



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

www.acofi.edu.co/eiei2020

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

APLICACIÓN PARA APOYAR LA REHABILITACIÓN DE PERSONAS CON AMPUTACIÓN TRANSFEMORAL VÍCTIMAS DEL CONFLICTO ARMADO

Juliana Velásquez Gómez, María Clara Mejía Jaramillo

**Universidad EIA
Envigado, Colombia**

Resumen

Existen diferentes causas para la amputación de uno o ambos miembros inferiores. En países en desarrollo la atención en salud es de difícil acceso y en muchos casos la rehabilitación de estas personas no es adecuada, ni en el momento oportuno, lo que implica que la situación de estas personas empeore.

En Colombia, la cantidad de personas amputadas por el conflicto armado refleja una grave situación para los derechos humanos. Las heridas causadas por las minas antipersonales son complejas y catastróficas, causan, en su mayoría, una amputación. Las personas en situación de discapacidad víctimas del conflicto armado, encuentran barreras para desempeñar los mismos roles que desempeñaban antes de adquirir la discapacidad, en estos casos, los procesos de rehabilitación juegan un papel importante y casi trascendental en la vida de la persona, ya que permiten la potenciación de sus capacidades y habilidades.

Con el fin de brindar soluciones a limitaciones de mercado y espacio para la rehabilitación se propone SensRehApp la cual a través de una unidad de medición inercial detecta movimientos de la persona y los envía a un computador que le permita hacer diferentes ejercicios para cada una de las etapas del proceso de rehabilitación. Estos ejercicios fueron determinados junto a personal médico y teniendo como base la Guía de Práctica Clínica para el diagnóstico y tratamiento preoperatorio, intraoperatorio y postoperatorio de la persona amputada, la prescripción de la prótesis y la rehabilitación integral. Estos ejercicios se ejecutan a través de tres videojuegos que permiten mantener la movilidad articular en la fase preoperatoria, mejorar el equilibrio monopodal en la fase preprotésica y realizar trabajos de equilibrio y coordinación durante la fase

postprotésica. Adicionalmente, hacer la rehabilitación por medio de un videojuego promueve la motivación, la adherencia al tratamiento y permite controlar y evaluar los ejercicios de manera numérica y objetiva. Esto representa una innovación en la forma como las personas de lugares apartados puedan realizar ejercicios de rehabilitación, que contribuya a contrarrestar los factores que agudizan los problemas de salud a los que se exponen la personas con discapacidad.

Palabras clave: amputación; rehabilitación; videojuego

Abstract

There are different causes for the amputation of one or both lower limbs. In developing countries, health care is difficult to access, and, in many cases, the rehabilitation of these people is not adequate, nor at the right time, which implies that the situation of these people worsens.

In Colombia, the number of people amputated by the armed conflict reflects a serious situation for human rights. The wounds caused by antipersonnel mines are complex and catastrophic, mostly causing amputation. People with disabilities, victims of the armed conflict, find barriers to play the same roles they played before acquiring a disability. In these cases, the rehabilitation processes play an important and almost transcendental role in the person's life, since they allow the enhancement of your abilities and skills.

In order to provide solutions to market limitations and space for rehabilitation, SensRehApp is proposed, which through an inertial measurement unit detects movements of the person and sends them to a computer allowing them to do different exercises for each of the stages of rehabilitation. These exercises were determined together with medical personnel and based on the Clinical Practice Guide for the diagnosis and preoperative, intraoperative, and postoperative treatment of the amputated person, the prescription of the prosthesis, and comprehensive rehabilitation. These exercises are carried out through three video games that allow joint mobility to be maintained in the preoperative phase, improve monopodal balance in the pre-prosthetic phase, and perform balance and coordination work during the post-prosthetic phase. Additionally, doing rehabilitation through a video game promotes motivation, adherence to treatment, and allows you to control and evaluate exercises numerically and objectively. This represents an innovation in the way in which people from remote areas can carry out rehabilitation exercises, which helps to counteract the factors that exacerbate the health problems to which people with disabilities are exposed.

Keywords: amputation; rehabilitation; videogame

1 Introducción

La amputación de un miembro es una situación que cambia la vida de la persona, además tiene consecuencias en el bienestar físico y psicológico de esta. Mundialmente, las amputaciones son una de las más comunes causas de discapacidad, 30 millones de personas han perdido un miembro. Una adecuada rehabilitación integral luego de la amputación, les da la posibilidad a las

personas de rehacer sus vidas, recuperando su independencia y dignidad, además de retomar sus antiguas actividades (Devinuwara et al., 2018).

