INTERACCION

Revista Digital de AIPO

Asociación Interacción Persona-Ordenador

Vol. 2, No 2 (2021)

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Comité Editorial

ISSN electrónico: **2695-6578**

Editado en: **Asociación Interacción Persona-Ordenador (AIPO)**
C/ María de Luna, 1, Universidad de Zaragoza,
Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas,
edificio Ada Byron, 50018 – Zaragoza,
aipo@aipo.es

Año de edición: **2021**

Editores: **Lourdes Moreno**
Universidad Carlos III de Madrid

Cristina Manresa Yee
Universitat de les Illes Balears

Publicado por: **Asociación Interacción Persona-Ordenador (AIPO)**
C/ María de Luna, 1, Universidad de Zaragoza,
Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas,
edificio Ada Byron, 50018 – Zaragoza,
aipo@aipo.es

Equipo editorial

Julio Abascal, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea (España)
Sandra Baldassarri, Universidad de Zaragoza (España)
Federico Botella, Universidad Miguel Hernández de Elche (España)
César Collazos, Universidad del Cauca (Colombia)
Raquel Hervás Ballesteros, Universidad Complutense de Madrid (España)
Rosa Gil, Universitat de Lleida (España)
Toni Granollers, Universitat de Lleida (España)
Francisco Gutiérrez, Universidad de Granada (España)
José Antonio Macías: Universidad Autónoma de Madrid (España)
José Ignacio Panach, Universitat de València (España)
Pere Ponsa, Universitat Politècnica de Catalunya (España)
Arcadio Reyes Lecuona, Universidad de Málaga (España)

Revisores adicionales en este número

Mainor Cruz Alvarado, Universidad Nacional de La Plata (Argentina)
Ana Belén Gil González, Universidad de Salamanca (España)
Carina González-González, Universidad de La Laguna (España)
Daniel González-Toledo, Universidad de Málaga (España)
María Dolores Lozano Pérez, Universidad de Castilla-La Mancha (España)
Luis Molina-Tanco, Universidad de Málaga (España)

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Preámbulo

Los sistemas interactivos influyen en todos los aspectos de la vida de las personas, asistimos a una continua evolución de los paradigmas clásicos de interacción a nuevas formas de interactuar, es esencial investigar y compartir el conocimiento de estos paradigmas emergentes. Con este espíritu trabaja la Asociación Interacción Persona-Ordenador (AIPO) desde hace 20 años.

La revista Interacción, revista digital de la Asociación Interacción Persona-Ordenador (AIPO), nace con este número 1 con el objetivo de difundir el conocimiento de la Interacción Persona-Ordenador (IPO) y servir de vínculo entre los científicos y profesionales que desarrollen actividades en este ámbito, y con la finalidad de potenciar la transferencia de sus resultados a la sociedad.

La IPO es un campo de investigación multidisciplinario, por ello, la revista presenta contribuciones del ámbito de la Informática como: usabilidad, el diseño centrado en el usuario, accesibilidad, experiencia de usuario, juegos serios, computación ubicua, realidad aumentada, realidad virtual, computación móvil y desarrollo de interfaces de usuario, pero además, se quiere fortalecer la publicación de trabajos de investigación en áreas de diseño industrial, robótica, psicología, etc. relacionadas con la IPO.

Esta revista se distribuye a todos los socios, así mismo, se defiende que su publicación sea de acceso abierto que fomente el avance del conocimiento científico a disposición de todos, por ello su contenido es libremente accesible por Internet.

La revista Interacción selecciona los artículos para publicar en un sistema de revisión por pares, doble ciego, siguiendo las buenas prácticas de las revistas académicas. Es una revista enfocada a la comunidad en España e Iberoamericana y publica artículos en español. Interacción se publica en formato exclusivamente digital, con una periodicidad semestral, publicándose dos números al año. La llamada de artículos está abierta todo el año.

Resumen del Volumen 2, Número 2:
Este número de la revista incluye dos secciones especiales: una sección con artículos de investigación seleccionados de acuerdo a criterios de impacto y calidad de los trabajos recibidos en el congreso "Interacción 20/21" celebrado el pasado mes de septiembre en Málaga, y otra sección de reseñas sobre Equipos de Investigación relacionados con el campo de IPO, continuación de la sección ya publicada en el Vol. 1 Núm. 1 (2020), con la que se quiere contribuir a la definición de un mapa de la comunidad IPO donde se darán a conocer las actividades de investigación presentes y futuras de investigadores e investigadoras de España e Iberoamérica.

Nuestro agradecimiento a los editores invitados, a todos los autores por su contribución, así como en las labores de revisión a todos los revisores implicados.

Lourdes Moreno y Cristina Manresa Yee
Editoras de Interacción, Revista digital de AIPO

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Tabla de contenidos

Sección Especial: Interacción 2021 5

Editorial Interacción 20/21
Arcadio Reyes-Lecuona, Luis Molina-Tanco, Blanca Montalvo, Cristina Manresa-Yee Y Carina González-González 6

Propuesta de plantilla de informes de evaluación de accesibilidad desde la perspectiva de la experiencia de usuario accesible (AUX)
Afra Pascual Almenara, Rubén Alcaraz Martínez y Toni Granollers Saltiveri 8

Análisis de una experiencia multimodal de realidad mixta para la programación de un cobot a través de su gemelo digital
Andoni Rivera Pinto, Johan Kildal Oquiñena y Elena Lazkano Ortega 19

Una propuesta de caracterización inicial de mayores para el desarrollo de interfaces adaptativas
Javier Navarro-Alamán, Raquel Lacuesta y Eva Cerezo 34

Hacia una propuesta de evaluación heurística de experiencias de juego pervasivas
Nuria Medina-Medina, Jesús Gallardo, Eva Cerezo, Francisco Luis Gutiérrez y Jeferson Arango-López 42

Audio Binaural y Ganancia de Rotación en Entornos Virtuales
Arcadio Reyes-Lecuona, Ana Márquez-Moncada, Hauke Luis Bottcher, Daniel González-Toledo, María Cuevas-Rodríguez y Luis Molina-Tanco 54

Hacia un Dispositivo Wearable Electrónico Inteligente de Corrección Postural Asociado a la Espalda
Ana B. Gil-González, Sergio Márquez, Miguel Robles García, Juan Manuel Corchado y Ana Luis-Reboredo 63

Desarrollo de una experiencia educativa con juguetes activos en una mesa de interacción tangible
Mainor Cruz Alvarado, Cecilia Sanz y Sandra Baldassarri 74

Sección Especial: Interacción 2021 85

Proyecto Indigo! Grupo de investigación en tecnologías educativas y de asistencia a personas con diversidad funcional intelectual
Xavier Alamán, Rosa M. Carro, Ruth Cobos, Javier Gómez, Francisco Jurado, Germán Montoro, Jaime Moreno, Álvaro Ortigosa, Pilar Rodríguez, Estefanía Martín, Miguel Gea, Dulce María Romero, José Luis Cuesta, Raquel de la Fuente y Gerardo Herrera 86

Grupo de investigación: Laboratorio interuniversitario para el procesado de señales biomédicas y de fijación de la mirada
Gonzalo Joya Caparrós, Rafael M. Ávila Ávila, Rodolfo V. García Bermúdez y Jacqueline Medrano Montero 90

Grupo CHICO – UCLM
Miguel Á. Redondo, Manuel Ortega, Crescencio Bravo, Ana I. Molina, Carmen Lacave y Yoel Arroyo 94

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Sección Especial: Interacción 2021

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Editorial Interacción 20/21

Tras un año muy complicado, debido a la pandemia de COVID-19 que obligó al aplazamiento de la edición de 2020, finalmente pudimos celebrar el XXI Congreso Internacional de Interacción Persona Ordenador en septiembre de 2021, con un gran éxito de participación. De esta forma, el congreso Interacción 20/21 reunió a los investigadores del área para poner en común trabajos desarrollados durante los dos años anteriores. Siguiendo la iniciativa llevada a cabo en el primer número de la revista, presentamos aquí un número especial con una selección de artículos presentados en esta edición del congreso, cubriendo diferentes aspectos de la investigación en Interacción Persona-Ordenador. Se trata de tres presentaciones de grupos de investigación y siete trabajos de investigación originales.

Esta vigesimoprimera edición del congreso, continuando con una idea comenzada en la edición anterior, acogió una sesión en la que se presentaron grupos de investigación que pudieron compartir experiencias y discutir sus planes de trabajo. En este número especial, tres de los grupos que se presentaron en el congreso han escrito una reseña de sus actividades y planes.

El grupo CHICO (*Computer-Human Interaction and COllaboration*) de la Universidad de Castilla la Mancha nos describe su trabajo centrado en la generación de conocimiento, nuevos métodos, técnicas, herramientas y procesos de Ingeniería Informática para la mejora del soporte a tareas interactivas y colaborativas, especialmente en contextos de aprendizaje, todo ello combinando las perspectivas de la Informática Educativa y de la Interacción Persona-Ordenador.

El Laboratorio Interuniversitario para el Procesado de Señales Biomédicas y de Fijación de la Mirada, compuesto por el Laboratorio de Procesamiento de Datos Biomédicos (GPDB) de la Universidad de Holguín (Cuba), el Laboratorio de Investigación en Inteligencia Artificial y sus Aplicaciones de la Universidad Técnica de Manabí (Ecuador), y el Laboratorio de Computación Neuronal y Señales Biomédicas (Grupo ISIS) de la Universidad de Málaga (España), nos presenta su trabajo en el desarrollo de herramientas para la detección temprana y evaluación de enfermedades neurodegenerativas (especialmente ataxia espinocerebelosa tipo 2), así como la monitorización de la atención y el aprendizaje en línea.

Finalmente, el equipo de investigación del proyecto Indigo! (Ecosistema educacional para el desarrollo continuo e independiente de personas con TEA), que reúne investigadores de la Universidad Autónoma de Madrid, la Universidad Rey Juan Carlos, la Universidad de Granada, la Universidad de Burgos y la Universitat de València, describe su trabajo con tecnologías educativas y de asistencia para las personas con diversidad funcional intelectual, con especial enfoque en las personas con trastorno del espectro autista (TEA).

Además de estas reseñas, este número especial recoge la versión extendida de siete de los trabajos presentados en el congreso sobre diversas temáticas como accesibilidad, interfaces adaptativas, interacción tangible, realidad virtual, juegos pervasivos, o interacción persona-robot.

El trabajo titulado "Propuesta de plantilla de informes de evaluación de accesibilidad desde la perspectiva de la experiencia de usuario accesible (AUX)", de Afra Pascual Almenara, Rubén Alcaraz Martínez y Toni Granollers Saltiveri, presenta una propuesta de plantilla de informes de evaluación de la accesibilidad que incorpora información acerca del punto de vista emocional de la experiencia de usuario de las personas con discapacidad.

El estudio "Análisis de una experiencia multimodal de realidad mixta para la programación de un *cobot* a través de su gemelo digital", de Andoni Rivera Pinto, Johan Kildal Okiñena y Elena Lazkano Ortega, propone un sistema que permite realizar la tarea de guiado manual de un robot a través de una interfaz visual de realidad mixta.

El artículo "Una propuesta de caracterización inicial de mayores para el desarrollo de interfaces adaptativas", de Javier Navarro-Alamán, Raquel Lacuesta Gilaberte y Eva Cerezo Bagdasari, propone un sistema para la personalización de interfaces móviles para mayores basado en la realización de una serie de test que permiten caracterizar a los usuarios y llevar a cabo una adaptación automática de la interfaz.

El trabajo "Hacia una propuesta de evaluación heurística de experiencias de juego pervasivas", de Nuria Medina Medina, Jesus Gallardo, Eva Cerezo, Francisco Gutiérrez y Jeferson Arango-López, tiene como objetivo analizar los elementos diferenciadores de los juegos pervasivos desde el punto de

Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

vista de cada una de las dimensiones que los caracterizan (espacial, temporal y social).

El artículo "Audio Binaural y Ganancia de Rotación en Entornos Virtuales", de Arcadio Reyes-Lecuona, Ana Márquez Moncada, Hauke Luis Bottcher, Daniel González-Toledo, María Cuevas-Rodríguez y Luis Molina-Tanco, presenta un experimento exploratorio para determinar la influencia del audio 3D binaural y sus características en la detección de una manipulación en la rotación de la cabeza de un usuario dentro de un entorno virtual.

El artículo "Hacia un Dispositivo Wearable Electrónico Inteligente de Corrección Postural Asociado a la Espalda", de Ana B. Gil-González, Sergio Márquez, Miguel Robles García, Juan Manuel Corchado y Ana Luis-Reboredo, presenta un prototipo de dispositivo wearable que facilita la mejora de hábitos posturales que implican a la columna vertebral.

Por último, el artículo titulado "Desarrollo de una experiencia educativa con juguetes activos en una mesa de interacción tangible", de Mainor Cruz Alvarado, Cecilia Sanz y Sandra Baldassarri, indaga las posibilidades de los objetos activos en actividades educativas basadas en Interacción Tangible (IT).

Queremos agradecer las editoras de esta revista la oportunidad de publicar este número especial dedicado a esta edición del congreso Interacción. También nos gustaría agradecer a los autores su esfuerzo en la elaboración de estos textos extendidos adaptados a los requerimientos de la revista. Asimismo, queremos expresar un agradecimiento especial a los revisores que han proporcionado valiosos comentarios a los autores, lo que sin duda ha mejorado la calidad de los trabajos seleccionados.

Arcadio Reyes-Lecuona
Luis Molina-Tanco
Blanca Montalvo
Cristina Manresa-Yee
Carina González-González

Presidentes del comité de programa de INTERACCIÓN 20/21, Málaga, 2021

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Propuesta de plantilla de informes de evaluación de accesibilidad desde la perspectiva de la experiencia de usuario accesible (AUX)

Proposal of Accessibility Evaluation Report Template from the perspective of Accessible User Experience (AUX)

Afra Pascual Almenara
Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial.
Universitat de Lleida
Lleida, España
afra.pascual@udl.cat

Rubén Alcaraz Martínez
Departament de Biblioteconomia, Documentació i Comunicació Audiovisual
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
ralcaraz@ub.edu

Toni Granollers Saltiveri
Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial.
Universitat de Lleida
Lleida, España
toni.granollers@udl.cat

Recibido: 25.10.2021 | Aceptado: 14.12.2021
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.38

Palabras Clave

Accesibilidad web
Informe de evaluación de accesibilidad
Experiencia de Usuario Accesible (AUX)

Resumen

Se presenta una propuesta de plantilla de informes de evaluación de la accesibilidad que incorpora, como principal novedad, información acerca del punto de vista emocional de la experiencia de usuario de las personas con discapacidad (Accessibility User eXperience, AUX). La propuesta parte del informe presentado en el paso 5 de la metodología WCAG-EM, pero se replantea con una nueva organización. Los resultados de evaluación de la accesibilidad se presentan por barreras y se complementan con el impacto emocional que estas causan a diferentes colectivos de usuarios: personas ciegas, personas con baja visión, personas con discapacidad motriz, personas sordas y personas con discapacidad cognitiva. El objetivo de esta nueva propuesta de informe es propiciar una comunicación más empática dirigida a los responsables e implicados en la implementación y creación de contenidos de un sitio web. Con ello se espera una mayor proactividad y comprensión de las barreras generadas por su parte, con el fin de ayudar a alcanzar una mejor AUX.

Keywords

Web accessibility
Accessibility evaluation report
Accessible User Experience (AUX).

Abstract

A proposal is presented for an accessibility evaluation report template that incorporates a new information about the emotional point of view of the user experience of people with disabilities (Accessibility User eXperience, AUX). The proposal is based on the report presented in step 5 of the WCAG-EM methodology, but it is rethought with a new organisation. The accessibility evaluation results are presented by barriers and are complemented with the emotional impact that these cause to different user groups: blind people, low vision people, people with motor disabilities, deaf people and people with cognitive disabilities. The aim of this new report proposal is to foster a more empathetic communication aimed at those responsible for and involved in the implementation and creation of website content. It is hoped that this will lead to greater proactivity and understanding of the barriers generated on their part, in order to help achieve better AUX..

1. Introducción

La accesibilidad web es una práctica que garantiza que los sitios web, las tecnologías y las herramientas se diseñen para que las personas con discapacidad las puedan utilizar (W3C, 2018a). Entre un 15-20% de la población mundial vive con algún tipo de discapacidad (WHO, 2021) y todas ellas tienen el derecho fundamental del acceso a la Web (ONU, 2021) para participar activamente en la sociedad a través de servicios, trámites e información imprescindibles en su día a día.

Actualmente, existen leyes y normativas en la Unión Europea (ETSI, 2018) que deben cumplir los sitios web de las administraciones públicas en materia de accesibilidad digital. La Decisión de ejecución UE 2018/1524 (UE, 2018), implica un seguimiento de la Directiva 2016/2102 (EU, 2012) para garantizar una mayor accesibilidad de los sitios web de los estados miembro. En España, el Real decreto 1112/2018 sobre accesibilidad de los sitios web y aplicaciones para dispositivos móviles del sector público (España, 2018) especifica que la conformidad con los requisitos de accesibilidad para los sitios web y aplicaciones móviles toman como referencia a la norma UNE-EN 301549 y sus actualizaciones (ETSI, 2019), el cual es un estándar que adopta las Web Content Accessibility Guidelines 2.1 (WCAG) (WCAG, 2018). Todas estas acciones muestran el interés de diversos organismos por conseguir una Web más accesible. Sin embargo, según datos de la Comisión Europea (European Comisión, 2019) menos un 10% de los sitios web europeos son accesibles. Un dato que, como algunos autores destacan, parece confirmar que la accesibilidad web no es un problema técnico, sino un problema de falta de comunicación por la complejidad relacionada con la comprensión de las directrices y normas aplicables (Farrelly, 2011) (Termens et al., 2009).

El presente trabajo aborda esta problemática y tiene el propósito de mejorar la información que se ofrece en los informes de evaluación de accesibilidad web. Para ello se propone una nueva plantilla para los informes de accesibilidad que ofrece la información de forma más empática. El objetivo es que las personas responsables de los sitios web tomen una actitud más proactiva a la hora de minimizar los problemas de accesibilidad, ayudando de esta manera también a mejorar la experiencia de uso de la Web a los usuarios con discapacidad.

En el siguiente apartado se presenta el trabajo relacionado. Luego, se describen la herramienta de evaluación de accesibilidad web *Emphatic Editor for Accessibility (EE4A)* y la propuesta de informes. Y finalmente, se presentan las conclusiones.

2. Trabajo relacionado

Diferentes autores han profundizado en la necesidad de mejorar la comunicabilidad de las barreras de accesibilidad web, con el objetivo de empatizar con los usuarios con discapacidad y mejorar su experiencia de usuario (Ballesteros et al., 2015) (Pascual et al., 2012), (Pascual et al., 2015), (Watanabe, 2017).
La experiencia de usuario (User eXperience o UX) está relacionada con cómo se sienten las personas al interactuar con un producto o servicio, así como con su percepción al utilizarlo (ISO, 2008). Relacionado con ello, la experiencia de usuario accesible (Accessiblity User Experience o AUX) se centra en integrar la accesibilidad en el diseño de la UX para crear experiencias digitales satisfactorias para todos, independientemente de sus capacidades (Oswal, 2019) (Graham et al., 2016).

Por su parte, Brajnik (2011) introduce la metodología del recorrido por barreras de accesibilidad, consistente en una adaptación del método de las evaluaciones heurísticas, en la que estos principios son sustituidos por barreras de accesibilidad. Una barrera de accesibilidad es una condición que dificulta a una persona con discapacidad el acceso a un elemento o componente de la interfaz, o la realización de una tarea específica. El método propuesto por Brajnik relaciona barreras, discapacidad y directrices (las WCAG y las propias de la legislación italiana), la causa y el tipo de discapacidad al que causa más problemas el error de accesibilidad encontrado, las ayudas técnicas implicadas, el tipo de error que producen y las estrategias conocidas para solventarlas. Todo ello facilita la personalización de una evaluación de la accesibilidad centrada en un perfil de usuario con una discapacidad específica. Además, frente a las tradicionales evaluaciones de conformidad basadas en normas y directrices como las WCAG, el recorrido por barreras resulta menos abstracto y es más fácilmente comprensible y aplicable ya que parte de problemas conocidos en lugar de hacerlo a partir de pautas o criterios generales de diseño.

Algunos organismos de normalización también han sistematizado la incorporación de consideraciones de accesibilidad en los procesos de creación y diseño de productos y servicios. Este es el caso de la norma ISO 30071-1 (ISO, 2019), que reemplaza el estándar británico BS 8878 (United Kingdom, 2010). Por otro lado, organizaciones como el W3C han diseñado metodologías específicas como la Metodología de Evaluación de Conformidad con la Accesibilidad en sitios Web (WCAG-EM) (W3C, 2014a) para la

evaluación de la conformidad de un sitio web de acuerdo con las pautas WCAG (WCAG, 2018), la cual contempla también una herramienta de apoyo específica para la generación del informe final, denominada WCAG-EM Report Tool[1].

Por su parte, las herramientas de evaluación de la accesibilidad web son programas o servicios que determinan, a través de programación, si el contenido web cumple con las pautas de accesibilidad. Muchas de ellas, generan informes de evaluación que muestran los principales problemas de accesibilidad encontrados en un sitio web (W3C, 2014b). No obstante, no existe un estándar ISO relacionado con el modelo de informe de accesibilidad pensado para mostrar esos resultados, tal y como sí ocurre en el ámbito de la usabilidad con los informes ISO/IEC 25066:2016 de test de usuarios (ISO, 2016). Esto provoca que los modelos de informes de accesibilidad sean muy dispares: informes automáticos que únicamente tienen en cuenta aspectos técnicos de cumplimiento de pautas WCAG, informes pormenorizados sobre los aspectos no accesibles de un sitio web, etc. Algunos ejemplos significativos de informes de herramientas automáticas de evaluación son los de WAVE[2], Mauve++[3], QualWeb[4]; Plugins como SiteImprove[5] , AXE[6] o ARCToolkit[7] , entre otros; e informes manuales que realizan empresas o personas implicadas en el sector (Ilunion, 2018), (Discapnet, 2021), (Lujan, 2013). Si bien la mayoría de estos informes recogen información técnica relacionada con la evaluación del código que incumple las pautas WCAG, ninguno de estos informes muestra información relacionada con la emoción que puede sentir el usuario al enfrentarse a la barrera de acceso detectada en la evaluación.

3. Herramienta de evaluación de accesibilidad web Emphatic Editor for Accessibility (EE4A)

La herramienta *Emphatic Editor for Accessibility (Sistema EE4A)*[8](Pascual et al., 2015b) es un servicio de evaluación de la accesibilidad integrado en el flujo de trabajo propio de los sistemas de gestión de contenidos (CMS) con los que se crean y gestionan los contenidos de un sitio web. Esta herramienta es fruto de diversos trabajos previos de investigación, y tiene el objetivo principal de mejorar la comprensión de las barreras de accesibilidad de un sitio web, desde la perspectiva de diferentes colectivos de usuarios con discapacidad: visual, baja visión, auditiva, cognitiva y motriz.

La Figura 1 sintetiza el funcionamiento interno y el flujo de datos del sistema EE4A. El proceso se inicia cuando un usuario editor, introduce contenido en un CMS. El código (HTML) correspondiente al contenido introducido por el usuario (eliminando la parte que corresponde a la plantilla de la página web) es revisado por un servicio en línea de evaluación automática de la accesibilidad basado en las pautas WCAG, a partir del cual se analizan qué problemas de accesibilidad presenta. Los resultados que se obtienen corresponden al listado de criterios de conformidad que no han sido alcanzados. Estos resultados se mapean en las bases de datos del sistema EE4A de forma interna junto con datos provenientes de las barreras de accesibilidad y los comentarios y emociones de los usuarios con discapacidad. Estos datos ya se encuentran almacenados en el sistema previamente y proveinen de test de usuarios realizados en el transcurso del proyecto y que más adelante se mencionan. Para cada barrera de accesibilidad encontrada, se muestra al usuario del sistema EE4A una interfaz de reparación para que pueda subsanar el error de la forma más sencilla posible. Adicionalmente y, para empatizar mejor con los usuarios con discapacidad, el sistema EE4A también ofrece la posibilidad de simular el contenido creado por el usuario a través de una herramienta de simulación online que presenta una visualización que simula la forma en que el contenido seria percibido por cada uno de los perfiles de usuario con discapacidad. Finalmente, el sistema EE4A genera como resultado un código fuente accesible que se almacena en el CMS para poder actualizar el contenido de la página web evaluada o reparada.

[1] WCAG-EM Report Tool. https://www.w3.org/WAI/eval/report-tool
[2] WAVE, Web Accessibility Evaluation Tool: https://wave.webaim.org/
[3] Mauve++, Multiguideline Accessibility and Usability Validation Environment: https://mauve.isti.cnr.it/
[4] QualWeb: http://qualweb.di.fc.ul.pt/evaluator/
[5] Plugin SiteImprove: https://siteimprove.com/es-es/core-platform/integrations/browser-extensions/
[6] AXE: https://www.deque.com/axe/
[7] ARC Toolkit: https://www.tpgi.com/arc-platform/arc-toolkit/
[8] Video demostrativo de Emphatic Editor for Accessibility (EE4A system. https://www.youtube.com/watch?v=qsshPndyMdM

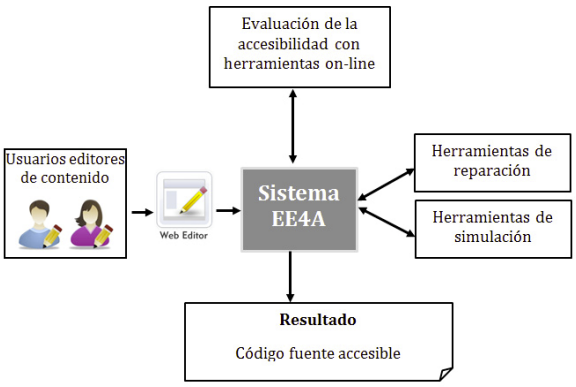


Figura 1. Flujo de los datos de las funciones del Sistema EE4A v1

Para abordar los problemas de comunicación relacionados con los informes de accesibilidad web, se parte de la disciplina de la ingeniería semiótica, la cual sostiene que la interacción persona-ordenador, no es sino una interacción entre personas (DeSouza, 2015) (Garrido, 2014). En el caso que nos ocupa, el remitente y el receptor de los problemas y barreras de accesibilidad son, respectivamente, las personas con discapacidad y las personas creadoras de contenido. Con el objetivo de establecer un vínculo sólido entre estos dos actores en la comunicación de las barreras y soluciones de accesibilidad, se realizaron diversos test de usuarios para analizar el impacto que las barreras de accesibilidad web causan en las emociones de las personas con discapacidad: intelectual (Pascual et al, 2013), ceguera y baja visión (Pascual et al, 2014a) auditiva (Pascual et al, 2014b) y motriz (Pascual et al, 2015a). Gracias a estos test con usuarios reales, se consiguió registrar sus comentarios, experiencias, expresiones y estados de ánimo en situaciones reales frente a un conjunto de barreras de accesibilidad web. Los estados de ánimo evaluados en los test de usuarios con discapacidad se identificaron con diferentes *emoticards* (Desmet et al, 2012): desagradable (irritado y triste) y agradable (alegre y relajado), alta excitación (tenso y emocionado) y baja excitación (aburrido y calmado). Los perfiles de usuario, sus necesidades y motivaciones se condensaron en varias "Personas" (Pruitt, 2003), con el objetivo de incorporar en la herramienta EE4A mensajes de retroalimentación que permitiesen promover la empatía de la persona creadora de contenido, así como ayudarle a comprender mejor las necesidades de los usuarios con discapacidad. Las emociones y comentarios concretos mostrados en cada barrera del sistema EE4A, se obtuvieron a partir de los datos de los test de usuarios realizados. Se realizó un cálculo medio de las emociones y comentarios obtenidos al evaluar cada una de las barreras por los usuarios del test y se almacenaron en la base de datos del sistema EE4A para poder combinarlos posteriormente con los datos representados en el sistema.

Para facilitar la empatía entre los usuarios con discapacidad y el usuario del sistema EE4A, se generó un diagrama para cada perfil de persona con discapacidad, en el que se representaron las imágenes de las distintas emociones que puede manifestar el usuario al interactuar con una barrera de accesibilidad (Figura 2) y que fueron añadidos a la base de datos del sistema EE4A para su uso.

La evaluación automática de las pautas del sistema EE4A se basa en la herramienta IDI Web Accessibility Checker[9] , la cual dispone de una API que permite validar las pautas WCAG 2.0. El servicio devuelve la lista de errores, según las pautas WCAG, detectados de forma automática al validar el sitio web. Este resultado se filtra y combina con la información interna de las bases de datos del sistema EE4A. El resultado de la evaluación de accesibilidad que ofrece el sistema EE4A se presenta bajo la perspectiva de las barreras de accesibilidad, considerando la emoción que causa a diferentes colectivos de usuarios con discapacidad interactuar con los errores encontrados durante la evaluación.

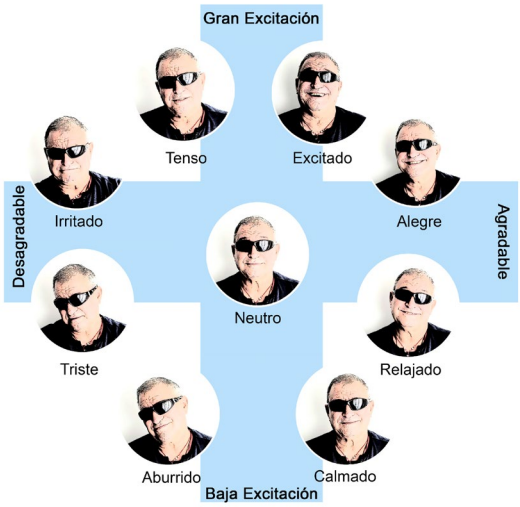


Figura 2: Imágenes de las distintas emociones de la persona con discapacidad visual total.

El sistema EE4A puede integrarse en un sistema de gestión de contenido (CMS) y muestra los resultados de evaluación de la accesibilidad justo antes del momento de realizar una publicación de contenido, realiza una evaluación de la accesibilidad. Desde la propia herramienta EE4A se dispone

[9] AChecker Web Service API: http://achecker.ca/documentation/web_service_api.php

de la opción de corregir el problema, para así resolver el error previamente a la publicación del contenido. La figura 3 muestra el resultado de este tipo de evaluación, y se observa como las barreras de accesibilidad causan una emoción que impacta en cada colectivo de usuarios con discapacidad.

En una nueva iteración de la herramienta EE4A (versión 2), se amplió la funcionalidad con un módulo de informes. Sin embargo, este nuevo módulo está en fase de prueba de concepto. El informe de evaluación de accesibilidad final se cumplimenta automáticamente a partir de los errores de accesibilidad obtenidos por las herramientas automáticas de evaluación basadas en las WCAG, así como a partir de los datos almacenados sobre las emociones de los usuarios con discapacidad provenientes de la base de datos del sistema EE4A. Posteriormente, un evaluador de accesibilidad experto debe completar de forma manual las partes del informe que no se han cumplimentado automáticamente con el sistema EE4A. El informe de evaluación de accesibilidad final es un documento muy completo dirigido principalmente a los responsables e implicados en la implementación del sitio web para que puedan tomar las acciones de corrección convenientes y adecuadas para mejorar el nivel de accesibilidad del sitio web evaluado. En este sentido, mientras que la herramienta EE4A se dirige a usuarios editores y desarrolladores web sin conocimientos específicos en accesibilidad web, el módulo de informes es una herramienta más especializada que se vale de la información del sistema EE4A para generar sus resultados. El esquema del informe se describe en la siguiente sección.

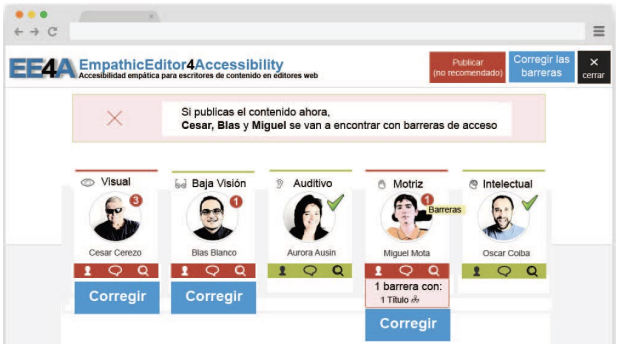


Figura 3. Pantalla de resultados del sistema EE4A.

4. Propuesta de plantilla de informe AUX de accesibilidad

A continuación, se muestra la propuesta de plantilla del informe AUX de accesibilidad que se presenta en este trabajo. Para facilitar la lectura del artículo, en el Anexo I del presente documento, se encuentra el esquema completo de la plantilla de informe.

La principal contribución novedosa de este informe es que, aunque se parte de la plantilla de informes de evaluación de accesibilidad propuesta por W3C (W3C, 2018b), se muestra una nueva organización del listado de errores de accesibilidad presentados por barreras, no por pautas WCAG (como ocurre en la mayoría de los informes descritos en la sección 2). Esto puede observarse en la sección 4.3 de la propuesta de informe. Así mismo, mostrar una imagen de la emoción que tiene cada uno de los perfiles de usuarios con discapacidad con la barrera de accesibilidad analizada, permite empatizar mejor con ellos. Esta información es, por lo tanto, un contenido de valor añadido para los informes y una de sus principales diferencias respecto al resto de plantillas existentes hasta el momento. No obstante, si los perfiles de usuario no estuvieran en el informe, también continuaría teniendo sentido el documento final, pero no se empatizaría de forma tan directa con el usuario con discapacidad, como ocurre ahora. En el mismo sentido, si bien la propuesta de plantilla de informe se ha diseñado específicamente para funcionar conjuntamente con la herramienta EE4A, también puede utilizarse fuera de este contexto. A continuación, se presenta de forma detallada cada apartado de la propuesta de informe de accesibilidad AUX:

1. Informe ejecutivo: trata de mostrar de forma resumida los resultados generales de la evaluación realizada para que los responsables del sitio web puedan tener una primera aproximación del nivel de accesibilidad que cumple el sitio web evaluado. Se incluye información relativa al (1.1) *nivel de accesibilidad actual evaluado en la página*, junto con (1.2) un *listado de las disconformidades más importantes* obtenidas durante la evaluación.

2. Información global relacionada con la evaluación: se reúnen datos correspondientes a la evaluación realizada para conocer el alcance de la evaluación y saber quién la realiza. Se incluyen en este apartado (2.1) *los datos relativos a los antecedentes de la evaluación*, (2.2) *el alcance de la revisión* e (2.3) *información respecto el evaluador*.

3. Proceso de revisión: se definen los parámetros que se van a observar durante la evaluación de accesibilidad en el sitio web. (3.1) *el nivel de conformidad a evaluar*, (3.2) *los criterios de las pautas WCAG y versión a revisar, así como* (3.3) *el método seguido para realizar la evaluación*. La metodología WCAG-EM en el punto 5, establece los pasos que en esta sección se formalizan:
- Paso 1. *Alcance de la evaluación*: se define el sitio web a evaluar, el nivel de accesibilidad verificado y los navegadores y ayudas técnicas con los que debería ser compatible.

- Paso 2. *Exploración del sitio web:* se realiza una observación de las páginas más relevantes del sitio web para identificar los aspectos comunes, las funcionalidades clave, las páginas con distintos estilos y las tecnologías que se incluyen en ellas.
- Paso 3. *Seleccionar una muestra representativa de páginas*: esta selección se realiza según indica la metodología de la WCAG-EM (incluir una muestra estructurada, una muestra al azar e incluir procesos completos), y considerando también los criterios establecidos en el paso 2 (anterior).
- Paso 4. *Auditar la muestra seleccionada*: se indican las acciones a seguir para realizar la evaluación de accesibilidad en la muestra seleccionada en el paso 3.

1. Captura de pantallas y almacenamiento de las páginas web evaluadas, para disponer de una copia del sitio web, pues en el servidor pueden cambiar a lo largo del tiempo. Se almacenan las capturas de pantalla en formato imagen (.jpg) de todas las páginas evaluadas y también se realiza una copia del código fuente del sitio web .
2. Revisión de estándares: se verifica el estado de los estándares de las páginas web, tanto de la gramática (X)HTML como de la hoja de estilos CSS. El uso de páginas con estándares correctos optimiza y asegura el acceso a todo el contenido del sitio web.
3. Análisis automático: se evalúan las pautas automáticamente, obteniendo las barreras de acceso que existen en un sitio web.
4. Evaluación manual: se realiza la revisión de la accesibilidad por una persona experta que analiza los aspectos que no pueden evaluarse de forma automática. Se utilizan aplicaciones de escritorio y también extensiones del navegador que permiten observar con detalle y precisión diversos aspectos de una página web: contraste de color y testeadores de otros elementos de accesibilidad (validador de WAI-ARIA , Landmarks, varios elementos Web con diferentes extensiones y herramientas como Web Developer Toolbar , AXE - Web Accessibility Testing , ARC Toolkit.
5. Comparación de resultados del análisis automático-manual: se verifica que los resultados obtenidos de forma automática no son falsos positivos y la lista de errores se complementa con los resultados observados en la evaluación manual.
6. Visualización en diferentes navegadores: comprobación de una adecuada visualización del sitio web en los diferentes navegadores actuales más utilizados (según una encuesta de WebAIM (WebAIM, 2021a)).
7. Tecnología asistencial: para verificar que los usuarios con discapacidad realmente pueden acceder al contenido e interactuar con los elementos del sitio web, se verifica si el acceso, navegación y comprensión es posible con diversas ayudas técnicas.
8. Se verifica la navegación con un navegador de texto (lynx) , un magnificador de contenido (la lupa del propio sistema operativo) y un navegador de voz (como JAWS o NVDA) (según la encuesta de los navegadores de voz más usados por los usuarios de WebAIM (WebAIM, 2021b)).

- Paso 5. *Registrar los resultados de la evaluación*: el resultado de la evaluación de la accesibilidad realizada por el evaluador de accesibilidad que ha llevado a cabo el proceso de revisión se documenta para poder generar el informe final.

4. Resultados y sugerencias de resolución: se indican diversos puntos con información obtenida en la evaluación (4.1) *resultados genéricos* mostrando diferentes subapartados en los que se presentan diversas tablas que sintetizan los resultados de la evaluación de accesibilidad llevada a cabo con la siguiente información: (4.1.1) *resúmenes con información sobre el resultado de la evaluación*; (4.1.2) *resultados de visualización según diferentes navegadores*; (4.1.3) *las barrceras más importantes detectadas junto a su severidad y frecuencia*. Las tablas resúmenes presentan información acompañada con un código de color: rojo, para mostrar aspectos no válidos, amarillo para aspectos con problemas y verde para indicar los aspectos correctos. La tabla 1, presentada al final del presente documento justo antes del apartado de referencias, muestra un ejemplo de resumen de barreras de accesibilidad. En ellas se incluye una breve descripción del problema, con un enlace para consultar en detalle el problema. Se añade también una valoración cualitativa de la severidad de cada barrera y de la frecuencia con la que ésta aparece en la muestra de páginas analizadas.

Así mismo, en este apartado se presenta (4.2) *una lista de los aspectos más destacados* (4.2.1) sobre *puntos positivos* y (4.2.2) *puntos negativos* observados en la evaluación realizada; y finalmente (4.3) una *lista detallada de los problemas organizados por categorías* (plantilla, estructura, presentación, navegación y contenido).

- Plantilla: se agrupan los problemas de accesibilidad observados en el código fuente de las páginas del sitio web y que afectan a todas las páginas evaluadas (errores relacionados con validación de código y metadatos)
- Estructura: se observan problemas relacionados con los elementos estructurales de la página web y que pueden optimizar el manejo/navegación del sitio web por los usuarios con discapacidad (errores relacionados con encabezados y navegación por zonas).

- Presentación: se agrupan criterios relacionados con el estilo visual del sitio web (errores relacionados con colores y contrastes, adaptación del contenido a diferentes resoluciones).
- Navegación: se observan criterios que permiten que el usuario pueda moverse por el sitio web de forma eficiente (errores relacionados con uso del sitio web con el teclado, "accesskey").
- Contenido: principalmente son aspectos relacionados con los elementos que se presentan en el cuerpo de la página (imágenes, tablas, formularios, etc…). En algunos casos, y para facilitar el análisis de los problemas de accesibilidad, también se incluyen elementos del mismo tipo, pero que realmente forman parte de la plantilla. (Por ejemplo, se ha agrupado el análisis de una imagen que se encuentra en la plantilla del sitio web y también de las imágenes que forman parte del contenido).
- Elementos interactivos: se agrupan los problemas relacionados con interacciones con elementos interactivos (carruseles u otros) y contenido multimedia (errores relacionados con audio, vídeo, animaciones o presentaciones interactivas).

