrollo. Una vez se ha seleccionado un dispositivo, el usuario tiene la opción de acceder a la pantalla principal de STRAIGHTBACK. En ella, se presenta la siguiente información: nombre del dispositivo al que estás conectado, acceso a la pantalla de Instrucciones, tiempo que lleva activa la sesión, estado de la columna en tiempo real, porcentaje de batería restante en el dispositivo conectado.

¹³ Material design (Consultada el 23 de octubre de 2021) <https://material.io/>.

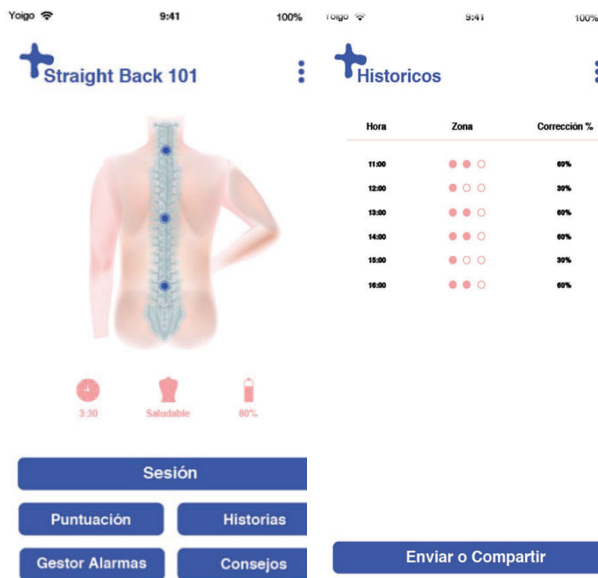


Figura 5: Interfaces de la app.

En la parte inferior de la interfaz, ver figura 5 izquierda, se encuentra nuevamente la navegación de la aplicación, que consiste en los siguientes apartados: historias, consejos, puntuación y gestor de alarmas, donde el usuario puede personalizar una serie de alertas, con las que ser avisado cuando su postura es incorrecta y visualizar las mediciones que se han ido obteniendo, así como consejos y ejercicios personalizados. Se muestra además la animación del movimiento en tiempo real del usuario. En la Figura 5, derecha se pueden ver algunos datos de histórico sobre monitorización a un usuario determinado.

Algunas anotaciones adicionales sobre cada sección:

- En la vista "historias" se puede navegar por los registros del dispositivo. Para facilitar su uso se ha implementado un buscador que filtra los resultados buscados.
- En el apartado de "consejos", se listan aquellos detectados como óptimos por los algoritmos de STRAIGHTBACK.
- En la pantalla de "puntuación" permiten crear un componente social que ayude a motivar al usuario y a fomentar una sana competición.
- Desde "gestor de alarmas" se pueden modificar la configuración de las alarmas. Como parte a destacar, la posibilidad de seleccionar si padece alguna patología y cuál, lo que permite al usuario recibir alertas y consejos personalizados.

3.2 API y servidor

La plataforma desarrollada cuenta con tres partes bien diferenciadas en su arquitectura, ver Figura 6.

En primer lugar, tenemos un API RESTful que soporta las funcionalidades principales del sistema. Esta API se apoya en una base de datos relacional que soporta el almacenamiento de los datos. Por último, se ha creado un cliente móvil, tanto Android como iOS, que permiten la interacción del usuario con la plataforma, así como el envío de las mediciones desde el hardware hasta el servidor.

La base de datos se ha implementado con PostgreSQL, un motor de bases de datos muy utilizado actualmente cuya principal característica, por la que ha sido elegido, es la escalabilidad.

La API RESTful se ha desarrollado mediante el framework Laravel. Se trata de una herramienta de desarrollo web basada en el lenguaje PHP. El cliente Android se ha desarrollado con el SDK 30 de Android, programado en Java 8. La compatibilidad mínima se establece en el SDK 23. Esto hace que la aplicación sea compatible con la inmensa mayoría de dispositivos móviles que existen. Para el desarrollo de la aplicación para iOS, la plataforma móvil de Apple se ha utilizado el lenguaje swift. Como tecnología del servidor se ha utilizado Nginx, se trata de un servidor web HTTP de código abierto. Cuenta con funcionalidades extra como son el servicio de correo electrónico, proxy inverso y balanceo de carga entre servidores, lo que incrementa la escalabilidad del sistema. El servidor Nginx permite mantener la API en funcionamiento.