En general, la fisioterapia es aplicada no sólo en reparación funcional, sino también en la prevención de complicaciones motoras. Para optimizar el programa prescrito, los ejercicios deben ejecutarse continuamente y de la manera correcta (Pereira et al., 2019). Para esto, usualmente los pacientes deben dirigirse a los centros de rehabilitación varias veces, pero factores como la falta de tiempo, las largas distancias y los costos asociados, afectan el número de visitas a los especialistas y, por tanto, afectan la calidad de la rehabilitación (Raso et al., 2010).

Los ejercicios en casa para rehabilitación permiten estimular la actividad muscular frecuentemente, pero tienen una gran desventaja, el esfuerzo que se debe hacer para educar apropiadamente a los pacientes para mantener una continua adherencia al programa (Bassett, 2003). Adicionalmente, los ejercicios deben ser ejecutados rigurosa y correctamente, sin embargo, a menudo los pacientes presentan incertidumbre sobre la correcta técnica de los ejercicios y no recuerdan el programa de ejercicios completo (Smith et al., 2005).

Para evitar estas complicaciones, se utilizan sistemas de retroalimentación, que pueden tener efectos terapéuticos potenciales durante la fisioterapia, ya que, asegura que los ejercicios se ejecuten de acuerdo con la prescripción y simultáneamente crean adherencia en estos programas (Ferreira et al., 2014).

En contraste con la rehabilitación tradicional, la cual puede ser repetitiva, causando una pérdida de interés en los pacientes, los video juegos y la realidad virtual ofrecen la oportunidad de participar en tareas agradables con un propósito terapéutico a través de una interacción física con el juego. El diseño de video juegos basados en ejercicios físicos ofrece la posibilidad de practicar habilidades físicas de forma entretenida y de ajustar el juego de acuerdo con las habilidades del sujeto y el nivel de intensidad. Además, se sabe que el nivel de disfrute de una actividad es uno de los factores predictivos de la efectividad de un programa de ejercicios, por esta razón, la tecnología interactiva basada en el ejercicio se está convirtiendo en la estrategia más popular de todos los tiempos para la realización de la actividad física (García-Bravo et al., 2019).

Por tanto, el objetivo principal es diseñar un sistema que, por medio de un videojuego permita monitorear la rehabilitación de pacientes con amputación transfemoral, que tiene como propósito proveer al paciente facilidades para la rehabilitación autónoma, dándoles una retroalimentación como recompensa o como una sugerencia para mejorar su desempeño, adicionalmente permitiéndole al especialista conocer el progreso del usuario.

2 Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo de esta aplicación se basa en ciclo de desarrollo de sistemas (SDLC, por sus siglas en inglés), se define como un enfoque sistemático utilizado por la industria del software para diseñar, desarrollar y probar software de alta calidad. El objetivo principal detrás de SDLC es producir un software de alta calidad que cumpla o supere las

expectativas del cliente, llegue a su fin dentro de los tiempos y las estimaciones de costos (Doshi, 2019). Las fases utilizadas en este proyecto se pueden observar en el Gráfico 1.

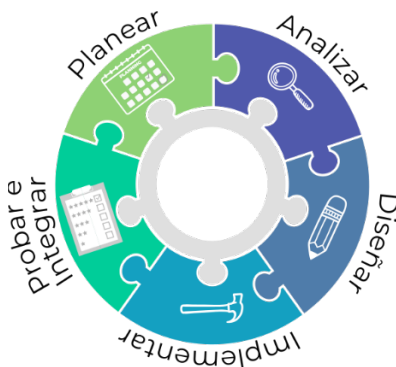


Gráfico 1. Fases de SDLC. Adaptado de (Morris, 2018).

2.1 Planear

Durante esta fase se hace el planteamiento inicial en donde se define el problema, las metas, objetivos, el alcance, las soluciones alternativas y criterio de desempeño (Everett & Mcleod, 2007; Institute of Chartered Accountants of India, 2015). Para esto se hizo una declaración de la misión, donde se definió el objetivo: desarrollar una aplicación con realimentación por medio de la monitorización que apoye la rehabilitación para personas con amputación transfemoral víctimas del conflicto armado. Además, se definieron las metas: impactar la población objetivo de manera positiva, reducir costos de transporte y generar adherencia a los programas de rehabilitación en casa.

2.2 Analizar

Refina los objetivos del proyecto en funciones definidas o subsistemas y el funcionamiento de la aplicación prevista. Analiza las necesidades de información del usuario final. Para esto, se debe hacer una recopilación de datos, analizar las soluciones existentes evaluando sus pros y sus contras (Everett & Mcleod, 2007; Kay, 2002). Durante el proyecto se realizaron encuestas a especialistas y posibles usuarios, lo que llevó a la definición de 4 módulos en la aplicación.