Se consideran las barreras de acceso más importantes con las que está relacionado cada error de acuerdo con las WCAG. Es por ello por lo que los errores se presentan por barreras de acceso y de forma complementaria, en la parte inferior de cada barrera, se añaden los criterios de conformidad de las pautas WCAG relacionados. La Figura 3 muestra un ejemplo de una barrera de accesibilidad concreta en la que se ha detectado un problema de accesibilidad. Cada una de las barreras detectadas por el sistema EE4A, se organiza siguiendo los mismos apartados. A continuación, se describe cada uno de ellos:

- *Nivel de dificultad para resolver el problema*: se establecen tres niveles de errores, especificados en el texto junto con una codificación de color. Rojo: problema complejo, que requiere un esfuerzo elevado y aparecen muchos errores iguales en el código; Naranja: problema moderado, que necesita esfuerzo medio y hay una cantidad media de errores en el código; Amarillo: problema fácil de resolver, que necesita poco esfuerzo para resolverlo. (Consultar la tabla 2).
- *Usuario que puede causar/resolver el problema*: se establecen dos perfiles de usuario: a) diseñador front-end (webmaster), que es el personal técnico que tiene acceso a las plantillas web y quien puede reparar errores que afectan a la estructura de todo el sitio web; y b) el editor (usuario), que es quien crea el contenido, y puede reparar problemas relacionados con imágenes, enlaces, tablas, textos... de la publicación. Ambos perfiles pueden causar o resolver un problema de accesibilidad en el sitio web.
- *Emoción que percibe el usuario con discapacidad al interactuar con la barrera de accesibilidad*: se incluye un resumen de la persona formado por una fotografía, perfil de discapacidad y su estado de ánimo al interactuar con la barrera en cuestión. Esta información se obtiene de las bases de datos internas del sistema EE4A y se ofrece principalmente para empatizar con los usuarios con discapacidad.

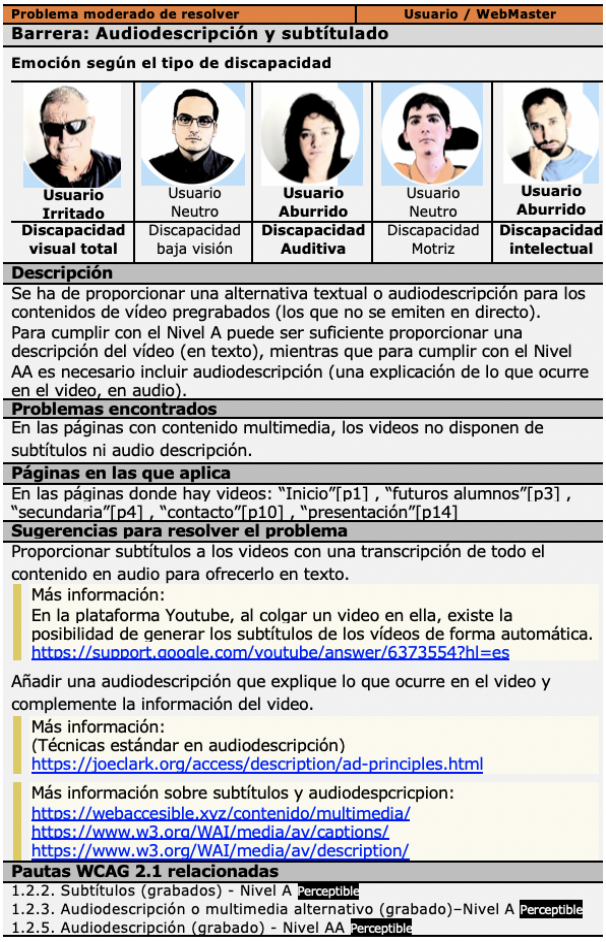


Figura 3. Resultado de información relativa a una barrera. La misma información se muestra para cada barrera encontrada.

- *Descripción del problema*: una descripción relacionada con la barrera con la que se enfrenta el usuario y que ayuda a comprender mejor el problema de accesibilidad. Esta información se ha obtenido al resumir las pautas WCAG involucradas en cada barrera, y se han redactado procurando facilitar la comprensión del problema concreto que causa la barrera en el contenido.
- *Lugar donde se aplica el problema*: un listado de las páginas en las que ocurre el problema detectado.
- *Sugerencias de resolución:* se proporciona información complementaria que permite entender mejor cómo

subsanar el problema de accesibilidad. Y se añaden recomendaciones y ejemplos precisos para facilitar la tarea de los técnicos en la reparación de los errores. Esta información se obtiene de datos almacenados en el sistema principalmente provenientes de la lista de técnicas y fallos[10] incluidos en las WCAG, así como de otros recursos de accesibilidad web que provee el mismo W3C[11]. Además, las sugerencias se filtran según el tipo de etiquetas existentes en el código fuente HTML analizado para ofrecer una sugerencia más precisa para la barrera detectada.

- *Pautas WCAG:* un listado de criterios de conformidad de las WCAG relacionados con la barrera de accesibilidad encontrada, según sugiere Brajnik (2011).

Tabla 2. Niveles de dificultad de resolución de problemas de accesibilidad

Nivel de dificultad para resolver el problema		
Problema complejo de resolver	**Problema moderado de resolver**	**Problema fácil de resolver**
Requiere esfuerzo elevado y aparecen muchos errores iguales	Necesita esfuerzo medio y hay una cantidad media de errores	Poco esfuerzo para resolver y pocos errores

5. Acciones correctivas: se añade un listado de acciones que deberían llevarse a cabo para corregir los problemas de accesibilidad del sitio web evaluado. Estas acciones se han agrupado por elemento sobre el que se debe tomar acción. Por ejemplo: la plantilla, donde se indican las acciones a llevar a cabo con el código fuente que afecta a todo el sitio web; formularios internos del sitio web; problemas con la hoja de estilos CSS; problemas que causa el editor web; elementos interactivos programados no accesibles, etc…

Además, complementariamente se añaden otros aspectos relacionados con la accesibilidad que deberían tenerse en cuenta para optimizar el sitio web. Por ejemplo: añadir una declaración real sobre el contenido accesible que se ofrece en el sitio web, formación de los usuarios editores que están relacionados con la creación de contenido en la web para que conozcan las técnicas necesarias para crear contenido web accesible, una revisión de accesibilidad posterior a la aplicación de las medidas correctivas para observar el nivel de accesibilidad del sitio web y. finalmente. la propuesta de realizar una prueba de usuarios con personas con discapacidad.

6. Conclusiones: contiene una recapitulación del listado de barreras encontradas según categoría, así como otros aspectos que sintetizan el resultado de la evaluación.

7. Anexos: (A1) incluye referencias de *normativas y metodologías de accesibilidad utilizadas* en el proceso de evaluación, otros enlaces relacionados con las pautas de accesibilidad e información respecto a las herramientas automáticas y semiautomáticas utilizadas; (A2) la *lista de páginas completa de la muestra evaluada*; (A3) un *ejemplo de visualización de páginas según diferentes navegadores*; (A4) *aspectos destacados del uso de herramientas de asistencia*; y un (A5) *resultado de pautas*, si se ha utilizado un informe de revisión de la accesibilidad concreto.

5. Conclusiones y trabajo futuro

La principal aportación de este trabajo es una nueva propuesta de plantilla de informe de accesibilidad web bajo una perspectiva de la UX de los usuarios con discapacidad. En que los errores de accesibilidad se listan por barreras de acceso, no por pautas WCAG como ocurre en la mayoría de informes y también se muestra la emoción del usuario con discapacidad al tener que interactuar con la barrera que le impide el pleno acceso al contenido. Esta propuesta de informe propicia que las personas que consultan este documento puedan empatizar más los problemas de acceso que tienen los usuarios con discapacidad, así como comprender mejor el impacto que causan las barreras de accesibilidad. Todo ello con el fin de sensibilizar a todo el equipo de personas que gestionan y editan un sitio web para que creen contenido más accesible.

Este trabajo es un primer paso para conjugar UX y accesibilidad web en los informes de accesibilidad, ofreciendo datos más comprensibles y empáticos respecto a los problemas reales de acceso a un sitio web, redundando directamente en una mejor experiencia de usuario accesible (AUX) para los usuarios con discapacidad cuando acceden al contenido web.

En el año 2020, la Universitat de Lleida (UdL) solicitó una evaluación de accesibilidad del sitio web institucional a la autora principal de este trabajo. En su realización se siguió la metodología propuesta en este trabajo y se presentó un informe final de evaluación de accesibilidad que constituye la primera prueba de validación del informe de accesibilidad final del sistema EE4A.

Como principal línea de trabajo futuro, se pretende extender el uso del módulo de informes del sistema EE4A a distintas instituciones con el objetivo de observar la validez e idoneidad de los datos que se presentan en el informe.

[10] How to Meet WCAG (Quick Reference). https://www.w3.org/WAI/WCAG21/quickref/

[11] Web Accessibility Tutorials. Guidance on how to create websites that meet WCAG https://www.w3.org/WAI/tutorials/

Tabla 1 resume las barreras de accesibilidad más importantes detectadas para usuarios con discapacidad.

Descripción de elementos problemáticos		Severidad	Frecuencia
Identificación del título de la página (metadatos)	🟡 Algunas páginas no disponen de un titulo adecuado al contenido de la página en la cabecera de metadatos Consultar el problema **Título de las páginas (Metadatos)**	Leve	Baja
Formularios y tablas de datos	🔴 Falta etiquetar elementos del formulario adecuadamente. Consultar los problemas de los **Formularios** 🔴 Las tablas de datos no tienen resúmenes ni elementos relacionales entre filas y columnas. Consultar los problemas de las **Tablas**	Grave	Media
Navegación por teclado	🔴 No se visualiza el foco del tabulador de forma clara. Consultar problema **Navegación adecuada con el teclado**	Grave	Alta

Referencias

Ballesteros, E., Ribera, M., Pascual, A., & Granollers, T. (2015). Reflections and proposals to improve the efficiency of accessibility efforts. Universal access in the information society, 14, pp. 583-586. https://doi.org/10.1007/s10209-014-0356-1.

Brajnik, G. (2011). Barrier walkthrough. https://users.dimi.uniud.it/~giorgio.brajnik/projects/bw/bw.html.

De Souza, C. (2005). The semiotic engineering of human computer interaction. Cambridge, Mass.: MIT press.

Desmet P.M.A., Vastenburg M.H., Van Bel D., &Romero, N.A. (2012). Pick-AMood; development and application of a pictorial mood-reporting instrument. In: J. Brassett, P., Hekkert, G., Ludden, M., Malpass, & J. McDonnell (Eds.). Proceedings of the 8th International Design and Emotion Conference, Central Saint Martin College of Art & Design,London (UK), 11-14 September 2012.

Discapnet (2021). Informes de accesibilidad TIC. https://www.discapnet.es/areas-tematicas/tecnologia-inclusiva/observatorio-de-accesibilidad-tic/informes-discapnet.

España (2018). Real Decreto 1112/2018 sobre accesibilidad de los sitios web y aplicaciones para dispositivos móviles del sector público. Boletín oficial del Estado, Nª 227 (19 sept.). https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-12699.

ETSI (2018). EN 301 549 V2.1.2 (2018-08). Harmonised European standard, accessibility requirements for ICT products and services. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/02.01.02_60/en_301549v020102p.pdf.

ETSI (2019). EN 301 549: Norma Europea de Accesibilidad para Productos y Servicios de TIC V3.1.1 (2019-11). https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/03.01.01_60/en_301549v030101p.pdf.

European Commission (2019). Accessibility: essential for some, useful for all. https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/accessibility-essentialsome-useful-all.

European Union (2012). EU directive 2016/2102 on the accessibility of the websites and mobile applications of public sector bodies. Official Journal of the European Union, L 327/1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016L2102.

Farrelly, G (2011). Practitioner barriers to diffusion and implementation of web accessibility. Technology and disability, 23(4), pp. 223-232, https://doi.org/10.3233/TAD-2011-0329.

Garrido, J (2014). Ingeniería semiótica: recuperando la simpleza de la comunicación. Faz: revista de diseño de interacción. 9, pp. 8-17, http://www.revistafaz.org/n6/faz6_01_ingenieria_semiotica.pdf.

Graham, G, & Chandrashekar, S. (2016). Inclusive process and tool for evaluation of accessible user experience (AUX). Universal Access in Human-Computer Interaction. Methods, Techniques, and Best Practices. UAHCI 2016. Lecture Notes in Computer Science, pp. 9737, https://doi.org/10.1007/978-3-319-40250-5_6.

Ilunion (2018). Informe de auditoría de Accesibilidad Portal gencat.cat. http://atenciociutadana.gencat.cat/web/.content/02_CATALEG_SERVEIS/ACCESSIBILITAT/auditories/20181210_auditoria_web_gencat.pdf.

ISO (2008). ISO 9241-210:2008, Ergonomics of human system interaction - Part 210: Human centred design for interactive systems. Geneve: ISO.

ISO (2016). ISO/IEC 25066:2016. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Common Industry Format (CIF) for Usability — Evaluation Report. https://www.iso.org/standard/63831.html.

ISO (2019). ISO 30071-1 digital accessibility standard. Geneve: ISO. https://www.hassellinclusion.com/iso-30071-1/.

Lujan Mora, S. (2013). Informes de accesibilidad web. https://www.discapnet.es/areas-tematicas/tecnologia-inclusiva/observatorio-de-accesibilidad-tic/informes-discapnet

Organización de las Naciones Unidas (2021). La declaración universal de derechos humanos. https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights.

Oswal , S. K(2019). Breaking the exclusionary boundary between user experience and access: steps toward making UX inclusive of users with disabilities. SIGDOC '19: Proceedings of the 37th ACM International Conference on the Design of Communication, pp. 1-8, https://doi.org/10.1145/3328020.3353957.

Pascual, A., Ribera, M., & Granollers, T. (2012a). Perception of accessibility errors to raise awareness among Web 2.0 users. Proceedings of the 13th International Conference on Interacción Persona-Ordenador. https://doi.org/10.1145/2379636.2379652.

Pascual, A., Ribera, M., & Granollers, T. (2013). Grado de afectación de las barreras de accesibilidad web en usuarios con discapacidad intelectual. Interacción 2013.

Pascual, A., Ribera, M., & Granollers, T. (2014b). Impact of web accessibility barriers on users with hearing impairment. Interacción'14: XV International Conference on Human Computer Interaction, pp. 1-2, https://doi.org/10.1145/2662253.2662261.

Pascual, A., Ribera, M., &Granollers, T. (2015). Comunicability of two web 2.0 accessibility evaluation tools. 2015 10th Computing Colombian Conference (10CCC), 2015, pp. 269-272, https://doi-org/10.1109/ColumbianCC.2015.7333425.

Pascual, A., Ribera, M., &; Granollers, T. (2015a). Impact of accessibility barriers on the mood of users with motor and dexterity impairments. Journal of accessibility and design for all, 5(1), pp. 1-26, https://doi.org/10.17411/jacces.v5i1.93.

Pascual, A., Ribera, M., & Granollers, T. (2015b) Comunicability of two web 2.0 accessibility evaluation tools. 2015 10th Computing Colombian Conference (10CCC), pp. 269-272, doi: 10.1109/ColumbianCC.2015.7333425.

Pascual, A., Ribera, M., Granollers, T., &Coiduras, J. (2014a). Impact of accessibility barriers on the mood of blind, low-vision and sighted users. Procedia Computer Science, 27, pp. 431-440. https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.02.047.

Pruitt,J, & Grudin, J (2003). Personas: practice and theory. Proceedings of the 2003 Conference on Designing for User Experiences, pp. 1-15. http://dx.doi.org/10.1145/997078.997089.

Termens, M., Ribera, M., Porras, M. & Boldú, M. (2009). Web Content Accessibility Guidelines: from 1.0 to 2.0. WWW '09: Proceedings of the 18th international conference on World Wide Web, pp. 1171-1172, https://doi.org/10.1145/1526709.1526912.

Union Europea (2018). Decisión de Ejecución (UE) 2018/1524 de la Comisión, de 11 de octubre de 2018. Metodología de seguimiento y las disposiciones para la presentación de informes por parte de los Estados miembros de conformidad con la Directiva (UE) 2016/2102. Diario oficial de la Unión Europea, 256, pp. 108-116. https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-81650.

United Kingdom (2010). BS 8878:2010. Web accessibility. Code of practice.

W3C (2014a). Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology (WCAG-EM) 1.0. https://www.w3.org/TR/WCAG-EM/.

W3C (2014b). Web Aaccessibility evaluation tools list. https://www.w3.org/WAI/ER/tools/.

W3C (2018a). Introduction to web accessibility. https://www.w3.org/standards/webdesign/accessibility.

W3C (2018b). Template for accessibility evaluation reports. https://www.w3.org/WAI/test-evaluate/report-template/.

Watanabe, T (2017). Communication model of web accessibility. International Conference on Human-Computer Interaction, pp. 80-87. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58750-9_11.

WCAG (2018). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. https://www.w3.org/TR/WCAG21/.

WebAIM (2021). Screen Reader User Survey #9 Results.: https://webaim.org/projects/screenreadersurvey9/#browsers

World Health Organization (2021). Disabilities. https://www.who.int/topics/disabilities/.

Anexo I. Plantilla de informe de evaluación de accesibilidad web

A continuación, se presenta el esquema de la propuesta de informe.

1. Informe ejecutivo (resumen general)
   1.1. Nivel de accesibilidad actual evaluado en la página,
   1.2. Listado de las disconformidades más importantes obtenidas en la evaluación
2. Información global relacionada con la evaluación: datos correspondientes a la evaluación a realizar.
   2.1. Antecedentes de la evaluación
   2.2. Alcance de la revisión
   2.3. Información respecto el evaluador
3. Proceso de revisión:
   3.1. Nivel de conformidad evaluado,
   3.2. Criterios revisados
   3.3. Método seguido en la evaluación
      3.3.1. Paso 1. Alcance de la evaluación
      3.3.2. Paso 2. Exploración del sitio web
      3.3.3. Paso 3. Seleccionar una muestra representativa de páginas
      3.3.4. Paso 4. Auditar la muestra seleccionada
      3.3.5. Paso 5. Registrar los resultados de la evaluación
4. Resultados y sugerencias de resolución:
   4.1. Resultados genéricos mostrando
      4.1.1. Resúmenes con información sobre el resultado de la evaluación;
      4.1.2. Resultados de visualización según diferentes navegadores;
      4.1.3. Barreras más importantes detectadas junto a su severidad y frecuencia;
   4.2. Lista de los aspectos más destacados
      4.2.1. Aspectos positivos observados
      4.2.2. Aspectos negativos observados en la evaluación realizada;
   4.3. Lista detallada de las barreras encontradas
      Se incluyen por categorías (plantilla, estructura, presentación, navegación y contenido).
5. Acciones correctivas:
   listado de acciones que deberían llevarse a cabo para corregir los problemas de accesibilidad del sitio web evaluado.
6. Conclusiones:
   recapitulación del listado de barreras encontradas según categoría, así como otros aspectos que sintetizan el resultado de la evaluación.

Anexos:

- (A1) referencias de normativas y metodologías de accesibilidad utilizadas en el proceso de evaluación, otros enlaces relacionados con las pautas de accesibilidad e información respecto a las herramientas automáticas y semiautomáticas utilizadas;
- (A2) la lista de páginas completa de la muestra evaluada;
- (A3) un ejemplo de visualización de páginas según diferentes navegadores;
- (A4) aspectos destacados del uso de herramientas de asistencia;
- (A5) resultado de pautas, si se ha utilizado un informe de revisión de la accesibilidad concreto.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Análisis de una experiencia multimodal de realidad mixta para la programación de un cobot a través de su gemelo digital

A multimodal mixed reality experience analysis for cobot programming through its digital twin

Andoni Rivera Pinto
Sistemas Autónomos e Inteligentes
BRTA Tekniker & Universidad del País Vasco
Eibar, Gipuzkoa, España
riverapinto.andoni@gmail.com

Johan Kildal Oquiñena
Sistemas Autónomos e Inteligentes
BRTA Tekniker
Eibar, Gipuzkoa, España
johan.kildal@tekniker.es

Elena Lazkano Ortega
Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad del País Vasco
San Sebastián, Gipuzkoa, España
e.lazkano@ehu.es

Recibido: 27.10.2021 | Aceptado: 15.12.2021
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.40

Palabras Clave

Interacción Persona-Robot
Cobot
Realidad Aumentada
Háptica en el aire
Holograma
Multimodal

Resumen

La programación de un robot mediante el guiado manual requiere que dicho robot se encuentre disponible. Como consecuencia, la productividad de ese robot se reduce debido al tiempo que se encuentra parado mientras se está reprogramando. La posibilidad de reprogramar estos robots para nuevas tareas mediante la interacción con sus gemelos digitales permite paralelizar esta tarea sin interferir en su rendimiento y permite que un operario sin conocimientos técnicos pueda reprogramarlo. En este artículo se propone un sistema que permite realizar la tarea de guiado manual a través de una interfaz visual de realidad mixta. Debido a que los hologramas carecen de tangibilidad, se utiliza un dispositivo basado en ultrasonidos que ofrece una experiencia táctil. También se presentan los resultados de un estudio realizado, donde analizamos la factibilidad y la experiencia de usuario.

Keywords

Human-Robot Interaction
Cobot
Augmented Reality
Mid-air haptics
Hologram
Multimodal

Abstract

The robot programming through the hand guidance technique requires the robot to be available. Therefore, the productivity of that robot is reduced due to the time it is stopped while it is being reprogrammed.The possibility of programming these robots through their digital twins for the new tasks, allows to parallelize this task without interfering in its performance and allows a naïve worker to reprogram it. In this article we describe the development of a system that allows to perform the hand guiding task through a visual mixed reality interface. Due to the holograms lack of tangibility, we use an ultrasound-based device which offers a tactile experience. We also present the results of a study where we analyze the feasibility of this task and the user experience.

1. Introducción

Industria 4.0 es un término utilizado para referirse a la cuarta revolución industrial, según la cual las fábricas del futuro comprenderán maquinaria, instalaciones de almacenamiento y producción en forma de sistemas ciber-físicos.

Los robots colaborativos, también conocidos como 'cobots', son un tipo de conjunto tecnológico que interactúa y coopera con trabajadores en una misma zona de trabajo compartida.
Con el fin de poder denominar a un robot como colaborativo, es necesario que cumpla ciertos requerimientos de seguridad. Algunos de los requisitos necesarios para lograr la aceptación del operario para trabajar con este tipo de robots son: la confianza de este sobre el robot, la mejora o igualdad en cuanto a eficiencia de trabajo, que los usuarios sean capaces de percibir una sensación de control sobre el robot y, por último, los movimientos del robot deben de ser predecibles.

La facilidad de programar un 'cobot' por un trabajador novel es un requisito importante para una adopción más sencilla en las industrias. El guiado manual (la técnica de programación de un robot moviéndolo libremente con la mano a lo largo de la zona de trabajo) es una técnica muy útil al igual que utilizada para programar robots de una manera técnicamente sencilla y poco exigente. Mover un brazo robot con la mano es intuitivo para los trabajadores, que son capaces de transferir su experiencia laboral al robot sin necesidad de tener conocimientos técnicos de la cinemática del robot o de lenguajes de programación.
El hecho de programar un robot físico mediante el guiado manual supone sin embargo que dicho robot se encuentre disponible para que el trabajador tenga el acceso exclusivo mientras programa su nueva tarea. Este tiempo que emplea el usuario en la reprogramación tiene un impacto negativo en la productividad de la cadena de trabajo.

Con el fin de evitar el impacto de esta limitación, proponemos realizar el guiado manual en una representación holográfica del gemelo digital del 'cobot' que se quiere programar haciendo uso de los equipos disponibles en el mercado actual. Teniendo en cuenta que un holograma visual carece de la tangibilidad con la que cuenta el mover el robot real, se ha incorporado un sistema háptico con el fin de complementar la experiencia de usuario.
Es por ello por lo que proponemos reproducir ciertos aspectos tangibles durante la realización de la tarea. Para poder llevar a cabo este propósito sin necesidad de que el usuario lleve ningún dispositivo encima, exploramos las posibilidades ofrecidas por la háptica en el aire basada en ultrasonidos.

Tras un estudio piloto realizado previamente con 5 usuarios sin experiencia (Rivera-Pinto & Kildal, 2019), en este artículo se presenta un estudio más profundo del rendimiento del sistema, recogiendo un mayor conjunto de datos y empleando distintas métricas, validadas para estudios de usuario.

El sistema desarrollado hace uso de dispositivos Hololens de Microsoft para mostrar los hologramas, y Ultrahaptics Stratos para dar una respuesta táctil al usuario.

Nuestro objetivo ha sido el de conocer qué rol juega la sensación táctil ofrecida a través de ultrasonidos tanto en el rendimiento como en la experiencia de usuario durante la ejecución de tarea.

Con el fin de adaptar la tarea experimental a los usuarios que han participado en el estudio, decidimos simplificar la tarea a una tarea de 'pick-and-place' del extremo del brazo robótico.

Se han monitorizado más métricas cuantitativas, así como información subjetiva sobre la experiencia del usuario a través de un cuestionario ad-hoc y métricas validadas como son 'single ease question' (SEQ) y NASA-TLX.

Así pues, se han formulado las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Es posible programar un brazo robótico a través del guiado manual usando los dispositivos actuales de realidad mixta?
- ¿Qué impacto tiene Ultrahaptics Stratos en la aplicación durante el guiado manual?

En el resto del artículo se realiza una revisión del estado del arte del avance de la tecnología de realidad mixta, así como de las distintas sugerencias para realizar la programación de un gemelo digital. También se describirá la solución desarrollada, así como el estudio de usuario realizado posteriormente. Después se mostrarán los resultados obtenidos y conclusiones, y finalmente presentamos la línea de desarrollo actual tras realizar este trabajo.

2. Estado del arte

En la actualidad, la realidad aumentada se vincula casi de forma exclusiva al canal visual, con algunos ejemplos de aumentación auditiva también.
La propuesta de mezclar canales sensoriales fue propuesta por primera vez en 1962 con Sensorama (EE.UU Patente nº 3.050.870, 1962). Morton Heillig desarrolló un dispositivo multimodal que fusionaba una experiencia de realidad virtual visual estereoscópica con sonido en estéreo, percepción háptica (viento y movimientos del asiento) y efectos aromáticos. En 2002, la realidad virtual visual fue introducida en la medicina (Seymour, y otros, 2002) con el fin de entrenar y así mejorar la habilidad de los médicos en las operaciones. En los años posteriores y continuaron con distintos estudios en esta área (Gallagher, y otros, 2005) (Grantcharov, y otros, 2004) (Aggarwal, y otros, 2007) .

Los dispositivos de visualización parecidos a un casco han evolucionado tecnológicamente estos últimos años permitiendo representar escenas 3D más complejas en tiempo real con una calidad de imagen y tasa de refresco óptima. Ejemplos de esta evolución son Oculus Rift (Luckey, 2021), PlayStation VR, o HTC Vive, los cuales permiten simular una inmersión realista en un mundo virtual.
En cuanto a gafas de realidad aumentada, las Google Glasses presentadas en 2012 son una de las primeras referencias del mercado reciente que pretendían coexistir dentro de la sociedad actual.
La interacción persona-robot ha hecho un uso reiterado de la realidad aumentada. En (Makhataeva & Varol, 2020) se plasmó el camino a seguir en distintos campos relacionados con la interacción persona-robot. Del mismo modo, en (Zhou, y otros, 2020) se analizaron los métodos avanzados de la programación de robots y, entre ellos, las aproximaciones basadas en realidad aumentada.

La realidad aumentada y la realidad virtual encajan a la perfección en el mundo industrial como sistema de ayuda a los operarios. Un claro ejemplo se muestra en (Makris, y otros, 2016) donde desarrollaron un sistema para programar robots de montaje, o en (Burghardt, y otros, 2020) donde consiguieron programar robots industriales mediante realidad virtual.

A través de otras metodologías, algoritmos y herramientas como en (Andersson, y otros, 2016), es posible mejorar el entrenamiento, la programación y el mantenimiento y el proceso de monitorización.
Mediante marcadores conectados directamente con el robot real (Pettersen, y otros, 2003) o definiendo la trayectoria que el robot debe seguir (Ong, y otros, 2020), se puede también simplificar la dificultad de la tarea.

Con relación a la seguridad para la colaboración humano-robot en un contexto industrial, en (Hietanen, y otros, 2020) los autores presentaron un modelo basado en un sensor de profundidad que monitoriza la zona de trabajo y una interfaz de usuario de realidad aumentada para una colaboración más segura entre el operario y el robot.

En 2017 Ni et al. (Ni, y otros, 2017) desarrollaron un sistema de realidad aumentada multimodal (haciendo uso de PHANToM para la experiencia háptica y la pantalla de ordenador para visualizar el robot virtual) que permitía programar robots de soldadura.

Puljiz et al. (Puljiz, y otros, 2019) presentaron un trabajo para programar un robot colaborativo (KUKA KR-5) a través de Microsoft Hololens y el sistema operativo ROS.
Luebbers et al. (Luebbers, y otros, 2019) desarrollaron una novedosa interfaz de realidad aumentada para la visualización y control dirigido de la habilidad de aprendizaje por demostración.
En (Rosen, y otros, 2019) , los autores desarrollaron una aplicación que mostraba la intención de movimiento del robot permitiendo así a los usuarios ajustar la pose del extremo del robot a través de gestos con las manos.

En (Bambusek, y otros, 2019), los autores proponen una solución basada en un casco de realidad aumentada visual para interactuar con la escena virtual y sensores Kinect con los que se detecta los distintos objetos situados en la zona de trabajo del robot y los convierte en objetos interactivos en la escena virtual.

En el artículo de (Xue, y otros, 2020), los autores desarrollan una aplicación en la que el usuario puede desplazar una esfera en una escena 3D a través de Hololens y ROS se encarga de seguir la esfera. La comunicación entre Hololens y ROS la establecen a través del paquete ROS#.

Haciendo uso de los brazaletes MYO y WAM, en (Chan, y otros, 2020) mejoran la interacción con la escena virtual. Estos brazaletes comparados con los sistemas basados en cámaras solventan el problema de oclusión. Además, los brazaletes no sólo miden la orientación de la mano del usuario, sino que también la aceleración. Los usuarios pueden ejecutar trayectorias a través de gestos y visualizarlas además de utilizar la mirada y la voz para su creación.

Más sistemas que hacen uso de dispositivos de realidad mixta han sido presentados con el fin de programar brazos robot industriales sin necesidad de manipular directamente el robot real (Ostanin & Klimchik, 2019) (Rosen, y otros, 2020) (Rückert, y otros, 2018).

Una limitación de los trabajos previamente citados es la ausencia de tangibilidad en sus soluciones a excepción del que utilizaban PHANToM, aunque en este caso la experiencia de usuario se veía limitada al no utilizar un sistema de visión estereoscópico.

Con los actuales cascos de realidad mixta, la capacidad de representar el holograma de un robot y su zona de trabajo permite crear un mejor contexto para realizar la tarea de guiado manual (Brooks, 1988). Con tecnología de seguimiento de la mano, el usuario puede realizar la tarea de

'pick-and-place' de una manera similar a como lo haría con el robot real.

En los ejemplos de la literatura mencionados previamente, la manipulación se realiza en el aire sin sujetar ni percibir ningún tipo de sensación háptica. El uso de un dispositivo háptico haría potencialmente más intuitiva y natural la ejecución de la tarea (Ikits & Brederson, 2005).

Nuestro objetivo es el de combinar el uso del dispositivo háptico (Ultrahaptics Stratos) con un entorno virtual de realidad mixta (a través de Microsoft Hololens) con el fin de explorar las posibilidades de esta fusión sin no antes experimentada dentro del ámbito de la robótica, y analizar la posible mejora que ofrece.

3. Diseño del escenario para el estudio de usuario

El objetivo de este trabajo es responder las preguntas de investigación formuladas previamente con respecto a la programación de robots a través del guiado manual sobre su gemelo digital.

Para esta implementación hemos utilizado las gafas Microsoft Hololens que ofrecen al usuario una experiencia de realidad mixta audiovisual.

En relación con la percepción háptica, se utiliza el actuador de ultrasonidos Ultrahaptics Stratos Explore (Carter, y otros, 2013). La opción del uso del 'feedback' en el aire se ha tenido en cuenta con el fin de que el usuario pueda prescindir de tener que portar dispositivos adicionales (e.g. guantes hápticos). Por otra parte, se ha considerado más adecuado el uso de ultrasonidos frente a otras alternativas como es AIREAL (Sodhi, y otros, 2013) que emite vórtices de aire.

El dispositivo cuenta con Leap Motion que es el encargado de monitorizar la posición de la mano en relación con el dispositivo háptico dentro de su zona de actuación. Tiene un alcance de 70 cm sobre el panel de actuación.

Para representar los distintos objetos 3D sobre una escena, se ha utilizado el motor de videojuegos Unity. Dicho motor gráfico, compatible con ambos dispositivos, permite la manipulación y percepción táctil de un holograma a la vez que permite visualizar los cambios en la pose del manipulador robótico.

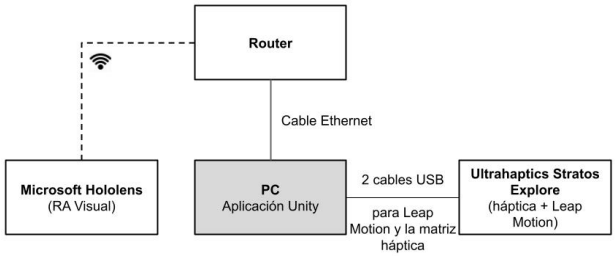


Figura 1: Esquema de configuración para la puesta en marcha de la aplicación con los dispositivos conectados.

La configuración para poder correr la aplicación se muestra en la Figura 1. El PC controla la visualización del entorno 3D mientras que recoge información relacionada con la ejecución del usuario. El dispositivo háptico se conecta a través de un puerto USB al PC, y Hololens a través de una conexión WiFi.

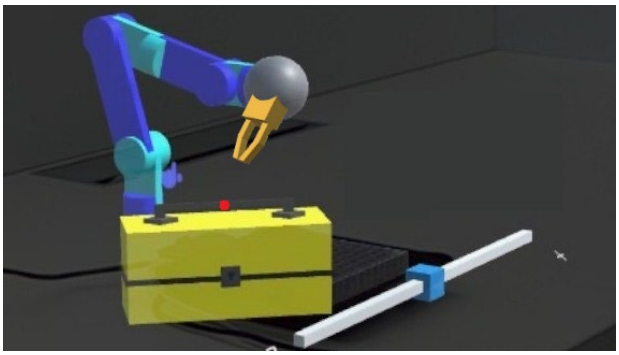


Figura 2: Vista general de la escena a través de las gafas de realidad mixta Microsoft Hololens.

La Figura 2 muestra un plano general de la escena interactiva. El dispositivo háptico se representa como un ortoedro en el centro de la escena (de color gris detrás de la caja de herramientas) que delimita de forma virtual la región en el espacio que ocupa el dispositivo real.

Detrás del ortoedro se encuentra el robot con 6 grados de libertad. Se muestra una esfera en el extremo del robot a modo de muñeca. Esta esfera puede ser agarrada por el usuario y así poder definir el punto al que el usuario pretende llegar con el robot ejecutando la tarea del 'pick-and-place'. Unido a dicha esfera se encuentra la herramienta que en este caso es una pinza.

La tarea que los usuarios han tenido que realizar en el estudio es la de aproximar el extremo de la pinza (punto final de la herramienta) al punto objetivo situado en el asa de la caja de herramientas amarilla. Dicho punto está marcado en color rojo. Pese a que en la figura se vea un control deslizante cuya funcionalidad es la de rotar el cabezal, en el estudio de usuario no se ha utilizado y se ha automatizado su rotación.

En el momento que el usuario aproxima la mano a la escena (concretamente a la zona de interacción con Ultrahaptics Stratos) se visualiza una mano holográfica que representa la mano real del usuario en el mundo virtual. Esta mano virtual muestra la pose captada por Leap Motion.

Cuando la mano virtual sujeta la esfera del extremo del robot, Ultrahaptics Stratos emite sobre la palma de la mano del usuario una sensación táctil en forma de esfera pretendiendo simular la sensación de contacto físico. Si el usuario suelta la esfera (ya sea de forma intencionada o involuntaria), la sensación desaparece. Se considera que el usuario está sujetando la esfera cuando cierra todos los dedos de la mano.

La interacción con la escena incluye también comandos de voz para parar o reanudar el movimiento del robot. Si el usuario activa el comando de parar el robot, no podrá manipular la pose del robot. Para ello tendrá que volver a ejecutar el comando para reanudar su movimiento.

La decisión de utilizar comandos de voz se tomó debido a la limitación del campo visual dentro de la percepción de los hologramas a través de Hololens. El uso de menús acapara mucho campo de visión y perjudica a la experiencia de usuario.
Por último, el usuario tiene la opción de utilizar un comando de voz adicional que muestra la lista de comandos disponibles junto a la base del holograma del brazo robot.

4. Estudio de usuario

Para llevar a cabo el estudio de usuario, se reunió a un grupo de 16 participantes sin experiencia. La mayoría de los participantes (12) se encontraban en el rango de edad de entre 18 y 30 años, dos participantes en el rango de 31 y 50 años y otros dos participantes en el rango de entre 51 y 65 años.

Previo al inicio del estudio, los participantes fueron notificados de que se iba a recoger información sobre su rendimiento en las pruebas, así como el de los cuestionarios con el fin de realizar este estudio. Toda esta información sería tratada de tal forma que tras realizar el estudio no se supiese qué datos corresponden a qué usuario protegiendo así su privacidad. Por otra parte, los usuarios podrían abandonar el estudio en cualquier caso o pedir que se eliminasen los datos recogidos de sus distintas ejecuciones.

Se repiten aquí las preguntas a las que se pretende dar respuesta, previamente mencionadas en la introducción.

- ¿Es posible programar un brazo robótico a través del guiado manual usando los dispositivos actuales de realidad mixta?
- ¿Qué impacto tiene Ultrahaptics Stratos en la aplicación durante el guiado manual?

Para poder investigar dichas cuestiones, cada usuario ha repetido varias veces el estudio donde el factor variante era la presencia o ausencia de la sensación táctil por parte del dispositivo Ultrahaptics Stratos.

Los participantes ejecutaron la tarea de 'pick-and-place' tres veces por cada condición (con y sin percepción táctil). Con el fin de compensar efectos de orden en el cual se presentan las condiciones, se escogió de forma aleatoria a 8 participantes para que comenzasen realizando la tarea con sensación táctil y concluyeron el estudio realizando la tarea con la condición opuesta. Los otros 8 participantes comenzaron realizando la tarea sin 'feedback' háptico.

Durante el estudio, se recogieron dos tipos de datos: cuestionarios validados y también personalizados rellenados por cada participante en distintos momentos durante el estudio, y datos registrados por el ordenador sobre la ejecución del usuario sobre la aplicación.

Los datos recogidos por el ordenador son: el tiempo total en completar la tarea, el número de veces que el usuario soltaba accidentalmente la esfera del robot, el tiempo moviendo el extremo del 'cobot', la distancia de error entre la pinza y la posición objetivo, y la relación entre tiempo moviendo el extremo del robot y tiempo total empleado.

Debido a que las métricas cuantitativas no son capaces de capturar la diferencia en la experiencia de usuario, los participantes rellenaron los cuestionarios Raw NASA-TLX (Hart, 2006) y SEQ (10 Things To Know About The Single Ease Question (SEQ), 2021) (Ver ANEXO A).

Decidimos extender el cuestionario SEQ. Además de conocer la dificultad de la tarea, queríamos conocer de forma subjetiva su satisfacción con el trabajo realizado.

Así mismo, optamos por extender también el NASA-TLX con dos categorías adicionales: control percibido sobre el holograma y carácter físico de la tarea.
Se ha decidido añadir estas dos categorías al cuestionario con el fin de añadir una evaluación de carácter háptico al estudio. A través de la primera de las dos categorías añadidas se pretende analizar si existe una diferencia sustancial en cuanto a la sensación de control sobre el gemelo digital haciendo uso del dispositivo háptico frente a no utilizarlo.

En el caso de la segunda categoría, se quiere observar cuánto aporta Ultrahaptics Stratos al carácter físico de la tarea y si es suficiente la respuesta que ofrece el dispositivo para considerar que aporta un extra al sistema definido en este artículo.

Hemos analizado los valores obtenidos realizando un análisis estadístico utilizando el 't-test' (Student, 1908) así como el test de Wilcoxon (Wilcoxon, 1992) en función a la normalidad del conjunto de datos (para lo cual se ha utilizado el test de Shapiro-Wilk).Todo el análisis de los datos se ha realizado utilizando el lenguaje R (R Core Team, 2018) y el valor p utilizado fue 0.05.

Debido al tiempo que se debe dedicar a la realización de la tarea original y teniendo en cuenta el número de ejecuciones que se pretenden realizar por usuario, se ha decidido reducir la tarea realizada a la previamente descrita. El usuario únicamente tenía que desplazar la esfera hasta que el extremo de la pinza se encontrase en el objetivo final. La orientación de la pinza se automatizó omitiendo así la necesidad de ajustarla.

Antes de que el participante comenzase con el estudio, se le explicó qué era cada dispositivo y cómo podía actuar con él. A través de un escenario de prueba, pudieron interactuar con distintos objetos a través de la interfaz de interacción desarrollada con ambos dispositivos para comprender cómo debían interactuar en la evaluación.