4. Resultados, Conclusiones y Trabajo Futuro

La adopción, en algún momento de la jornada laboral, de posturas forzadas es inherente a todas las profesiones. Su detección y corrección de forma precoz en la medida de lo posible puede contribuir a evitar la aparición de trastornos músculo esqueléticos en el trabajador, así como sus frecuentes recidivas enfermedades que, una vez desarrolladas, son más difíciles de tratar y acabar siendo crónicas.

El objetivo último es la adopción de hábitos saludables y/o tratamientos que eviten el desarrollo de trastornos musculoesqueléticos que perduren en el tiempo.

El artículo presenta un prototipo de dispositivo wearable de bajo coste, junto con una app de soporte, cuya función es la

de actuar como monitor postural, asistencia y corrección de problemas posturales de espalda. El dispositivo es adaptable, tanto físicamente como en cuanto a parámetros personalizados de uso.

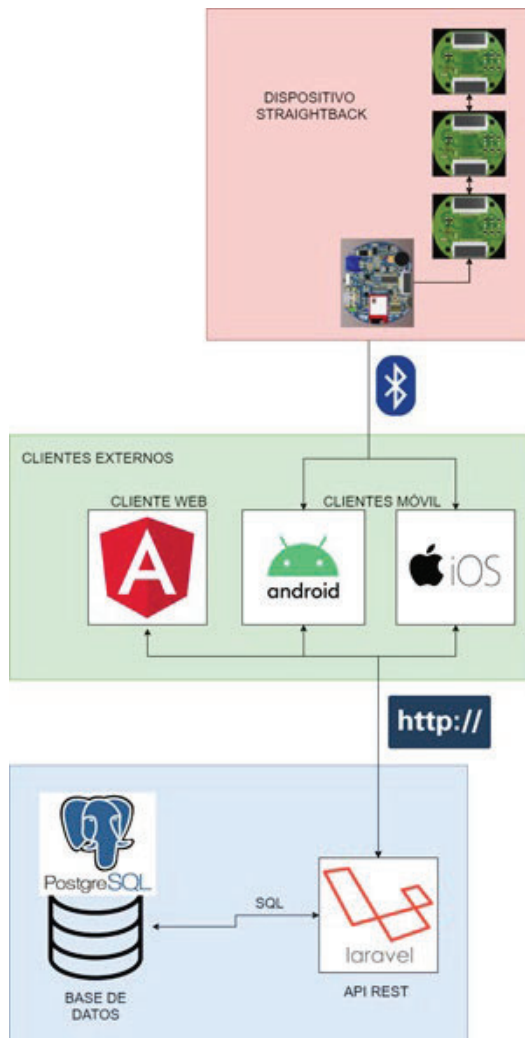


Figura 6: Arquitectura del Sistema de Corrección Postural.

Dentro objetivos principales del prototipo materializadas en características están:

1. **Disminución de lesiones:** ya que nos va a dar una información de alarma cuando la postura del usuario no sea correcta. Los datos son recogidos directamente de la columna vertebral del usuario y la representación se hace en tiempo real, por lo que estableciendo un correcto método de comunicaciones la posibilidad de pérdida de datos es relativamente muy baja.
2. **Comodidad y ergonomía:** Es un dispositivo cuyos componentes electrónicos han sido diseñados de

tal forma que ocupen lo menos posible. Además, lleva un encapsulado en material flexible y estanco que hace que se acople perfectamente a la postura del usuario.

3. **Larga duración en buenas condiciones higiénicas:** es un dispositivo retirable por lo que podremos lavar la prenda a la que va acoplado sin ningún problema.
4. **Incentivar la motivación:** la app de STRAIGHTBACK es no sólo un sitio donde visualizar datos, sino también un lugar donde guardar progresos del usuario con un objetivo motivador sobre sus avances, por lo que además incorpora el componente social de poder compartir también en las redes sociales y con el personal médico.