2.3 Diseñar

En este paso, las características y operaciones deseadas se describen en detalle, incluyendo diseños de pantalla, diagramas de proceso, entre otros (Kay, 2002). Las actividades de esta fase pueden llevarse a cabo de manera iterativa, produciendo primero un diseño de sistema general y luego un diseño de sistema más detallado (Department of Justice, 2003). Para esta fase se realizó el mínimo producto viable de cada video juego y se diseñó un prototipo inicial con figuras geométricas.

2.4 Implementar

Durante esta etapa, el software para cada módulo es desarrollado, probado y aprobado individualmente (Everett & Mcleod, 2007). Los resultados de la etapa de desarrollo incluyen un conjunto de software completamente funcionales que satisfacen los requisitos y elementos de diseño previamente mencionados (Department of Justice, 2003). Se desarrollaron los juegos, las alertas, las animaciones y la interfaz de los especialistas individualmente.

2.5 Probar e integrar

Reúne todas las partes diseñadas en un entorno de pruebas para verificar si hay errores y la interoperabilidad del sistema (Kay, 2002). Esta etapa busca validar los módulos integrados para garantizar que funcionen correctamente y obtener la aprobación de externos a través de la prueba de aceptación del usuario, en la que se determina si el sistema cumple con las necesidades percibidas por este. En caso de que no se cumpla alguna de las expectativas es necesario revisar o modificar para cumplir con los requisitos, para esto es necesario volver a etapas anteriores (Everett & Mcleod, 2007). Se integraron los módulos de los juegos, las alertas y las animaciones y se incluyeron los tips, luego, un especialista y un posible usuario de la aplicación dieron la retroalimentación para hacer correcciones pertinentes.

3 Resultados

Luego de definir el problema, se realizaron entrevistas individuales con usuarios y especialistas para recopilar datos que permitieran conocer las necesidades reales que se tenían en el mercado, características importantes del proceso de la rehabilitación, ejercicios relevantes en cada una de las fases de la rehabilitación, productos en el mercado que buscan resolver el problema, sus pros y contras e información extra que podría tener la solución actual para darle respuesta al problema.

Para esto se subdividió la aplicación en cuatro módulos, los videojuegos que permitan la ejecución de ejercicios relevantes para la rehabilitación de personas con amputación de miembro inferior, las animaciones para ejemplificar la ejecución de los ejercicios que sirven como instrucciones del juego, la interfaz para los especialistas que les permite evaluar el progreso de los usuarios y actualizar los ejercicios y la dificultad de estos y alertas y recomendaciones para personas en el proceso de rehabilitación durante la amputación.

3.1 Video juegos

Los juegos fueron creados en el software de Unity 3D, una plataforma de desarrollo 2D y 3D, para crear juegos multiplataforma y experiencias interactivas (Unity 3D, 2020).

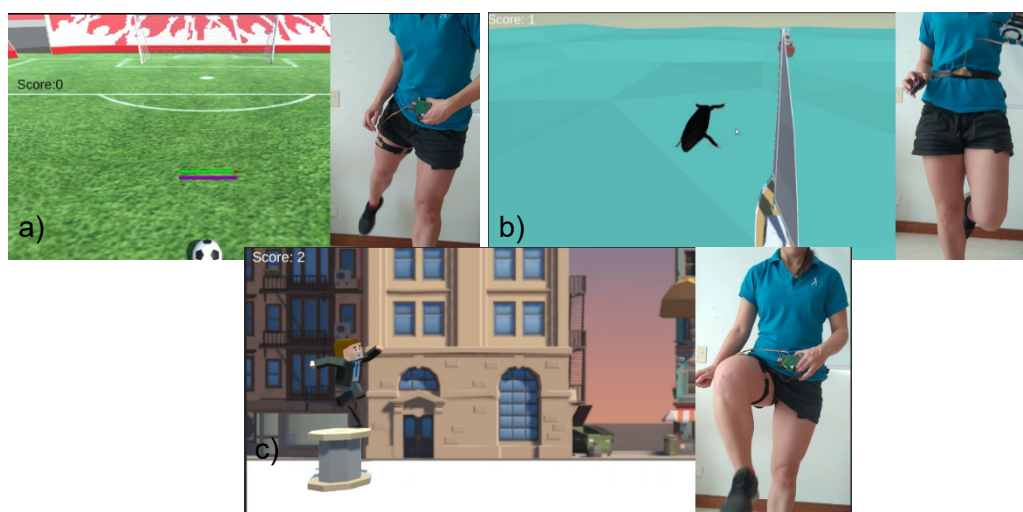


Ilustración 1. Videojuegos de SensRehApp. a) Flexo-extensión, b) Equilibrio monopodal y c) Step up.