Por cada ejecución de la tarea, el objetivo se encontraba en una posición diferente. Entre cada ejecución los participantes respondían a las 2 preguntas del SEQ extendido y después de las 3 ejecuciones en cada una de las dos condiciones, respondían la NASA-TLX extendido.
La intención del cuestionario SEQ tras cada ejecución era el de conocer la impresión más inmediata del participante.

La prueba comenzaba cuando el usuario decía el comando de voz para poder mover el robot y finalizaba cuando decía el comando de voz para parar el robot.

Con el fin de conocer de manera más precisa la opinión de los usuarios, tras finalizar todo el estudio, completaron un test ad-hoc con cuatro afirmaciones donde tenían que mostrar su nivel de acuerdo o desacuerdo en una escala de Likert de 7 puntos.

5. Resultados

A continuación, se muestran los resultados que se han obtenido tras la realización del estudio con los participantes.

Los resultados se muestran agrupados en dos categorías: cualitativos y cuantitativos.

Podemos hablar de datos pareados puesto que, para cada ejecución con percepción táctil (V + H), se realizaba la misma ejecución sin ella (V).

5.1 Resultados cuantitativos

5.1.1 Error cometido (distancia)

El error cometido corresponde a la distancia existente entre el punto central del objetivo marcado y el punto central de la pinza (Figura 3).

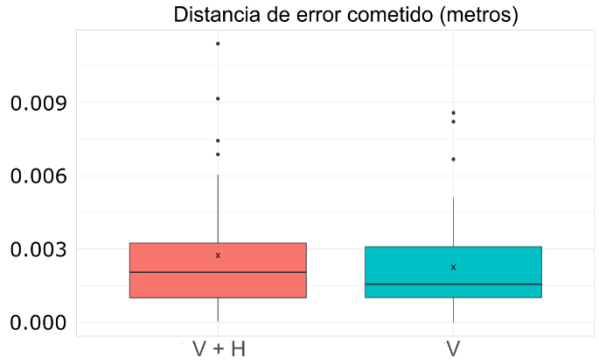


Figura 3: Distribución de los datos de la distancia de error cometido con 'feedback' háptico y sin 'feedback' háptico.

((M_{V+H} = 2,706 mm, SD_{V+H} = 2,351 mm, CI_{V+H} = [2,023 ; 3,339]); (M_V = 2,259 mm, SD_V = 1,998 mm, CI_V = [1,679 ; 2,839]))

El valor p obtenido con el test de Wilcoxon es mayor que 0,05 (0,418) por lo que la diferencia no es significativa.

5.1.2 Tiempo dedicado a la tarea

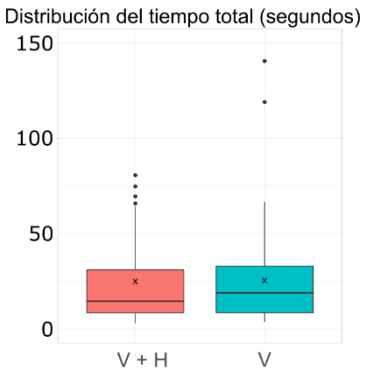


Figura 4: Distribución de los tiempos totales necesitados para realizar la tarea en ambas condiciones.

Esta métrica mide el tiempo comprendido desde el momento en el que se inicia el primer movimiento hasta el momento en el que se detiene el movimiento del robot con el comando de voz (Figura 4).

Seguidamente, se reportan los valores de las medias geométricas e intervalo de confianza al 95% de los datos obtenidos.
(($GeoM_{V+H}$ = 16,54, CI_{V+H} = [12,75 ; 21,44]); ($GeoM_{V}$ = 17,90, CI_{V} =[13,78 ; 23,25]))

Se ha eliminado del análisis temporal una ejecución correspondiente a la primera ejecución con 'feedback' táctil de uno de los participantes debido a lo mucho que difiere este valor con respecto al resto de ejecuciones del estudio, así como ejecuciones propias. Para poder realizar una comparación equilibrada, también se ha eliminado la primera ejecución del mismo usuario cuando realizó la tarea propuesta en el estudio sin 'feedback' táctil.

El valor p (0,962) del test de Wilcoxon no mostró una diferencia significativa entre las condiciones.

5.1.3 Tiempo moviendo el 'cobot'

En este caso, el tiempo recogido es en el que el usuario se encontraba desplazando la esfera del extremo del robot (Figura 5). Al igual que con el apartado anterior, no se han tenido en cuenta el valor del 'outlier' y el valor pareado.

La media geométrica y el intervalo de confianza obtenido al 95% de estos valores son los siguientes:
(($GeoM_{V+H}$ =12,51, CI_{V+H} = [10,07 ; 15,55]); ($GeoM_{V}$ =12,61, CI_{V} = [10,19 ; 15,61]))

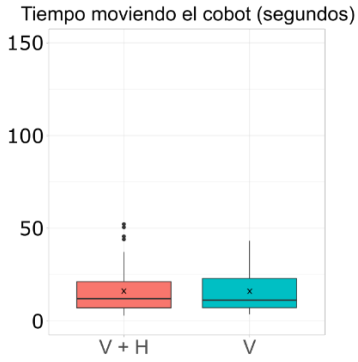


Figura 5: Distribución de los tiempos en los que los participantes se encontraban desplazando el extremo del 'cobot' holográfico en las dos condiciones.

Al igual que con el tiempo total de la tarea, el valor p (0,987) es superior al umbral de 0,05 por lo que no se aprecia una diferencia significativa.

5.1.4 Relación tiempo en movimiento y tiempo total

Esta métrica es el resultado de la división entre el tiempo que el usuario ha estado manipulando el 'cobot' holográfico y el tiempo total dedicado a la tarea. Puesto que el primer valor siempre va a ser menor o igual que el segundo, estos valores están comprendidos entre 1 y 0 (Figura 6).
((M_{V+H} = 0,748, SD_{V+H} = 0,165, CI_{V+H} = [0,661 ; 0,836]); (M_{V} = 0,715, SD_{V} = 0,197, CI_{V} = [0,610 ; 0,821]))

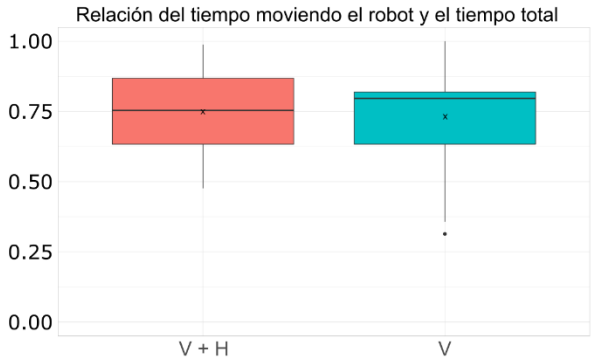


Figura 6: Distribución de los valores resultantes de la división entre el tiempo que el participante estaba moviendo la esfera y el tiempo total empleado en la tarea.

En este caso nos volvemos a encontrar un valor p superior al umbral (0,578) tras aplicar el t-test.

5.1.5 Esfera perdida

Se ha analizado el número de veces que el usuario perdió la esfera que permite mover el 'cobot' (Figura 7).
((M_{V+H} = 6,681, SD_{V+H} = 7,553, CI_{V+H} = [4,463 ; 8,898]); (M_{V} = 7,319, SD_{V} = 8,577, CI_{V} = [4,8 ; 9,837]))

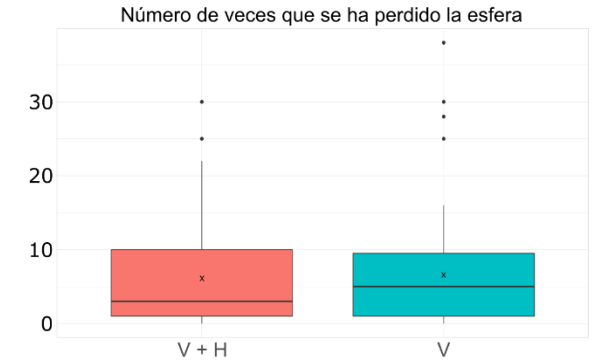


Figura 7: Distribución de número de veces que el participante ha perdido el control de la esfera del extremo del holograma en ambas condiciones.

El resultado valor p obtenido (0,698) indicaba que la diferencia no era estadísticamente significativa.
Resumiendo, los datos presentados hasta ahora, se puede apreciar que, en cuanto a los datos cuantitativos, ninguna métrica ha mostrado una diferencia significativa entre ambas condiciones.

5.2 Resultados cualitativos

A continuación, se van a analizar los datos cualitativos extraídos de los test SEQ, NASA-TLX y el cuestionario ad-hoc.

5.2.1 SEQ - Dificultad de la tarea

En una escala del 1 al 7, los participantes indicaban si les había sido complicado realizar la tarea (1) o sencillo (7) (Figura 8). ((M_{V+H} = 6,291, SD_{V+H} = 1,031, CI_{V+H} = [5,992 ; 6,591]); (M_V = 6,104, SD_V = 0,973, CI_V = [5,822 ; 6,387]))

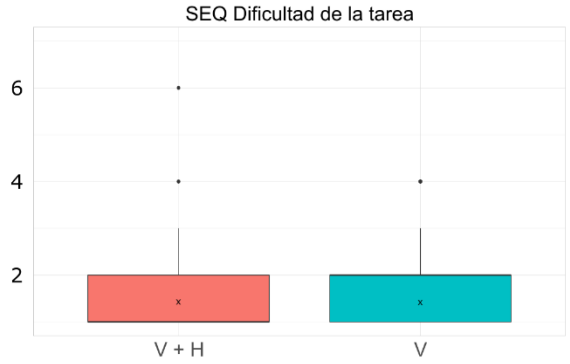


Figura 8: Distribución de respuestas a la dificultad de cada ejecución de la tarea realizada.

No se percibió ninguna diferencia significativa entre ambos conjuntos de datos (valor p = 0.147).

5.2.2 SEQ – Satisfacción con el resultado

La segunda pregunta corresponde a la extensión realizada. Manteniendo el mismo formato de pregunta (escala del 1 al 7), preguntamos a los participantes qué de satisfechos estaban con el resultado logrado tras cada ejecución (Figura 9).
((M_{V+H} = 6,354, SD_{V+H} = 0,887, CI_{V+H} = [6,096 ; 6,612]); (M_V = 6,0, SD_V = 1,167, CI_V = [5,661 ; 6,339]))



Figura 9: Distribución de las respuestas a la satisfacción con el resultado de cada ejecución de la tarea realizada.

En este caso, tras realizar el test de Wilcoxon, obtenemos un valor p menor a 0,05 (0,033) con el que se puede decir que existe una diferencia significativa entre ambos conjuntos de datos.

5.2.3 NASA-TLX

El índice obtenido del NASA-TLX es una medida de la carga de trabajo experimentada por los participantes cuando ejecutan la tarea experimental. El cuestionario consta de 6 categorías valoradas del 0 al 20 que son: demanda mental, demanda física, demanda temporal, nivel de rendimiento alcanzado, esfuerzo requerido y frustración experimentada. Se ha realizado un análisis de los valores de manera individual, así como del índice del cuestionario original.

Entre los resultados obtenidos, destaca el resultado obtenido con los índices del NASA-TLX original ((M_{V+H} = 6,781, SD_{V+H} = 3,009, CI_{V+H} = [5,178 ; 8,385]); (M_V = 7,583, SD_V = 3,338, CI_V = [5,804 ; 9,362])). Como se puede ver en la Figura 10, los valores sugieren una mejora con el uso del 'feedback' táctil. Sin embargo, el t-test devuelve un valor p de 0,096 que es próximo al umbral, aunque estadísticamente no podemos decir que exista una diferencia entre los conjuntos de datos.

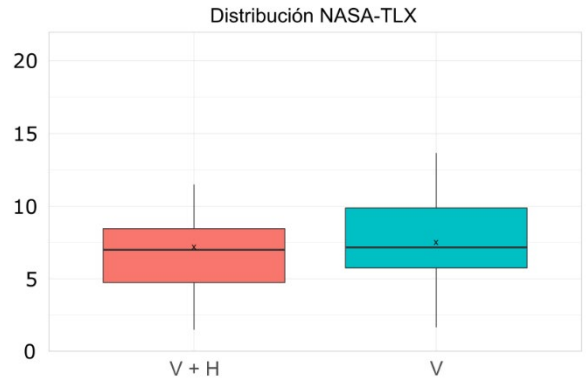


Figura 10: Distribución de la media obtenida por los test NASA-TLX de los participantes en las dos condiciones del estudio.

Si realizamos un análisis entre las distintas categorías del NASA-TLX extendido, podemos observar en el caso de la percepción de control del holograma ((M_{V+H} = 14,625, SD_{V+H} = 4,470, CI_{V+H} = [12,243 ; 17,007]); (M_V = 12,25, SD_V = 4,524, C_V = [9,839 ; 14,661])) que sí existe una diferencia estadísticamente significativa (valor p = 0,04)

Lo mismo ocurre con los datos de los datos relativos al carácter físico de la tarea ((M_{V+H} = 15.437, SD_{V+H} = 3.521, CI_{V+H} = [13,437 ; 17,313]); (M_V = 6.375, SD_V = 4.843, CI_V = [3,795 ; 8,955])). En este caso, la diferencia es aún más perceptible tanto visual (Figura 11) como estadísticamente (valor p < 0.001).

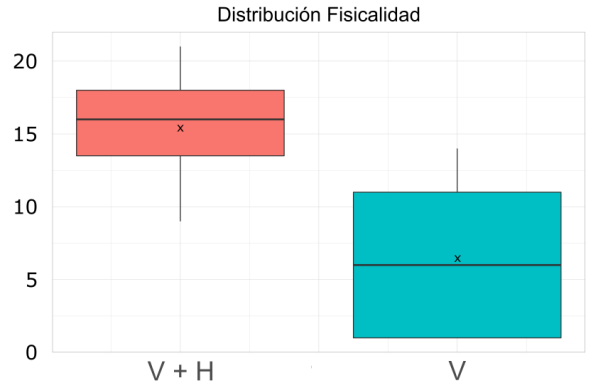


Figura 11: Distribución del índice de fisicalidad (extensión del NASA-TLX) del holograma manipulable en la aplicación.

5.2.4 Cuestionario ad-hoc

Por último, tras el análisis de las distintas afirmaciones del cuestionario ad-hoc (ver ANEXO A), los participantes mostraron su acuerdo con que tenían cierta percepción de ventaja utilizando Ultrahaptics Stratos (Q1) y su desacuerdo con que la percepción con y sin 'feedback' háptico era la misma mientras manipulaban la pose del robot (Q4).

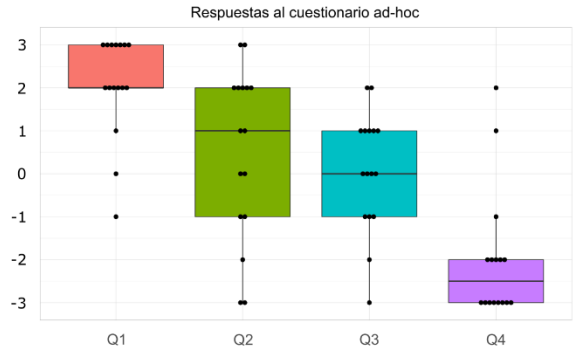


Figura 12: Distribución de las respuestas a las 4 afirmaciones planteadas en el cuestionario ad-hoc.

Pregunta	*Media*	*SD*	*$CI_{95\%}$*
Q1	2,06	1,18	[1,43 ; 2,69]
Q2	0,50	2,00	[-0,56 ; 1,56]
Q3	0,06	1,39	[-0,67 ; 0.8]
Q4	-2,00	1,51	[-2,8 ; -1,19]

Por otra parte, en las afirmaciones "el hecho de sentir la esfera no ha hecho que haya realizado más rápido la tarea" (Q2) y "he logrado una mayor precisión con el uso de la sensación táctil" (Q3) se puede observar que no hubo un consenso en las respuestas dadas por los participantes ya que se encuentran distribuidas por todo el rango de respuestas posibles (Figura 12).

6. Discusión de resultados

Tras analizar los datos extraídos en el estudio de usuario, no se puede decir que la percepción háptica del holograma del robot haya influido en el rendimiento de los participantes ni para perjuicio ni para mejora en el tiempo ni en la precisión de la tarea.

En cambio, el análisis de los datos extraídos a través de los cuestionarios muestra ciertas diferencias estadísticamente significativas en la experiencia de usuario.

Pese a no haber encontrado diferencias significativas en las preguntas del SEQ ni en el índice del NASA-TLX, se ha podido ver que existe una mejora favorable en el carácter físico de la tarea y en la sensación de control haciendo uso del dispositivo háptico (extensión realizada al NASA-TLX).

Por otra parte, del cuestionario ad-hoc con las 4 afirmaciones planteadas a los participantes, se muestra que notaron una diferencia cuando movían el holograma con y sin sensación háptica, y que la presencia de esta sensación táctil ofrecía una ventaja para la ejecución de la tarea.

Nuestra hipótesis acerca de estos resultados es que esta sensación de mejora procede de la utilidad que ofrece este dispositivo para indicar si el participante se encuentra controlando el extremo del robot holográfico o lo ha soltado/perdido.

Cuando no utilizaban el dispositivo háptico, no sabían realmente cuándo se encontraban sujetando la esfera o cuándo la habían perdido. Con 'feedback' táctil, los usuarios podían entender inmediatamente que habían soltado el extremo del robot.

7. Conclusiones

Tras el estudio realizado, se ha podido observar los beneficios y limitaciones de una experiencia multimodal (visuo-táctil) sobre una tarea de guiado manual del gemelo digital de un brazo robótico.

Se ha podido dar respuesta a las dos preguntas de investigación.
En cuanto a la primera pregunta en la que se planteaba si era o no posible la programación de un brazo robótico a través de su gemelo digital, podemos decir que sí es posible al menos realizar la tarea de pick-and-place (que es una parte dentro de toda la programación de un brazo robótico) teniendo en cuenta el margen de error que existe debido a la precisión con

la que cuenta el dispositivo Leap Motion integrado en Ultrahaptics Stratos.

Respecto a la segunda pregunta de investigación, la aportación del dispositivo Ultrahaptics Stratos se ha analizado desde dos puntos de vista.
Desde el punto de vista de eficiencia, no se ha podido observar una diferencia significativa temporal ni relativa a la precisión. En cuanto a la experiencia de usuario, podemos decir que la mejora ha sido relativa a la percepción tangible y relativa a la sensación de control durante la manipulación.

8. Trabajo desarrollado post-estudio

Tras haber realizado el estudio y analizado los resultados obtenidos, hemos podido observar que el sistema háptico favorece a la experiencia de usuario. Sin embargo, su limitada zona de actuación impide la posibilidad de trabajar con robots y escenarios que no estén representados a escala.

Analizando las distintas variantes que han sido tomadas para resolver esta tarea, hemos considerado acercarnos más a trabajos como (Bambusek, Materna, Kapinus, Beran, & Smrž, 2019), (Xue, y otros, 2020) y (Chan, y otros, 2020) previamente descritos en el estado del arte.

Teniendo en cuenta el avance de la tecnología durante el tiempo transcurrido en el periodo de desarrollo y estudio de esta aplicación experimental, han surgido nuevos dispositivos tecnológicos que favorecen a la mejora de la interacción entre el usuario y el escenario virtual a través de realidad mixta.

Este es el caso de las Hololens de Microsoft. Su segunda versión, además de incorporar mejoras en calidad de visualización y procesamiento de información, cuenta con un sistema de posicionamiento de la mano en el frontal del dispositivo permitiendo así la interacción del usuario con la escena al igual que lo permitía el dispositivo de Leap Motion integrado en Ultrahaptics Stratos Explore.

Siguiendo con la línea de evitar cargar al usuario con dispositivos, hemos decidido prescindir en este ciclo del sistema háptico y nos hemos centrado más en la mejora del sistema de interacción entre el usuario y la escena.

Partiendo de los conocimientos adquiridos en este proyecto, el nuevo objetivo planteado es el de poder programar el gemelo digital de un brazo robot real de tal forma que éste replique el comportamiento plasmado en las gafas de realidad mixta. Además, se pretende diseñar una interfaz para la interacción entre el usuario y el gemelo digital de tal forma que, un usuario que carece del conocimiento necesario sea capaz de programar un robot de la manera más sencilla e intuitiva posible dentro de los requisitos de este tipo de tarea a través de realidad mixta.

En cuanto al diseño de la aplicación actual, hemos podido observar que es factible e intuitivo el uso de una esfera como representación de un holograma manipulable y, por consecuente, es válido para representar el extremo del robot que se pretende programar en el mundo virtual.

Hemos querido probar con una solución similar al diseño que hemos propuesto en el trabajo utilizado para el estudio de tal forma que, como se ve en la Figura 13, la esfera más grande (de color rojo) es la encargada de definir la posición del extremo del robot mientras que la esfera pequeña (de color naranja) es la encargada de indicar la orientación del extremo del robot, es decir, hacia dónde tiene que mirar. La esfera naranja 'orbita' sobre la esfera roja a una distancia constante en todo momento impidiendo así la pérdida de esta mientras se define su ubicación por alejarla demasiado de la esfera roja.

En este nuevo desarrollo, puesto que los cálculos de la cinemática no se van a realizar en tiempo real en la propia aplicación de Unity, la esfera no se encuentra unida al extremo del robot, sino que, se calcula y visualiza su posición segundos más tarde, cada vez que se define una nueva pose del robot.

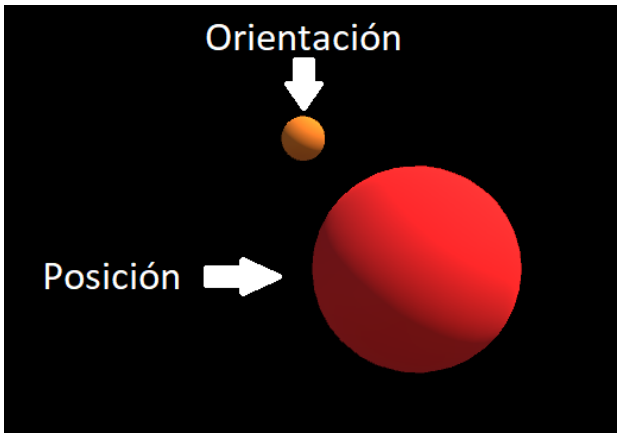


Figura 13: Diseño del holograma que representa la pose del extremo del robot. Consta de dos esferas que definen posición (la más grande) y orientación (la más pequeña).

Por otra parte, con el fin de conservar esa información que Ultrahaptics Stratos ofrecía al usuario, se ha decidido expresar esa misma información a través del canal auditivo. Cuando el usuario sujeta la representación del extremo del robot, el sistema emite un sonido que indica dicha acción. Lo mismo ocurre cuando el usuario suelta el holograma. El sistema emite un sonido diferente para este caso.

Teniendo en cuenta que el objetivo es el de poder programar un brazo robótico a través de su gemelo digital, hemos

decidido utilizar ROS (Robot Operating System) en la nueva implementación. A través de distintos módulos es posible calcular la cinemática real del brazo robot a programar, comunicarse con el brazo robótico real y compartir información de interés entre los distintos dispositivos.

Para poder comunicar las gafas de realidad mixta Hololens 2 con ROS hemos utilizado una adaptación para Hololens del paquete ROS#[12], el cual permite una comunicación bidireccional y provee los componentes necesarios para la suscribirse y publicar información en 'topics' al igual que generar servicios y acciones. Además, permite crear mensajes personalizados e importar robots de ROS a Unity.

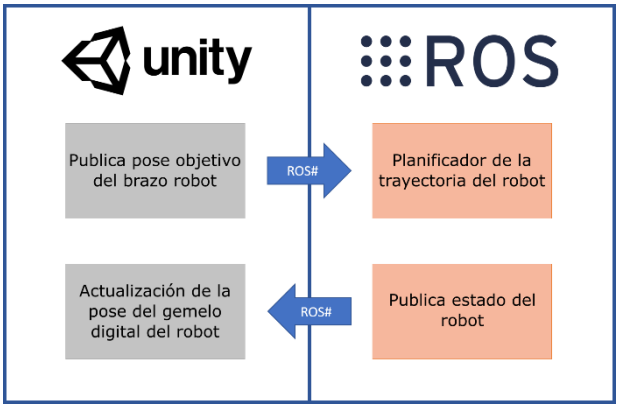


Figura 14: Esquema de la propuesta para el flujo de eventos e información entre Hololens 2 y ROS.

Este nuevo sistema consiste entonces de dos partes (Figura 14) que se ejecutan de forma simultánea. En Hololens 2 una aplicación se encarga de la petición de planificación y ejecución de trayectorias por parte del brazo robótico al igual que de la representación de estas.

En el lado de ROS se encuentra un nodo gestionando las peticiones procedentes de las Hololens 2 y los distintos 'topics' donde se están publicando información de interés acerca de las peticiones solicitadas.

MoveIt! es un software permite calcular la cinemática de distintos robots en función a la descripción de este. La intención por la cual se quiere utilizar este software es, entre otras cosas, para liberar carga de trabajo a las Hololens 2 y por otra parte porque es un sistema validado para distintos brazos robot.

Por otra parte, se ha desarrollado una primera aproximación de un módulo encargado de limitar el movimiento del brazo robot en función al entorno que le rodea.

Para ello se ha hecho uso de las distintas cámaras de las que dispone Hololens 2 que son capaces de percibir el entorno en el que se encuentra.

Una vez el dispositivo de realidad mixta ha mapeado el entorno en el que se encuentra, se envía esta información (a un nodo de ROS encargado de añadir objetos a la escena) tomando como referencia la posición en la que se ha ubicado la base del gemelo digital en el mundo real.

El resultado se podría visualizar en la aplicación Rviz como se puede apreciar en la Figura 15.

Con estas mejoras en el diseño pretendemos obtener una experiencia de usuario muy mejorada, además de una mayor precisión y eficiencia del sistema.

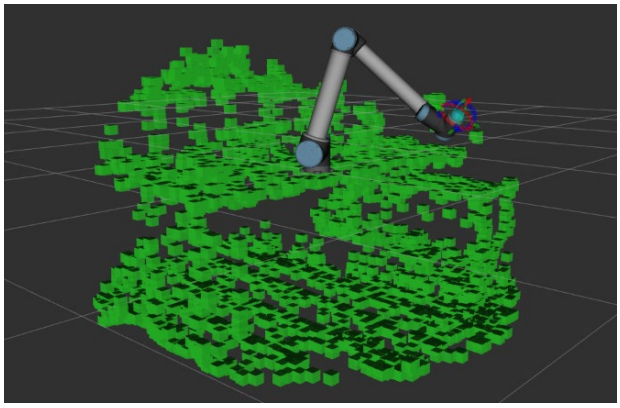


Figura 15: Visualización en Rviz de la escena generada a partir del mapeado realizado por las cámaras de Hololens 2 junto al brazo robótico virtual.

Referencias

10 Things To Know About The Single Ease Question (SEQ). (2021, October 14). Retrieved from https://measuringu.com/seq10/

Aggarwal, R., Ward, J., Balasundaram, I., Sains, P., Athanasiou, T., & Darzi, A. (2007). Proving the effectiveness of virtual reality simulation for training in laparoscopic surgery. Ann. Surg., 246, 771-779.

Andersson, N., Argyrou, A., Nägele, F., Ubis, F., Campos, U., de Zarate, M., & Wilterdink, R. (2016). AR-Enhanced Human-Robot-Interaction - Methodologies, Algorithms, Tools. Procedia CIRP, 193-198.

[12] https://github.com/siemens/ros-sharp

Bambusek, D., Materna, Z., Kapinus, M., Beran, V., & Smrž, P. (2019). Combining Interactive Spatial Augmented Reality with Head-Mounted Display for End-User Collaborative Robot Programming. 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 1-8.

Brooks, F. (1988). Grasping reality through illusion - interactive graphics serving science. In CHI '88: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1-11.

Burghardt, A., Szybicki, D., Gierlak, P., Kurc, K., Pietru´s, P., & Cygan, R. (2020). Programming of Industrial Robots Using Virtual Reality and Digital Twins. Appl. Sci., 10, 486.

Carter, T., Seah, S., Long, B., Drinkwater, B., & Subramanian, S. (2013). UltraHaptics: Multi-point mid-air haptic feedback for touch surfaces. In Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 505-514.

Chan, W., Sakr, M., Quintero, C., Croft, E., & Van der Loos, H. (2020). Towards a Multimodal System combining Augmented Reality and Electromyography for Robot Trajectory Programming and Execution. 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 419-424.

Gallagher, A., Ritter, E., Champion, H., Higgins, G., Fried, M., Moses, G., . . . Satava, R. (2005). Virtual reality simulation for the operating room: Proficiency-based training as a paradigm shift in surgical. Ann. Surg., 241, 364.

Grantcharov, T., Kristiansen, V., Bendix, J., Bardram, L., Rosenberg, J., & Funch-Jensen, P. (2004). Randomized clinical trial of virtual reality simulation for laparoscopic skills training. Br. J. Surg., 91, 146-150.

Hart, S. (2006). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 50, 904-908.

Heilig, M. (1962). EE.UU Patente nº 3.050.870.

Hietanen, A., Pieters, R., Lanz, M., Latokartano, J., & Kämäräinen, J. (2020). AR-based interaction for human-robot collaborative manufacturing. Robot. Comput. Integr. Manuf., 63,101891.

Ikits, M., & Brederson, J. (2005). The Visual HapticWorkbench. Visualization Handbook, 431-447.

Luckey, P. (14 de August de 2021). Oculus Rift. Obtenido de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift

Luebbers, M., Brooks, C., Kim, M., Szafir, D., & Hayes, B. (2019). Augmented Reality Interface for Constrained Learning from Demonstration. In Proceedings of the 2nd InternationalWorkshop on Virtual, Augmented, and Mixed Reality for HRI (VAM-HRI).

Makhataeva, Z., & Varol, H. (2020). Augmented Reality for Robotics: A Review. Robotics, 9, 21.

Makris, S., Karagiannis, P., Koukas, S., & Matthaiakis, A. (2016). Augmented reality system for operator support in human-robot collaborative assembly. CIRP Ann., 65, 61-64.

Ni, D., Yew, A., Ong, S., & Nee, A. (2017). Haptic and visual augmented reality interface for programming welding robots. Adv. Manuf., 5.

Ong, S., Yew, A., Thanigaivel, N., & Nee, A. (2020). Augmented reality-assisted robot programming system for industrial applications. Robot. Comput. Integr. Manuf., 61,101820.

Ostanin, M., & Klimchik, A. (2019). Interactive Robot Programing Using Mixed Reality. IFAC-PapersOnLine, 51, 50-55.

Pettersen, T., Pretlove, J., Skourup, C., Engedal, T., & Lokstad, T. (2003). Augmented reality for programming industrial robots. In Proceedings of the Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 319-320.

Puljiz, D., Stöhr, E., Riesterer, K., Hein, B., & Kröger, T. (2019). Sensorless Hand Guidance using Microsoft Hololens. In Proceedings of the 2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), 632-633.

R Core Team. (2018). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria.

Rivera-Pinto, A., & Kildal, J. (2019). Visuo-Tactile Mixed Reality for Offline Cobot Programming. Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (pp. 403-405). Cambridge: ACM.

Rosen, E., Whitney, D., Phillips, E., Chien, G., Tompkin, J., Konidaris, G., & Tellex, S. (2019). Communicating and controlling robot arm motion intent through mixed-reality head-mounted displays. Int. J. Robot. Res., 1513-1526.

Rosen, E., Whitney, D., Phillips, E., Chien, G., Tompkin, J., Konidaris, G., & Tellex, S. (2020). Communicating robot arm motion intent through mixed reality head-mounted displays. Robotics Research, 301-316.

Rückert, P., Meiners, F., & Tracht, K. (2018). Augmented Reality for teaching collaborative robots based on a physical simulation. In Tagungsband des 3. Kongresses Montage Handhabung Industrieroboter, 41-48.

Seymour, N., Gallagher, A., Sanziana, R., O'Brien, M., Vipin, B., & Andersen, D. (2002). Virtual Reality Training Improves Operating Room Performance. Ann. Surg., 236, 458-463.

Sodhi, R., Poupyrev, I., Glisson, M., & Israr, A. (2013). AIREAL: Interactive tactile experiences in free air. ACM Trans. Graphics, 32, 134.

Student. (1908). The probable error of a mean. Biometrika, 6, 1-25.

Wilcoxon, F. (1992). Individual comparisons by ranking methods. Breakthroughs in Statistics, 196-202.

Xue, C., Qiao, Y., & Murray, N. (2020). Enabling Human-Robot-Interaction for Remote Robotic Operation via Augmented Reality. IEEE 21st International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM), 194-196.

Zhou, Z., Xiong, R., Wang, Y., & Zhang, J. (2020). Advanced Robot Programming: A Review. Curr. Robot. Rep.

ANEXO

Cuestionario ad-hoc

	←En desacuerdo						De acuerdo →
He percibido cierta ventaja con el uso de Ultrahaptics a la hora de realizar la tarea.	o	o	o	o	o	o	o
El hecho de poder sentir la bola NO ha hecho que realice la tarea más rápido.	o	o	o	o	o	o	o
He logrado una mayor precisión gracias a Ultrahaptics que sin él.	o	o	o	o	o	o	o
La sensación de manejar el robot ha sido igual con y sin Ultrahaptics.	o	o	o	o	o	o	o

SEQ Extendido

En general, desempeñar esta tarea ha sido:

Muy difícil o o o o o o o **Muy fácil**

Satisfacción con el resultado logrado:

Nada satisfech@ o o o o o o o **Muy satisfech@**

NASA-TLX Extendido

Exigencia mental (¿Cuánta actividad mental y perceptiva fue necesaria?):

Muy baja o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o **Muy alta**

Muy baja o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o **Muy alta**

Exigencia física (¿Se trata de una tarea fácil o difícil, lenta o rápida, relajada o cansada?):

Muy baja o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o **Muy alta**

Muy baja o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o **Muy alta**

Exigencia temporal (¿Era el ritmo lento y pausado o rápido y frenético?):

Muy baja o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o **Muy alta**

Muy baja o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o **Muy alta**

Esfuerzo requerido (físico o mental):

Muy baja o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o **Muy alta**

Muy baja o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o o **Muy alta**

Rendimiento (¿Cuál es su grado de satisfacción con su nivel de ejecución?):

Muy baja O O O O O O O O O O O O O O O O O O O O **Muy alta**

Muy baja O O O O O O O O O O O O O O O O O O O O **Muy alta**

Nivel de frustración (Inseguro/a, desalentado/a, irritado/a, tenso/a, …):

Muy baja O O O O O O O O O O O O O O O O O O O O **Muy alta**

Muy baja O O O O O O O O O O O O O O O O O O O O **Muy alta**

Sensación de control (¿Has sentido que has controlado el brazo robot a tu gusto?):

Muy baja O O O O O O O O O O O O O O O O O O O O **Muy alta**

Muy baja O O O O O O O O O O O O O O O O O O O O **Muy alta**

Sensación de fisicalidad (Sujetando la bola, sentía que realmente la estaba cogiendo):

Muy baja O O O O O O O O O O O O O O O O O O O O **Muy alta**

Muy baja O O O O O O O O O O O O O O O O O O O O **Muy alta**

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Una propuesta de caracterización inicial de mayores para el desarrollo de interfaces adaptativas

A proposal for the initial characterization of the elderly to develop adaptive interfaces

Javier Navarro-Alamán
Dpto. de Informática e Ingeniería de Sistemas, EUPT/Universidad de Zaragoza
Teruel, España
jnavarroa@unizar.es

Raquel Lacuesta
Dpto. de Informática e Ingeniería de Sistemas, EUPT/Universidad de Zaragoza
Teruel, España
lacuesta@unizar.es

Eva Cerezo
Dpto. de Informática e Ingeniería de Sistemas, EINA/Universidad de Zaragoza
Zaragoza, España
ecerezo@unizar.es

Recibido: 28.10.2021 | Aceptado: 16.12.2021
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.42

Palabras Clave

Interfaces adaptativas
Personalización
Personas mayores
M-health

Resumen

En el diseño de interfaces para personas mayores la adaptación de estas a las características físicas y cognitivas de los usuarios es un factor importante a la hora de asegurar su facilidad de uso y puede ser determinante a la hora de fomentar su adherencia en el contexto de las aplicaciones de m-health. Este artículo propone un sistema para la personalización de interfaces móviles para mayores basado en la realización de una serie de test sencillos que permiten caracterizar a los usuarios y llevar a cabo una adaptación automática de la interfaz. Para la selección de los parámetros se ha partido de las recomendaciones de las WCAG. Se ha llevado a cabo una prueba piloto con usuarios para valorar el proceso inicial de personalización con resultados satisfactorios.

Keywords

Adaptive interfaces
Personalization
Elderly
M-health

Abstract

In the design of interfaces for older people, the adaptation of these to the physical and cognitive characteristics of the users is an important factor when it comes to ensuring their ease of use and can be decisive when it comes to promoting their adherence in the context of m-health applications. This article proposes a system for the customization of mobile interfaces for the elderly based on the realization of a series of simple tests that allow to characterize the users and carry out an automatic adaptation of the interface. For the selection of the parameters, we have started from the recommendations of the WCAG. A pilot test has been carried out with users to assess the initial characterization process with satisfactory results.

1. Introducción

Según los estudios de Naciones Unidas, la población mundial está envejeciendo. Para 2050, una de cada 6 personas en el mundo tendrá más de 65 años (16%), más que la proporción de una de cada 11 en 2019 (9%). Como se ve, las personas mayores representan un segmento de mercado en aumento. Sin embargo, actualmente esta población presenta dificultades en el acceso y uso de las tecnologías digitales, estando en general poco acostumbrados a su uso y resultándoles complejo incluso la realización de tareas sencillas para el resto de la población. La brecha digital existente provoca la desmotivación hacia el uso de la tecnología por este sector de la población (Hong *et al.*, 2016; Gonzales *et al.*, 2015). Ante esa situación van surgiendo guías y recomendaciones (Costa, 2013) a la hora diseñar interfaces para este colectivo. Este tipo de recomendaciones generales son de gran utilidad para mejorar de forma significativa la usabilidad y accesibilidad de las aplicaciones. Sin embargo, en este segmento de edad las diferencias individuales incluso entre individuos de la misma edad, pueden ser muy significativas. En el ámbito sanitario la población mayor de 65 años se clasifica en 3 tipos según su capacidad funcional: población autónoma, población frágil (independientes, pero con incipiente pérdida de función y alta probabilidad de deterioro) y población dependiente. Actualmente se está poniendo el foco en el colectivo de mayores frágiles para los que las aplicaciones de m-health pueden ser de gran ayuda para el mantenimiento de su independencia. Sin embargo, su propia característica de fragilidad hace imprescindible una adecuada personalización de las interfaces para asegurar el uso y adherencia a las aplicaciones.

La personalización de las interfaces es un medio eficaz para adaptarse a las diferencias entre individuos, consiguiendo mejorar la usabilidad y accesibilidad de los sistemas interactivos. Una interfaz personalizada puede ayudar a mejorar la eficacia de un usuario realizando acciones asociadas a tareas que se repiten día a día, cambiando la apariencia de la interfaz para que se adapte mejor a sus limitaciones y capacidades, ofreciendo asesoramiento sobre las tareas que se están realizando e incluso mediando en la interacción de un usuario a través del análisis de su estado físico y emocional (Arazy *et al.*, 2015). Dentro de los tipos de personalización existentes debemos distinguir entre tres tipos (Yigitbas *et al.*, 2014): (1) Adaptable (Manual) en el que el usuario es capaz de cambiar la interfaz, pero de manera que solo él decide los cambios, (2) Adaptativa (semi-automática) en el que sistema puede identificar a los usuarios y apoyarlos con sugerencias, puede detectar si un usuario tiene dificultades para alcanzar su objetivo, y (3) Auto-adaptativa (automática) donde se cambian automáticamente algunas partes o incluso toda la interfaz de usuario. El trabajo presentado en este artículo sigue el enfoque adaptativo (semi-automático). En particular, se presenta una herramienta que permite, a través de un test sencillo, caracterizar a los usuarios y determinar las opciones de personalización para la posterior adaptación de la aplicación objetivo. Para la elección de los parámetros se han estudiado las recomendaciones de accesibilidad para mayores de la W3C. Los parámetros son: tamaño de letra, contraste, tamaño y alineación de botones, color, tema y volumen.

El artículo se ha estructurado de la siguiente forma: primero se hace un repaso de trabajos relacionados con la personalización de interfaces (sección 2); a continuación (sección 3), se presenta el sistema propuesto poniendo el foco en el test inicial de caracterización del usuario mayor. En la sección 4 se presenta un test piloto con usuarios para la valoración del proceso de caracterización. Por último, en la sección 5, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. Interfaces personalizables: estado del arte

A nivel de personalización de la interfaz, son varios los autores que han trabajado en aproximaciones adaptables o manuales. En el estudio de Hitz *et al.* (2017) se presenta una notación propia (OWL/Turtle notation) para descripciones específicas de los aspectos de la interfaz. Mediante esas anotaciones se genera automáticamente una interfaz personalizada. Otro ejemplo de este tipo de herramientas para mejorar la usabilidad y adaptación es la presentada por Zhang *et al.* (2017). Los autores proponen un estudio basado modelos con el objetivo de mejorar la usabilidad y adaptación de sistemas de información complejos (CIS). El mapeo entre diagramas de casos de uso, diagramas de tareas y modelos de funciones permite la selección automática de una interfaz de usuario abstracta y el desarrollo de una interfaz de usuario concreta para cada trabajo. El método utilizado permite a los usuarios seleccionar las funciones deseadas de un proveedor para personalizar una interfaz.