El objetivo principal del prototipo presentado es la investigación y obtención de entornos de trabajo más saludables e inteligentes, integrando nuevas tecnologías de sensorización y nuevos dispositivos de interacción que permitan anticipar la aparición de trastornos músculo esqueléticos, que frecuentemente condicionan situación de incapacidad temporal del trabajador, debidas al mantenimiento de una inadecuada biomecánica del raquis. Con este objetivo, el prototipo recoge la información postural de la espalda basada en un dispositivo wearable programable que monitoriza la postura de la columna vertebral a través de sensores inerciales colocados en diferentes puntos de interés. Dicho prototipo incluye una APP donde residen las tareas de visualización de los datos recibidos e implementa funcionalidades adicionales tales como el entrenamiento postural, la generación o visualización de los progresos del usuario, así como poder compartir los datos con otros usuarios con distintos roles tales como personal sanitario/entrenadores, etc. o incluso con salida en redes sociales. Su aplicación más evidente, por tanto, es en el ámbito de la Salud; y sus potenciales clientes, médicos y profesionales especializados (fisioterapeutas) que aprovechen StraightBack para un mejor diagnóstico y tratamiento de sus pacientes.

El aspecto más interesante de esta propuesta se centra en el desarrollo de formas de interactuar con el usuario por parte la tecnología más allá de una simple pantalla y con apoyo de profesionales. Permitir la incorporación de elementos personalizados para la ejecución de determinadas actividades o rutinas posturales, que en el caso de STRAIGHTBACK, permiten conectar directamente con el cuerpo del usuario a través de vibraciones y movimientos de los del dispositivo wearable en contacto con su espalda. El desarrollo de una plataforma

completa de mHealth con el prototipo presentado, representa una perspectiva factible en un futuro próximo, tal y como describía el trabajo (Dicianno *et al.* 2015)

Una vez el prototipo es operativo, queda mucho trabajo futuro, que permitirá incrementar la funcionalidad fundamental de la herramienta por parte del equipo multidisciplinar. En la actualidad se está trabajando para la incorporación de aspectos de gamificación y/o uso de juegos serios con el objetivo de mejorar la motivación y añadir entretenimiento a los ejercicios dentro de la terapia lo que permitirá conducir a una mayor adherencia al tratamiento, aumentando así la eficacia de este. La mejora de algoritmos que permitan anticipar lesiones determinadas en situaciones específicas también ocupa una línea importante de trabajo futuro, así como su incorporación en la gestión de riesgos laborales (Sánchez, 2020). Otro objetivo importante es la mejora de las interfaces de usuario en cuanto al desarrollo visual de evolución e histórico de actividad monitorizada, así como la gestión de los profesionales médicos en la generación de rutinas. Junto con las pruebas realizadas

durante la totalidad del trabajo dentro de la metodología agile utilizada, al finalizar el desarrollo completo se realizarán pruebas de usuario en los entornos de desarrollo UAT (*User Acceptance Testing*), Pre-Producción y Producción, para la puesta en explotación de los resultados obtenidos.

En resumen, el prototipo de la herramienta presentada facilita la mejora de hábitos posturales que implican a la columna vertebral, generando todas las vías posibles para incentivar su uso y su aplicabilidad incorporando la gestión de roles de profesionales sanitarios. Por este motivo, se vincula además su uso como apoyo a un sistema de rehabilitación o educación postural contemplando la asistencia de especialistas dentro de las funcionalidades previstas, lo que incrementa considerablemente su valor estratégico como soporte a posibles tratamientos y herramienta para facilitar la relación de pacientes y sus especialistas. Del mismo modo y en este sentido, puede usarse como herramienta de diagnóstico de enfermedades con sintomatología vinculada a posiciones desviadas de la columna vertebral.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado a través del proyecto TCUE, PC_TCUE18-20_044, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y la Junta de Castilla y León.