El objetivo del video juego para la flexo-extensión de cadera, ejercicio de la fase preoperatoria, es introducir el balón dentro de la portería. Para esto el jugador debe hacer un movimiento similar al que hace un jugador de fútbol cuando patea el balón, es decir, flexo-extensión de cadera, como se observa en la Ilustración 1a. Para controlar la fuerza del balón, hay dos barras, la superior se detiene cuando la cadera de la pierna en la que se encuentra el sensor está en extensión con ángulo suficiente. Cuando la primera barra se detiene, empieza a llenarse la segunda, la cual se detiene cuando la cadera está en flexión con un ángulo suficiente. La fuerza total es la suma de la fuerza de ambas barras, por lo cual, si ambas barras están suficientemente llenas el balón llegará a portería, de lo contrario, no se alcanzará el objetivo y se pierde.

El objetivo del video juego para el balance monopodal, ejercicio de la fase preprotésica, es sobrevivir el mayor tiempo posible sin chocar con algún obstáculo, para esto se debe mantener el equilibrio sobre una pierna o equilibrio monopodal, en caso de perder el equilibrio, el velero se moverá a la derecha o a la izquierda, pudiendo chocar con la ballena o el barco, cuando esto sucede el juego termina que se observa en la Ilustración 1b. El objetivo del video juego para el balance monopodal, ejercicio de la fase preprotésica, es sobrevivir el mayor tiempo posible sin chocar con algún obstáculo, para esto se debe mantener el equilibrio sobre una pierna o equilibrio monopodal, en caso de perder el equilibrio, el velero se moverá a la derecha o a la izquierda, pudiendo chocar con la ballena o el barco, cuando esto sucede el juego termina como se observa en la Ilustración 1b.

El objetivo del video juego para el ejercicio step up, de la fase postprotésica, es saltar cada uno de los obstáculos que aparecen, para esto el usuario debe subir a una base estática para que el jugador salte, y luego bajar antes de que aparezca un obstáculo y así poder repetir el movimiento, si el usuario no sube a la base a tiempo el jugador se chocará con el obstáculo y el juego acabará con se observa en la Ilustración 1c.

3.2 Animaciones

Las animaciones para ejemplificar como se hacen correctamente los ejercicios se hicieron con Anima2D una solución de animación esquelética 2D avanzada y completa para Unity. Con esta se pueden crear personajes y fondos en 2D para tu juego dentro de Unity. Anima2D se basa en jerarquías de huesos 2D, un poderoso editor de SpriteMesh con control total sobre la malla resultante y la cinemática inversa 2D (Unity Anima2D, 2019).

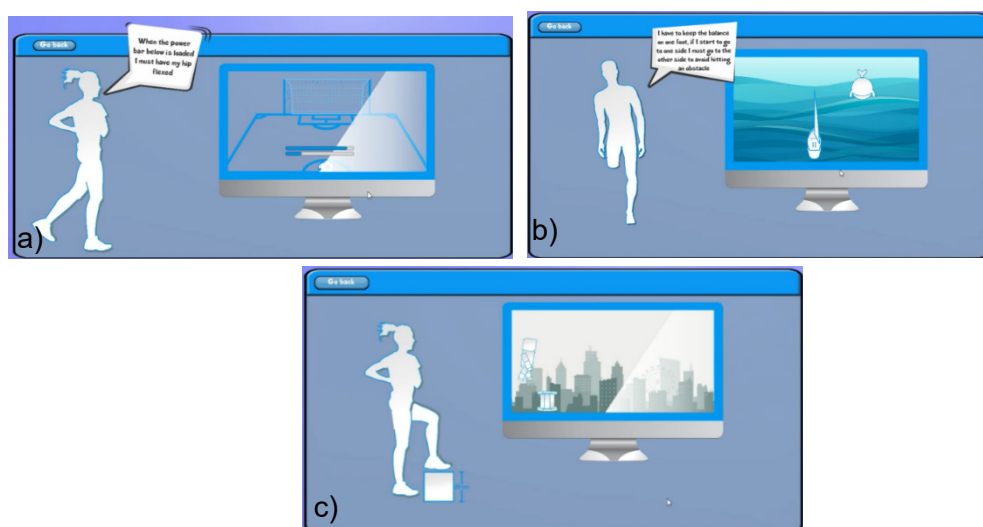


Ilustración 2. Animaciones de instrucciones. a) Flexo-extensión, b) Equilibrio monopodal y c) Step up.