Dentro de las herramientas adaptativas o semi-automáticas se presentan varias líneas de investigación. En el estudio de Khriyenko *et al.* (2015) se presenta una herramienta de personalización de la interfaz de usuario a nivel semántico impulsado por el perfil de usuario semántico personal y la combinación de módulos reutilizables de visualización adaptativa. Otro aspecto importante es la adaptación al dispositivo (responsive). En esta linea Laine *et al.* (2021) proponen un nuevo marco web avanzado para generar una interfaz de usuario que se adapte automáticamente al dispositivo, pero también al usuario (personalizadas). Utilizan técnicas de optimización de forma que, a partir de una serie

de objetivos de optimización, de restricciones y de las interacciones del usuario genera diseños personalizados y adaptados al dispositivo. Yigitbas *et al.* (2014) explican que, en las interfaces de usuario adaptativas, el usuario puede personalizar o individualizar la interfaz de usuario adaptando el diseño o adaptando la navegación, siempre de forma manual. En cooperación con un socio industrial, estos autores desarrollan una nueva metodología para un desarrollo basado en modelos de interfaz de usuario para sistemas de autoservicio distribuido, teniendo en cuenta aspectos de adaptación e integración dentro del modelo de desarrollo. Por otro lado, Lim *et al.* (2018) proponen un sistema UI / UX inteligente para adultos mayores llamado SmartSenior, que se basa en aprendizaje semi-supervisado para llevar a cabo adaptaciones automáticas de la interfaz. El sistema evalúa inicialmente (Ji *et al.*, 2017) la capacidad cognitiva, produciendo el primer perfil y luego modifica el perfil según sus acciones.

Finalmente, a nivel de desarrollo de aplicaciones auto-adaptativas o automáticas podemos encontrar varios trabajos. Park *et al.* (2016) diseñan un sistema que utiliza un modelo de avatar que se adapta a los usuarios. En Yigitbas *et al.* (2017) los autores presentan un entorno de desarrollo integrado (IDE), llamado Adapt-UI, para el desarrollo de interfaces de usuario autoadaptables. De esta forma, la interfaz de usuario se adaptará automáticamente en función de los cambios en el contexto de uso. En el estudio de Feit *et al.* (2020) se propone un enfoque para detectar la relevancia de la información durante la toma de decisiones a partir de los movimientos oculares para permitir la adaptación de la interfaz de usuario. En Rendely *et al.* (2021) los autores proponen que se cambie la interfaz de usuario, si los usuarios dan permiso para ello, a partir de los datos analíticos obtenidos durante su interacción. Por medio de un modelo de inteligencia artificial el usuario recibe una nueva interfaz adaptada a dichos datos.

3. Diseño de interfaces adaptativas para mayores

Una vez constatada la necesidad de adaptación de las interfaces para el colectivo de mayores, y estudiado las alternativas, en el marco del desarrollo de aplicaciones de m-health para mayores frágiles, se está diseñado un sistema que permita la adaptación semiautomática de la interfaz de las aplicaciones. Para ello, a partir de una caracterización inicial que permita establecer un perfil para el usuario se llevará a cabo la adaptación inicial de la interfaz. El perfil del usuario se enriquecerá mediante la toma de parámetros de uso de la aplicación por parte del usuario, lo que permitirá la continua adaptación de la interfaz al mismo. El trabajo presentado en este artículo se centra en la creación del perfil inicial a partir de un test de caracterización del usuario. A continuación, se detalla dicho test.

3.1 Selección de parámetros: accesibilidad

Las personas mayores cuentan con limitaciones asociadas a la edad que interfieren en el uso de sistemas interactivos. Entre estos factores se encuentran limitaciones visuales, físicas y cognitivas. Entre las limitaciones visuales se encuentran la reducción de la sensibilidad al contraste, percepción del color y enfoque, lo que en ocasiones puede dificultar la lectura de contenido visual. Respecto a las limitaciones físicas se encuentran la destreza reducida y el menor control de la motricidad fina, dificultando la interacción táctil con objetos pequeños o el uso de periféricos; además, la limitación auditiva les dificulta escuchar sonidos de tonos altos. Además, respecto a su capacidad cognitiva suelen tener reducida la memoria a corto plazo, dificultando la concentración y potenciando la distracción, lo que dificulta completar tareas en línea o la navegación por el sistema. El proyecto WAI-AGE, financiado por la Comisión Europea, investigó las necesidades de los usuarios web de mayor edad y la superposición con la accesibilidad web para personas con discapacidad. Los resultados de la investigación, y el trabajo posterior, determinaron los estándares de accesibilidad internacionales existentes de la Iniciativa de Accesibilidad Web (WAI) del W3C que abordan la mayoría de las necesidades de los usuarios mayores (Initiative, 2021). Así, las pautas sobre accesibilidad de contenido web (WCAG) se han convertido en la base para el desarrollo de aplicaciones accesibles orientadas a personas mayores. Las pautas se basan en cuatro principios de accesibilidad web: perceptible, operable, comprensible y robusto. Nuestro trabajo se ha centrado en los aspectos relativos a información perceptible e interfaz de usuario (tamaño del texto, estilo de texto y diseño de texto, color y contraste, multimedia) y a interfaz de usuario operable (enlaces, navegación y ubicación, uso del ratón o del teclado y tabulación. En este artículo nos centramos en el análisis de modelos de adaptación de interfaz de usuario/experiencia de usuario para personas mayores teniendo en cuenta sus principales limitaciones frente a otros estudios que trabajan con usuarios generales. Las recomendaciones presentadas en las pautas analizadas en el WCAG se han utilizado de base para establecer los mínimos contrastes recomendados para personas mayores, por ejemplo, tienen que tener una ratio de contraste mínimo de 7:1. De la misma forma, se han seleccionado tamaños mínimos de letra recomendados para dicho colectivo, por ejemplo, el tamaño mínimo recomendado en este caso son 18 puntos si no es negrita y 14 puntos si es negrita.

En la Tabla 1 se presentan en concreto los parámetros seleccionados para la adaptación de la interfaz, relacionándolos con la prueba del test inicial en la que se van a determinar y el requisito en el que están basados.

3.2 Diseño de las pruebas

El test inicial consta de cuatro pruebas. Para su diseño se partió de la propuesta de Ji et al. (2017), adaptándola a los parámetros elegidos, lo que supuso la eliminación de alguna prueba y la adición de una de audio, inexistente en dicho trabajo.

A continuación se detallan las pruebas indicando, para cada una de ellas, el parámetro o parámetros que permiten establecer y los valores posibles de los mismos.

Tabla 1: Parámetros para la personalización de la interfaz basados en las pautas de accesibilidad de la WCAG 2.0

Requisitos WCAG 2.0	Parámetros	Prueba
1.4.4 (Resize text)	**Tamaño mínimo de letra**	**Prueba visual**
1.4.1 (Use of Color) 1.4.3 (Contrast Minimum)	**Tamaño mínimo de letra**	**Prueba de contraste**
1.4.3 (Contrast Minimum)	**Tema preferido**	**Prueba de contraste**
1.4.1 (Use of Color)	**Ratio de contraste mínimo**	**Prueba de botones**
1.4.8 (Visual presentation)	**Tamaño de botón mínimo**	**Prueba de botones**
2.4.5 (Multiple Ways)	**Alineamiento preferido**	**Prueba de botones**
1.4.2 (Audio Control)	**Volumen mínimo**	**Prueba de audio**

3.2.1 Prueba visual.

Parámetro: tamaño mínimo de letra que el usuario es capaz de visualizar correctamente.
Valores posibles: 18, 20, 22, 24 o 26.
Prueba: Para la determinación de los valores se usan dos pantallas. En primer lugar (figura 1 izquierda), al usuario le aparece un número de tres cifras acompañado de un teclado numérico y debe introducir uno a uno los números que componen dicho número. En segundo lugar (figura 1derecha), al usuario le aparece una letra "C", rotada aleatoriamente, de modo que, mediante un teclado de cuatro flechas, (1) Izquierda, (2) Arriba, (3) Derecha y (4) Abajo, debe introducir la dirección en la que está abierta la "C".

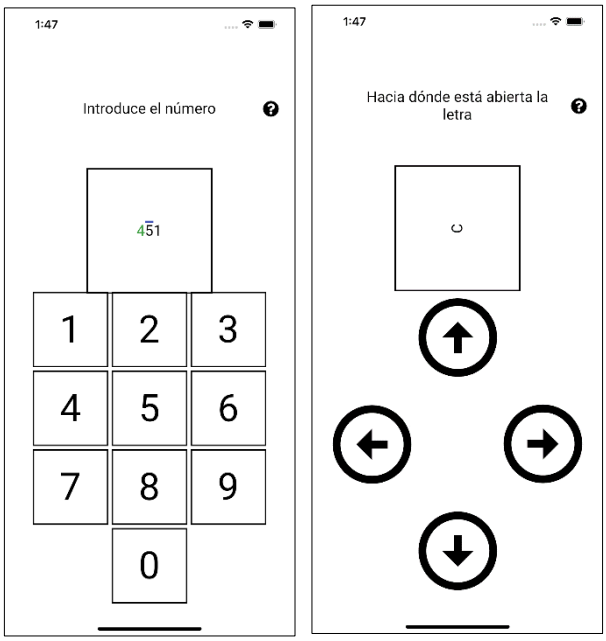


Figura 1: Interfaz de la prueba visual.

3.2.2 Prueba de contraste.

Parámetros: mínimo ratio de contraste y tema preferido.
Valores posibles: Contraste: (1) Máximo - 21:1, (2) Alto - Mayor de 11:1, (3) Medio - Mayor de 9:1 y (4) Bajo - Mayor de 7:1 (requisito AAA de las WCAG 2.0).
Modo: Claro u oscuro.
Prueba: El usuario debe contestar en cuatro pantallas diferentes (figura 2 izquierda) en las que se va variando el contraste y el modo, a la pregunta ¿Puedes leer el texto fácilmente?: (a) sí, (b) me tengo que esforzar y (c) no. El texto que se muestra es una noticia completa de la página web de noticiasfacil.es.

3.2.3 Prueba de botones.

Parámetros: color preferido, tamaño mínimo de botón y posición/alineación de los botones.
Valores posibles: Color: (a) azul, (b) rojo, (c) verde y (d) púrpura. Tamaño mínimo de botón: (1) grande, (2) mediano y (3) pequeño. Posición/alineación botones: izquierda o derecha.
En primer lugar (figura 3derecha) se muestra una pantalla que contiene cuatro botones con tamaño mediano para que el usuario elija entre los colores elegidos como valores. Se recoge no solo el color sino posibles fallos al pulsar. En la segunda pantalla (figura 3izquierda), aparece un minijuego simple con un contador con cuatro bombillas apagadas que el usuario tendrá que ir encendiendo una a una. La posición y el tamaño de los botones va variando y se contabilizan los errores del usuario.

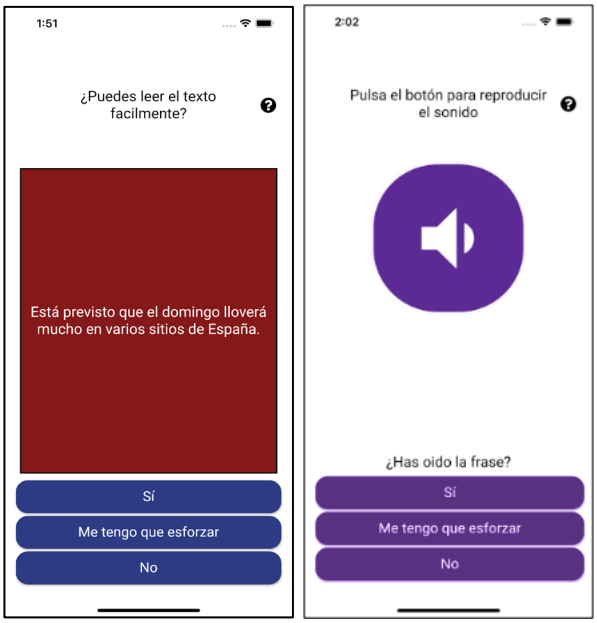


Figura 2: Interfaz de la prueba de contraste (izquierda) Interfaz de la prueba de audio (derecha).

3.2.4 Prueba de audio.

Parámetro: volumen mínimo.
Valores posibles: valor entre 0,5 y 1 (del rango del volumen del dispositivo).
Prueba; El usuario tiene que pulsar un botón y escuchar una frase (figura 2 derecha). Se empieza con un volumen de nivel medio y va cambiando según el usuario conteste a las preguntas (1) ¿Has oído la frase? y (2) ¿Has entendido la frase? El usuario a cada una de las preguntas podrá contestar (a) Sí, (b) No y (c) Con problemas. A partir de las respuestas del usuario se elegirá el volumen mínimo de la aplicación.

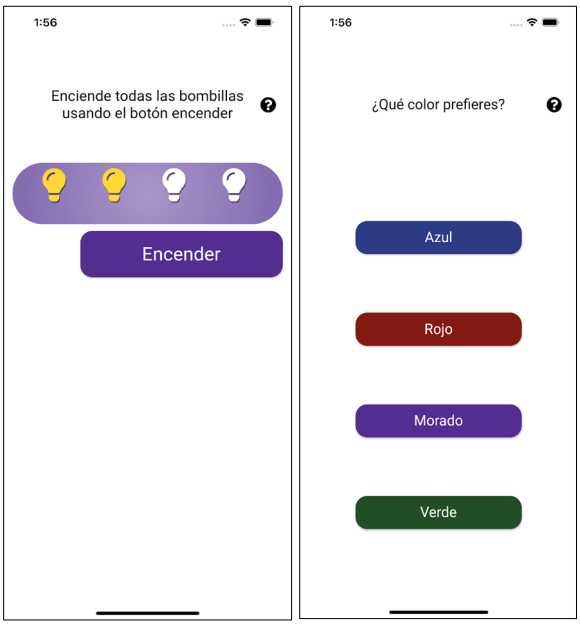


Figura 3: Interfaz de la prueba de botones.

4. Test piloto con usuarios

Se ha llevado a cabo un test piloto con usuarios con objeto de valorar la adecuación del procedimiento y del test planteado.

4.1 Metodología e instrumentos

En el test con usuarios participaron 5 personas con una media de edad de 61 años (50, 52, 63, 67, 73). Los participantes eran 3 hombres y 2 mujeres. La muestra incluyó a gente con menos edad de la media con objeto de tener un mayor de rango de adaptabilidad de la interfaz. En los siguientes estudios se pretende focalizar en la caracterización de usuarios mayores gracias a una colaboración en marcha con centros de día de mayores. El criterio de inclusión para el test fue poseer un nivel tecnológico mínimo de forma que fueran capaces de usar smartphones para llamar y escribir mensajes.
Las pruebas se realizaron de forma presencial, en dos días y de forma individual para respetar todas las medidas sanitarias vigentes. Las sesiones duraron una media de diez minutos. Antes de la sesión se les mandó un mail de invitación y se descargaron la aplicación, de este modo al llegar a la sesión todos los participantes tenían la aplicación en su teléfono móvil. Los usuarios utilizaban dispositivos Smartphone con dimensiones mínimas de 5.5 pulgadas, utilizando una orientación siempre vertical del teléfono. Todos realizaron las pruebas sentados en espacios interiores en un contexto tranquilo y sin ruido.
La sesión se dividió en cuatro partes, en la primera los usuarios rellenaron un test de caracterización con variables demográficas y personales relacionadas con el género, la edad, el hábito o la competencia digital y el estado físico; en la segunda los usuarios llevaron a cabo el test inicial con las cuatro pruebas explicadas anteriormente; en la tercera usaron el móvil para rellenar una encuesta sencilla de cinco preguntas cuyas pantallas se adaptan según los resultados del test inicial; en la parte final realizaron la evaluación de la actividad planteada. El objetivo de esa parte final es evaluar el proceso de realización del test inicial (en cuanto a utilidad, facilidad de uso y satisfacción), así como para tener una primera valoración de la adaptación de la interfaz a la que da lugar.
Para el primer objetivo se han tomado como base los cuestionarios USE (Lund *et al.*, 2001) y SUS (Brooke *et al.*, 1996) (ver Tabla 2).

Tabla 2: Preguntas relativas al proceso de caracterización

Caracterización	
Orden	***Pregunta***
1	El uso del test de adaptación no requiere esfuerzo
2	Encuentro este test innecesariamente complejo
3	Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar el test de adaptación
4	Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar este test de adaptación
5	Imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar este test de forma rápida
6	Estoy satisfecho con el test que me permite adaptar la interfaz
7	Me gustaría que este test de adaptación sirviera para mis otras aplicaciones
8	Recomendaría que otras aplicaciones incorporaran un test de adaptación de la interfaz para poder adaptar colores, botones, etc.
9	El test es divertido o entretenido de usar

Para el segundo objetivo las cinco pantallas de la encuesta se adaptaban a cada usuario usando los valores obtenidos del test inicial. (ver Figura 4).
Las preguntas usadas para la valoración de la adaptación de la interfaz se muestran en la Tabla 3.

4.2 Resultados y reflexiones

A continuación, se muestran los resultados del estudio piloto con usuarios, tanto en lo referente a la realización del test como a la adaptación de la interfaz.

En la Figura 5 se muestran las medias, en escala 7 de Likert, de las contestaciones de los participantes a las preguntas referentes al test de adaptación (Tabla 2). Como se ve estas son positivas, pero hay margen de mejora: la respuesta a la pregunta 4 sobre la necesidad de ayuda por parte de otras personas obtuvo lo valores más altos en las personas de mayor edad. Ello puede ser debido a una menor confianza en las propias habilidades digitales (de hecho, todos fueron capaces de completar el test de forma autónoma) pero muestra la necesidad de reforzar toda la parte de ayuda/explicación del test con especial atención al lenguaje usado que no ha de dar lugar a la aparición de dudas en los usuarios.

Tabla 3: Preguntas relativas a la adaptación de la interfaz.

Adaptación	
Orden	***Pregunta***
1	El tamaño de la letra de la encuesta me parece adecuado a mi capacidad visual
2	El audio que oigo en la encuesta está ajustado a mi capacidad auditiva
3	Los botones eran muy pequeños de acuerdo con mis capacidades
4	Me gustaban los colores
5	El contraste de los colores me permitía ver correctamente la información

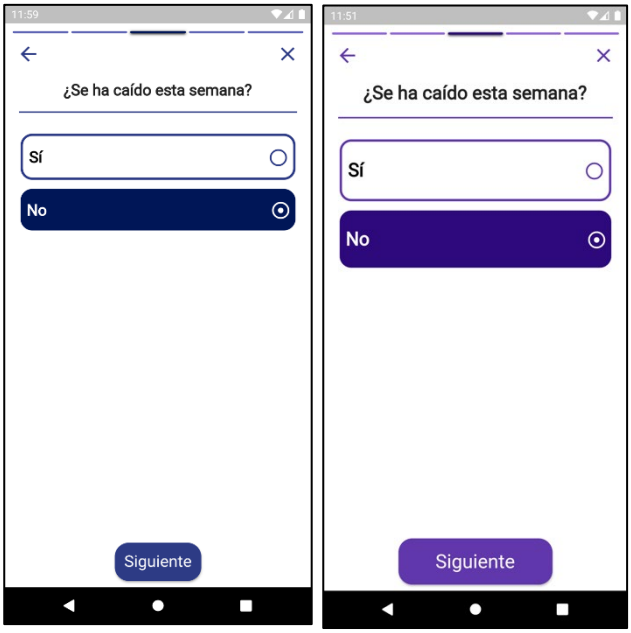


Figura 4: Pantalla de la encuesta antes y después de ser adaptada. La pantalla adaptada muestra una interfaz diferente en relación al tamaño de los botones, colores o el tamaño de la letra.

En la Figura 6 se muestran las respuestas de los usuarios a las preguntas de la Tabla 3. Como se puede observar estas son también positivas. Sin embargo, se observa, especialmente en el caso de los botones, que la adaptación es todavía mejorable. De hecho, se ha observado durante el test, especialmente con los usuarios más mayores que una cosa es el tamaño/volumen al que la persona puede oir/leer/pulsar y otro aquel en el que le resulta cómodo hacerlo sobre todo de forma continuada. Es un resultado interesante a tener en cuenta en la posterior adaptación de la interfaz a partir de los resultados obtenidos.

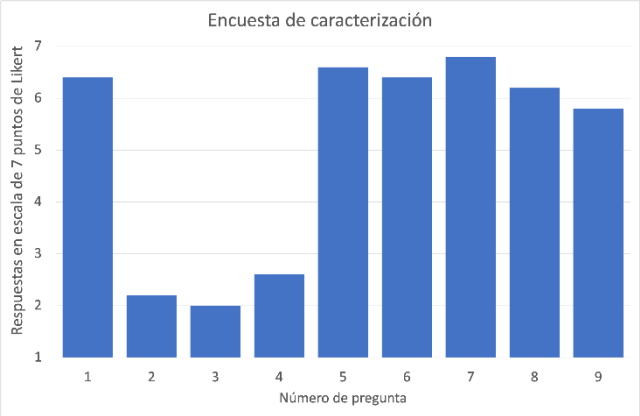


Figura 5: Respuestas a la encuesta de caracterización.

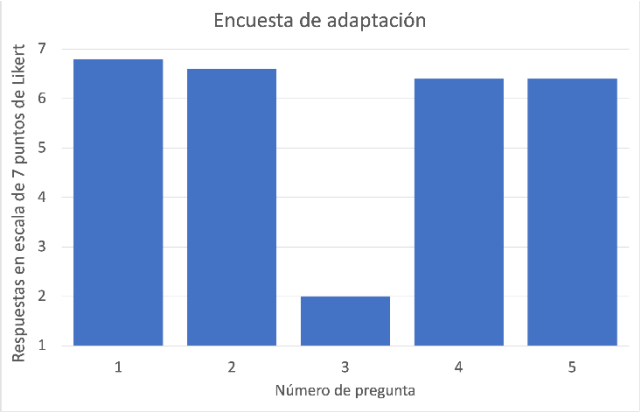


Figura 6: Respuestas a la encuesta de adaptación.

Más allá de los resultados satisfactorios de las pruebas, somos conscientes de las limitaciones del estudio en cuanto al número y características de los usuarios que han participado, y los tomamos con un respaldo para continuar con la línea. Se hace necesaria una evaluación con más usuarios, especialmente de mayor edad, y focalizada no tanto en el test inicial sino en los propios resultados de la adaptación.

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

En este artículo se propone un sistema para la personalización de interfaces móviles para mayores basado en la realización de una serie de test sencillos que permiten caracterizar a los usuarios y llevar a cabo una adaptación automática de la interfaz. Para la selección de los parámetros a adaptar se ha partido de las recomendaciones de la WCAG 2.0. Se ha llevado a cabo un test piloto con usuarios para valorar el test de personalización con resultados satisfactorios.

Se trata de un primer paso dentro de un enfoque semiautomático en el que el propio uso de la aplicación llevará consigo el refinamiento de la personalización de la interfaz. Este tipo de personalizaciones creemos son fundamentales para incrementar la aceptación, en los mayores, de aplicaciones m-health que pueden presentar grandes beneficios para este colectivo y jugar un papel fundamental en el envejecimiento activo de los mismos. La OMS define el envejecimiento activo como "el proceso por el que se optimizan las oportunidades de bienestar físico, social y mental durante toda la vida, con el objetivo de ampliar la esperanza de vida saludable, la productividad y la calidad de vida en la vejez". Nuestro trabajo actual y futuro se centra, de hecho, en el desarrollo de un sistema para el seguimiento domiciliario, por parte de sanitarios, de mayores frágiles y para el fomento de hábitos saludables en ellos a través de recomendaciones personalizadas. La encuesta usada por los usuarios en el piloto es precisamente parte de esta aplicación. Como trabajos futuros se plantea además que la adaptación se realice también adecuando la modalidad de interacción (entre otros táctil, voz y gestos) de acuerdo a los resultados del test de caracterización del usuario, potenciando de esta forma la mejor accesibilidad en el proceso interactivo. El objetivo último del trabajo es contribuir a que dichos mayores frágiles mantengan el mayor tiempo posible su autonomía e independencia de otras personas.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i RTI2018-096986-BC31, financiado por MCIN/ AEI/ 10.13039/ 501100011033/ y "FEDER Una manera de hacer Europa", y por el Gobierno de Aragón (Grupo T60_20R).

Referencias

Arazy, O., Nov, O., & Kumar, N. (2015). Personalityzation: UI Personalization, Theoretical Grounding in HCI and Design Research. AIS Transactions on Human-Computer Interaction, 7(2), 43–69. https://doi.org/10.17705/1thci.00065.

Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry, 189(194), 4-7.

Costa, M. (2013). Guia de recomendaciones para el desarrollo de videojuegos e interfaces para mayores. Gestión de contenidos del IBV. Recuperado 27 de octubre de 2021, de https://gestion.ibv.org/gestoribv/index.php?option=com_docman&view=download&alias=482-guia-senior-play&category_slug=productos&Itemid=142.

Feit, A. M., Vordemann, L., Park, S., Bérubé, C., & Hilliges, O. (2020, June). Detecting Relevance during Decision-Making from Eye Movements for UI Adaptation. In ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications (pp. 1-11).

Gonzales, E., Matz-Costa, C., & Morrow-Howell, N. (2015). Increasing Opportunities for the Productive Engagement of Older Adults: A Response to Population Aging. The Gerontologist, 55(2), 252–261. https://doi.org/10.1093/geront/gnu176.

Hitz, M., Kessel, T., & Pfisterer, D. (2017, February). Automatic UI Generation for Aggregated Linked Data Applications by Using Sharable Application Ontologies. In International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (pp. 328-353). Springer, Cham.

Hong, S. G., Trimi, S., & Kim, D. W. (2016). Smartphone use and internet literacy of senior citizens. Journal of Assistive Technologies, 10(1), 27–38. https://doi.org/10.1108/jat-03-2015-0006.

Initiative, W. W. A. (2021, 7 octubre). Developing Websites for Older People: How Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0 Applies. Web Accessibility Initiative (WAI). Recuperado 27 de octubre de 2021, de https://www.w3.org/WAI/older-users/developing/.

Ji, H., Yun, Y., Lee, S., Kim, K., & Lim, H. (2017). An adaptable UI/UX considering user's cognitive and behavior information in distributed environment. Cluster Computing, 21(1), 1045–1058. https://doi.org/10.1007/s10586-017-0999-9.

Khriyenko, O. (2015). Semantic UI: Automated Creation of Semantically Personalized User Interface. GSTF Journal on Computing (JoC), 4(3). https://doi.org/10.7603/s40601-014-0016-6.

Laine, M., Zhang, Y., Santala, S., Jokinen, J. P., & Oulasvirta, A. (2021). Responsive and Personalized Web Layouts with Integer Programming. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 5(EICS), (pp.1-23)

Lim, H., Hooshyar, D., Ji, H., Lee, S., & Jo, J. (2018). SmartSenior: Automatic Content Personalization Through Semi-supervised Learning. Wireless Personal Communications, 105(2), 461–473. https://doi.org/10.1007/s11277-018-5947-3.

Lund, A. M. (2001). Measuring usability with the use questionnaire12. Usability interface, 8(2), 3-6.

Park, H. S., Kim, H. W., & Park, C. J. (2016, July). Dynamic-interaction UI/UX design for the AREIS. In International Conference on Human-Computer Interaction (pp. 412-418). Springer, Cham.

Rendely, M. S., Nyquist, T., Boonsiri, T., Bansal, T., Crouse, M., Gorski, F., ... & Gupta, A. (2021). Automatic Personalization of User Interfaces based on User Interaction Analytics. Technical Disclosure Commons, https://www.tdcommons.org/dpubs_series/4533

Yigitbas, E., & Sauer, S. (2014). Flexible & Adaptive UIs for Self-Service Systems. In Mensch & Computer 2014–Workshopband (pp. 167-176). De Gruyter Oldenbourg.

Yigitbas, E., Sauer, S., & Engels, G. (2017, June). Adapt-UI: an IDE supporting model-driven development of self-adaptive UIs. In Proceedings of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (pp. 99-104).

Zhang, L., Qu, Q. X., Chao, W. Y., & Duffy, V. G. (2017, July). Object-oriented user interface customization: Reduce complexity and improve usability and adaptation. In International Conference on Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management (pp. 404-417). Springer, Cham.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Hacia una propuesta de evaluación heurística de experiencias de juego pervasivas

Towards a proposal for the heuristic evaluation of pervasive gaming experiences

Nuria Medina-Medina
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos
Universidad de Granada
Granada, España
nmedina@ugr.es

Jesús Gallardo
Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas
Universidad de Zaragoza
Teruel, España
jesus.gallardo@unizar.es

Eva Cerezo
Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas
Universidad de Zaragoza
Zaragoza, España
ecerezo@unizar.es

Francisco Luis Gutiérrez
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos
Universidad de Granada
Granada, España
fgutierr@ugr.es

Jeferson Arango-López
Departamento de Sistemas e Informática
Universidad de Caldas
Manizales, Colombia
jeferson.arango@ucaldas.edu.co

Recibido: 28.10.2021 | Aceptado: 16.12.2021
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.43

Palabras Clave

Juegos pervasivos
Evaluación
Heurísticas

Resumen

Los juegos pervasivos son un tipo de experiencias de juego que ya no se limitan al dominio virtual, sino que integran aspectos físicos y sociales del mundo real. Dichos juegos ofrecen al jugador una experiencia enriquecida, expandiendo el mundo del juego de acuerdo con importantes aspectos como son: el contexto en el que se juega, la integración con actividades de la vida diaria o con las personas que están observándolo. Si bien comparten propiedades con otros tipos de juegos, los juegos pervasivos poseen unas características específicas que hacen necesario definir una forma diferente de evaluar su calidad. Este trabajo tiene como objetivo analizar y proponer los elementos diferenciadores de este tipo de experiencias, desde el punto de vista de cada una de las dimensiones que caracterizan la pervasividad en juegos (espacial, temporal y social). Para completar el análisis, se ha realizado un estudio sobre experiencias de juego reales donde se han estudiado los niveles de calidad, desde la pervasividad, que poseen.

Keywords

Pervasive games
Evaluation
Heuristics

Abstract

Pervasive games are a type of gaming experiences that are no longer limited to the virtual domain, but instead integrate physical and social aspects of the real world. These games offer to the player an enriched experience, expanding the game world according to important aspects such as: the context in which the game is played, the integration with activities of daily life or with the people who are observing the game. Although they share

properties with other types of games, pervasive games have specific features that make it necessary to define a different way of evaluating their quality.

This work aims to analyze and propose which are the differentiating elements of this type of experiences, from the point of view of each of the three dimensions that characterize pervasiveness in games (spatial, temporal and social). To complete the analysis, a study has been carried out on several real game experiences where the quality levels they possess have been studied from the point of view of pervasiveness.

1. Introducción

Hace ya mucho tiempo que los juegos aparecieron en la vida de las personas. Inicialmente, los juegos solían implicar la manipulación de elementos físicos. Más adelante, los videojuegos supusieron una gran revolución en este campo al incorporar elementos virtuales al juego y dispositivos de interacción específicos, y atrajeron a un gran número de jugadores nuevos. Pero el propio concepto de videojuego ha ido evolucionando a lo largo de los años, adaptándose a los avances tecnológicos de cada momento. En ocasiones, dichos avances han provocado cambios radicales en el concepto de juego, y la aparición de tipos nuevos de videojuegos. Este es el caso de los llamados juegos pervasivos. La definición más popular de juegos pervasivos (Montola, 2005) expone que un juego pervasivo es aquel que rompe los límites tradicionales del juego, definidos aquellos en términos de dimensiones espaciales, temporales y sociales. Este tipo de juegos suelen incluir el uso de tecnologías más o menos novedosas, como la geolocalización o la realidad aumentada.

Ante la aparición de este nuevo tipo de juegos, surge la necesidad de definir una manera adecuada de evaluarlos. Esta evaluación debe validar tanto propiedades que están presentes de una manera semejante en cualquier tipo de juego, como la motivación o la emoción; otras que también son propiedades habituales en videojuegos pero que aquí toman un significado distinto, como la inmersión; y otras que son nuevas en este tipo de juegos, como la ausencia de límites. Teniendo todo esto en cuenta, en este trabajo hemos pretendido sentar las bases para la futura propuesta de un marco de evaluación de juegos pervasivos. De esta forma, hemos identificado a qué niveles habría que abordar una evaluación de este tipo, qué propiedades deberían considerarse y cómo habría que plantear dicha evaluación.

Basado en lo anterior, en una iteración posterior se podrá generar un conjunto completo de heurísticas que permita la evaluación de los juegos pervasivos teniendo en cuenta todos los aspectos que se han identificado como relevantes para este fin. Para justificar y probar la propuesta se ha realizado un análisis de varias experiencias de juego con el fin de detectar las propiedades propuestas y cómo han afectado al diseño y desarrollo de cada una de las experiencias, siempre centrándonos en el punto de vista de la inclusión de la pervasividad como un elemento de diseño que mejora la experiencia de juego percibida por los jugadores.
El resto del artículo se estructura como sigue: la sección 2 profundiza en el concepto de juego pervasivo y en cómo abordar su evaluación. La sección 3 presenta un estado del arte sobre heurísticas para evaluación de juegos. La sección 4 analiza las dimensiones de evaluación que debe integrar una heurística para juegos pervasivos. La sección 5 presenta el estudio de las experiencias de juego realizado y finalmente, la sección 6 expone las conclusiones y la continuación natural de esta propuesta.

2. Juegos pervasivos y su evaluación

Como demuestran estudios recientes (Kasapakis & Gavalas, 2014), el crecimiento del campo de los juegos pervasivos viene siendo fuerte en los últimos años. En (Arango et al., 2017a) se puede encontrar una revisión con una serie de propuestas de experiencias de juego pervasivas aplicadas a sectores como salud, educación, turismo, entretenimiento y otros. Una posible definición de los juegos pervasivos desde el punto de vista de la experiencia de usuario es la siguiente: "Un juego pervasivo ofrece al jugador una experiencia de juego enriquecida mediante una evolución de las dinámicas del juego, expandiendo el espacio de juego de acuerdo al contexto en que se juega. De esta forma, se rompen los límites del juego, haciendo que la realidad sea parte del mismo, y los elementos presentes en esa realidad pueden influir en el juego" (Arango et al., 2017b). En ese mismo trabajo se han identificado algunos de los conceptos que suelen estar presentes en este tipo de juegos, como son: el uso de dispositivos móviles, el contexto pervasivo, la interacción social, el tiempo, el espacio, la multirrealidad y el uso de la *crossmedia*. Todos estos componentes se integran mediante la denominada narrativa pervasiva.

Como ya se ha mencionado, normalmente son tres las dimensiones que pueden sobrepasarse cuando se desarrolla un juego pervasivo: la temporal, la espacial y la social. La pervasividad temporal normalmente se consigue cuando el juego no se restringe a sesiones concretas en el tiempo. La pervasividad espacial implica que el juego no tiene que ser jugado en un lugar concreto, provocando una mezcla entre el

mundo real y el virtual. Y la pervasividad social tiene lugar cuando personas que no son los jugadores pueden tener una influencia directa en el desarrollo del juego. Una cuarta pervasividad que se podría considerar es la de las dinámicas, que ocurriría cuando las reglas del juego no son fijas, sino que pueden cambiar durante el transcurso de la experiencia de juego por alguna causa. Todas estas dimensiones de pervasividad pueden estar presentes en el juego pervasivo en cierta medida, siendo necesario saber cómo se ha llegado a considerar cada tipo de pervasividad para caracterizar el juego.

3. Evaluación heurística de videojuegos

La evaluación heurística es un mecanismo útil para la evaluación de la usabilidad del software, y se utiliza con mucha frecuencia en procesos de desarrollo centrado en el usuario. Como productos software que son los videojuegos, ellos también han sido evaluados utilizando este tipo de enfoques. Así, a continuación mencionaremos algunos ejemplos de conjuntos de heurísticas, que se han propuesto para la evaluación de videojuegos.

Un primer ejemplo a destacar es el conjunto de heurísticas de la jugabilidad PLAY (Desurvire & Wiber, 2009), que vienen de un trabajo anterior denominado HEP (Desurvire, Jegers & Wiberg, 2007). Estas heurísticas son el resultado de un trabajo llevado a cabo por los autores junto con desarrolladores de videojuegos de diferentes compañías. El conjunto PLAY de heurísticas está pensado para tres géneros concretos de videojuegos, como son los juegos de estrategia en tiempo real, los juegos de acción y aventura y los juegos de disparos en primera persona. Concretando, el conjunto propuesto de heurísticas agrupa estas en tres categorías: (i) juego, (ii) conexión emocional/entretenimiento/humor/ inmersión y (iii) usabilidad y mecánicas de juego. Estas categorías tienen cada una entre cuatro y nueve heurísticas, haciendo un total de 19. Algunas de estas heurísticas realmente tienen diferentes enunciados a ser evaluados, generando hasta 48 elementos de evaluación.

Otra propuesta interesante en este sentido es la desarrollada por (Pinelle, Wong & Stach, 2008), quienes elaboraron una lista de diez heurísticas para ayudar a identificar problemas de usabilidad en videojuegos. Las heurísticas pueden aplicarse en prototipos tempranos o en otros ya funcionales. Estas heurísticas fueron elaboradas a partir de revisiones de videojuegos de seis géneros: juegos de rol, de deportes o carreras, de disparos en primera persona, de acción, de estrategia y de aventura. A partir de esas revisiones, los autores elaboraron una lista de problemas comunes, y esa lista dio lugar a las heurísticas, que abarcan temas como dar respuestas consistentes a los usuarios, la personalización, la facilidad en los controles, la ayuda o instrucciones, etc.

Como tercer ejemplo de trabajo basado en heurísticas para la evaluación de videojuegos vamos a mencionar el conjunto de heurísticas para la evaluación de la jugabilidad en experiencias de juego de González-Sánchez y Gutiérrez-Vela (Sánchez, & Gutiérrez, 2014). Este trabajo pone el foco sobre el concepto de jugabilidad como medida especifica de usabilidad en juegos, definiendo seis facetas de la jugabilidad: intrínsica, mecánica, interactiva, artística, personal y social/interpersonal. Cada faceta ofrece la posibilidad de analizar aspectos específicos sobre la calidad del sistema de juego. Otro concepto que introduce este modelo es el de propiedades y atributos de la jugabilidad. Cada propiedad indica qué características se utilizan como indicadores de la calidad de una experiencia de juego. En concreto, las propiedades son: aprendizaje, efectividad, inmersión, motivación, emoción y socialización. Estas propiedades se miden usando un conjunto de atributos que se evalúa de forma diferente para cada faceta de la jugabilidad. Para ello, cada heurística definida aporta un valor a una o varias propiedades de una faceta concreta. La versión completa del modelo incluye entre 15 y 33 heurísticas para cada faceta, haciendo un total de 144 heurísticas.

4. Heurísticas para medir la pervasividad de un juego: dimensiones a considerar

El análisis de la propiedad pervasiva de una experiencia de juego debe ser realizado desde varias perspectivas, ya que la pervasividad implica que el juego se extiende y ocupa diferentes espacios y tiempos. Por lo tanto, habrá que determinar inicialmente dichas perspectivas, lo que nos proporcionará las dimensiones en las que la evaluación heurística debe moverse. Cada una de estas dimensiones servirá para definir el fenómeno de la pervasividad y cuantificar su magnitud en el juego.

De acuerdo al estado del arte, hemos considerado tres dimensiones de especial trascendencia a la hora de caracterizar un juego pervasivo: la dimensión espacial, la dimensión social y la dimensión temporal. La heurística de evaluación de la pervasividad debe analizar el juego considerando atributos bajo estos tres enfoques. La dimensión espacial se refiere a los lugares, virtuales o reales, destinados al desarrollo de las acciones del juego. La dimensión social se refiere a las personas que forman parte del juego, de forma explícita o implícita. La dimensión temporal se refiere a la propiedad física que permite ordenar los sucesos que tienen lugar en el juego y especificar de forma más o menos flexible la duración de los mismos.

En las siguientes subsecciones se estudian estas tres dimensiones propuestas, las cuales deben ser atendidas a la hora de analizar la pervasividad de un juego, y se establece qué aspectos deberían ser observados en cada una de ellas, así como su repercusión en la calidad general de la experiencia de juego. Estos aspectos son el punto de partida de los atributos que tendrán que ser posteriormente analizados en la heurística de evaluación, mediante un conjunto de preguntas que cubran sin ambigüedad tales cuestiones. Por lo tanto, esta propuesta sienta las bases para definir una heurística de evaluación para cuantificar/cualificar la pervasividad de un juego, permitiendo la flexibilidad suficiente como para establecer diferentes conjuntos de preguntas que permitan conseguir dicho objetivo, siempre y cuando integren de forma correcta todos los atributos identificados en cada dimensión.