Referencias

- Adans-Dester, C., Hankov, N., O'Brien, A., Vergara-Díaz, G., Black-Schaffer, R., Zafonte, R., ... & Bonato, P. (2020). Enabling precision rehabilitation interventions using wearable sensors and machine learning to track motor recovery. *NPJ digital medicine*, 3(1), 1-10.
- Barthelme, J., Sauter, M., Mueller, C., & Liebers, F. (2021). Association between working in awkward postures, in particular overhead work, and pain in the shoulder region in the context of the 2018 BIBB/BAuA Employment Survey. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 22(1). doi:10.1186/S12891-021-04482-4
- Burke, J. W., McNeill, M. D. J., Charles, D. K., Morrow, P. J., Crosbie, J. H., & McDonough, S. M. (2009). Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. *The Visual Computer*, 25(12), 1085-1099.
- Byambasuren, O., Sanders, S., Beller, E., & Glasziou, P. (2018). Prescribable mHealth apps identified from an overview of systematic reviews. *NPJ digital medicine*, 1(1), 1-12.
- Campero-Jurado, I., Márquez-Sánchez, S., Quintanar-Gómez, J., Rodríguez, S., & Corchado, J. M. (2020). Smart Helmet 5.0 for industrial internet of things using artificial intelligence. *Sensors*, 20(21), 6241.
- Chen, M., Wu, T., Lv, M., Chen, C., Fang, Z., Zeng, Z., ... Zhang, J. (2021). Efficacy of mobile health in patients with low back pain: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *JMIR MHealth and UHealth*, 9(6). doi:10.2196/26095
- Clifton, I. G. (2015). *Android user interface design: Implementing material design for developers*. Addison-Wesley Professional.
- Dicianno, B. E., Parmanto, B., Fairman, A. D., Crytzer, T. M., Yu, D. X., Pramana, G., & Petrazzi, A. A. (2015). Perspectives on the evolution of mobile (mHealth) technologies and application to rehabilitation. *Physical therapy*, 95(3), 397-405.
- Du, S., Liu, W., Cai, S., Hu, Y., & Dong, J. (2020). The efficacy of e-health in the self-management of chronic low back pain: A meta analysis. *International Journal of Nursing Studies*, 106. doi:10.1016/J.IJNURSTU.2019.103507
- Fernandez-Silano, M., Rísquez, A., & Caraballo-Arias, Y. (2013). *Temas de Epidemiología y Salud Pública. Tomo II Salud Publica. Medicina del viajero View project Tic y salud View project*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/291165356>
- Google 1. (s.f.). [Xiaomi Mijia Youpin Hi+]. Recuperado el 15 de diciembre, 2021, de <https://es.dhgate.com/product/xiaomi-mijia-youpin-hi-intelligent-posture/557362040.html>