3.3 Interfaz de especialistas

Esta interfaz permite a los especialistas consultar los progresos de cada uno de los usuarios que tienen registrados a su nombre, en la Ilustración 3 se puede observar una gráfica la cual presenta dos variables, la blanca que es el puntaje total en cada intento ejecutado por el usuario y el verde, representa el tiempo en el cual se obtuvo este puntaje. En la parte superior se puede observar la fecha (Año-mes-día hora) en la que se realizó cada intento. Por otro lado, en esta interfaz se pueden actualizar los ejercicios que el usuario puede hacer y su dificultad, dependiendo de la fase de la rehabilitación en la que se encuentre (Ilustración 4).

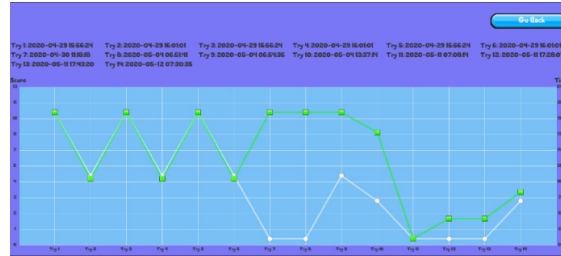


Ilustración 3. Gráfica de progreso de usuario.

Ilustración 4. Interfaz para actualizar los ejercicios y la dificultad de estos.

3.4 Alertas y recomendaciones

Debido a que durante el proceso de rehabilitación no solo es importante ejecutar correctamente ejercicios físicos, se desarrolló un módulo que permita a los usuarios acceder a información extra con la cual pueden conocer nuevos ejercicios, como hacer un correcto vendaje, el cuidado de la prótesis y el muñón y finalmente, diferentes productos de apoyo que pueden contribuir durante la rehabilitación. Por otro lado, se diseñó un sistema de alertas, en el cual, se envía un correo al especialista indicándole si el paciente tiene dolor, lesiones o enrojecimientos y además le da la posibilidad al usuario de escribir algo adicional como se puede observar en la Ilustración 5.



Ilustración 5. Alertas y recomendaciones (Oscar Rodríguez, 2015).

- aez, A., Barre, E., García-Bravo, C., Tomás Flórez-García, M., & Botas-Rodríguez, J. (2019). Virtual reality and video games in cardiac rehabilitation programs. A systematic review. *Disability and Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1631892>
- Pereira, A., Folgado, D., Cotrim, R., & Sousa, I. (2019). Physiotherapy Exercises Evaluation using a Combined Approach based on sEMG and Wearable Inertial Sensors. *BIOSTEC*, 73-82. <https://doi.org/10.5220/0007391300730082>
 - Smith, J., Lewis, J., & Prichard, D. (2005). Physiotherapy exercise programmes: Are instructional exercise sheets effective? *Physiotherapy Theory and Practice*, 21(2), 93-102. <https://doi.org/10.1080/09593980590922316>

Fuentes electrónicas

- Department of Justice. (2003, enero). *Systems Development Life Cycle Guidance*. Department of Justice. <https://www.justice.gov/archive/jmd/irm/lifecycle/table.htm>
- Doshi, K. (2019, agosto 5). *Understanding Software Development Process*. BrowserStack. <https://www.browserstack.com/guide/learn-software-development-process>
- Kay, R. (2002, mayo 14). *System Development Life Cycle*. Computerworld. <https://www.computerworld.com/article/2576450/app-development-system-development-life-cycle.html>
- Morris, K. (2018, abril 20). *Software Development & Baking! What do they have in common?* TriniInXisle. <https://triniinxisle.com/2018/04/20/software-development-baking-what-do-they-have-in-common/>
- Oscar Rodríguez. (2015). *Ayudas técnicas para la deambulaci3n: los bastones, las muletas y los andadores*. Más que mayores. <http://masquemayores.com/magazine/ayudas-tecnicas-para-la-deambulacion-los-bastones-las-muletas-y-los-andadores/>
- Unity 3D (Nº de versi3n 2019.3.5). (2019). Windows. San Francisco: Unity Technologies.
- Unity Anima2D (Nº de versi3n 1.1.8). (2019). Windows. San Francisco: Unity Technologies.

Sobre los autores

- **Juliana Velásquez Gómez:** Ingeniera Biomédica, Especialista en Rediseño de Productos, Máster en Ingeniería. Profesora titular, Universidad EIA. juliana.velasquez@eia.edu.co.
- **María Clara Mejía Jaramillo:** Ingeniera Biomédica. Investigadora, Universidad EIA. maria.mejia66@eia.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opini3n de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)