4.1 Dimensión espacial

La dimensión espacial hace referencia al medio en el que se desarrolla el juego y puede tratarse de un medio físico, un medio virtual o la combinación de ambos. Los juegos pervasivos incluyen retos dentro del mundo del juego (entorno artificial inspirado en la realidad o fantástico) que, como en cualquier videojuego, pueden requerir usar objetos representados dentro de dicho mundo; pero también pueden integrar retos que involucran espacios y objetos existentes en el contexto físico del jugador. Esta dimensión tratará por tanto de definir la porción del universo real y/o artificial donde transcurren las actividades del videojuego así como la relación existente entre ambos mundos. Dado el carácter pervasivo del juego, los escenarios donde éste acontece deben tener mayor amplitud y multimodalidad que en un juego no pervasivo para crear la sensación de que el juego se propaga a lo largo de distintos canales y persiste a través de ellos.

En la dimensión espacial será necesario observar si existe un espacio de juego bien definido o por el contrario éste es difuso, ya que un juego será más pervasivo en la medida que sea más difícil establecer los límites del espacio del juego. Otro aspecto a considerar será si el juego incluye retos donde se deba hacer uso de objetos existentes en el contexto físico del jugador o que impliquen recorrer un escenario del mundo físico del mismo. Este tipo de retos confirman el carácter pervasivo del juego, el cual se está expandiendo más allá del mundo virtual del juego para alcanzar el mundo real del jugador. En este caso, el juego debe incluir mecanismos para identificar los objetos y escenarios disponibles en el contexto físico del jugador y ser capaz de monitorizar la utilización de estos elementos del mundo real para satisfacer los retos del juego.

En ocasiones también podría ocurrir que dentro del mundo virtual del juego se representasen objetos y lugares presentes en el mundo real del jugador. Esta capacidad pervasiva, al igual que las anteriores, favorece la sensación de inmersión del jugador. La inmersión implica que el jugador se siente parte del juego y que, de alguna manera, el juego envuelve al jugador y lo transporta mentalmente a una aventura donde nada más existe. Implicar el contexto real del jugador significa que esta envoltura traspasa la dimensión espacial del juego y existe en el mundo físico del jugador. Junto a la inmersión, otra característica derivada de la pervasividad es la mayor flexibilidad que ofrece el juego, ya que los contenidos se despliegan en distintos espacios y sin límites perfectamente definidos, lo que implica que algunos espacios del mundo real del jugador podrían ser convertidos en escenarios del juego no predefinidos.

4.2 Dimensión social

La dimensión social se ocupa del conjunto de personas involucradas en el juego. La interacción del jugador con otras personas durante el juego permitirá realizar acciones colectivas, establecer relaciones y provocar una influencia recíproca entre los participantes. En el caso de los juegos pervasivos, la dimensión social también se expande, integrando a personas que no tienen por qué ser jugadores pero que aun así desempeñan un papel (más o menos importante) dentro de la dinámica del juego. Por ejemplo, el juego podría proponer retos que requieren de la unión de un grupo de personas para resolverse, plantear interacciones espontáneas, etc. y habrá participantes jugadores y no jugadores (estos últimos no tienen por qué tener siquiera conciencia acerca de la existencia del juego). La dimensión social se encargará de caracterizar las relaciones interpersonales necesarias para progresar en el juego.

A la hora de analizar la dimensión social de un videojuego pervasivo habrá que considerar si el juego predefine o no todos los jugadores, ya que la ausencia de límites propia de la pervasividad podría manifestarse en esta dimensión al definir un conjunto de jugadores abierto. De este modo, el juego podría admitir la inclusión de nuevos jugadores, no previstos, una vez que el juego está en marcha. Además, el juego podría fomentar la interacción del jugador con personas de su entorno que no son jugadores pero que formarían parte de la interacción social del jugador durante la experiencia de juego.

Otra forma de romper los límites de la dimensión social y promover la elasticidad propia de la pervasividad es que durante el juego se permitan y soporten las interacciones espontáneas del jugador con otros jugadores o personas de su contexto virtual o real. Estos tipos de interacciones más

abiertas permitirán enriquecer el desempeño de los retos grupales, ya sean competitivos o colaborativos. Para realizar estos retos colectivos, el juego debe implementar un conjunto de mecanismos que permitan registrar las interacciones, facilitar medios de comunicación síncronos y asíncronos, detectar las interacciones espontáneas, etc.

Además, también se podrían incluir dentro del mundo del juego, jugadores virtuales que representen personas del contexto social del jugador (de forma análoga a como se puede hacer con los objetos y lugares físicos en la dimensión espacial). Esta actuación también permitiría incrementar la inmersión del jugador dentro del juego, a la vez que se personaliza su experiencia pervasiva.

4.3 Dimensión temporal

Finalmente, la dimensión temporal se organiza en torno a la magnitud del tiempo que permite representar la sucesión de estados por los que transcurre la experiencia de juego. En un juego pervasivo el concepto de tiempo se difumina porque con frecuencia no se podrán establecer los tiempos de juego con precisión. El juego sigue activo aunque no se esté jugando porque se ha dilatado el límite temporal del juego debido a su carácter pervasivo. De este modo, la duración de los retos del juego se difumina y los contextos temporales se amplían durante la experiencia de juego. La dimensión temporal por tanto tendrá que hacer uso de un concepto más flexible de tiempo a la hora de caracterizar la pervasividad del juego.

Cuando caracterizamos un juego pervasivo, a menudo, no es posible o no es natural hablar de sesiones de juego. Esto ocurre porque el juego persiste entre estos periodos continuados de juego y en realidad nunca deja de estar activo. Esto puede ocurrir porque el juego plantee retos que no tienen límite de tiempo o porque, aunque el jugador no esté jugando, el juego sigue progresando y registrando determinada información acerca del estado del jugador o su actividad, como puede ser los objetos que utiliza, los desplazamientos que realiza, las personas con las que interacciona, etc. De alguna forma, la dimensión temporal permanece activa aunque las otras dos dimensiones no lo estén de forma explícita. Para que esto suceda, lógicamente, los mundos del juego no pueden ser efímeros, sino que por el contrario deben persistir a lo largo del tiempo. Además, el juego debe proporcionar mecanismos de comunicación asíncrona entre los jugadores, para que la dimensión social pueda estar activa aunque el jugador no esté jugando en ese momento. Esta capacidad del juego de ser jugado en cualquier momento, incluso cuando no se está jugando, redunda positivamente en la flexibilidad derivada de la pervasividad.

Además de extender los límites temporales más allá de las sesiones de juego, el juego pervasivo podría difuminar estos límites al introducir incertidumbre en cuanto al momento en el que el juego debe ser jugado. Esto ocurriría, por ejemplo, si el juego puede requerir que el jugador realice determinadas acciones o satisfaga ciertos retos aunque no se encuentre jugando, sin estar establecidos horarios fijos para ello.

Con el ánimo de categorizar todas estas variantes de la dimensión temporal de la pervasividad, se presentan tres tipos generales expresados en (Arango et al., 2021):

- Síncrona: El jugador debe estar conectado al juego para que este pueda ser ejecutado, cuando el jugador se desconecta, el juego finaliza.
- Asíncrona: El juego tiene la capacidad de continuar su ejecución, incluso aunque el jugador se encuentre desconectado. El mundo del juego sigue su curso, de tal forma que cuando el jugador se conecte nuevamente podrá encontrar un nuevo estado del juego con respecto a cómo se encontraba antes de desconectarse.
- Por eventos: esta expansión se da cuando se tiene la situación en la que el jugador recibe notificaciones por parte del juego cuando ocurre un evento, de tal forma que éste sea consciente de lo que está sucediendo en el mundo del juego y pueda realizar acciones en el momento indicado.

Es por ello que esta dimensión está también relacionada con otras dimensiones colaterales como pueden ser la privacidad y la seguridad, que deberían ser analizadas en relación a esta.

A modo de resumen, en la figura 1 se muestran las dimensiones analizadas (espacial, social y temporal) y las propiedades más importantes detectadas en cada dimensión (espacio de juego abierto, inclusión del contexto espacial, conjunto de jugadores abierto, etc.) que se considera deben ser utilizadas durante el estudio de los grados de pervasividad y de la efectividad alcanzada en una experiencia de juego pervasiva.

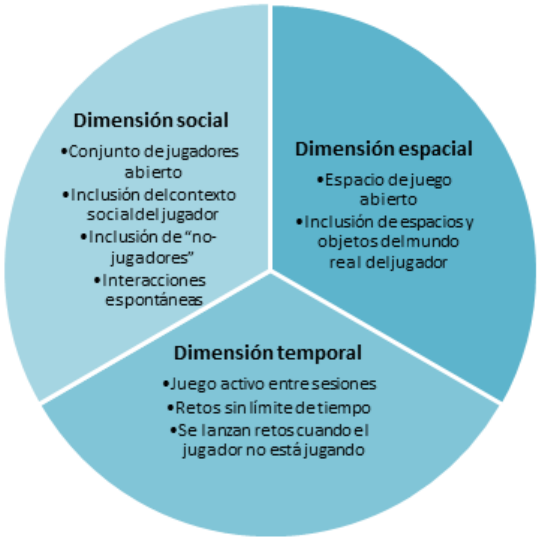


Figura 1: Dimensiones para caracterizar la pervasividad de un videojuego

5. Estudio de casos de uso

Con el propósito de evaluar y utilizar la propuesta y de ayudar a comprender las tres dimensiones identificadas para la pervasividad y sus atributos, en esta sección se analizan distintas experiencias de juego desde el enfoque de su naturaleza pervasiva. Hemos comenzado por la evaluación de uno de los juegos "clásicos" y que se suele poner como referente en el campo de los juegos pervasivos como es el videojuego Pokemon GO y su ecosistema de juego asociado y seguimos con tres experiencias de juego (El viaje fantástico, EncuéntraTe y Discovering-EAM) propuestos por los autores del trabajo y que poseen diferentes niveles y formas de inclusión de la pervasividad como mecanismo del incremento de la calidad de la experiencia proporcionada por los juegos.

5.1 Pokémon GO

Pokémon GO (figuras 2 y 3) es un videojuego de realidad aumentada basado en localización, co-creado por Niantic y Game Freak para dispositivos smartphone que fue publicado en 2016. Posteriormente, en 2018, tras su revolucionario éxito, Nintendo y The Pokémon Company publicaron otros juegos de la franquicia para Nintendo Switch. Pokémon Go tiene como finalidad atrapar todos los Pokémon posibles. Para ello, el juego implementa un sistema de geolocalización que hace uso del GPS del teléfono móvil para detectar los Pokémon, Poképaradas y Gimnasios que se han posicionado previamente alrededor del mundo.

Pokémon Go insta a los jugadores a que se movilicen y visiten innumerables localizaciones del mundo real para completar su colección de Pokémons. Por lo tanto, la dimensión pervasiva que fundamentalmente se explota en este juego es la dimensión espacial. Concretamente, la tecnología de realidad aumentada se utiliza en el juego para generar una estrecha relación entre el mundo real y el mundo virtual, de modo que el usuario necesita realizar acciones en el mundo real para interactuar con la historia lúdica inducida por el juego. De esta forma, los límites del espacio de juego se difuminan, y el jugador transita del mundo real al mundo virtual y viceversa casi sin darse cuenta.



Figura 2: Pokémon GO

Consecuentemente, los retos planteados por el juego son híbridos en el sentido de que involucran localizaciones del mundo físico y objetos virtuales (Pokémons que aparecen en los escenarios con realidad aumentada). Esta condición multi-modal favorece la inmersión del jugador, produciendo en muchos casos simpáticas anécdotas que demuestran la gran concentración de los jugadores mientras se entregan a la "ardua" tarea de buscar los Pokémons. En este sentido, incluso cuestiones de seguridad personal fueron discutidas en distintos foros, con el objeto de analizar los posibles peligros de una excesiva inmersión en localizaciones con tráfico, una orografía complicada u otras características que puedan poner en peligro la integridad física de la persona.

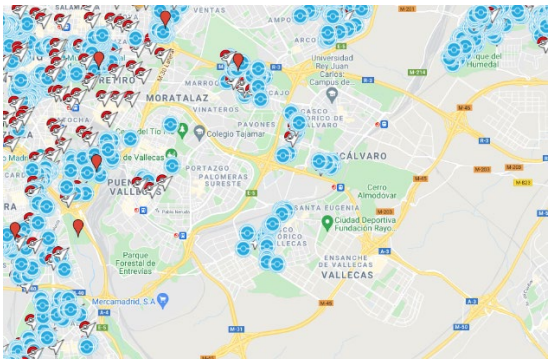


*Figura 3: Localización de **gimnasios** y **poképaradas** de una localización concreta de la ciudad de Madrid*

El juego también aborda, aunque de manera más co-lateral, la dimensión social de la pervasividad, ya que mediante el concepto de los Gimnasios, los jugadores compiten entre sí, sin conocer previamente quiénes serán sus competidores

(podrían ser cualquiera). Para ello, existen Gimnasios que los jugadores pueden conquistar, no de forma individual sino en equipos: Team Instinct, Valor y Mystic. La dinámica consiste en que cada equipo utilice los gimnasios de su equipo para entrenar y compita contra los de los otros equipos. A la hora de elegir un equipo es importante la comunidad a la que físicamente se pertenece (figura 3) ya que va a depender mucho del número de gimnasios existentes en la zona por la que el jugador se mueve habitualmente. Cuando un jugador gana una batalla en un Gimnasio, coloca un Pokémon que actuará de guardián del Gimnasio y el lugar se tiñe del color del equipo: amarillo para el equipo Instinct, rojo para el equipo Valor y azul para el equipo Mystic. Por la forma en que se crean los equipos, podemos decir que son equipos ad-hoc, donde no hay nada predefinido y se pone de manifiesto la ausencia de límites e incertidumbre tan característica de la pervasividad, así como la alta dependencia sobre aspectos externos al juego.

Lógicamente, el juego también fomenta la interacción del jugador con personas de su entorno que no son jugadores, principalmente con personas del escenario físico a las que el jugador puede preguntar por una ubicación determinada en su camino hacia el siguiente Pokémon o incluso si han visto a otros jugadores en los alrededores. Finalmente, tanto los Gimnasios como las Poképaradas (puntos donde se obsequian ítems de utilidad para el jugador), tienen el objetivo social de hacer que numerosos jugadores converjan en ese punto y se encuentren en el mundo físico. Por lo tanto, en la dimensión social de la pervasividad, Pokémon GO propicia relaciones sociales espontáneas que enriquecen la experiencia de juego frente a la que puede promover un videojuego no pervasivo.

En cuanto a la dimensión temporal, es evidente que en Pokémon GO no tiene sentido hablar de sesión o sesiones de juego. El juego puede estar activo en todo momento, ya que en la ubicación más inesperada puede aparecer uno de esos Pokémons que nos falta. Esto genera la ilusión en el jugador de que el juego es continuo, de que la historia del juego forma parte de su vida real y de que el juego es más flexible que otro tipo de juegos ya que no le marca tiempos ni impone límites temporales para la consecución de los retos. Aun así, el jugador no pierde el control y puede decidir cuándo quiere atrapar Pokémons y cuándo dar simplemente un paseo por la ciudad, cuándo comparte su ubicación por GPS y cuándo decide primar su privacidad.

5.2 El viaje Fantástico

El viaje fantástico (figuras 4 a 8) es un juego educativo diseñado inicialmente para niños con TDAH desarrollado por el Grupo AffectiveLab de la Universidad de Zaragoza con el apoyo de educadores y terapeutas (Gallardo et al., 2018) con el objeto de trabajar la atención, la planificación y las habilidades sociales. El juego fue diseñado para ser jugado en el Espacio Interactivo JUGUEMOS (Bonillo, Marco, & Cerezo, 2019), un espacio interior de unos 70 m^2 situado en el Centro de Arte y Tecnología de Zaragoza que incluía un sistema de localización en tiempo real, dos Kinects, micrófonos, proyectores y un conjunto de cuatro dispositivos de mesas tangibles NikVision (Marco, Baldassarri & Cerezo, 2013). El espacio ha funcionado durante años como un laboratorio para el prototipado de juegos interactivos multimodales basados en interacción gestual, tangible y por voz y ha sido el escenario de diversas experiencias de juego dirigidas a niños y niñas y a sus familias.

El viaje fantástico es un juego multijugador, para hasta 16 jugadores de entre 7 y 12 años organizados en cuatro grupos que han de colaborar para lograr sus objetivos. El juego está dirigido a jugadores inexpertos que no necesitan estar familiarizados con las reglas del juego ni con los controles. En las paredes del espacio interactivo se proyecta la historia de una chica llamada Pipo, que tiene un sueño en el que se pone un sombrero mágico. Con el sombrero puesto, vuela al espacio (virtual). donde se encuentra con el Cometa de las risas, que entrega risas por todo el universo. Durante el encuentro, Pipo se pierde con la bolsa de risas. Entonces, ella decide viajar por el espacio para encontrar al cometa y devolverle la bolsa para que pueda seguir repartiendo risas por todas partes. Los jugadores tienen que ayudar a Pipo en su aventura ayudándole a superar diez desafíos o misiones en el espacio interactivo haciendo, de este modo, que la historia en el mundo virtual progrese.

De esta forma el juego trabaja muy especialmente la pervasidad espacial, en la que se combinan los elementos virtuales y físicos, en una interacción multimodal que busca crear la sensación de que el juego se propaga a lo largo de distintos canales y persiste a través de ellos. A continuación, se describen varias misiones donde se pone de manifiesto esta fuerte componente de pervasividad espacial.



Figura 4: El viaje fantástico: El Sol y la Luna

Por ejemplo, existe una misión llamada El Sol y la Luna (figura 4), donde precisamente una luna y un sol virtuales proyectan unas sombras en la habitación y los jugadores han de moverse en el espacio físico y colocarse dentro de dichas siluetas. Los jugadores llevan unos collares que permiten, a través del sistema de localización en tiempo real, verificar si se ha conseguido el reto.



Figura 5: El viaje fantástico: Visitando la estrella Sioux

Existe otra misión que se denomina Visitando la estrella Sioux (figura 5). En este mundo virtual, los indios Siux tocan los tambores y repiten unos patrones de sonido/colores. Cada equipo de jugadores se dispone en una mesa tangible representando cada una de ellas un color y un sonido. Para superar la misión los jugadores tienen que reproducir la secuencia de sonidos/colores golpeando la mesa con baquetas en el orden correcto.



Figura 6: El viaje fantástico: Liberando a las estrellas

Liberando a las estrellas (figura 6) es otra misión donde el objetivo es liberar a tres estrellas que han quedado atrapadas en una tela de araña en el espacio virtual. El jugador tiene que seleccionar los elementos requeridos por medio de la interacción gestual en el espacio físico.



Figura 7: El viaje fantástico: Contando mariposas

Contando mariposas (figura 7) es otra misión donde el mundo virtual se llena de mariposas, y los jugadores han de contar cuántas mariposas hay de cada color. Si los jugadores están quietos y callados en el espacio físico las mariposas se posan en las flores y son fáciles de contar. En caso contrario, las mariposas echan a volar y se hace imposible contarlas.

El juego también aborda, aunque de forma más colateral, la pervasividad social. El número de equipos está determinado por el número de mesas interactivas, pero no así el número de integrantes de cada equipo, pudiendo intervenir en las misiones más o menos jugadores. Al jugarse en un espacio interior pero público, el juego está abierto a la incorporación de otras personas o a la intervención de las personas que vienen a traer a los niños al espacio a jugar.



Figura 8: El viaje fantástico: Buscando la maleta y descubriendo el código

Por ejemplo, en la misión Buscando la maleta y descubriendo el código (figura 8), se favorece la ayuda por parte de personas presentes en el espacio. En esta misión los jugadores han de buscar una maleta escondida en el espacio interactivo. Una vez encontrada descubren que lleva un candado cuyo código deben averiguar jugando a un juego en el espacio virtual que se maneja mediante la interacción tangible con objetos sobre las mesas interactivas. Una vez descubierto han de abrir el candado para liberar objetos que necesitan para las siguientes misiones. En esta actividad es muy habitual que los niños pidan ayuda a los presentes en el espacio tanto para encontrarla como para abrir el candado.

La pervasidad temporal no está en principio contemplada al haber sido diseñado el juego para ser jugado por las personas que acuden de forma puntual a dicho centro en sesiones de juego definidas.

5.3 EncuéntraTe

EncuéntraTe (figura 9) es un juego pervasivo orientado para mayores, con el objetivo de mejorar su calidad de vida, tanto a nivel físico (ya que deberán moverse por su entorno para jugar, con lo cual se estimula la actividad física) como a nivel cognitivo (ya que el juego implica desbloquear recuerdos, que estimularán su memoria). Se trata de un juego para dispositivos móviles, fundamentalmente teléfonos, pero también adaptado a tabletas o dispositivos similares. Actualmente, el juego está disponible para dispositivos móviles con el sistema operativo Android.

El juego consiste en buscar ciertos objetos (habitualmente fotos) que, al detectarse, generan objetos virtuales mediante realidad aumentada. Al tocar ese objeto se desbloqueará un recuerdo que pasará a formar parte de un álbum, y hará avanzar al jugador en su progreso. Los recuerdos son historias, personajes, eventos, canciones, películas, etc., de distintas décadas del siglo XX. Están agrupados por categorías. La intención es hacer que las personas que jueguen recuerden aspectos del pasado, y también puedan descubrir otras nuevas que podrían desconocer. En ese sentido, una parte importante de los recuerdos están seleccionados para que tengan que ver con el entorno en el cual el juego se va a jugar (la ciudad de Teruel).



Figura 9: Pantalla de juego de EncuéntraTe

El inicio del proyecto parte con la intención de desarrollar un juego pervasivo, según la definición que se hizo en la introducción, que pudiera ayudar a mejorar la calidad de vida de los mayores, incidiendo en aspectos como mantenerles activos, ejercitar su mente o potenciar sus habilidades sociales. Para el diseño y desarrollo del juego se contó con la colaboración de un complejo residencial para mayores. Se buscó desde el principio seguir un enfoque de diseño centrado en el usuario, de forma que la idea final del juego fue generada entre el equipo de desarrollo, el personal del complejo residencial y un grupo de mayores.

En la figura 9 se muestra un ejemplo de pantalla de juego. En ella, tres botones son fijos: el superior, para ver los logros conseguidos por el usuario (medallas obtenidas según se desbloquean recuerdos), y los dos inferiores, para ver el ránking del juego y para ir al álbum en el cual se encuentran todos los recuerdos ya vistos, respectivamente. En cuanto al botón central, se trata de un objeto virtual que ha aparecido en la realidad aumentada al estar enfocando una imagen de las que la base de datos del programa identificada como objeto a localizar. En este caso, se trata de un botón virtual que desbloqueará un recuerdo de la categoría de deportes.

El juego EncuéntraTe desarrolla de manera importante la pervasividad espacial. A pesar de que está pensado para jugarse dentro de un espacio concreto, fundamentalmente una residencia para personas mayores, dentro de ese espacio se puede jugar en potencialmente cualquier sitio, y precisamente la intención del juego es hacer a las personas que jueguen moverse por el espacio para avanzar en el juego. Recordemos que el objetivo del juego es encontrar una serie de objetos que, al escanearse con el juego activo en el dispositivo móvil, desbloquean un cierto recuerdo. Por lo tanto, ubicando los objetos en lugares distintos del entorno del juego se hace que las personas que jueguen deban moverse y, de hecho, es posible cambiar la ubicación de los objetos a buscar en cualquier momento. Eso hace que sea impredecible el saber dónde se puede conseguir avanzar en el juego (dentro de unos límites) y así se consigue la pervasividad espacial.

En cuanto a la pervasividad social, el juego EncuéntraTe podríamos considerar que la presenta, pero de una manera más tangencial. Es cierto que los jugadores del juego son los que están registrados como tales, y por lo tanto no existe la posibilidad de que alguien no identificado como jugador pase a serlo automáticamente. Pero sí que es posible que una persona se registre y se ponga a jugar en cualquier momento, ya que la lista de jugadores es dinámica. Y además, existe la posibilidad de que personas que no son jugadoras intervengan en el juego, por ejemplo dando pistas a quienes sí juegan sobre dónde se encuentran los objetos a localizar. Por lo tanto, sí que podríamos considerar que existe algo de pervasividad social en el juego.

Finalmente, en cuanto a la dimensión de la pervasividad temporal, el juego claramente desarrolla esta faceta. Al juego se puede jugar en cualquier momento, no existiendo el concepto de sesión de juego con duraciones fijas. Las

personas que juegan pueden comenzar a buscar los elementos que desbloquean recuerdos cuando quieran, y pueden hacerlo con la frecuencia que elijan. Es incluso posible estar mucho tiempo sin jugar y volver a retomar el juego en un momento dado, sin que el progreso en el mismo se vea afectado. Así pues, podemos considerar que la pervasividad temporal está claramente presente en el juego EncuéntraTe.

5.4 Discovering-EAM

Discovering-EAM es una experiencia de juego desarrollada siguiendo la metodología GeoPGD (Arango et al., 2021). Esta experiencia se ha desarrollado para dar solución a una problemática identificada en diferentes instituciones de educación superior, la cual se centra en la adaptación de los estudiantes nuevos a los espacios de los diferentes campus universitarios. En este caso, la experiencia de juego se llevó a cabo en la Institución Universitaria EAM (Armenia, Colombia). En la figura 10 se puede ver la presentación oficial de Discovering-EAM por parte de la universidad.



Figura 10. Presentación oficial de Discovering-EAM ante la comunidad universitaria

El juego estuvo enmarcado dentro del proyecto JUGUEMOS, específicamente en una tesis de doctorado (Arango, 2019), donde se buscaba diseñar e implementar una experiencia de juego pervasiva que aportará en el campo de la educación, para lo cual se realizó un estudio previo para identificar las necesidades y problemáticas de los estudiantes. De allí se pudo concluir que la ubicación en los espacios físicos era uno de los problemas más relevantes.

El principal objetivo del juego es llevar a los estudiantes a recorrer y reconocer los espacios físicos de las sedes de la Universidad. Esto genera nuevo conocimiento sobre las actividades principales que se llevan a cabo en cada uno de los espacios. Los estudiantes conocen poco a poco las dependencias principales de la administración, áreas de recreación, aulas de clase, etc.

El juego cuenta con una experiencia narrativa, la cual se centra en una historia fantástica de un extraterrestre. El personaje principal se llama *Ingenium* y ha llegado al planeta Tierra por accidente y ha estrellado su nave y se ha destruido totalmente. Por tal motivo busca apoyo en los estudiantes para conseguir las piezas necesarias y así construir nuevamente su nave. Las piezas de la nave se pueden encontrar mediante realidad aumentada en cada uno de los espacios definidos. Al tocar cada objeto se obtiene la pieza y se agrega al almacén de artículos, además, se muestra una descripción de las actividades que se llevan a cabo allí. Posteriormente, el juego entrega las indicaciones del siguiente lugar al estudiante. Con las indicaciones, el jugador deberá encontrar el nuevo marcador de realidad aumentada y obtener nuevas piezas. De esta manera el estudiante recorrerá los edificios de la Universidad hasta llegar al reto final que permite la construcción de la nave y posterior viaje de Ingenium de regreso a su planeta.

Discovering-EAM motiva a los jugadores a mantenerse en movimiento para superar los retos de manera rápida y así conseguir el primer lugar y ser quien ayuda a Ingenium a regresar a su planeta. Durante la experiencia realizada en la EAM, se incorporó un trabajo colaborativo, donde se pudo trabajar en equipos conformados por hasta 5 estudiantes, esto debido al tiempo limitado que se tenía para desarrollar la actividad. Sin embargo, este trabajo colaborativo impulsó la interacción social entre los estudiantes que hasta ese momento no se conocían.

En este sentido, evaluando la pervasividad de Discovering-EAM, se puede encontrar un énfasis en los ejes del espacio y de la interacción social. En cuanto a la pervasividad espacial, los estudiantes se movilizaron por el mundo real siguiendo indicaciones virtuales y queriendo apoyar e un personaje fantástico. La mezcla de los dos mundos se realizó mediante la realidad aumentada que mostraba las diversas piezas de la nave y también al personaje principal. Al igual, la interacción social entre los estudiantes se vio impulsada por el juego. Esto permitió que se generaran relaciones reales entre los estudiantes durante la ejecución del juego, las cuales posiblemente perduren en el tiempo.

En cuanto a la pervasividad temporal se puede concluir que fue de tipo asíncrono porque los jugadores podían desconectarse y continuar más adelante, habiendo cambiado el mundo del juego cuando se generan una nueva conexión.

En la figura 11 se muestra una parte del diseño visual de la aplicación en ejecución con los tres momentos que existen en un reto. La primera pantalla representa la explicación del reto y las indicaciones para llegar a un lugar específico. La segunda

pantalla representa la parte de la nave que se encuentra relacionada con el lugar encontrado, esto se logra mediante realidad aumentada. Finalmente, se felicita al jugador y se entrega información relacionada con las actividades que se desarrollan en dicho lugar y la descripción de las personas que allí laboran. En todo momento se tiene acceso a las opciones de menú principal, los logros, los retos, las pistas y el mapa general del juego.

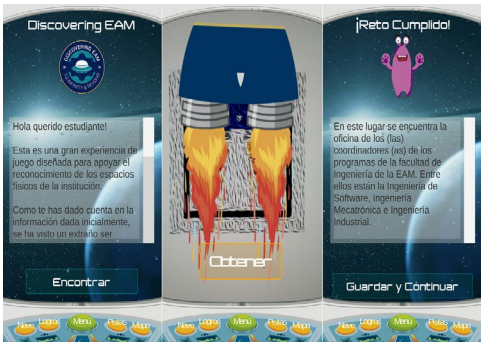


Figura 11: Secuencia de un reto en el juego de Discovering-EAM

A continuación, en la figura 12, se muestran a un conjunto de estudiantes jugando en Discovering-EAM y localizando una parte de la nave de Ingenium.



Figura 12: Secuencia de un reto en el juego de Discovering-EAM

Dada su naturaleza, Discovering-EAM es un juego que debe ejecutarse en dispositivos móviles que cuenten con cámara para realizar procesos de lectura de marcadores y que sea compatible con realidad aumentada. Actualmente, el juego está disponible para dispositivos móviles con el sistema operativo Android.

6. Conclusiones y trabajo futuro

Los juegos pervasivos suponen una forma diferente de jugar en la que el contexto se integra en el propio juego, ampliando los límites sociales, espaciales y temporales de los videojuegos tradicionales. En el artículo se han analizado las tres dimensiones de la pervasividad (espacial, social y temporal) y las propiedades a tener en cuenta en cada una de ellas. Se trata de un primer paso para la definición de un marco de evaluación heurística de juegos pervasivos. El siguiente paso, en el que se está trabajando, es la generación de un conjunto completo de heurísticas que permita la evaluación de juegos pervasivos teniendo en cuenta los aspectos que se han identificado como relevantes para este fin.

En el trabajo también se ha realizado una presentación de cuatro experiencias de juego, muy diferente ente ellas, pero todas con algo en común: se han incluido aspectos de pervasividad en su diseño con el fin de mejorar la experiencia percibida por los usuarios. En cada una de estas experiencias se ha analizado de qué forma los elementos que se han identificado a lo largo del trabajo (estructurados en los tres ejes: espacial, social y temporal), aparecen como componentes o mecanismos de diseño en los juegos y cómo ellos afectan a la experiencia "vivida" por los jugadores.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MCI), la Agencia Española de Investigación (AEI) y la UE (FEDER) a través del contrato RTI2018-096986-B-C31, por el Gobierno de Aragón (Grupo T60_20R) y por la Fundación Ibercaja y la Universidad de Zaragoza (proyecto JIUZ-2020-TEC-04)

Referencias

Arango López, J. (2019). GeoPGD: metodología para la implementación de juegos pervasivos georreferenciados apoyados en Linked Open Data.

Arango-López, J., Collazos, C. A., Vela, F. L. G., & Castillo, L. F. (2017a, July). A systematic review of geolocated pervasive games: a perspective from game development methodologies, software metrics and linked open data. In International Conference of Design, User Experience, and Usability (pp. 335-346). Springer, Cham.

Arango-López, J., Gallardo, J., Gutiérrez, F. L., Cerezo, E., Amengual, E., & Valera, R. (2017b, September). Pervasive games: giving a meaning based on the player experience. In Proceedings of the XVIII international conference on human computer interaction (pp. 1-4).

Arango-López, J., Gutiérrez Vela, F. L., Collazos, C. A., Gallardo, J., & Moreira, F. (2021). GeoPGD: methodology for the design and development of geolocated pervasive games. Universal Access in the Information Society, 20(3), 465-477.

Bonillo, C., Marco, J., & Cerezo, E. (2019). Developing pervasive games in interactive spaces: the JUGUEMOS toolkit. Multimedia Tools and Applications, 78(22), 32261-32305.

Desurvire, H., & Wiberg, C. (2009, July). Game usability heuristics (PLAY) for evaluating and designing better games: The next iteration. In International conference on online communities and social computing (pp. 557-566). Springer, Berlin, Heidelberg.

Desurvire, H., Jegers, K., & Wiberg, C. (2007). Evaluating fun and entertainment: Developing a conceptual framework design of evaluation methods. In INTERACT'07.

Gallardo, J., López, C., Aguelo, A., Cebrián, B., Coma, T., & Cerezo, E. (2018). Development of a pervasive game for ADHD children. In Interactivity, Game Creation, Design, Learning, and Innovation (pp. 526-531). Springer, Cham.

Kasapakis, V., & Gavalas, D. (2014, November). Blending history and fiction in a pervasive game prototype. In Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (pp. 116-122).

Marco, J., Baldassarri, S., & Cerezo, E. (2013). NIKVision: Developing a Tangible Application for and with Children. J. Univers. Comput. Sci., 19(15), 2266-2291.

Montola, M. (2005, December). Exploring the edge of the magic circle: Defining pervasive games. In Proceedings of DAC (Vol. 1966, p. 103).

Pinelle, D., Wong, N., & Stach, T. (2008, April). Heuristic evaluation for games: usability principles for video game design. In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems (pp. 1453-1462).

Sánchez, J. L. G., & Vela, F. L. G. (2014). Assessing the player interaction experiences based on playability. Entertainment Computing, 5(4), 259-267.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Audio Binaural y Ganancia de Rotación en Entornos Virtuales

Binaural Audio and Rotation Gain in Virtual Environments

Arcadio Reyes-Lecuona
Dpt. Tecnología Electrónica
I.U.I. en Telecomunicación,
E.T.S.I. Telecomunicación,
Universidad de Málaga,
Campus de Teatinos, 29071,
Málaga, SPAIN
areyes@uma.es

Ana Márquez-Moncada
E.T.S.I. Telecomunicación,
Universidad de Málaga,
Campus de Teatinos, 29071,
Málaga, SPAIN

Hauke Luis Bottcher
E.T.S.I. Telecomunicación,
Universidad de Málaga,
Campus de Teatinos, 29071,
Málaga, SPAIN

Daniel González-Toledo
Dpt. Tecnología Electrónica
E.T.S.I. Telecomunicación,
Universidad de Málaga,
Campus de Teatinos, 29071,
Málaga, SPAIN

María Cuevas-Rodríguez
Dpt. Tecnología Electrónica
E.T.S.I. Telecomunicación,
Universidad de Málaga,
Campus de Teatinos, 29071,
Málaga, SPAIN

Luis Molina-Tanco
Dpt. Tecnología Electrónica
I.U.I. en Telecomunicación,
E.T.S.I. Telecomunicación,
Universidad de Málaga,
Campus de Teatinos, 29071,
Málaga, SPAIN

Recibido: 28.10.2021 | Aceptado: 16.12.2021
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.44

Palabras Clave

Realidad Virtual
Audio Binaural
Ganancia de Rotación

Resumen

Este artículo presenta un experimento exploratorio para determinar la influencia del audio 3D binaural y sus características en la detección de una manipulación en la rotación de la cabeza de un usuario dentro de un entorno virtual. Para ello, se manipula la rotación aplicando una ganancia, amplificando o atenuando los giros de la cabeza del usuario. Los resultados apuntan a que la modalidad visual proporciona más información para poder detectar dicha ganancia. Sin embargo, la manipulación de las diferencias interaurales del audio binaural puede afectar significativamente dicha detección, incluso en presencia de la modalidad visual. Asimismo, se corrobora que la exposición a entornos virtuales con la rotación de la cabeza manipulada provoca cibermareo en una mayoría de los usuarios.

Keywords

Virtual Reality
Binaural audio
Rotation gain

Abstract

This paper presents an exploratory experiment to determine the influence of 3D binaural audio and its characteristics in the detection of a manipulation in the rotation of the user's head in a Virtual Environment. To do so, we manipulate the head rotation, applying certain gain, amplifying or attenuating the user's head rotation. Our results point out that the visual modality provides more cues to detect such a gain. However, the manipulation of interaural differences in binaural audio may significantly affect such detection, even with the

visual modality present. Moreover, we corroborate that exposing the users to a virtual environment manipulating the head rotation produces cybersickness in most of the users.

1. Introducción

En un sistema de Realidad Virtual inmersiva, la rotación de la cabeza del usuario es capturada por dispositivos de seguimiento de la cabeza, normalmente integrados en los cascos de Realidad Virtual o HMD (Head Mounted Displays) y usada para la correspondiente actualización del punto de vista del mundo virtual que se muestra a dicho usuario. Normalmente, el ángulo de rotación en el mundo real de la cabeza del usuario se corresponde de forma directa con el ángulo de giro del punto de vista en el entorno virtual. Sin embargo, cuando la rotación aplicada al punto de vista no corresponde a la rotación realmente medida en la cabeza del usuario, decimos que hay una ganancia de rotación (G_r), que se define como el factor que relaciona ambas rotaciones. Cuando $G_r < 1$, el punto de vista gira más despacio que la cabeza del usuario, y más rápidamente cuando $G_r > 1$.

Utilizar una ganancia de rotación en el mundo virtual con respecto al real es útil para, por ejemplo, conseguir un ángulo visual mayor en el mundo virtual sin necesidad de girar mucho la cabeza (Sargunam, Moghadam, Suhail, & Ragan, 2017). También se usa en las técnicas de la redirección de la marcha (*Redirected Walking*), ideadas por (Razzaque, Kohn, & Whitton, 2001). Se trata de técnicas usadas para superar las limitaciones del espacio físico real donde se desarrolla la experiencia, en aquellos casos en los que el mundo virtual sea más grande. En ellas se redirige el camino del usuario de forma sutil, sin que éste lo note, de tal forma que al caminar tienda a volver al centro del espacio físico en el que se está desarrollando la experiencia. Por lo tanto, usando estas técnicas se puede navegar en espacios virtuales grandes con un espacio real limitado.

Conseguir ganancias de rotación efectivas, pero no perceptibles, es un tema activo de investigación en Realidad Virtual. La ganancia de rotación no debe perturbar la experiencia de los usuarios ni su comodidad. Ganancias muy altas pueden ser muy molestas y perceptibles, produciendo cibermareo (Oculus, 2017).

Se pueden encontrar diversos estudios sobre esto en la literatura, basados sobre todo en el umbral de detección de dicha manipulación. Esto es, la máxima ganancia para la que los usuarios no pueden diferenciar entre la rotación virtual y la física. La mayoría de estos estudios han considerado únicamente una Realidad Virtual puramente visual, sin la contribución de otras modalidades sensoriales. (Brument, Marchal, Olivier, & Argelaguet, 2020), (Steinicke, Bruder, Jerald, Frenz, & Lappe, 2009), (Congdon & Steed, 2019a).

Sin embargo, el audio también puede proporcionar información espacial relevante. De forma natural, al oír un sonido podemos saber de qué dirección viene. En particular, las diferencias interaurales son clave para la percepción de la lateralidad del sonido, es decir, para que el oyente pueda estimar el ángulo de azimut del que proviene el sonido dentro del plano horizontal (Woodworth, 1938). Cuando una fuente sonora está situada en un lateral, el sonido llega antes al oído ipsilateral y un tiempo más tarde, dependiendo de la ubicación relativa de la fuente respecto al oyente, al oído contralateral. De igual forma, la sombra acústica que produce la cabeza provoca una atenuación extra en el sonido que llega al oído contralateral respecto al ipsilateral. Estas diferencias interaurales son conocidas como ITD (Interaural Time Difference) e ILD (Interaural Level Difference). En este trabajo nos centraremos en las ITDs, que son causadas por la diferencia de distancia entre los dos oídos Estas diferencias interaurales, además de otros indicios auditivos, están incluidas dentro de lo que se conoce como la HRTF (Head Related Transfer Function). Las HRTFs modelan el filtrado direccional de la señal en la entrada del canal auditivo debido a las modificaciones provocadas por la oreja, la cabeza y el cuerpo del oyente. De este modo la generación de señales de audio espacializadas binaurales se basa generalmente en la convolución de una señal monoaural con estas HRTFs (Algazi & Duda, 2011).

En este trabajo, se plantea un estudio sobre la capacidad de los usuarios de detectar si existe o no una ganancia de rotación en un sistema de Realidad Virtual, considerando para ello la influencia que puede tener el audio espacial y, más concretamente, las diferencias interaurales de tiempo. Por este motivo, se plantea un experimento en el que se puedan comparar tres situaciones: un entorno virtual mudo o de "sólo vídeo", un entorno virtual sin estimulación visual relevante para el giro de la cabeza o de "sólo audio", y un escenario en el que se combinen ambos tipos de indicios ("vídeo+audio").