- Google 10. (s.f.). [FitnessSHIRT]. Recuperado el 15 de diciembre, 2021, <https://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/sse/health/medical-sensors-and-analytics/prod/fitnessshirt.html>
- Google 2. (s.f.). [FysioPal, Elitac Wearables]. Recuperado el 15 de diciembre, 2021, de <https://elitacwearables.com/projects/fysiopal/>
- Google 3. (s.f.). [Lumo Lift]. Recuperado el 15 de diciembre, 2021, de <https://www.amazon.es/Lumo-Analizador-postural-actividad-diaria/dp/B00N9P8GMW>
- Google 4. (s.f.). [Alex Posture]. Recuperado el 15 de diciembre, 2021, de <https://www.kickstarter.com/projects/891603560/alex-wearable-posture-tracker-and-coach>
- Google 5. (s.f.). [TruePosture]. Recuperado el 15 de diciembre, 2021, <https://www.truposture.com/>
- Google 6. (s.f.). [Wearlumb]. Recuperado el 15 de diciembre, 2021, <https://www.sgs.es/es-es/news/2019/10/wearlumb>
- Google 7. (s.f.). [lumoback]. Recuperado el 15 de diciembre, 2021, <https://www.kickstarter.com/projects/lumoback/lumoback-the-smart-posture-sensor>
- Google 8. (s.f.). [Valedo Therapy]. Recuperado el 15 de diciembre, 2021, <https://www.hocoma.com/services/product-training/valedo/>
- Google 9. (s.f.). [uprightpose]. Recuperado el 15 de diciembre, 2021, <https://www.uprightpose.com/>
- Häkkinlä J. (2017) Designing for Smart Clothes and Wearables—User Experience Design Perspective. In: Schneegass S., Amft O. (eds) Smart Textiles. Human–Computer Interaction Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50124-6_12
- Hartvigsen, J., Hancock, M. J., Kongsted, A., Louw, Q., Ferreira, M. L., Genevay, S., ... Woolf, A. (2018, June 1). What low back pain is and why we need to pay attention. *The Lancet*. Lancet Publishing Group. doi:10.1016/S0140-6736(18)30480-X
- Hussein, I., Hussain, E. O. C., Mkpojiogu, C. K., & Tan, K. L. (2020). A Current State Performance Framework for the Evaluation of User Experience Design (UXD) Practice in Industry. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8, 206-214.
- Jung, K. S., Jung, J. H., In, T. S., & Cho, H. Y. (2021). Effects of prolonged sitting with slumped posture on trunk muscular fatigue in adolescents with and without chronic lower back pain. *Medicina (Lithuania)*, 57(1), 1–8. doi:10.3390/MEDICINA57010003/MEDICINA_57_00003_PDF.PDF
- Kim, M. S. (2015). Influence of neck pain on cervical movement in the sagittal plane during smartphone use. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(1), 15–17. doi:10.1589/JPTS.27.15
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2018). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Stroke*, 49(4), e160-e161.
- Lim, C. K. (2020). A current state performance framework for the evaluation of user experience design (UXD) practice in industry.
- Márquez-Sánchez, S., Campero-Jurado, I., Robles-Camarillo, D., Rodríguez, S., & Corchado-Rodríguez, J. M. (2021). BeSafe B2. 0 Smart Multisensory Platform for Safety in Workplaces. *Sensors*, 21(10), 3372.
- Meijer, H. A., Graafland, M., Goslings, J. C., & Schijven, M. P. (2018). Systematic review on the effects of serious games and wearable technology used in rehabilitation of patients with traumatic bone and soft tissue injuries. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 99(9), 1890-1899.
- Mukhopadhyay, S. C. (2014). Wearable sensors for human activity monitoring: A review. *IEEE sensors journal*, 15(3), 1321-1330.
- Mutlu, B., Krause, A., Forlizzi, J., Guestrin, C., & Hodgins, J. (2007, October). Robust, low-cost, non-intrusive sensing and recognition of seated postures. In *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 149-158).
- Pereira Gomes, L. G., Dias da Silva Garzedin, D., & Dominguez Ferraz, D. (2016). Impacto del lumbago en la calidad de vida de los trabajadores: una búsqueda sistemática. *Salud de los Trabajadores*, 24(1), 59-62.
- Rosero-Montalvo, P., Jaramillo, D., Flores, S., Peluffo, D., Alvear, V., & Lopez, M. (2017). Human sit down position detection using data classification and dimensionality reduction. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 2(3), 749-754.,
- Rowland, S. P., Fitzgerald, J. E., Holme, T., Powell, J., & McGregor, A. (2020). What is the clinical value of mHealth for patients? *NPJ digital medicine*, 3(1), 1-6.
- Sánchez, S. M. (2020). Electronic textiles for intelligent prevention of occupational hazards. In *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence*. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1004 (pp. 217-220). Springer, Cham.
- Sandal, L. F., Bach, K., Øverås, C. K., Svendsen, M. J., Dalager, T., Stejnicher Drongstrup Jensen, J., ... Mork, P. J. (2021). Effectiveness of App-Delivered, Tailored Self-management Support for Adults with Lower Back Pain-Related Disability: A self BACK Randomized Clinical Trial. *JAMA Internal Medicine*, 181(10), 1288–1296. doi:10.1001/jamainternmed.2021.4097
- Schnall, R., Rojas, M., Bakken, S., Brown, W., Carballo-Dieguez, A., Carry, M., ... & Travers, J. (2016). A user-centered model for designing consumer mobile health (mHealth) applications (apps). *Journal of biomedical informatics*, 60, 243-251.
- Szczygieł, E., Zielonka, K., Mętel, S., & Golec, J. (2017). Musculo-skeletal and pulmonary effects of sitting position-a systematic review Musculo-skeletal and pulmonary effects of sitting position-a systematic review. *Ann Agric Environ Med. Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 24(1), 8–12. doi:10.5604/12321966.1227647
- World Health Organization. (2014). *World health statistics 2014*. World Health Organization.
- Yassierli, Y., & Juraida, A. (2016). Effects of Netbook and Tablet Usage Postures on the Development of Fatigue, Discomfort and Pain. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 48(3), 243–253. doi:10.5614/J.ENG.TECHNOL.SCI.2016.48.3.1