2. Trabajos relacionados

En un trabajo muy influyente, Wallach (Wallach, 1987) estudió los mecanismos que subyacen a la aparente estabilidad del

mundo visual humano a pesar de los movimientos de la cabeza, los ojos o todo el cuerpo. Cuando las personas giran la cabeza de izquierda a derecha, la imagen proyectada en las retinas se mueve en dirección opuesta al movimiento de la cabeza. Sin la cabeza girando, tal desplazamiento de imagen parecería algo en movimiento; pero cuando se correlaciona con el giro de la cabeza, no se ve ningún movimiento del entorno. Wallach estudió qué pasaría si la imagen se moviera en coordinación con el movimiento de la cabeza, pero la extensión de ese movimiento fuera menor (o mayor) de lo habitual. Su objetivo era descubrir si dicha manipulación se detectaría. Para ello ideó un dispositivo que permitía que los movimientos de la cabeza causaran desplazamientos de una imagen en cualquier porcentaje deseado. En sus experimentos, descubrió que los sujetos sanos perciben su entorno como estable cuando éste no se mueve más del 3% del giro real de la cabeza en cualquier dirección. Esto demostró que hay un proceso de compensación que corrige el desplazamiento de la imagen que normalmente acompaña al movimiento de la cabeza, dando así una apariencia de estabilidad.

Desde entonces se han realizado numerosos estudios para estimar los umbrales de detección de diferentes tipos de manipulación en la rotación de la cabeza. Jaelk et al. (Jaekl, Jenkin, & Harris, 2005) midieron la cantidad de movimiento visual que se puede añadir sin que los participantes dejen de percibir un escenario como estable. Los movimientos de la cabeza se monitorizaron por medio de un tracker mecánico de baja latencia y la información se utilizó para actualizar una pantalla visual montada en el casco. 10 participantes sentados, tenían que ajustar la ganancia de rotación de su HMD hasta que se sintiera estable, mientras movían la cabeza de distintas formas. Los umbrales de detección obtenidos para la ganancia de rotación fueron 0,84 y 1,41, es decir, se percibió como estable entre esas ganancias. Curiosamente, la ganancia con mayor probabilidad de ser percibida como estable fue 1.2, en lugar de 1, que equivaldría a no aplicar ganancia de rotación.

En otro estudio, Engel et al. (Engel, Curio, Tcheang, Mohler, & Bülthoff, 2008) propusieron a 10 participantes que se movieran dentro de una habitación con esquinas, y fueran ajustando la ganancia de rotación de forma dinámica durante los ensayos, en lugar de configurarla previamente. Las ganancias a utilizar estaban entre 0.5 y 2, y estos límites se escogieron porque siempre eran detectables. De forma consistente con los resultados de Jaelk et al., los participantes no solían notar ganancias entre 0.8 y 1.4, y todos los participantes encontraron que las ganancias menores que 1 eran menos cómodas. Las pruebas de los usuarios mostraron que las ganancias se vuelven más evidentes cuando hay fuentes de luz o sonido del mundo real, como personas que hablan en un rincón del laboratorio o que las luces no están completamente apagadas. Este estudio afirma que los usuarios emplean inconscientemente tales puntos de referencia del mundo real para orientarse en el espacio de seguimiento, y que una auralización capaz de renderizar sonidos 3D debería aumentar la capacidad de detección de la ganancia de rotación.

Por otro lado, Bruder et al. (Bruder, Interrante, Phillips, & Steinicke, 2012) estudiaron la detección de la ganancia de rotación en participantes en silla de ruedas y de pie, con la idea de investigar las diferencias entre estas dos opciones. Los participantes tenían que responder a la pregunta de si el movimiento virtual fue mayor o menor que el físico, sólo pudiendo dar 2 opciones de respuesta (sí, no), y a partir de dichas las respuestas se determinaban los umbrales de detección. El ángulo de rotación virtual se escaló con ganancias de rotación entre 0,4 y 1,6 en pasos de 0,2. El escenario virtual usaba sobre todo la modalidad visual, aunque también se utilizaban a veces señales auditivas. Los resultados fueron umbrales de 0,68 y 1,26 para estar de pie y 0,77 y 1,26 para participantes en silla de ruedas. El estudio propone que estas pequeñas diferencias se pueden deber a diferencias en la propiocepción de giro.

Los trabajos mencionados no prestan mucha atención a la modalidad auditiva, pero también hay estudios que han trabajado sobre esto. En un experimento sobre técnicas de redirección (Nilsson, Suma, Nordahl, Bolas, & Serafin, 2016) se exploró la posible influencia del sonido en un paradigma de redirección de la marcha, y si domina o no la modalidad auditiva sobre la visual, utilizando tres condiciones: sin audio (solo se mostraron imágenes), audio estático (el sonido se espacializó, pero no se vio afectado por la ganancia aplicada) y audio en móvil (el sonido fue espacializado y alineado con la fuente virtual). La condición de audio estático se incluyó con el propósito de determinar si los efectos observados fueron causados por la mera presencia de sonido. Los participantes estuvieron expuestos a ganancias de rotación que variaban de 0,5 a 1,5 en incrementos de 0,1. Se concluyó que no hay gran diferencia entre los tres casos estudiados: para no audio los umbrales de detección fueron (0.77 y 1.10), para audio estático (0.80 y 1.11) y para audio móvil (0.79 y 1.08). La mayoría de los sujetos opinaron que el audio móvil no fue muy útil a la hora de juzgar la ganancia de rotación; aun así, los participantes aseguraban que al añadir el audio la experiencia fue más inmersiva y realista.

Serafin et al. (Serafin, Nilsson, Sikstrom, De Goetzen, & Nordahl, 2013) estudiaron una situación de sólo audio mediante dos experimentos en los que se trata de redirigir a los participantes con estímulos auditivos, sin que ellos lo sepan. El primero consistía en realizar rotaciones con distintas ganancias e informar de si la rotación percibida era menor o mayor que la física, y en el segundo los usuarios caminaban por una línea curva en el mundo real, que se percibía como recta en el virtual. De estos experimentos se concluyó que los usuarios pueden ser girados físicamente alrededor de un 20% más o un 12% menos que la rotación virtual percibida, y que los usuarios pueden ser redirigidos en un arco circular mientras creen que están caminando en línea recta. Se descubrió también que es menos probable que los participantes perciban el redireccionamiento cuando se usa realimentación visual que cuando esta es puramente auditiva, lo que resulta consistente con la idea de que la visión sea superior a la audición cuando se refiere a la estimación de la localización espacial de objetos (Goldstein, 2010).

Otro estudio sobre cómo pueden ser redirigidos los usuarios (Feigl, Kõre, Mutschler, & Philippsen, 2017) afirma que las personas que caminan en línea recta redirigen su movimiento lejos de fuentes de audio fuertes. En este estudio sí que se vio diferencia entre audio estático o dinámico, y entre hombres y mujeres. Se concluyó que una fuente de audio dinámica puede cambiar a los hombres de dirección hasta en un 30% y a las mujeres hasta en un 25%, mientras que audio estático tiene aproximadamente dos tercios de este impacto. También se descubrió que la distancia de la fuente influye, a más distancia menos efectividad.

Finalmente, Congdon et al. (Congdon & Steed, 2019b) investigaron si diferentes tasas de cambio de ganancia (cambio de ganancia repentino, cambio de ganancia lento y ganancia constante) afectan al nivel de ganancia en que los usuarios perciben inconsistencias entre su movimiento virtual y físico. Es decir, si se detectan con más facilidad los cambios repentinos de ganancia o los lentos. El resultado fue que los cambios lentos se detectaban mejor. Además, los usuarios que estaban familiarizados con la realidad virtual detectaban más fácilmente estos niveles de ganancia.

En todos estos estudios previos se ha estudiado el umbral de detección de la ganancia de rotación usando vídeo sin audio, sólo audio o bien condiciones con audio+vídeo. Algunos de estos estudios comparan entre dos de estos tres casos (Nilsson et al., 2016). Pero, hasta donde sabemos, no existen estudios previos que comparen los tres casos. Tampoco se ha explorado la importancia que puede tener la correcta parametrización de las diferencias interaurales en la detección de la ganancia de rotación.

Basándonos en todos estos trabajos previos, nuestras hipótesis son que la estimulación visual es más influyente que la auditiva para detectar la ganancia de rotación, pero que la máxima sensibilidad se producirá en una situación bimodal en la que se proporcione vídeo y audio 3D. Por otro lado, postulamos que la manipulación de las diferencias interaurales pueden también influir en la capacidad del usuario de detectar una ganancia de rotación.Sin embargo, dado que este tipo de experiencias puede producir molestias en los usuarios, nos planteamos primero la realización de un experimento piloto reducido, en el que los usuarios interactúen sólo durante unos pocos minutos y del que podamos extraer experiencia para afinar mejor un diseño experimental que aborde las cuestiones mencionadas.

3. Material y Método

3.1 Participantes

En el estudio han participado 12 sujetos (7 mujeres y 5 hombres) con edades comprendidas entre los 20 y los 29 años reclutados entre los estudiantes de la Universidad de Málaga. Los participantes no recibieron ningún tipo de remuneración por su participación. Todos ellos han reportado no tener problemas auditivos ni de visión. El estudio ha sido revisado y aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Málaga.

3.2 Escenario Virtual y Aparataje

Durante el estudio, los participantes se encuentran inmersos en un entorno de Realidad Virtual implementado haciendo uso de la plataforma de desarrollo de videojuegos Unity (Unity, 2021). Los participantes visualizan el entorno a través de un casco de Realidad Virtual Oculus Rift (Oculus, n.d.) e interactúan con él haciendo uso de sus dos controladores. Además, los participantes llevan puestos unos auriculares SONY MDR-7506 para recibir el audio de la escena.

Este entorno de Realidad Virtual inmersivo está formado por dos componentes: componente visual y componente auditiva. La componente visual muestra un entorno 3D desarrollado con Blender (Blender Foundation, 2015) e importado a Unity, el cual simula una habitación donde el participante se encuentra situado en el centro, tal y como se muestra en la Figura 16, sobre la cruz roja y mirando inicialmente en dirección al escritorio. La componente auditiva consiste en un sonido binaural espacializado gracias

al uso de la librería 3DTI-Toolkit (Cuevas-Rodríguez et al., 2019), también integrada en Unity. El estímulo de audio utilizado es una voz masculina anecoica hablando en inglés extraída de *Music from Archimedes, English male speech, B&K 4003, anechoic* (Bang & Olufsen, n.d.). La HRTF utilizada para la espacialización del audio es la ID_1032 de la base de datos LISTEN (Warusfel, 2003) de 256 muestras con una frecuencia de muestreo de 44.1 kHz.



Figura 16: Escenario virtual.

3.3 Protocolo higiénico

Debido a la crisis sanitaria provocada por la COVID-19, se han adoptado una serie de medidas higiénicas que se describen a continuación. El experimento se ha desarrollado en un laboratorio de unos 100m^2, con puertas y ventanas abiertas en todo momento para asegurar la ventilación cruzada, en el que solo están presentes el participante y el experimentador. Se ha monitorizado el nivel de CO_2 para que no supere los 600ppm. Se han seguido las recomendaciones al efecto para experimentos de Realidad Virtual recogidas en (Posselt & Gosselin, 2020): El casco de realidad virtual tiene una funda de silicona para las partes que están en contacto con la piel, que se desinfecta con cada participante, y se usa una sola vez por día. En total se usan 3 cascos de realidad virtual, por lo tanto, cada día hay como máximo 3 participantes. Los auriculares se cubren con una funda desechable. Se proporcionó una mascarilla quirúrgica nueva a los participantes salvo que ya trajeran una de mayor seguridad. Antes de empezar con cada participante, se cambian los dispositivos y se desinfectan, La experimentadora usa guantes de vinilo y se desinfecta las manos con gel hidroalcohólico al 70 % antes de recibir a cada participante.

3.4 Diseño del experimento

Como se desea estudiar cada componente, visual y auditivo, por separado y la influencia de las dos componentes a la vez, se han diseñado tres condiciones:

- Solo Vídeo. Escenario donde el sujeto se encuentra dentro de una habitación virtual y donde aparece dos altavoces sobre sendas mesas situadas a la izquierda o derecha del sujeto (ver Figura 16). En este escenario no aparece ningún estímulo auditivo.
- Solo Audio. Escenario donde el sujeto visualiza únicamente un entorno virtual con un suelo y un cielo, sin ningún detalle visual que permita conocer el giro del punto de vista, y escucha un sonido espacializado a su izquierda o su derecha (ver Figura 17).

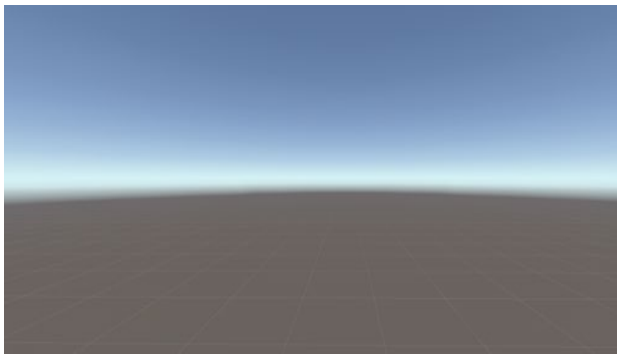


Figura 17: Estímulos visuales en el escenario de sólo audio.

- Audio + Vídeo. Este escenario incluye los dos escenarios mencionados anteriormente, el sujeto se encuentra dentro de la habitación virtual donde se encuentran los altavoces a izquierda y derecha. Uno de ellos emite el sonido espacializado.

En los tres escenarios el sujeto lleva puesto en todo momento el HMD y los auriculares. Cuando nos referimos a la derecha e izquierda del sujeto queremos decir en una posición en coordenadas polares de $\pm 90°$ de azimut y $0°$ de elevación, considerando que el origen $(0°, 0°)$ está justo delante del sujeto.

El estudio presentado explora también la influencia del ITD en el umbral de detección de la ganancia de rotación. Para ello se ha personalizado el ITD del HRTF utilizado para la espacialización de audio. La librería 3DTI Toolkit ofrece esta posibilidad, calculando el ITD individual del sujeto a partir del radio de su cabeza (Cuevas-Rodríguez et al., 2019) mediante la fórmula de woodworth (Woodworth, 1938).

$$ITD = \frac{a}{c}(\theta + sen\ \theta)$$

Donde θ es el azimut interaural de la fuente sonora respecto al oyente, c la velocidad del sonido y a el radio de la cabeza. Este radio se obtiene a partir del perímetro de la cabeza de cada sujeto, que se midió utilizando una cinta métrica, colocada rodeando la cabeza, aproximadamente 2cm por encima de las cejas, pasando sobre la parte superior de las

orejas (Figura 18). Para el estudio se consideran tres posibles condiciones:

- ITD individual. Uso del ITD individual del sujeto, calculado a partir del radio de la cabeza del sujeto.
- ITD reducido. Uso de un ITD menor que el individual, calculado con un radio de cabeza un 20% menor.
- ITD aumentado. Uso de un ITD mayor que el individual, calculado con un radio de cabeza un 20% mayor.



Figura 18: Medida del perímetro de la cabeza de los participantes.

Para estimar la capacidad de detección de ganancia de rotación, cada una de las condiciones experimentales anteriores (tipo de escenario e ITD) se ejecutan con los siguientes valores de ganancia de rotación: G_r = 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4 y 1.6. Por lo tanto, tenemos un total de 3 niveles audio/vídeo, 3 niveles de ITD y 6 niveles de ganancia de rotación, lo que hace un total de 54 condiciones experimentales diferentes.

3.5 Procedimiento

Tras ser informados del procedimiento del estudio y firmar un consentimiento de participación, los participantes completan un cuestionario demográfico. Seguidamente, se les mide el perímetro de la cabeza para la individualización del ITD. Para poder comenzar el experimento, el sujeto debe ponerse el HMD, los auriculares, sostener los controladores y colocarse de pie en el centro de la sala.

El experimento está formado por tres bloques, uno para cada condición sensorial: solo Vídeo, solo Audio, Audio + Vídeo. Cada bloque está formado por 18 condiciones (3 configuraciones de ITD x 6 valores de G_r). Tanto los bloques como los ensayos dentro de cada bloque están aleatorizados siguiendo un contrabalanceado utilizando cuadrados latinos.

Los participantes deben realizar un descanso entre bloques, de la duración que deseen, quitándose los auriculares y el casco de Realidad Virtual y sentándose si lo considera necesario. Al inicio de cada bloque aparecen dos ensayos de entrenamiento (con ITD individual y G_r = 1) donde el usuario podrá familiarizarse con el entorno y realizar las preguntas que desee al experimentador.

Para comenzar cada ensayo el sujeto debe colocarse mirando hacia la posición inicial, donde aparece un botón que debe pulsar. En este momento aparece una flecha que indica hacia qué lado debe dirigirse para posicionarse frente al altavoz (escenario Solo Vídeo), o frente a la fuente de audio (escenario Solo Audio) o ambos (escenario Audio + Video). Una vez el sujeto se encuentra delante de la imagen o fuente sonora, debe pulsar un botón del controlador para confirmar que ha completado el giro, apareciendo entonces la siguiente pregunta: *¿ha detectado manipulación del giro?*, y dos botones con las opciones *Sí* y *No* (Figura 19). El sujeto debe elegir una de las dos opciones y volver a la posición inicial para comenzar con el siguiente ensayo dentro del bloque. Un mensaje en la pantalla indica la finalización de cada bloque.

En total, la duración del experimento por cada participante, incluyendo los descansos fue de aproximadamente media hora.

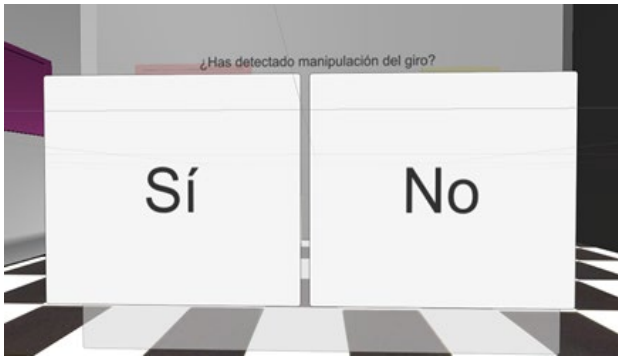


Figura 19: Interfaz para que el participante informe de si ha detectado manipulación en la ganancia de rotación o no después de cada ensayo.

4. Resultados

La Figura 5 muestra las respuestas de los participantes a la pregunta de si detectaban manipulación o no. Más concretamente, la figura representa la proporción de respuestas en las que el participante no detectó ninguna manipulación en el giro, o lo que es lo mismo, se percibió una ganancia G_r=1.

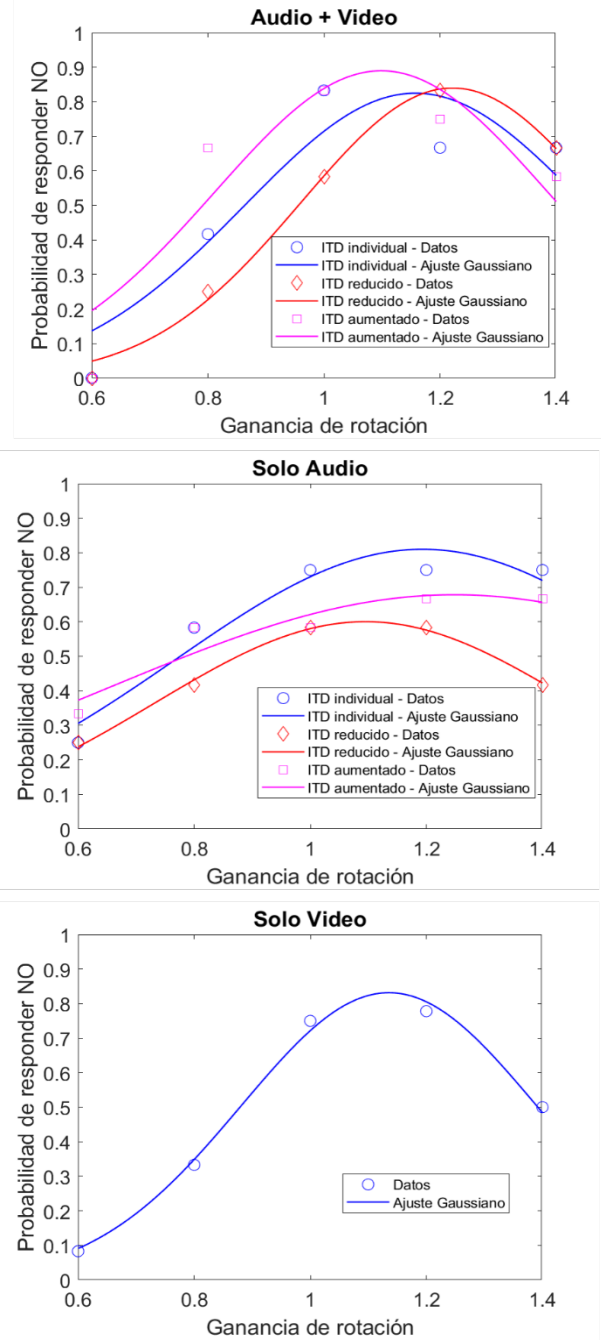


Figura 20: Probabilidades de que los participantes contestaran 'no' en el experimento, lo que significa que no detectaban ninguna manipulación de la rotación. Se muestran las curvas correspondientes a las condiciones Audio+Vídeo (a), Solo Audio (b) y Solo Vídeo(c).

La Figura 5a muestra dichas tasas para la condición Audio+Vídeo, la Figura 5b hace lo propio para la condición Solo Audio y la Figura 5c para la condición Solo Vídeo. En los dos primeros casos, en los que hay estimulación auditiva, se diferencian las situaciones en las que las diferencias de tiempo interaurales son las que corresponden a cada participante (ITD individual) de aquellas en las que se manipuló incrementándolo el radio de la cabeza en un 20% (ITD aumentado) o reduciéndolo en un 20% (ITD reducido).

Además de las tasas, señaladas en la Figura 5 con círculos, rombos y cuadrados, se ha realizado un ajuste psicométrico de estas curvas, asumiendo que la probabilidad de detectar la manipulación de la rotación sigue una ley gaussiana con respecto a la ganancia de rotación. Ese ajuste se muestra con líneas continuas en la citada figura. Tanto los datos obtenidos como el ajuste de ganancia se han llevado a cabo para los valores de G_r simétricamente alrededor de 1, entre 0.6 y 1.4.

Lo primero que llama la atención es que las curvas de ajuste gaussiano no están centradas en $G_r = 1$. Las ganancias de rotación ligeramente superiores a 1 son más difícilmente detectables en las tres condiciones experimentales. Esto es consistente con los resultados obtenidos en trabajos anteriores, como se ha comentado anteriormente. Otro resultado claro es que las condiciones con estimulación visual permiten detectar con mayor sensibilidad la manipulación de la rotación, como puede deducirse de la mayor apertura de la campana para la condición de Sólo Audio.

Puesto que los datos de que disponemos son respuestas sí/no a la pregunta de si se detecta manipulación en la rotación, el número de respuestas afirmativas y negativas para cada una de las diferentes condiciones se sometió a una prueba χ^2, que no detectó ninguna diferencia significativa. No obstante, esto es explicable dado el reducido número de medidas (una respuesta para cada condición por cada participante). A la vista de los resultados que se muestran en la Figura 5, es de esperar que un experimento de mayores dimensiones, sí que muestre diferencias significativas entre las diferentes condiciones, así como una influencia del ITD.

Al finalizar cada bloque, los participantes puntuaban en una escala de 1 a 10 si habían sentido mareo. Siete de ellos declararon haberse sentido mareados en un grado superior a 5. Esto sucedía especialmente con las condiciones con video, como muestra el valor medio de las puntuaciones: 3.75 (Audio+Vídeo), 2.5 (Solo Audio) y 3.92 (Solo Vídeo). Un análisis ANOVA arrojó que estas diferencias son marginalmente significativas ($F_{2,22} = 3.372$; $p=0.053$).

5. Discusión y conclusiones

Esta contribución presenta un estudio experimental piloto que explora la posible influencia del audio tridimensional y sus parámetros en la detección de una manipulación en la rotación de la cabeza en un entorno virtual por medio de la

aplicación de una ganancia de rotación. Lo primero que debemos señalar es que, como sospechábamos que la manipulación de la rotación de la cabeza iba a provocar cibermareo (Oculus, 2017), decidimos desarrollar un experimento muy breve, con sólo una repetición por participante de cada una de las 54 condiciones experimentales, distribuidas en tres bloques de 18 con descansos entre ellos. Aun así, más de la mitad reportaron un nivel de mareo superior a 5 sobre 10, lo que corrobora la necesidad de tomar esta precaución. Pero, al mismo tiempo, al disponer de tan pocos datos, es imposible obtener resultados estadísticamente significativos. No obstante, el análisis cualitativo de los resultados revela una serie de conclusiones interesantes.

- La ganancia de rotación es más fácilmente detectable con estimulación visual que auditiva. En el caso de una estimulación multimodal auditiva y visual, la sensibilidad mostrada es similar a la que se encuentra con solo visual.
- A pesar de lo anterior, cuando se manipulan características del renderizado de audio, como las diferencias interaurales de tiempo, el efecto del audio 3D se percibe claramente, lo que demuestra que éste sí que tiene una influencia en la detección, incluso cuando la modalidad visual está presente.
- El cibermareo parece ser mayor para la estimulación visual que para la auditiva, aunque los datos son muy escasos como para obtener resultados significativos. Además, los descansos entre bloques no fueron tan largos como para evitar que el cibermareo provocado en uno de dichos bloques influyera en el siguiente.

Por todo lo anterior, podemos considerar que este experimento piloto corrobora el interés de este estudio, pero requiere de un importante rediseño que permita obtener más datos para conseguir significación estadística, al tiempo que reduzca la exposición a los estímulos que provocan cibermareo en los participantes. Para ello, proponemos centrar el futuro experimento en la combinación de modalidades visuales y auditivas, con objeto de reducir así todo lo posible la extensión de las pruebas y evitar el cibermareo. En la misma línea, sería conveniente utilizar ganancias de rotación más cercanas a 1, ya que es probable que las situaciones con ganancias muy extremas sean las principales responsables de ese cibermareo. En este sentido, sería interesante estudiar si cuando la estimulación auditiva contribuye a esconder la ganancia de rotación se produce menos cibermareo en la situación contraria.

Por otro lado, sería interesante comprobar si una manipulación del renderizado acústico que incluya no sólo el ITD, sino toda la HRTF podría provocar un efecto aún más potente. Por ello, nuestra propuesta es desarrollar el experimento manipulando la elección de las respuestas al impulso de la cabeza de forma que la ganancia de rotación visual sea diferente a la auditiva. Esto permitiría averiguar de qué manera se resuelve el conflicto generado por diferentes ganancias en las dos modalidades, lo que haría posible construir un modelo que prediga los umbrales de detección de ganancia de rotación a partir de las dos ganancias aplicadas en las dos modalidades.

6. Reconocimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado con fondos del proyecto PID2019-107854GB-I00, del Ministerio de Ciencia e Innovación, correspondiente a la convocatoria 2019 de Proyectos I+D+i 2019.

Referencias

Algazi, V., & Duda, R. (2011). Headphone-based spatial sound. IEEE Signal Processing Magazine, 28(1), 33–42. https://doi.org/10.1109/MSP.2010.938756

Bang, & Olufsen. (n.d.). Music for Archimedes CD Track Listing at cyList. Retrieved April 28, 2021, from https://www.cylist.com/List/405112822/bang-olufsen-music-for-archimedes-cd-track-listing

Blender Foundation. (2015). blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. Retrieved May 12, 2020, from Blender.Org website: https://www.blender.org/

Bruder, G., Interrante, V., Phillips, L., & Steinicke, F. (2012). Redirecting walking and driving for natural navigation in immersive virtual environments. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18(4), 538–545. https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.55

Brument, H., Marchal, M., Olivier, A.-H., & Argelaguet, F. (2020). Influence of Dynamic Field of View Restrictions on Rotation Gain Perception in Virtual Environments. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62655-6_2

Congdon, B. J., & Steed, A. (2019a). Sensitivity to rate of change in gains applied by redirected walking. 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 1–9.

Congdon, B. J., & Steed, A. (2019b). Sensitivity to rate of change in gains applied by redirected walking. Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST. https://doi.org/10.1145/3359996.3364277

Cuevas-Rodríguez, M., Picinali, L., González-Toledo, D., Garre, C., de la Rubia-Cuestas, E., Molina-Tanco, L., & Reyes-Lecuona, A. (2019). 3D Tune-In Toolkit: An open-source library for real-time binaural spatialisation. PLOS ONE, 14(3), e0211899. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211899

Engel, D., Curio, C., Tcheang, L., Mohler, B., & Bülthoff, H. H. (2008). A psychophysically calibrated controller for navigating through large environments in a limited free-walking space. Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology - VRST '08. https://doi.org/10.1145/1450579

Feigl, T., Kõre, E., Mutschler, C., & Philippsen, M. (2017). Acoustical manipulation for redirected walking. Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST, Part F131944. https://doi.org/10.1145/3139131.3141205

Goldstein, E. (2010). Sensation and Perception. Wadsworth Publishing Company.

Jaekl, P. M., Jenkin, M. R., & Harris, L. R. (2005). Perceiving a stable world during active rotational and translational head movements. Experimental Brain Research, 163(3), 388–399. https://doi.org/10.1007/s00221-004-2191-8

Nilsson, N. C., Suma, E., Nordahl, R., Bolas, M., & Serafin, S. (2016). Estimation of detection thresholds for audiovisual rotation gains. Proceedings - IEEE Virtual Reality, 2016-July, 241–242. https://doi.org/10.1109/VR.2016.7504743

Oculus. (n.d.). Oculus Rift: visor de VR para PC optimizadas para VR | Oculus. Retrieved April 29, 2021, from https://www.oculus.com/rift/?locale=es_LA

Oculus. (2017). Oculus Best Practices. Retrieved from https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-best-practices-intro/

Posselt, J., & Gosselin, R. (2020). Protocols of use for immersive platformsunder covid19. InEuroVr 2020 Application, Exhibition & Demo Track: Pro-Ceedings of the Virtual EuroVR Conference, 19–21.

Razzaque, S., Kohn, Z., & Whitton, M. C. (2001). Redirected Walking. Eurographics 2001 - Short Presentations. https://doi.org/10.2312/egs.20011036

Sargunam, S. P., Moghadam, K. R., Suhail, M., & Ragan, E. D. (2017). Guided head rotation and amplified head rotation: Evaluating semi-natural travel and viewing techniques in virtual reality. Proceedings - IEEE Virtual Reality, 19–28. https://doi.org/10.1109/VR.2017.7892227

Serafin, S., Nilsson, N. C., Sikstrom, E., De Goetzen, A., & Nordahl, R. (2013). Estimation of detection thresholds for acoustic based redirected walking techniques. Proceedings - IEEE Virtual Reality, 161–162. https://doi.org/10.1109/VR.2013.6549412

Steinicke, F., Bruder, G., Jerald, J., Frenz, H., & Lappe, M. (2009). Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 16(1), 17–27.

Unity. (2021). Plataforma de desarrollo en tiempo real de Unity | Motor de VR y AR en 3D y 2D. Retrieved October 28, 2021, from https://unity.com/es

Wallach, H. (1987). Perceiving a Stable Environment When One Moves. Http://Dx.Doi.Org/10.1146/Annurev.Ps.38.020187.000245, 38(1), 1–29. https://doi.org/10.1146/ANNUREV.PS.38.020187.000245

Warusfel, O. (2003). LISTEN HRTF DATABASE. Retrieved January 14, 2020, from http://recherche.ircam.fr/equipes/salles/listen/

Woodworth, R. S. (1938). Experimental Psychology. Holt, New York.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

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
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.47

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.

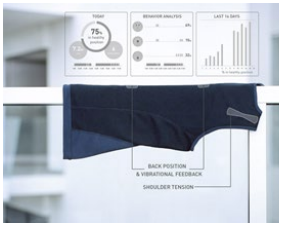
2. Wearables vinculados a monitoreo postural

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:

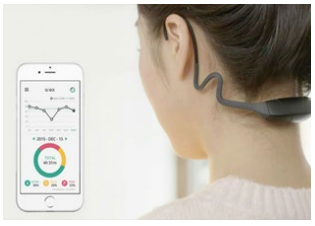
- Posición de sentado: la espalda erguida, los hombros hacia atrás y abajo, y las plantas de los pies apoyadas en el suelo. Evitando el hábito de cruzar las piernas, ya que puede alterar la circulación y provocar piernas hinchadas, más cansadas y con várices. Levantarse y caminar periódicamente.
- Posición 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)

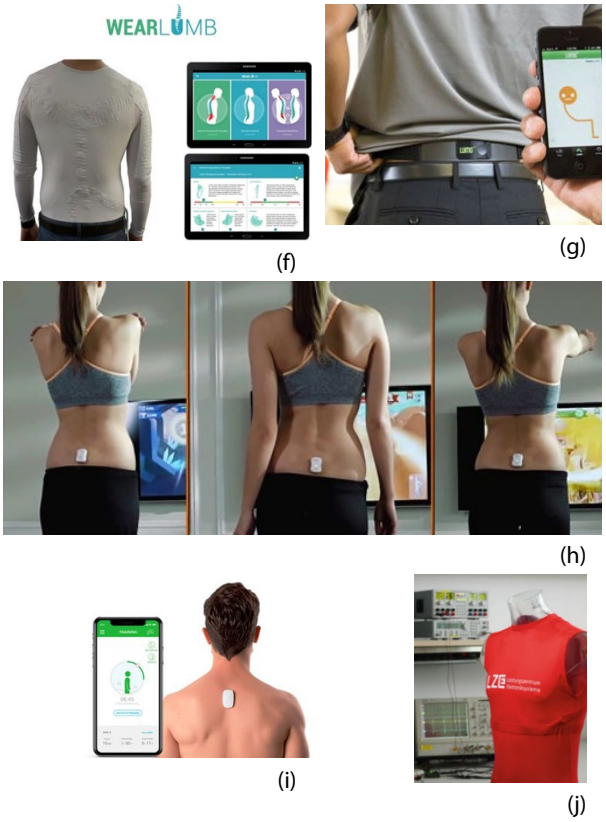

(b)




(c)


(d)


(e)



(f) (g) (h) (i) (j)

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. *Uprigt 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.

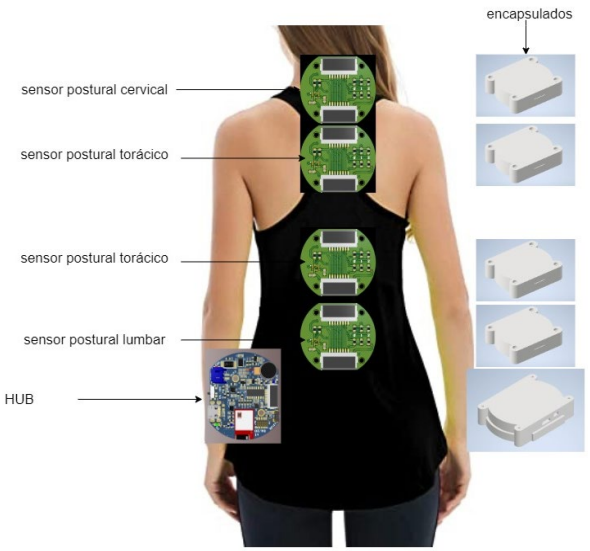


Figura 2: Dispositivos electrónicos comerciales para la corrección postural.

El desarrollo del proyecto ha seguido la metodología Agile *User Experience Design* (UXD), siguiendo la metodología para el desarrollo de Smart Clothes y Wearables (Häkkilä, 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 Measurament 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.

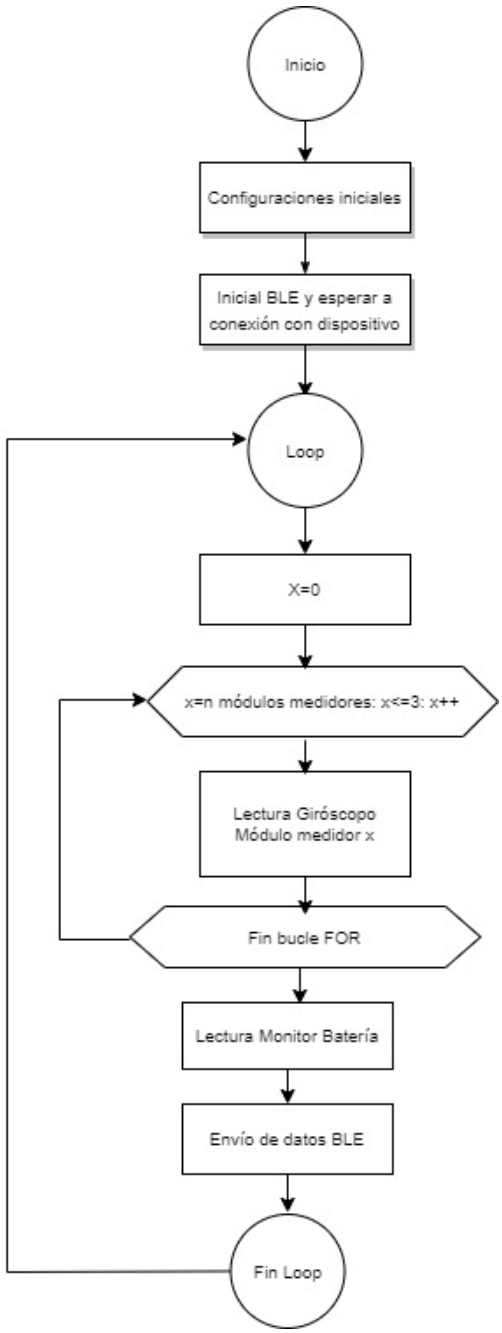


Figura 3: Diagrama de bloques resumido del código del microcontrolador.

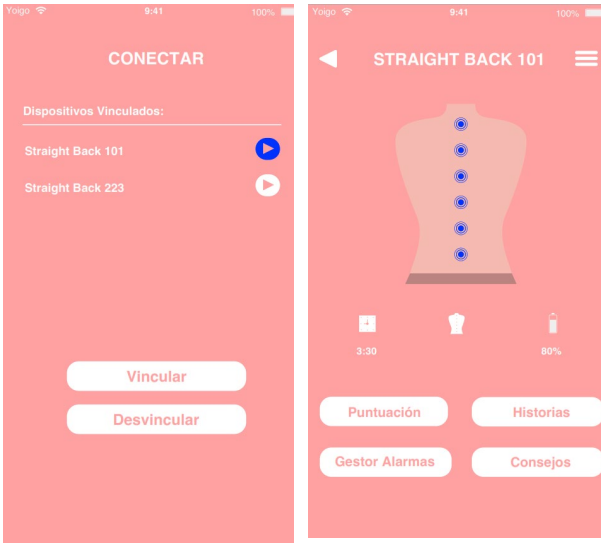


Figura 4: Interfaces de la app (Izq) Conexión al dispositivo (Dcha.) Pantalla Principal.

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 padeces 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.

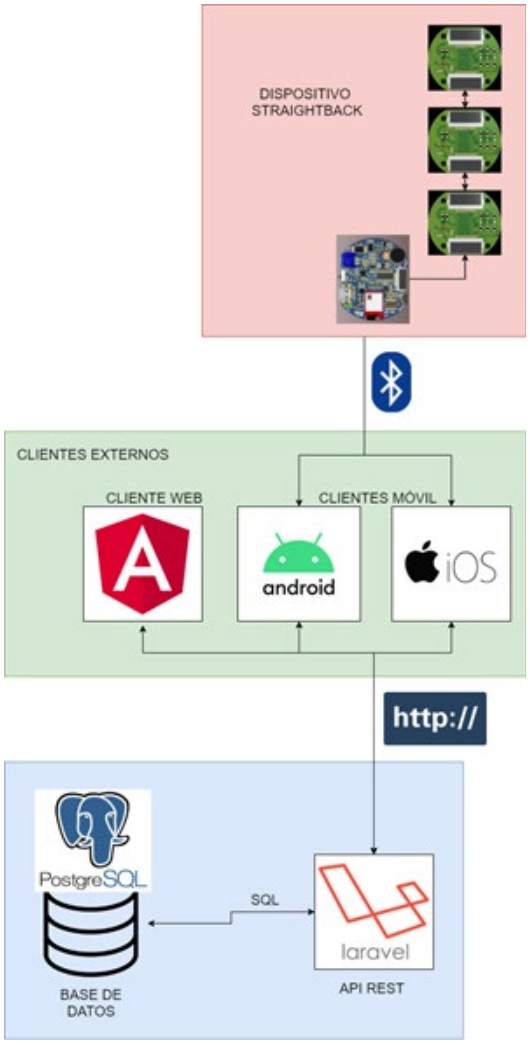


Figura 6: Arquitectura del Sistema de Corrección Postural.

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 STRAIGBACK, 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-Diaz, 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/

Häkkilä 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

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Desarrollo de una experiencia educativa con juguetes activos en una mesa de interacción tangible

Development of a learning experience with active toys on a tangible interaction tabletop

Mainor Cruz Alvarado
Informática Empresarial
Universidad de Costa Rica
Golfito, Puntarenas, Costa Rica
mainor.cruz@ucr.ac.cr

Cecilia Sanz
Facultad Informática
Universidad Nacional de La Plata
La Plata, Buenos Aires, Argentina
csanz@lidi.info.unlp.edu.ar

Sandra Baldassarri
Dpto. Informática e Ingeniería de Sistemas
Universidad de Zaragoza
Zaragoza, España
sandra@unizar.es

Recibido: 06.11.2021 | Aceptado: 16.12.2021
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.48

Palabras Clave

Objetos activos
Interacción tangible
Actividades Educativas
Juguetes Interactivos

Resumen

En este trabajo se realizó una investigación con el objetivo de indagar las posibilidades de los objetos activos (con capacidad de actuación y *feedback* al interactuar con información digital) en actividades educativas basadas en Interacción Tangible (IT). Como parte del recorrido se elaboró un análisis de antecedentes, y se evidenció el escaso desarrollo de experiencias de IT con objetos activos en Latinoamérica. A partir de los hallazgos de la investigación teórica se abordó el diseño, desarrollo y evaluación de un juego serio con IT sobre una *tabletop* con juguetes activos. Los resultados permiten conocer que estudiantes y docentes valoran positivamente el uso de este tipo de juguetes, analizando cómo se perciben los diferentes tipos de *feedback* diseñados.

Keywords

Active objects
Tangible interaction
Educational activities
Interactive Toys

Abstract

In this work, a research was carried out with the aim of investigating the possibilities of active objects (with the ability to act and *feedback* when interacting with digital information) in educational activities based on Tangible Interaction (IT). During the course of the research, a background analysis was made that evidenced the scarce development of IT experiences with active objects in Latin America. Based on that findings, the design, development and evaluation of a serious game with IT on a tabletop with active toys was approached. The results show that students and teachers positively value the use of this kind of toys, analyzing how the different types of designed feedback are perceived by them.

1. Introducción

Los avances tecnológicos han impulsado las investigaciones en relación a mejorar las formas de interacción entre el ser humano y el ordenador. Como consecuencia, las Interfaces de

Usuario Tangibles (TUI) han obtenido una gran relevancia, dado que permite la interacción mediante el uso de objetos físicos, que se acoplan con la información digital. La investigación y el desarrollo de aplicaciones basadas en interacción tangible (IT), que da lugar a las TUI, han ido ganando espacio por sus posibilidades en diferentes ámbitos y disciplinas. En Artola, Sanz y Pesado (2020) se presenta una revisión de experiencias educativas con TUI, que abarcan áreas como la matemática, la química, las artes, la programación, entre otras. En este trabajo también se resalta que son numerosas las experiencias educativas que se desarrollan utilizando superficies horizontales aumentadas computacionalmente, conocidas como *tabletops* o mesas interactivas, ya que fomentan la colaboración y el desarrollo de habilidades sociales en un espacio de trabajo compartido. En Sanz et al. (2016) se analizan las posibilidades de la IT para el ámbito de la educación especial. En el trabajo de Rodić y Granić (2021), se realiza una revisión sistemática de 155 trabajos vinculados a la interacción tangible en educación con niños y niñas. También aquí se analizan experiencias en las que se utilizan *tabletops*. Además, en el trabajo se menciona el valor de los objetos físicos y su manipulación en el ámbito educativo y también se indica que, en los artículos revisados, mayormente los objetos tangibles usados guardan vinculación con el dominio de la aplicación.

En relación a los objetos tangibles (u objetivos físicos), estos se definen como entidades físicas y reales que pueden ser manipuladas, y forman parte de un proceso de interacción entre personas y ordenadores. Se las considera así un medio de representación y control de información digital (Ishii & Ullmer, 2003), un enlace entre el mundo virtual y físico, y constituyen un puente para generar una mayor transparencia y naturalidad en las interacciones.

Dentro de los objetos tangibles se pueden tener objetos activos y pasivos. Los pasivos solo se pueden utilizar como control de sus contrapartes digitales. Mientras que los objetos activos son los responsables de generar interacciones con alguna automatización robótica o locomoción (Inami et al., 2010; Richter et al., 2007). Del mismo modo, en Marshall et al. (2012) se menciona que los objetos activos contienen actuadores y sistemas de control que puede conceder al objeto diferentes acciones, por ejemplo, un desplazamiento encima de una *tabletop*. Esto también es afirmado por East, DeLong, Manshaei, Arif, & Mazalek (2016) que definen a los objetos activos como "dispositivos físicos que se pueden usar de manera independiente o en conjunto con otro hardware o software para aumentar de forma tangible la interacción con pantallas integradas, sensores o capacidades de actuación".

Estos objetos activos han dado lugar a la creación de juguetes inteligentes (Berriman & Mascheroni, 2019). Uno de los motivos radica en que las tecnologías personales, portátiles y de red inalámbrica se han generalizado en la vida de los estudiantes y dieron lugar a ampliar las posibilidades de generar una variedad de materiales que apoyen el aprendizaje y posibiliten una participación activa, y de carácter lúdico. Por lo anterior, los juguetes activos (algunos autores también los refieren como interactivos) o inteligentes se presentan como una posibilidad para apoyar objetivos que estén relacionados con los planes de estudio (Kara & Cagiltay, 2020; Zhang et al., 2020).

Este trabajo tiene como objetivo analizar las posibilidades de los objetos activos, específicamente juguetes, en actividades educativas basadas en IT. Para ello, en primer lugar, se elaboró una indagación y análisis de conceptos relacionados con objetos activos en IT y de experiencias educativas, considerando aquellas en la que los objetos activos son juguetes. Para llevar a cabo este proceso se utilizó el protocolo de revisión sistemática de literatura propuesto en (Kitchenham, 2004), aunque dado que no es el foco de este trabajo, aquí solo se presentará una síntesis de los antecedentes revisados. El principal aporte de este trabajo se centra en el desarrollo de una experiencia de actividad educativa que involucra el diseño y desarrollo de un juego de IT, con juguetes activos y los resultados de su aplicación con estudiantes de últimos años de primaria y primeros años de secundaria y sus docentes. De esta manera se ofrece una discusión, que permite reflexionar y echar luz sobre el diseño de este tipo de objetos activos en el marco de actividades educativas.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta una revisión de antecedentes que dan las bases para el diseño de una experiencia con un juego de IT con juguetes activos; en la sección 3 se describe el juego desarrollado, llamado El Conquistador, y los juguetes activos con su feedback; en la sección 4, se presenta la experiencia desarrollada con estudiantes de primaria, secundaria y sus docentes, en la que se aplica el juego y los juguetes. Finalmente, en la sección 5 se detallan y discuten los resultados alcanzados, y en la 6, se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. Revisión de antecedentes

Por medio del trabajo de revisión realizada y presentada en Cruz, Sanz y Baldassarri (2020), se analizaron 40 trabajos, de los cuales se seleccionaron 10 casos que cumplieron con los criterios planteados para la indagación: documentos de texto

completo, que abordan experiencias educativas con la integración de objetos activos. Se buscó además conocer cómo se evaluaron esas experiencias para analizar sus resultados, específicamente en relación al uso de juguetes activos.

El análisis presentado se realizó a partir de la definición de un total de 9 criterios, que se orientan a caracterizar los antecedentes en 4 categorías: (i) descripciones generales, tales como el nivel educativo al que se orienta, y el país en el que se lleva acabo; (ii) interacción tangible, que considera el tipo de objetos con los que se trabaja, y las estrategias y tecnologías usadas para implementar la IT; (iii) interfaces de usuario tangible: a través de esta categoría se busca analizar cómo se lleva adelante la relación entre objetos físicos y digitales; y (iv) metodológico educativo, en esta categoría se analiza el tipo de actividad educativa, se observa si es exploratoria (el estudiante explora una representación o modelo pre-existente) o si es expresiva (el estudiante crea una representación a partir de sus ideas) (Marshall et al., 2003). También se analizan los tipos de *feedback* que se utilizan en la TUI, y se sigue a Van Seters et al. (2012), para clasificar los *feedback*s de cada aplicación.

A partir del estudio de Cruz et al. (2020), se evidenció que las experiencias que integran IT con objetos activos seleccionadas se orientan principalmente al nivel educativo superior seguido del primario, la mitad se enfoca en tipos de actividades de aprendizaje exploratorias y la otra en expresivas, usando la mayoría objetos activos con *tabletops*.

En cuanto a los tipos de *feedback* utilizados, todos los antecedentes brindan *feedback* que se relacionan con la tarea, es decir, le indican al estudiante si sus acciones/respuestas fueron correctas o no. También, la mayoría ofrece *feedback* relacionado con la autorregulación, por ejemplo, para la gestión de tiempo, o la indicación de estrategias o sugerencias de uso. En cuanto a la dinámica, se trata en general de actividades grupales y colaborativas, y las evaluaciones se enfocan en la usabilidad, utilidad y algunos aspectos de experiencias de usuario. Finalmente, se identificó que la utilización de los juguetes activos, posibilita otorgar nuevas experiencias de juego y aprendizaje, y que aprovechan diferentes canales de *feedback*, como luces, sonidos y/o vibraciones Los trabajos de Van Huysduynen, De Valk y Bekker (2016) y Artola et al. (2020) confirman la importancia de los diferentes canales de *feedback* en este tipo interfaces.

Más recientemente, en la revisión presentada por Rodic y Granic (2021), los autores presentan trabajos actuales en los que se utilizan objetos activos. En particular, mencionan que se utilizan bloques de construcción aumentados computacionalmente para el trabajo con niños y que soportan el aprendizaje de temas abstractos, manteniendo sincronizada la entrada y la salida en el mismo espacio del objeto, y teniendo así alguna capacidad de actuación. Asimismo, en el trabajo de Cano et al. (2020), se menciona el uso de un juguete activo con capacidad de *feedback* sobre la tarea, a través de luces led, y orientado a la educación de niños con discapacidad auditiva.

Estos hallazgos se utilizan para diseñar un juego IT con la inclusión de juguetes activos, que se presenta en la próxima sección. La experiencia a desarrollar con el juego, tanto con alumnos de primaria como de primer año de secundaria, permitirá conocer la motivación de los estudiantes al trabajar con este tipo de juguetes, su opinión sobre las diferentes modalidades de *feedback* diseñados, en relación a su utilidad dentro de la actividad educativa, en particular, viendo si atienden a si tipo de *feedback* como parte de la actividad. La investigación busca echar luz entonces en estos aspectos, para poder luego, tener guías para su diseño.

3. El Conquistador: un caso de juego IT con juguetes activos

En esta sección se presenta el juego basado en IT que fue diseñado como parte de este trabajo. El juego integra una *tabletop*, y dos juguetes activos, que funcionan como control y como espacio de *feedback* de la aplicación. En el diseño se han considerado diferentes tipos de *feedback*: de la tarea, de autorregulación y afectivo (Van Seters et al., 2012), de acuerdo a lo revisado en los antecedentes, y con el uso de los canales auditivo, visual, y háptico.

En las dos subsecciones que integran esta sección, se explica en primer lugar diseño del juego, y posteriormente se detalla el diseño de los juguetes.

Juego de IT: El Conquistador

El Conquistador (Sanz et al., 2019) un juego basado en IT y que incluye el uso de dos juguetes interactivos. Se trata de un juego de preguntas y respuestas cuyo objetivo didáctico se orienta a la integración de temas trabajados en un proceso educativo. La dinámica del juego es una competencia entre dos jugadores o equipos.

Cada jugador recibe un juguete interactivo y una tarjeta con un objetivo a cumplir para ganar. Por ejemplo, conquistar 5 países de Sudamérica. En la Figura 1, se puede observar que el juego tiene como interfaz principal una ilustración de un

mapa con los países adquiridos y los que puede conquistar proyectado sobre la *tabletop*, sobre el cual se desarrollan las interacciones. La interacción con el juego se realiza a través de los juguetes activos y un lápiz que actúa como selector (aunque también se pueden utilizar los dedos para realizar las selecciones).



Figura 1: Juguetes interactivos del juego El Conquistador.

El juego recorre las siguientes etapas:

- Configuración: Se apoya el juguete sobre la mesa junto con el objetivo para que quede asociada en el juego esta relación. Además, se muestra qué color se asigna a cada uno. El juguete enciende 5 luces led que representan las 5 vidas que posee y vibra para indicar que está activo.
- Inicio del juego: Se muestra sobre la *tabletop* un mapa de América con los países distribuidos entre los dos jugadores. Los países están pintados del color correspondiente al jugador al que pertenecen. Se indica en la mesa con un mensaje quién comienza a jugar.
- Desarrollo del juego: Los jugadores deben cumplir su objetivo para ganar el juego. Para conquistar un país, el jugador lo ataca, y debe contestar a una pregunta. Si se contesta correctamente, el atacado puede defenderse contestando la misma pregunta. En caso de responder bien, el país no es conquistado. Pero si contesta mal, el atacado pierde el país y una vida. Si el atacante contesta mal la pregunta, pierde una vida y el atacado no debe defenderse. Si un jugador pierde sus 5 vidas, finaliza el juego y gana su contrincante.

Juguetes interactivos

En la Figura 2 se aprecia el diseño de los dos juguetes interactivos realizados, los cuales representan a los jugadores y funcionan como dispositivos de entrada y salida del juego.



Figura 2: Juguetes interactivos del juego El Conquistador.

Los dos juguetes activos fueron creados con una base fabricada de cartón duro donde se incrusta un envase metálico que trae la forma de un personaje. La base se diseñó en cartón duro para que no dañe la superficie de la *tabletop* cuando estos son apoyados y sea liviana para que aún niños muy pequeños puedan utilizarla. Los juguetes fueron pintados, de forma tal que se alinee con la estética de los personajes, y la base tiene dos agarraderas para facilitar su manipulación.

Cada juguete cuenta con tres pulsadores, que se utilizan para dar respuesta según las opciones presentadas en cada una de las preguntas realizadas desde el juego (A, B y C). Dentro de cada juguete se encuentra los dispositivos electrónicos. Además, incorporan un display LCD de 16x2 caracteres con I2c, cinco Leds RGB Neo Pixel que indican la cantidad de vidas, un módulo de WiFi ESP8266 de Arduino, que contiene el programa para administrar los módulos conectados, así como la comunicación de los juguetes con el juego. También, se ha integrado un motor de vibración, un zumbador (*buzzer*) pasivo, cables y bancos de energía para suministrar la energía.

Desde el punto de vista del diseño, se ha considerado que los juguetes representaran a dos personajes reconocidos por los estudiantes para que pudieran encontrarlos familiares. Se eligieron dos superhéroes, por el momento, ya que la estética de presentación del juego se vincula con los cómics de estos superhéroes. Estos juguetes están siendo modificados y evolucionados actualmente, para mejorar la manipulación, en particular en relación a la utilización de materiales no metálicos (ver Figura 3).



Figura 3: Juguete interactivo Hulk.

En la Figura 4, se presenta de forma gráfica el proceso de comunicación de los juguetes y el juego el Conquistador, que se realiza a través de una red WiFi con protocolo TCP/IP. La red está compuesta por tres nodos: los dos juguetes y una computadora sobre la que se ejecuta el juego y se proyecta su interfaz sobre la *tabletop*.

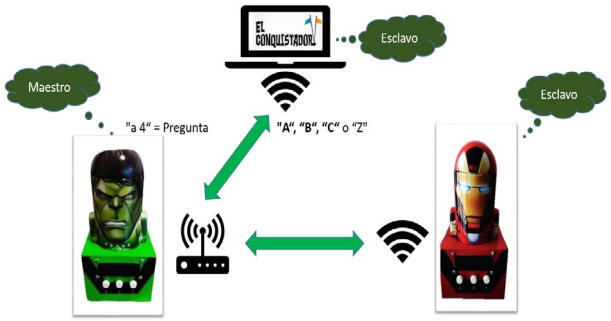


Figura 4: Protocolo de comunicación.

Cada dato que se envía desde los juguetes al programa o viceversa, es administrado por el juguete que oficia de maestro (master). El juguete master está configurado para reconocer cuáles son los mensajes propios y los de los esclavos. A partir de los mensajes, cada juguete reacciona de acuerdo con lo que se le indica, permitiendo así generar diferentes tipos de *feedback*. Se envían mensajes, por ejemplo, cada vez que un jugador acciona un pulsador. Estos mensajes son mandan al juego El Conquistador, que se ejecuta sobre una PC para ser procesados. El juego devuelve mensajes a los juguetes, quienes los procesan y ofrecen un *feedback* utilizando alguna de las modalidades de salida disponibles: luces, sonidos, mensajes de texto o vibraciones.

4. Aplicación del juego con estudiantes de primaria y secundaria

Este apartado presenta la experiencia de uso del juego El conquistador en entornos reales. A través de esta experiencia se tiene como objetivos: (1) identificar fortalezas y debilidades de los juguetes activos diseñados en una actividad educativa concreta, (2) conocer la opinión de los estudiantes sobre estos, y (3) conocer la valoración que realizan los participantes de diferentes tipos de *feedback*.

Para poder cumplir con los objetivos, se realizaron 3 sesiones de trabajo con 33 estudiantes (7 de primaria y 26 de secundaria) y 5 docentes. Las sesiones se organizaron de la siguiente manera:

- Presentación del juego: Se describió de qué se trata el juego, acompañando con un video que presenta cómo jugar.
- Desarrollo del juego: se realizó la dinámica del juego, en algunos casos más de una vez, ya que los estudiantes se mostraron motivados por hacerlo.
- Evaluación: se aplicaron los instrumentos de recogida de datos planificados y se administraron para su completamiento.

Las primeras dos sesiones se realizaron en la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata con una duración de aproximadamente 40 y 60 minutos, respectivamente. Se obtuvo una participación total de 7 estudiantes de primaria con edades entre los 8 y 9 años, y algunos padres. La tercera sesión fue realizada en el Colegio Nacional Rafael Hernández de La Plata, con una duración aproximada de 120 minutos, en la que participaron 26 estudiantes de primer año de la secundaria con edades entre 12 y 13 años, y un grupo de 5 docentes.

Para el primer objetivo, el cual consiste en identificar fortalezas y debilidades de los juguetes interactivos en la actividad educativa. Los instrumentos utilizados para realizar esta evaluación han sido un cuestionario de Escala de Usabilidad del Sistema (SUS) (Brooke, 1996) y un cuestionario de Inventario de Motivación Intrínseca (IMI) (Ryan & Deci, 2006).

El segundo objetivo, que contempla conocer la opinión de los estudiantes sobre la utilización de juguetes activos, se evalúa mediante la aplicación de una entrevista semiestructurada basada en Zuckerman & Gal-Oz (2013). Se indaga también sobre la percepción de la experiencia vivida y se pide que consideren si les gustaría tener más experiencias con juguetes

de este tipo, y finalmente, se solicita que manifiesten su agrado o no de utilizar dichos juguetes en relación con usar otros tipos de juegos basados en celular, Tablet o consola.

El tercer objetivo consiste en conocer la valoración que dan los estudiantes y docentes a los diferentes tipos de *feedback* que presentan los juguetes interactivos desarrollados para el caso de estudio. Para ello, se realiza una encuesta y una entrevista basadas en los trabajos de Anastasiou & Ras (2017) y Muijzer-witteveen, Sibum, Dijsseldonk, Keijsers, & Asseldonk (2018), que busca identificar la influencia de las diferentes modalidades de salida de los objetos activos en actividades educativas basadas en IT, y cuánto han atendido a cada uno de estos *feedback*.

En las Figuras 5 y 6 se puede observar diferentes momentos de la experiencia.

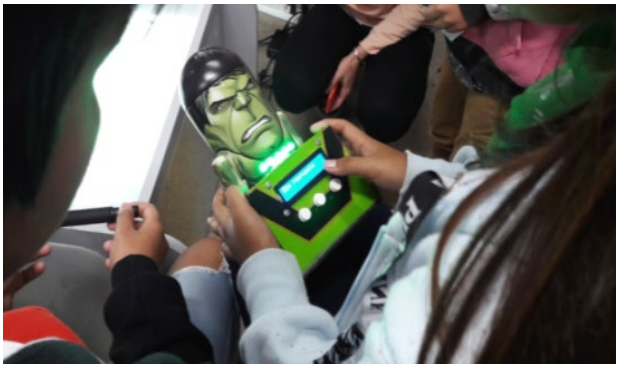


Figura 5: Respondiendo preguntas con el juguete Hulk.



Figura 6: Respondiendo preguntas con el juguete Iron Man.

Los investigadores y docentes siempre estuvieron atentos y disponibles en el caso de que los participantes necesitaran ayuda mientras realizaban la actividad. Al finalizar cada sesión se aplicaron los instrumentos de evaluación aplicado. Las observaciones fueron documentadas con material fotográfico.

En todas las sesiones hubo presencia de los docentes y/o padres a cargo de los niños. Todas las acciones realizadas fueron consensuadas y aprobadas entre los participantes, docentes y/o padres, y el equipo de investigación.

5. Resultados

En este apartado se analizan los resultados obtenidos en la experiencia educativa llevada a cabo con El Conquistador y los juguetes activos diseñados.

Para valorar la motivación de los estudiantes al realizar la actividad, se utilizaron cuestionarios Inventario de Motivación Intrínseca (IMI). En estos cuestionarios se establecieron tres subescalas diferentes de evaluación: (1) Interés y disfrute, (2) Competencia percibida y, (3) Presión y tensión. Cada subescala contiene una serie de afirmaciones que los participantes contestaban por medio de una escala Likert de cinco puntos basados en Smileyometer (Read et al., 2002), como se observa en la Figura 7.



Figura 7: Escala Smileyometer utilizada en los cuestionarios

A continuación, se presentan las afirmaciones empleadas en el cuestionario para cada subescala.

Interés y disfrute:

- Mientras jugaba, estaba pensando en cuánto lo disfrutaba.
- Me pareció agradable jugar el juego del Conquistador.
- Jugar el juego del Conquistador fue divertido.
- Disfruté mucho jugando el juego del Conquistador
- Pienso que el juego del Conquistador era aburrido (R)
- Yo describiría el juego del Conquistador como interesante.

Competencia percibida:

- Creo que soy bastante bueno jugando el juego del Conquistador.
- Estoy satisfecho con mi rendimiento en el juego.
- Me sentí bastante hábil en el juego.
- El conquistador fue un juego que me costo jugar. (R)

Presión y tensión:

- No me sentí nervioso mientras jugaba (R)
- Me sentí tenso mientras jugaba.

- Me sentí relajado jugando. (R)
- Me sentí presionado mientras jugaba.

Para analizar los resultados de la evaluación se sigue el protocolo propuesto en (Ryan & Deci, 2006). Se calcula la puntuación sumando las contribuciones de puntuación máxima que puede brindar cada afirmación. El puntaje corresponde al rango de 1 a 5, siendo 5 el puntaje máximo de cada elemento. Para las afirmaciones negativas (afirmaciones inversas, representada con una (R) en el ejemplo anterior) el puntaje se invierte; 5→1, 4→2, 3=3, 1→5, y 2→4.

Por tanto, el puntaje total de IMI se obtiene de multiplicar las 14 afirmaciones (6 para la primera subescala, 4 para la segunda y 4 para la última) por el puntaje máximo de cada una de ellas, lo que daría un total de 70 puntos. El puntaje total debe ser distribuido para cada subescala, según el número de afirmaciones que ésta contiene, resultando las siguientes puntuaciones máximas: Interés y disfrute (30), Competencia percibida (20) y Presión y tensión (20). Posteriormente, para obtener los resultados del IMI se subdivide el rango de puntuación de cada subescala en 5 categorías (Muy bajo, Bajo, Regular, Alto y Muy Alto), tal y como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1: Rangos de puntuación por subescala IMI por categorías

Subescala	Muy bajo	Bajo	Regular	Alto	Muy alto
Interés y disfrute	0→6	7→12	13→18	19→24	25→30
Competencia percibida	0→4	5→8	9→12	13→16	17→20
Presión y tensión	17→20	13→16	9→12	5→8	0→4

Una vez analizados los cuestionarios de motivación intrínseca completados por los estudiantes de primaria, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 2 para cada una de las tres subescalas.

Tabla 2: Estadísticos descriptivos de IMI en estudiantes de primaria

	Mínimo	Máximo	Media	Resultado
Interés y disfrute	24	29	26.43	Muy alto
Competencia percibida	14	17	15.43	Alto
Presión y tensión	9	19	15.14	Bajo

Estos resultados evidencian que los estudiantes de primaria tuvieron un muy alto interés y disfrute de los juguetes activos y el juego durante la actividad educativa. Se observó además una alta competencia percibida en el uso del juego, e indicaron tener una baja presión y tensión al utilizar los juguetes.

En la Tabla 3 se exponen los resultados para el caso de los estudiantes de secundaria. Se observa que estos tuvieron un alto interés y disfrute de los juguetes activos y el juego durante la actividad educativa, indicaron un nivel regular de competencia percibida durante la actividad y manifestaron tener una baja presión y tensión durante la actividad, mientras usaban los juguetes.

Tabla 3: Estadísticos descriptivos de IMI en estudiantes de secundaria

	Mínimo	Máximo	Media	Resultado
Interés y disfrute	11	30	23.65	Alto
Competencia percibida	6	18	12.73	Regular
Presión y tensión	6	20	13.08	Bajo

En general, los estudiantes tanto de primaria como secundaria tuvieron una buena motivación intrínseca utilizando el juego y los juguetes activos.

Por su parte, la evaluación de la usabilidad se realizó utilizando el cuestionario SUS, con la misma escala Likert de 5 puntos con los pictogramas de Smileyometer que se utilizó en el caso del IMI, y que se muestra en la Figura 7. A continuación se presentan las afirmaciones utilizadas en el SUS:

- Pienso que me gustaría jugar de nuevo con El conquistador.
- Pienso que el juego es fácil de usar.
- Creo que necesitaría el apoyo de un adulto para poder jugar el juego del Conquistador.
- Imagino que otros niños aprenderían a usar el juego rápidamente.
- Encontré el juego muy difícil de jugar.
- Me sentí muy seguro jugando.

En la Tabla 4 se detallan los valores mínimos y máximos alcanzados, así como las medias logradas, mismas que brindan resultados de acuerdo con el promedio de puntuación de (Lewis & Sauro, 2009). Como se observa en la tabla, tanto en primaria como secundaria se obtiene una media superior a 68, que es el valor referente como indicador de buena usabilidad en el test SUS. Al mismo tiempo, los grupos dieron un valor similar, levemente inferior en el caso de los estudiantes de secundaria.

Tabla 4: Estadísticos descriptivos del cuestionario SUS

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	Resultado
E. Primaria	7	37.50	100.00	69.0476	21.76489	Bueno
E. Secundaria	26	37.50	95.83	68.2692	15.50434	Promedio

Respecto a las entrevistas y cuestionarios a los estudiantes llevados a cabo para conocer su opinión sobre el uso de los juguetes activos, se puede observar en la Figura 8 que la

mayoría pudo identificar y comprender los diferentes efectos de los juguetes, a través de los cuales se proveía *feedback*.

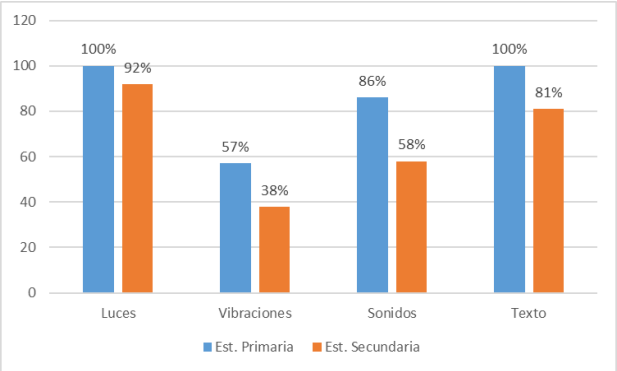


Figura 8: Comparación de resultados de tipos de feedback identificados los juguetes interactivos por los estudiantes

Tanto a los estudiantes de primaria como de secundaria les gustaron y divirtieron los juguetes activos, por presentar un diseño con personajes reconocidos, ser fáciles de usar e incluir diferentes componentes para generar *feedback*. Además, a todos les gustaría volver a jugar con otros juegos como El Conquistador. Cuando se les preguntó qué les gustaba de este juego, respecto de otros en *tablets*, consolas de videojuego o celular, respondieron mayormente que los juguetes y su manipulación. Algunos afirmaron: "Lo que me gusta más es usar los muñecos", "Los muñecos, sentir los juguetes y las vibraciones", y "conquistar países y hacer perder vidas".

La Figura 9 ilustra que, en general, les gustaron más los efectos de *feedback* visuales (luces) sobre otros como los de texto, audio y/o háptico. El feedback visual, a través de los leds que representaban las vidas, les sirvió para autorregular las estrategias a utilizar en el juego, por ejemplo, buscando recuperar vidas.

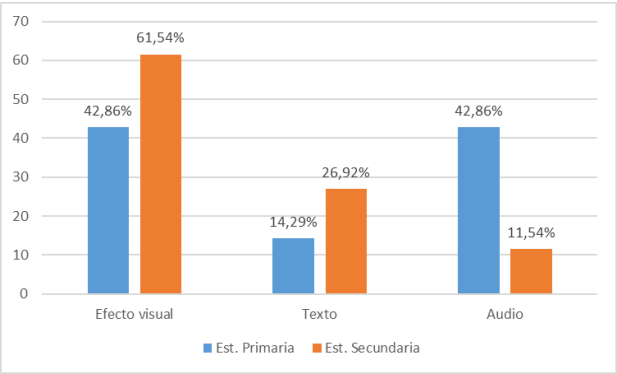


Figura 9: Comparación del agrado de los estudiantes acerca de los efectos de los juguetes interactivos.

Los estudiantes indicaron también que les había gustado la combinación de efectos audiovisuales y háptica, tal y como se puede ver en la Figura 10.

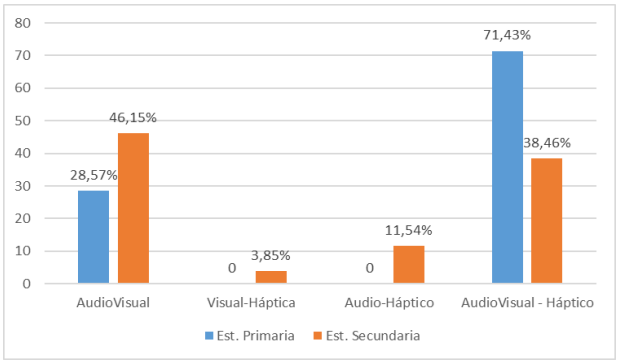


Figura 10: Comparación de la percepción de los estudiantes acerca de combinación de efectos de los juguetes interactivos.

En cuanto a las preguntas aplicadas a los docentes en el marco de la entrevista, éstas determinaron percepciones muy positivas sobre el uso de juguetes interactivos basados en IT para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Los resultados exponen los gustos, tipos de actividades, tipos de *feedback* y beneficios de los juguetes interactivos desde la perspectiva de los docentes. La Tabla 5 muestra las preguntas y algunas de las respuestas alcanzadas.

Tabla 5: Cuestionario aplicado a los docentes posterior a la sesión con el juego

Preguntas	Respuestas
¿Les gustó la actividad? ¿Qué les gustó de la actividad?	- Me gustó el carácter de la propuesta para integrar contenidos con la tecnología. - Sí, la posibilidad de los alumnos de ver otra forma de comunicarse con la computadora.
¿Consideran que los objetos interactivos (Hulk e Iron Man) pueden ser atractivos y de interés para llevar adelantes actividades educativas?	- Sí, es una manera muy didáctica para el repaso de contenidos. - Sí, me parecen muy atractivos por los personajes, música, colores y novedosos.
¿En qué tipos de actividades educativas se podrían integrar juguetes interactivos?	- Para afianzar conocimientos previos. - En actividades de repaso para prepararse para evaluaciones.

Preguntas	Respuestas
¿Qué tipos de *feedback* le parecen más atractivos para sus alumnos en los objetos interactivos?	- *Display* y luces. - Las luces y las respuestas en el *display*. - Las luces que indican las vidas.
¿Qué aspectos encuentran beneficiosos en este tipo de tecnologías?	- Brinda la posibilidad de conocer/ampliar el área del conocimiento. - La interacción con elementos tangibles como juguetes que les resultan familiares y atractivos.
¿Si tuvieran la oportunidad de implementar juguetes interactivos para actividades educativas, lo harían? ¿Qué tipo de juguetes? ¿Fomentaría la participación de los estudiantes en las actividades educativas?	- Sí, lo hiciera con juguetes que fueran apropiados a la edad y en las cuales sientan admiración. Claramente fomentaría la participación de los estudiantes. - Sí, juguetes tipo deportivos y por supuesto fomentaría la participación.

En síntesis, los docentes indicaron que encuentran agradables las actividades educativas basadas en IT con juguetes activos, los consideraron atractivos y de interés, principalmente para el repaso de contenidos. Similarmente a los resultados obtenidos en Okerlund et al. (2016), los docentes consideran que podrían integrar juguetes activos en diferentes tipos de actividades, entre ellas actividades de repaso para recuperar conocimientos previos, siempre y cuando los juguetes sean acordes a las actividades. Además, opinan que los *feedbacks* audiovisuales son lo más atractivos para sus alumnos, y es aquí, donde según (Ribas, 2001; Soler-Adillon, 2012) se pueden captar, mantener y aumentar el interés de los estudiantes mientras se genera un proceso de transmisión de conocimientos.

Entre los beneficios indican la participación activa de los estudiantes, ven a los juguetes activos basados en IT como novedosos, capaces de generar curiosidad en los estudiantes y con la posibilidad de ampliar el área del conocimiento a través de la interacción. Debido a los beneficios presentados, todos los docentes indicaron que si tuvieran la oportunidad de implementar juguetes activos basadas en IT para actividades educativas lo harían, ya que claramente fomentaría la participación y el disfrute. Y es que cuando se extiende el disfrute de los estudiantes estos aumentan la motivación intrínseca y con ello la participación en las actividades (Karimi & Lim, 2010).

6. Conclusiones

Como conclusiones del trabajo, se ha podido determinar que los objetos activos permiten crear actividades educativas que fomenten el aprendizaje, la diversión y favorecen la participación activa y la mayor atención de los estudiantes en sus tareas. La experiencia llevada a cabo confirma que los estudiantes se encuentran motivados por la actividad desarrollada con El Conquistador y los juguetes activos. Los estudiantes han aprovechado tanto el *feedback* visual (fundamentalmente para el control de vidas), como el auditivo y el háptico, lo que los anima a estar activos, y a participar. El de mayor preferencia es el *feedback* visual, aunque se encontró que los participantes afirman que les gusta la combinación de los tres canales utilizados; esto aporta como guía para el diseño de nuevos juguetes activos, en los que el valor otorgado a la manipulación de los juguetes, el *feedback* por diferentes canales, la metáfora de las vidas a través de las luces led físicas del juguete, han sido aspectos destacados por los alumnos como de valor, y que pueden profundizarse en futuras experiencias. Al mismo tiempo la buena predisposición y las opiniones de los docentes, abren la puerta para continuar con este tipo de experiencias y la investigación en la temática.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. De Buenos Aires, a través del proyecto REFORTICCA, el Proyecto 11/F023 del III LIDI FI UNLP, y el proyecto RTI2018-096986-B-C31: "Pergamex: pervasive gaming experiences for all". Asimismo, se agradece a la Universidad de Costa Rica, Sede del Sur.

Referencias

Anastasiou, D., & Ras, E. (2017). A Questionnaire-based Case Study on Feedback by a Tangible Interface. SmartLearn, 39-42.

Artola, V., Sanz, C., & Pesado, P. (2020). Interacción Tangible en escenarios educativos. Diseño de una herramienta de autor para la creación de actividades educativas basadas en Interacción Tangible. Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, 25, e13. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/120577

Berriman, L., & Mascheroni, G. (2019). Exploring the affordances of smart toys and connected play in practice. New Media and Society, 21(4), 797-814. https://doi.org/10.1177/1461444818807119

Brooke, J. (1996). SUS - A quick and dirty usability scale. En P. Jordan, B. Thomas, I. McClelland, & B. Weerdmeester (Eds.), Usability Evaluation In Industry (pp. 189-194). CRC Press. https://doi.org/10.1002/hbm.20701

Cano, S., Peñeñory, V., Collazos, C. A., & Albiol-Pérez, S. (2020). Designing internet of tangible things for children with hearing impairment. Information (Switzerland), 11(2), 1-13. https://doi.org/10.3390/info11020070

Cruz, M., Sanz, C., & Baldassarri, S. (2020). Análisis de experiencias con objetos activos en actividades educativas basadas en interacción tangible. INTERACCIÓN: Revista Digital de AIPO, 1(1).

East, B., DeLong, S., Manshaei, R., Arif, A. S., & Mazalek, A. (2016). Actibles: open source active tangibles. Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, 469-472. https://doi.org/10.1145/2992154.2996874

Inami, M., Sugimoto, M., Thomas, B., & Richter, J. (2010). Active Tangible Interactions. En Tabletops - Horizontal Interactive Displays (pp. 171-187). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84996-113-4_8

Ishii, H., & Ullmer, B. (2003). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits, and atoms. Proceedings of the 8th international conference on Intelligent user interfaces, March, 234-241. https://doi.org/10.1145/604045.604048

Kara, N., & Cagiltay, K. (2020). Smart toys for preschool children: A design and development research. Electronic Commerce Research and Applications, 39(2). https://doi.org/10.1016/j.elerap.2019.100909

Karimi, A., & Lim, Y. (2010). Children , engagement and enjoyment in digital narrative. Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education, January 2010, 475-483. https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/

Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, 33(TR/SE-0401), 28. https://doi.org/10.1.1.122.3308

Lewis, J., & Sauro, J. (2009). The Factor Structure of the System Usability Scale. En M. Kurosu (Ed.), International Conference on Human Centered Design (Vol. 5619, pp. 94-103). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02806-9_12

Marshall, P., Price, S., & Rogers, Y. (2003). Conceptualising tangibles to support learning. Proceedings of the 2003 conference on Interaction design and children, 101-109. https://doi.org/10.1145/953536.953551

Muijzer-witteveen, H., Sibum, N., Dijsseldonk, R. Van, Keijsers, N., & Asseldonk, E. Van. (2018). Questionnaire results of user experiences with wearable exoskeletons and their preferences for sensory feedback. NeuroEngineering and Rehabilitation, 15(112), 1-8. https://doi.org/10.1186/s12984-018-0445-0

Okerlund, J., Segreto, E., Grote, C., Westendorf, L., Scholze, A., Littrell, R., & Shaer, O. (2016). SynFlo: A Tangible Museum Exhibit for Exploring Bio - Design. Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, 141-149. https://doi.org/10.1145/2839462.2839488

Read, J., Macfarlane, S., & Casey, C. (2002). Endurability , Engagement and Expectations: Measuring Children´s Fun. Interaction Design and Children, May 2014, 1-23. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.100.9319

Ribas, J. (2001). Difusió cultural i comunicació audiovisual interactiva. revistes catalanes amb accés obert, 18, 170-181. https://www.raco.cat/index.php/Temes/article/view/29692

Richter, J., Thomas, B., Sugimoto, M., & Inami, M. (2007). Remote active tangible interactions. Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction, 39-42. https://doi.org/10.1145/1226969.1226977

Rodić, L. D., & Granić, A. (2021). Tangible interfaces in early years' education: a systematic review. Personal and Ubiquitous Computing. https://doi.org/10.1007/s00779-021-01556-x

Ryan, R., & Deci, E. (2006). Intrinsic Motivation Inventory (IMI).

Sanz, C., Cruz, M., Nordio, M., Artola, V., & Baldassarri, S. (2019). The Conqueror: An Educational Game Based On Tangible Interaction. International Conference of Education, Research and Innovation, 8498-8505.

Sanz, C., Moralejo, L., Artola, V., Salazar Mesía, N., Guisen, A., Baldassarri, S., Manresa Yee, C., & Pesado, P. M. (2016). Paradigmas de interacción persona-ordenador en el ámbito de la educación y la educación especial: avances del proyecto y resultados. Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (Entre Ríos, Argentina), 18, 1020-1025. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52766

Soler-Adillon, J. (2012). Principios de diseño de interacción para sistemas interactivos. http://repositori.upf.edu/handle/10230/21513

van Huysduynen, H., de Valk, L., & Bekker, T. (2016). Tangible Play Objects: Influence of Different Combinations of Feedback Modalities. Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, 262-270. https://doi.org/10.1145/2839462.2839492

Van Seters, J. R., Ossevoort, M. A., Tramper, J., & Goedhart, M. J. (2012). The influence of student characteristics on the use of adaptive e-learning material. Computers and Education, 58(3), 942-952. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.11.002

Zhang, F., Sun, S., Liu, C., & Chang, V. (2020). Consumer innovativeness, product innovation and smart toys. Electronic Commerce Research and Applications, 41(February), 100974. https://doi.org/10.1016/j.elerap.2020.100974

Zuckerman, O., & Gal-Oz, A. (2013). To TUI or not to TUI: Evaluating performance and preference in tangible vs. graphical user interfaces. International Journal of Human Computer Studies, 71(7-8), 803-820. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2013.04.003

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Sección: Grupos de Investigación en IPO

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Proyecto Indigo! Grupo de investigación en tecnologías educativas y de asistencia a personas con diversidad funcional intelectual

Indigo Project! Research group on educational an assistive technologies for people with intellectual functional diversity

Xavier Alamán, Rosa M. Carro, Ruth Cobos, Javier Gómez, Francisco Jurado, Germán Montoro, Jaime Moreno, Álvaro Ortigosa, Pilar Rodríguez

Departamento de Ingeniería informática
Universidad Autónoma de Madrid
Madrid, España
{xavier.alaman, rosa.carro, ruth.cobos, jg.escribano, francisco.jurado, german.montoro, jaime.moreno, alvaro.ortigosa, pilar.rodriguez}@uam.es

Estefanía Martín

Departamento de Ciencias de la Computación, Arquitectura de Computadores, Lenguajes y Sistemas Informáticos y Estadística e Investigación Operativa
Universidad Rey Juan Carlos
Madrid, España
estefania.martin@urjc.es

Miguel Gea, Dulce María Romero

Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos
Departamento de Fisioterapia
Universidad de Granada
Granada, España
{mgea, dulceromero}@ugr.es

José Luis Cuesta, Raquel de la Fuente

Departamento de Ciencias de la Educación
Universidad de Burgos
Burgos, España
{jlcgomez, raquelfa}@ubu.es

Gerardo Herrera

Instituto de Robótica, Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Universitat de València
Valencia, España
{gerardo.herrera}@uv.es

Recibido: 27.10.2021 | Aceptado: 16.12.2021
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.39

Palabras Clave

Tecnologías educativas
Educación especial
Tecnologías para la asistencia

Resumen

En esta comunicación presentamos al grupo de investigación del proyecto Indigo! Ecosistema educacional para el desarrollo continuo e independiente de personas con TEA. Este proyecto está financiado dentro del plan Retos por el Ministerio de Ciencia e Innovación entre junio de 2020 y mayo de 2023.

El proyecto está coordinado por Pilar Rodríguez y Germán Montoro, investigadores de la Universidad Autónoma de Madrid e intervienen investigadores de la propia Universidad Autónoma de Madrid, además de la Universidad Rey Juan Carlos, Universidad de Granada, Universidad de Burgos y Universitat de València.

El objetivo de este proyecto es avanzar en la investigación de las tecnologías educativas y de asistencia para las personas con diversidad funcional intelectual, con especial enfoque en las personas con trastorno del espectro autista (TEA).

Además, más allá de este proyecto cabe destacar la consolidación de un grupo de investigación formado por investigadores de diferentes universidades. Este equipo presenta experiencia previa en proyectos y trabajos conjuntos de investigación y se abre a nuevas colaboraciones dentro del ámbito de las tecnologías educativas y la asistencia de personas con necesidades especiales..

Keywords

Education technologies
Special education
Assistive technologies

Abstract

This paper presents the Indigo!'s research group with the aim to propose an Educational ecosystem for the continuous and independent development of people with ASD. This project is funded by Retos's program of the Ministry of Science and Innovation from June 2020 to May 2023.

The project is coordinated by Pilar Rodríguez and Germán Montoro, researches of the Universidad Autónoma de Madrid and participate other researchers from this university as long as from the Universidad Rey Juan Carlos, Universidad de Granada, Universidad de Burgos and Universitat de València.

The goal of this project is to push forward in the research of the assistive and education technologies for people with intellectual disabilities, and more specifically people with autism spectrum disorder (ASD).

Beyond this specific project, we present a consolidated research group formed by researchers of different universities. This team has previous wide experience in common researches and projects and is open to new collaborations in the field of the assistive and education technologies for people with special needs.

1. Descripción del proyecto

El nombre del proyecto se refiere a uno de nuestros principales objetivos: Índigo es un color entre azul y violeta, y azul es el color que simboliza al Trastorno del Espectro Autista (TEA). A su vez, IndiGo! es un acrónimo de Independiente y Go, lo que completa el cuadro: nuestro objetivo es mejorar la vida de las personas con TEA, y también la de sus familiares y cuidadores, al contribuir al desarrollo de sus habilidades, su autonomía y un mayor conocimiento personal.

Este trastorno afecta aproximadamente al 1% de la población mundial. Los programas de educación especial y las terapias del comportamiento son fundamentales para ayudarles a lograr la autodeterminación y habilidades sociales y laborales.

Tradicionalmente, esta asistencia la proporcionan expertos en educación especial y cuidadores. Sin embargo, ésta no siempre es accesible para todos, ya que la cantidad de recursos humanos y económicos necesarios para proveerla es habitualmente muy limitada. La tecnología ha demostrado ser una herramienta apropiada para mejorar tanto el proceso de aprendizaje como la autonomía y la autorregulación de personas con TEA.

Siguiendo estas ideas, este proyecto propone diseñar, desarrollar y evaluar un ecosistema educacional para personas con TEA. La aproximación educacional considerará múltiples perspectivas. La adquisición de competencias curriculares se verá acompañada por el desarrollo de otras capacidades, como son las habilidades socio-comunicativas, cognitivas y de autorregulación.

Como resultado, esperamos que los usuarios de las técnicas y herramientas desarrolladas en el proyecto mejoren su integración social y laboral. A su vez, los profesionales, familiares y educadores tendrán un apoyo a sus tareas, lo que les permitirá proporcionar una asistencia más eficaz. El objetivo final (mejorar la vida de las personas con TEA) solo es posible con la colaboración de diferentes profesionales y expertos. Trabajando juntos diseñamos, desarrollamos y evaluamos un ecosistema de aplicaciones para fomentar la autonomía e independencia de las personas con TEA. Este ecosistema les permitirá mejorar su proceso de aprendizaje, conocimiento personal y autorregulación. Y como resultado final les ayudará a integrarse en la sociedad en condiciones más igualitarias.

Finalmente, esperamos poner a disposición de toda la comunidad los resultados de este proyecto, de modo que pueda llegar y beneficiar al mayor número de personas posible.

2. Grupo de investigación

El grupo de investigación de IndiGo! cuenta con la colaboración multidisciplinar de ingenieros, psicopedagogos y educadores, expertos en el área de la diversidad funcional intelectual y el TEA. Como equipo investigador tenemos amplia experiencia en el trabajo conjunto en proyectos y sistemas para la educación y asistencia de personas con necesidades especiales. En particular, tenemos una gran experiencia desarrollando tecnologías innovadoras para personas con necesidades especiales y, más específicamente, para personas diversidad funcional intelectual y TEA (Torrado, Gomez y Montoro, 2020). Consideramos que esta experiencia, así como la colaboración multidisciplinar, es esencial para el éxito de nuestro trabajo.
Con este equipo también colaboran educadores y cuidadores especialistas en este ámbito. Esto permite no solo mejorar el impacto de la investigación que se realiza, sino también probar el ecosistema desarrollado con usuarios en diferentes centros de educación especial.

Germán Montoro, Estefanía Martín y Javier Gómez han trabajado en el desarrollo de tecnología para personas con diversidad funcional intelectual desde el año 2010. En este tiempo también han colaborado con numerosos expertos en discapacidad intelectual y TEA (Roldan et al. 2016).

Pilar Rodríguez, Rosa M. Carro y Álvaro Ortigosa trabajan en el modelado de usuarios y en el desarrollo de sistemas que se adaptan a sus necesidades desde el año 1997. Durante los últimos años se han centrado en la adquisición automática de información (personalidad, emociones, etc.) y en el desarrollo de aplicaciones de e-learning, e-training y asistivas para niños con dificultades (Gómez y Carro, 2014).

Miguel Gea tiene amplia experiencia en el desarrollo de tecnologías para personas con TEA y otras diversidades funcionales intelectuales (Gea, Alamán y Rodríguez, 2016).
Xavier Alamán ha dirigido dos proyectos previos dentro de este grupo de investigación relacionados con el desarrollo de tecnologías para personas con necesidades especiales. Su investigación se orienta en el uso de nuevas tecnologías, como la realidad aumentada, para la educación de jóvenes con problemas de aprendizaje.

Dulce Romero, José Luis Cuesta y Raquel De la Fuente son especialistas en educación inclusiva y enseñanza de personas con discapacidad intelectual.

Gerardo Herrera es responsable del grupo de tecnologías y autismo del IRTIC de la Universitat de València.

Ruth Cobos, Jaime Moreno y Francisco Jurado trabajan en e-learning, tanto con propósitos generales como orientados a personas con discapacidad intelectual.

Dentro de este proyecto también ha habido nuevas incorporaciones al equipo investigador. Este grupo de investigación está abierto a la interacción y la suma de sinergias con otros investigadores o grupos que trabajen en el área de la enseñanza, las necesidades especiales, las tecnologías para el aprendizaje, así como la asistencia de personas con diversidad funcional intelectual.

2.1 Grupo Innovación, Investigación e Inclusión de la Universidad de Burgos

Desarrolla iniciativas para promover la inclusión de las personas con Discapacidad Intelectual y del Desarrollo, a través de diferentes proyectos (Carmona-Serrano, López-Belmonte, Cuesta-Gómez y Moreno, 2020). Los miembros del grupo integran la Unidad Asociada de la Universidad de Burgos al Instituto de Investigación Polibienestar, de la Universidad de Valencia (https://www.polibienestar.org/equipo/unidades-asociadas/).

También está relacionado directamente con la Cátedra Miradas por el Autismo, que surge de un convenio de colaboración entre la Universidad de Burgos y la Fundación Miradas (https://fundacionmiradas.org/catedra-miradas-por-el-autismo) así como con el Grupo de Investigación DISCONDU (Discapacidad y Conducta).

Además desarrolla proyectos relacionados con áreas de orientación, empleo, y terapias con distintos colectivos: jóvenes, personas CDI; personas mayores (Carmona-Serrano, López-Belmonte, Cuesta-Gómez, Moreno-Guerrero, 2020).

2.2 ADAPTA Lab – IRTIC Universitat de València

Adapta Lab es un laboratorio formado por investigadores del Instituto IRTIC de la Universidad de Valencia (España). El principal objetivo de este laboratorio es inventar, desarrollar y validar de forma experimental soluciones tecnológicas creadas para mejorar la comunicación, la educación y la calidad de vida de las personas con trastornos del espectro del autismo y/o discapacidad intelectual (Lopez-Herrejón, Poddar, Herrera, y Sevilla, 2020). Los productos y cursos creados por Adapta Lab incluyen soluciones como Pictogram Room, en el que se utilizan tecnologías de realidad aumentada para el desarrollo del esquema corporal y la imitación en alumnado con TEA; la app Ready4Work,

orientada a la integración laboral de personas con discapacidad intelectual; o el curso AppMovTEA (aplicaciones móviles y otras tecnologías para personas con TEA) que se encuentra en su undécima edición.

Las áreas de conocimiento cubiertas por los miembros de Adapta Lab están relacionadas con la informática (incluidos los gráficos 3D, la realidad virtual/aumentada, la semántica web y la integración de tecnología), la psicología (incluida la psicología del desarrollo, la metodología de investigación, los trastornos del espectro autista y la discapacidad intelectual) y la educación (apoyos y métodos específicos). Entre las principales líneas de investigación actuales se encuentra el desarrollo de ontologías aplicadas al TEA, la realidad virtual y realidad aumentada aplicadas al TEA, y el desarrollo metodológico sobre la evaluación de la evidencia de las intervenciones basadas en tecnología en el TEA (Zervogianni, Fletcher-Watson, Herrera et al, 2020).

2.3 LITE – Universidad Rey Juan Carlos

El grupo LITE (Laboratory of Information Technologies in Education) tiene como objetivo el uso de la tecnología en la educación. El área de interés se centra en investigar la aplicación de metodologías activas de aprendizaje que sean capaces de atender a la diversidad, centrándose en el desarrollo o adaptación de tecnologías accesibles que se adecuen a la diversidad de la población (Martin, Cupeiro, Pizarro, et al, 2019).

Un área de especial atención es el ámbito de aplicaciones dirigidas a personas con discapacidad intelectual y personas con TEA (Trastorno del Espectro del Autismo) con el desarrollo de herramientas accesibles para la creación y realización de actividades educativas en distintos dispositivos dentro del proyecto DEDOS (http://aprendecondedos.es/), aplicaciones para el entrenamiento de funciones ejecutivas como la aplicación BlueThinking (http://bluethinking.es/), el desarrollo del pensamiento computacional (BlueAntCode - https://bit.ly/3beBE0t), o creación de cuentos e historias para personas con TEA (Today I Tell) (Martin, Cupeiro, Pizarro, Roldán y Montero, 2019), entre otras. También hay que destacar diferentes proyectos sobre entornos de trabajo colaborativos para el entrenamiento de habilidades laborales con la herramienta ClipIt o en herramientas de guiado en interiores en situaciones de emergencia para personas con discapacidad cognitiva (Roldán, Martín y Haya, 2021).

Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación con referencia PID2019-105951RB-I00 / AEI / 10.13039/501100011033

Referencias

Carmona-Serrano N, López-Belmonte J, Cuesta-Gómez J-L, Moreno-Guerrero A-J. (2020) Documentary Analysis of the Scientific Literature on Autism and Technology in Web of Science. Brain Sciences. 2020; 10(12): 985. https://doi.org/10.3390/brainsci10120985

Gea M., Alaman X., Rodriguez P. (2016) Transmedia Storytelling for Social Integration of Children with Cognitive Disabilities. In: Uskov V., Howlett R., Jain L. (eds) Smart Education and e-Learning 2016. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 59, 463-471. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39690-3_41

Gómez L., Carro, R.M. (2014) Adaptive Training of Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder through Multi-touch Surfaces. IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies, pp. 561-563, https://doi.org/10.1109/ICALT.2014.164.

Lopez-Herrejón, R.E., Poddar, O., Herrera, G., & Sevilla, J. (2020) Customization Support in Computer-Based Technologies for Autism: A Systematic Mapping Study. International Journal of Human Computer Interaction. https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1731673

Martin, E., Cupeiro, C., Pizarro, L., Roldán-Álvarez, D. & Montero-de Espinosa, G. (2019) "Today I Tell" A Comics and Story Creation App for People with Autism Spectrum Condition, International Journal of Human-Computer Interaction, 35:8, 679-691. https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1550178

Roldán-Álvarez D., Gomez J., Márquez-Fernández A., Martín E., Montoro G. (2016) Mobile Devices as Assistive Technologies for ASD: Experiences in the Classroom. In: Marcus A. (eds) Design, User Experience, and Usability: Novel User Experiences. DUXU 2016. Lecture Notes in Computer Science, vol 9747. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40355-7_18

Roldán-Álvarez, D., Martín, E., Haya, P.A. (2021) Collaborative Video-Based Learning Using Tablet Computers to Teach Job Skills to Students with Intellectual Disabilities. Educ. Sci. 2021, 11, 437. DOI: 10.3390/educsci11080437

Torrado, J. C., Gomez J. & G. Montoro (2020) Hands-On Experiences With Assistive Technologies for People With Intellectual Disabilities: Opportunities and Challenges, IEEE Access, vol. 8, pp. 106408-106424, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000095.

Zervogianni, V., Fletcher-Watson, S., Herrera, G., Goodwin, M., Triquell, E., Pérez-Fuster, P., Brosnan, M., y Grynszpan, O. (2020) A framework of evidence-based practice for digital support, co-developed with and for the autism community. Autism. https://doi.org/10.1177/1362361319898331

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Grupo de investigación: Laboratorio interuniversitario para el procesado de señales biomédicas y de fijación de la mirada

Research Group: Interuniversity Laboratory for the Biomedical Signal Processing and Gaze Fixation

Gonzalo Joya Caparrós
Dpto. Tecnología Electrónica
Instituto Universitario de Investigación en Telecomunicación (TELMA)
Universidad de Málaga
Málaga, España
gjoya@uma.es

Rafael M. Ávila Ávila
Dpto. de Licenciatura en Matemática
Universidad de Holguín
Holguín, Cuba
ravilaa62@gmail.com

Rodolfo V. García Bermúdez
Dpto. de Informática y Electrónica
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador
rodgarberm@gmail.com

Jacqueline Medrano Montero
Dpto. de Informática y Electrónica
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador
rodgarberm@gmail.com

Recibido: 28.10.2021 | Aceptado: 16.12.2021
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.41

Palabras Clave

Electrooculografía
Inteligencia computacional
Seguimiento de la mirada
Señales biomédicas

Resumen

El grupo Laboratorio Interuniversitario para el Procesado de Señales Biomédicas y de Fijación de la Mirada está formado por el Laboratorio de Procesamiento de Datos Biomédicos (GPDB) de la Universidad de Holguín (Cuba), el Laboratorio de Investigación en Inteligencia Artificial y sus Aplicaciones de la Universidad Técnica de Manabí (Ecuador), y el Laboratorio de Computación Neuronal y Señales Biomédicas (Grupo ISIS) de la Universidad de Málaga (España). Cuenta, como institución colaboradora y de referencia, con el Centro para la Investigación y Rehabilitación de las Ataxias Hereditarias (CIRAH) de Cuba. El objetivo principal del grupo es la investigación y docencia orientada al desarrollo de herramientas hardware y software para la detección temprana y evaluación de enfermedades neurodegenerativas (especialmente de la Ataxia Espinocerebelosa tipo 2) y la detección de problemas en la atención y el aprendizaje en línea, y su monitorización, mediante el uso de técnicas estadísticas y de aprendizaje automático. Este objetivo se concreta tanto en el desarrollo de hardware portable y de bajo coste para la captación y procesado de señales, como en el desarrollo de modelos computacionales de aprendizaje automático para la clasificación de los patrones obtenidos.

Keywords

Electrooculography
Computational intelligence
Eye tracking
Biomedical signals

Abstract

The Interuniversity Laboratory for the Processing of Biomedical Signals and Gaze Fixation group is made up of the Biomedical Data Processing Laboratory (GPDB) of the University of Holguín (Cuba), the Laboratory for Research in Artificial Intelligence and its Applications of the Technical University of Manabí (Ecuador), and the Laboratory of Neural Computing and Biomedical Signals (ISIS Group) of the University of Malaga (Spain). We have the Center for Research and Rehabilitation of Hereditary Ataxias (CIRAH) of Cuba as a collaborating and reference institution. The main objective

of the group is research and teaching for the development of hardware and software tools for the early detection and evaluation of neurodegenerative diseases (especially Spinocerebellar Ataxia type 2) as well as the monitoring of online learning by using statistical and machine learning techniques. This objective includes both the development of portable and low-cost hardware for the capture and processing of signals as well as the development of machine learning models for the classification of the patterns obtained.

1. Introducción

El grupo *Laboratorio Interuniversitario para el Procesado de Señales biomédicas y de Fijación de la Mirada* está formado por el Laboratorio de Procesamiento de Datos Biomédicos (GPDB) de la Universidad de Holguín (UHo, Cuba), el Laboratorio de Investigación en Inteligencia Artificial y sus Aplicaciones de la Universidad Técnica de Manabí (UTM, Ecuador), y el Laboratorio de Computación Neuronal y Señales Biomédicas (Grupo ISIS) de la Universidad de Málaga (UMA, España). Cuenta, como institución colaboradora y de referencia, con el Centro para la Investigación y Rehabilitación en Ataxias Hereditarias (CIRAH) de Cuba.

El objetivo principal del grupo es la investigación y docencia orientada al desarrollo de herramientas hardware y software para la detección temprana y evaluación de enfermedades neurodegenerativas, especialmente de la Ataxia Espinocerebelosa tipo 2 (SCA2), y a la detección de problemas en la atención y el aprendizaje en línea, y su monitorización, mediante el uso de técnicas estadísticas y de aprendizaje automático. Este objetivo se concreta tanto en el desarrollo de *hardware* portable y de bajo coste para la captación y procesado de señales, como en el desarrollo de modelos computacionales de aprendizaje automático para la clasificación de los patrones obtenidos.

La SCA2 constituye una enfermedad hereditaria, con carácter degenerativo del sistema nervioso, presentación clínica progresiva e invalidante y perteneciente a la clase de las ataxias de tipo autosómico dominante (Velázquez, et al. 2020a). Cuba, país en el que está ampliamente diseminada, tiene las mayores tasas de incidencia y prevalencia en el mundo. La provincia de Holguín exhibe la más alta prevalencia con valor de 47,86 por cada 100000 habitantes (Velázquez, et al. 2020b). Dicha región muestra los mayores porcentajes tanto de enfermos como de familias con ataxias pertenecientes a la forma molecular SCA2 (Hersheson et al. 2012).

El análisis de movimientos oculares como las sácadas, obtenidas a partir de electrooculogramas, ha sido relacionado con el comportamiento evolutivo y las manifestaciones de la SCA2 (Stoean et al. 2020). Estos estudios han sido motivados por la importancia de establecer procedimientos que permitan detectar síntomas tempranos de dicha enfermedad en aras de propiciar la intervención terapéutica mediante un oportuno proceso rehabilitador.

La detección en fase temprana de la SCA2 constituye un problema en el contexto científico y a la vez una prioridad para el Sistema de Salud Cubano, ejemplarizada en la creación del Centro de Investigación y Rehabilitación de Ataxias Hereditarias (CIRAH). Miembros de nuestro grupo, distribuidos entre todos los equipos que lo conforman, colaboran desde 2011 en la búsqueda de para esta detección temprana a partir de la caracterización electrofisiológica de los movimientos y el análisis de las velocidades y amplitudes de las sácadas. En tal sentido el trabajo de colaboración con el CIRAH y la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) ha sido crucial. El objetivo de tal cooperación consiste en desarrollar un sistema de captación y procesado de las señales electrooculográficas que automatice la obtención de los indicadores clínicos, así como desarrollar técnicas de aprendizaje profundo para la clasificación de patrones que posibiliten la identificación precoz de la enfermedad.

Por otra parte, el equipo UTM inició recientemente la línea de investigación basada en Técnicas de seguimiento de la mirada, para la monitorización de distintas actividades, especialmente el entrenamiento de deportistas de alto nivel. La irrupción mundial de la enseñanza on-line, imponiendo como soporte de la información la pantalla electrónica individual, consecuencia de la pandemia de COVID-19, ha reorientado su investigación a detección de problemas de aprendizaje y su monitorización.

Las fortalezas y debilidades en ambas líneas de trabajo, así como la situación actual en relación con recursos materiales y humanos se analizan a continuación.

2. Análisis de las líneas de trabajo: electrooculografía y seguimiento de la mirada

La línea de trabajo "detección temprana y evaluación de la Ataxia Espinocerebelosa tipo 2" se inició hace dos lustros,

tomando como punto de partida la caracterización de los movimientos sacádicos y con ello, la captación y el procesado de señales electrooculográficas. Su desarrollo contó con el financiamiento sucesivo de proyectos PCI de la Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo (AECID). Está centrada tanto el diseño hardware para la captación de señales, como el desarrollo de técnicas de inteligencia computacional para su procesado. Durante el tiempo transcurrido, el equipo de trabajo ha adquirido un considerable dominio tanto de los requerimientos del problema médico de fondo y de los recursos hardware y computacionales implicados en su tratamiento, como de las concepciones teóricas implicadas en el diseño del software que se necesita para la utilización de un dispositivo de captación de señales EOG-Eyetracker, utilizando una interfaz cerebro-máquina.

Así, la colaboración inicial entre miembros de UHo, UMA y CIRAH, incluye ahora a miembros de la UTM y de la Universidad de Craiova (UCV, Rumania). Entre los resultados de esta colaboración, se pueden destacar los siguientes: dotación de instrumentación para la puesta en marcha del Laboratorio del Grupo de Procesamiento de Datos Biomédico en UHO; la publicación de al menos 5 trabajos en revistas internacionales de primer nivel (Neurocomputing, Sensor, Plos ONE, o Mathematics entre otras) (Stoean et al. 2020); 6 capítulos en LNCS; numerosos TFG y TFM (Becerra 2014), en las universidades participantes y 1 tesis doctoral codirigida en la UMA en trámite de evaluación (Becerra 2021). Finalmente, gracias a un proyecto del Plan Propio de la Universidad de Málaga, hemos desarrollado un prototipo del equipo de captación y procesado portable y de bajo coste que será testeado por CIRAH, cuyo esquema se describe en la figura 1.

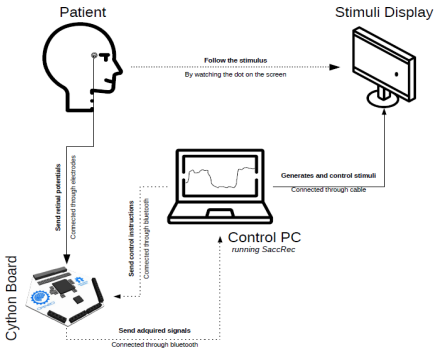


Figura 7: dispositivo y su interacción en el equipo de captación y procesado de registros electrooculográficos.

3. Situación actual, recursos y proyecciones futuras

El grupo está llevando a cabo en la actualidad, con financiación de la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo, una fuerte renovación de equipamiento en sus tres laboratorios (con especial incidencia en los que se encuentran en la UHo y la UTM) y en el centro colaborador CIRAH. Tal renovación afecta por igual tanto a dispositivos de registro de señales electrooculográficas y de seguimiento de la mirada como a los sistemas informáticos para el procesado de datos y la simulación de modelos de inteligencia computacional. Se espera que tales acciones viabilicen un avance en las tareas de investigación y docencia en las tres universidades implicadas, así como en la línea asistencial del CIRAH.

Junto al referido proceso renovador de los laboratorios involucrados, se ha dado apertura a nuevas investigaciones como parte de la realización de dos tesis doctorales codirigidas cuyos doctorandos pertenecen a las universidades de Holguín y Manabí, respectivamente.

La primera de ellas está enfocada en la detección de anomalías en los movimientos oculares como parte de la caracterización electrofisiológica de los pacientes con SCA2, así como en el establecimiento de diferentes clases a partir del análisis de los registros electrooculográficos correspondientes [Autor1, 2021]. Entre las metas que se esperan alcanzar, aparte de la obtención de nuevos registros, están la aplicación de técnicas de clusterización con el fin de buscar patrones de regularidad para la identificación de las distintas fases de la enfermedad, modificar las técnicas de clasificación disponibles de modo que contribuyan al enriquecimiento de los resultados hasta ahora concretados [Autor2, 2020] y la implementación de algoritmos para sistemas inteligentes, útiles en el proceso de toma de decisiones en la institución colaboradora (CIRAH).

La otra tesis doctoral se plantea como objetivo la obtención de un modelo computacional de aprendizaje automático de los movimientos oculares de los estudiantes en actividades relacionadas con la enseñanza en línea, con el fin de predecir los resultados que obtendrán al realizar un examen, así como evaluar su nivel de conocimientos, habilidades y estrategias de resolución. Como resultado de este trabajo se prevé también ofrecer a la comunidad científica conjuntos de datos abiertos de los movimientos oculares captados en los experimentos que se realicen.

La realización exitosa de todos estos proyectos en el marco de la continuidad del trabajo de colaboración que realiza el grupo constituirá una contribución relevante al desarrollo de aspectos clave de las instituciones involucradas, en el desarrollo de capacidades de investigación de profesores y estudiantes, y el impacto de cada uno de estos centros en el ámbito de los objetivos de desarrollo sostenible de las comunidades en las que se encuentran, fomentando sinergias de trabajo conjunto entre las universidades participantes.

4. Reconocimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo a través del proyecto "Red universitaria para la investigación y docencia en técnicas de captación y procesado de señales electrooculográficas y de fijación de la mirada orientadas a la detección de enfermedades neurodegenerativas y a la monitorización del aprendizaje", y las Universidades de Málaga – Anadalucía Tech., Holguín (Cuba), Técnica de Manabí (Ecuador), y el Centro para la Investigación y Rehabilitación de Ataxias Hereditarias.

Referencias

Becerra-Garcia, R. (2014). Plataforma de procesamiento electrooculograma. Caso de estudio: pacientes con Ataxia Espinocerebelosa tipo 2. Tesis de Maestría en Informática Matemática aplicada a la Administración. Universidad de Holguín, Cuba.

Becerra-García, R. (2021). Technology for processing saccadic electrooculograms in people suffering with Spinocerebellar Ataxia type 2 (SCA2). Tesis doctoral. Departamento de Tecnología Electrónica. Universidad de Málaga (En proceso de revisión).

Hersheson, J., Haworth, A., Houlden, H. (2012). The inherited ataxias: genetic heterogeneity, mutation databases, and future directions in research and clinical diagnostics. Hum Mutat. 33(9):1324-32.

Mora Batista, C., Gálvez Lio, D., Joya Caparros, G. (2021). Detección de anomalías y clasificación en registros electrooculográficos de pacientes con Ataxia Espinocerebelosa tipo 2 (SCA2). Actas del Congreso Interacción, 2021. Málaga, España.

Stoean, R.; Stoean, C.; Becerra-García,R., García-Bermúdez, R.; Atencia-Ruiz, M. A.; Garcia-Lagos, F.; Velázquez Pérez, L.; Joya-Caparros, G. 2020. A Hybrid Unsupervised - Deep Learning Tandem for Electrooculography Time Series Analysis. PloS One. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236401

Velázquez Pérez, L., Vázquez Mojena, Y., Rodríguez Labrada, R. (2020a). Ataxias hereditarias y COVID-19: posibles implicaciones fisiopatológicas y recomendaciones. Anales de la Academia de Ciencias de Cuba, Volumen 10, Número 2. http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/rt/printerFriendly/801/830

Luis Velázquez-Pérez, Jacqueline Medrano-Montero, et al. ((2020b), Hereditay Ataxias in Cuba: A nationwide epidemiological and clinical study in 1001 patiensThe Cerebellum 19 (2); https://doi.org/10.1007/s12311-020-01107-9

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 2, No 2 (2021)
ISSN 2695-6578

Grupo CHICO – UCLM

CHICO – UCLM Research Team

Miguel Á. Redondo
Tec. y Sist. de Información
Univ. Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España
Miguel.Redondo@uclm.es

Manuel Ortega
Tec. y Sist. de Información
Univ. Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España
Manuel.Ortega@uclm.es

Crescencio Bravo
Tec. y Sist. de Información
Univ. Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España
Crescencio.Bravo@uclm.es

Ana I. Molina
Tec. y Sist. de Información
Univ. Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España
AnaIsabel.Molina@uclm.es

Carmen Lacave
Tec. y Sist. de Información
Univ. Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España
Carmen.Lacave@uclm.es

Yoel Arroyo
Tec. y Sist. de Información
Univ. Castilla-La Mancha
Talavera de la Reina, España
Yoel.Arroyo@uclm.es

Recibido: 29.10.2021 | Aceptado: 16.12.2021
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.46

Palabras Clave

e-Learning
CSCW, CSCL
HCI, Usabilidad
Análisis de la interacción
Interfaces de usuario
Seguimiento ocular
Awareness

Resumen

Este artículo pretende servir de presentación del Grupo CHICO de la Universidad de Castilla-La Mancha cuyo objetivo fundamental se centra en la generación de conocimiento, nuevos métodos, técnicas, herramientas y procesos de Ingeniería Informática para la mejora del soporte a tareas interactivas y colaborativas, especialmente en contextos de aprendizaje, todo ello combinando las perspectivas de la Informática Educativa y de la Interacción Persona-Ordenador. Así pues, se describe su trabajo en los ámbitos de la investigación y la docencia. En materia de investigación su actividad se organiza en una serie de líneas o áreas generales que sirven de base para la difusión y transferencia de conocimiento y de tecnología. Para cada una de estas líneas se apuntan las personas de contacto y de referencia con objeto de facilitar la explotación de oportunidades de colaboración que puedan instrumentarse. Por último, se mencionan las perspectivas de futuro con las que se plantea su actividad.

Keywords

e-Learning
CSCW, CSCL
HCI, Usability
Interaction Analysis
User Interfaces
Eye-tracking
Awareness

Abstract

This paper aims to provide a presentation of the CHICO Research Team of the Castilla-La Mancha University whose main objective is focused on the generation of knowledge, new methods, techniques, tools, and processes of Computer Science Engineering to improve the support of interactive and collaborative tasks, especially in learning contexts, combining the perspectives of Computers in Education and Computer-Human Interaction. Thus, its work is described in the scopes of research and teaching. In terms of research, this activity is organized in several general lines or areas that serv as a basis for the dissemination and transfer of knowledge and technology. For each of these lines, the contact and reference persons are mentioned in order to facilitate opportunities for collaboration that may arise. Finally, the future perspectives of its activity are mentioned.

1. Presentación

El Grupo CHICO[14] (*Computer-Human Interaction and COllaboration*) (Ortega et al., 2019) de la Universidad de Castilla-La Mancha tiene su sede en la Escuela Superior de Informática del campus de Ciudad Real (ESI) y actualmente está reconocido como Grupo Consolidado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. El ámbito fundamental de trabajo, en materia de investigación, se centra en la generación de conocimiento en materia de nuevos métodos, técnicas, herramientas y procesos de Ingeniería Informática para la mejora de las tareas interactivas y colaborativas, especialmente en contextos de aprendizaje y, por experiencia previa, con aplicación directa en el aprendizaje de la Programación. En este contexto, juega un rol importante el diseño de experimentos y el análisis de datos, mediante la aplicación de técnicas estadísticas y de Inteligencia Artificial.

El Grupo dispone de un Laboratorio de Usabilidad situado en el edificio Fermín Caballero de la ESI, con infraestructuras para captura de datos mediante técnicas de seguimiento ocular (o eye-tracking) y biométricas basadas en la utilización de herramientas software y hardware de TOBII[15]. Además, dispone de equipamiento de realidad mixta (*Microsoft Hololens*) e interacción natural (mesas interactivas multi táctiles, o *multitouch*) utilizado para el soporte de experiencias de programación colaborativa, mediante el uso de varias metáforas visuales y manipulativas innovadoras.

Actualmente, los miembros permanentes del grupo en el Departamento de Tecnologías y Sistemas de Información de la Universidad de Castilla-La Mancha son Manuel Ortega, Crescencio Bravo, Carmen Lacave, Ana I. Molina, Yoel Arroyo y Miguel Á. Redondo, además de Óscar Navarro, actualmente adscrito al Departamento de Pedagogía en la Facultad de Educación. No obstante, hay que destacar la colaboración mantenida en el tiempo con otros profesores formados en CHICO y que actualmente trabajan en otras universidades (Rey Juan Carlos, Cantabria, Zaragoza, Autónoma de Madrid, etc.).

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma: en primer lugar, se presentan las principales acciones de investigación que desarrollamos; seguidamente mencionamos aspectos de docencia tanto a nivel de grado como de postgrado y doctorado; posteriormente señalamos los ámbitos y las oportunidades que ofrecemos para establecer marcos de colaboración; finalmente, indicamos algunos comentarios finales y hacemos referencia a los planes inmediatos que marcarán el desarrollo de nuestro futuro.

2. Acciones de investigación

La trayectoria del Grupo en materia de investigación (Ortega, 2021) se inicia en 1999, bajo la dirección de Manuel Ortega, y ha estado soportada con financiación de proyectos regionales, nacionales e internacionales con una destacada vinculación con grupos iberoamericanos, trabajando siempre en aspectos de soporte software a sistemas de *eLearning* y a la Interacción Persona-Ordenador. Desde el año 2011 los principales proyectos en los que se ha trabajado, con financiación obtenida en convocatorias públicas competitivas, se han centrado en el desarrollo de modelos, métodos y herramientas para la mejora del aprendizaje efectivo de la Programación, en coordinación con el Grupo LITE[16] de la URJC y más recientemente con la incorporación del Grupo M&C:FLAI[17] de la U. Cantabria.

A continuación, se enunciarán y describirán brevemente las líneas de investigación en las que se ha distribuido el trabajo, las acciones de transferencia en las que se ha participado y la estrategia de difusión de los resultados de investigación.

2.1. Líneas de investigación

2.1.1. Aplicación de técnicas de Ingeniería del Software al desarrollo de sistemas de eLearning

Bajo esta línea se abordan trabajos relacionados con el diseño de modelos computacionales en sistemas de aprendizaje, diseño y desarrollo de técnicas y sistemas de soporte al aprendizaje en grupo y la integración de ontologías, estándares y objetos de aprendizaje en sistemas de *eLearning* (Arroyo, Molina, Redondo, & Gallardo, 2021). Las personas de referencia para los temas relacionados con esta área de trabajo son Miguel Á. Redondo y Crescencio Bravo.

2.1.2. Desarrollo y aplicación de técnicas de Ingeniería del Software en IPO

Esta línea de actuación agrupa las dimensiones del diseño y especificación de interfaces de usuario cooperativos y

[14] https://blog.uclm.es/grupochico/
[15] https://www.tobii.com
[16] http://lite.etsii.urjc.es
[17] https://mcflai.unican.es

colaborativos, la construcción de sistemas groupware independientes del dominio mediante aproximaciones de MDA y MDD, el diseño y especificación de modelos, métodos y herramientas computacionales para modelado y análisis de la colaboración y del *awareness* (Gallardo, Bravo, & Molina, 2017), así como el diseño de la interacción mediante los paradigmas de computación móvil, ubicua y realidad aumentada (Sánchez et al., 2020). Las personas de contacto sobre los trabajos de este campo son Ana I. Molina, Crescencio Bravo y Yoel Arroyo.

2.1.3. Análisis mediante seguimiento ocular

El objetivo fundamental de esta línea es la de aplicar la técnica de *eye-tracking* para la evaluación del comportamiento del usuario, la usabilidad de sistemas y la carga cognitiva impuesta por notaciones para el modelado de sistemas (Molina, Redondo, Ortega, & Lacave, 2014), desde un enfoque más objetivo (puramente fisiológico). Las personas de referencia para los temas relacionados con esta línea de trabajo son Ana I. Molina y Miguel Á. Redondo.

2.1.4. Diseño de experimentos y análisis de datos

Esta línea de trabajo es transversal a las demás, ya que se centra en el diseño de experiencias para el abordaje de las distintas hipótesis de investigación que se formulan, así como para la calibración de los instrumentos de medida (principalmente, cuestionarios) propuestos por los miembros del Grupo (C. Lacave, Molina, & Cruz, 2018; Carmen Lacave, Molina, & Redondo, 2018; Carmen Lacave, Velázquez, Paredes, & Molina, 2020). Las personas de referencia para los temas relacionados con esta área son Carmen Lacave y Ana I. Molina.

2.2. Transferencia de conocimiento y tecnología

La dimensión de la transferencia al sector industrial y productivo, en una primera etapa se abordó en acciones y contratos puntuales para, actualmente, canalizarse a través de aulas y cátedras con empresas que suponen un instrumento de colaboración más amplio y sostenible en el tiempo. No obstante, el ecosistema que proporcionan el Instituto de Investigación en Tecnologías y Sistemas de Información y la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación de la Universidad también suponen una excelente plataforma.

Durante la primera etapa, realizamos contratos de I+D con empresas como *Soluziona* (actualmente *INDRA Software Labs*), *IECISA*, *COJALI*, *Grupo Dinfor* y proyectos de participación industrial con la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, así como proyectos de transferencia específicos con esta misma institución para trabajar dando soporte a distintos centros educativos de enseñanza secundaria de la provincia de Ciudad Real.

En la segunda y actual etapa mencionamos específicamente la Cátedra *Sistemas Avanzados de Interacción para Educación a Digital* con la empresa Telefónica, dirigida por Miguel Ángel Redondo y el *Aula Alpinia Technologies*, dirigida por Crescencio Bravo.

2.3. Difusión de la investigación

En las tareas de investigación y desarrollo que se abordan, se suelen obtener varios tipos de resultados que requieren diversas formas de difusión y explotación.

Podemos hablar de artefactos como guías metodológicas, técnicas de modelado o herramientas de soporte que convienen ser presentadas como demostraciones en congresos para promover su difusión, crítica y utilización por parte de la comunidad científica. Del mismo modo, las evaluaciones o actividades de experimentación que en muchos casos se realizan, se publican como informes técnicos en la web del Grupo, facilitando los detalles para su comprensión y replicación, por lo que se utilizan formatos abiertos convenientemente anonimizados.

Por otro lado, las contribuciones más sólidas para la comunidad científica se suelen presentan en congresos nacionales e internacionales de reconocido prestigio. A nivel internacional, consideramos prioritarios los congresos organizados por asociaciones como ACM, IEEE o IFIP, o los indexados en bases de datos de referencia como CORE y GGS. Los resultados validados y consolidados se publican en revistas internacionales, prioritariamente con índice de impacto ISI-JCR, sin descartar otras de reconocido prestigio.

3. Docencia de grado y formación para la investigación

Conviene mencionar la implicación de los miembros del Grupo CHICO en la docencia de materias relacionadas con Interacción Persona-Ordenador desde que empezaron a implantarse en España, particularmente en la Universidad de Castilla-La Mancha, allá por el año 1997, cuando se inició la impartición del plan de estudios de Ingeniería Informática y actualmente transformados en estudios de Grado en Ingeniería Informática. Esto sirvió para cimentar una importante relación con el Prof. Ben Shneiderman de la Universidad de Maryland, que dio lugar a su nombramiento como *Doctor Honoris Causa* por nuestra universidad. Además, cabe significar el papel del Grupo en la fundación de la Asociación AIPO y como pioneros en el lanzamiento de las

primeras *Jornadas de Trabajo sobre Enseñanza de CHI* (CHIJOTE) allá por el año 2005, convirtiéndose en un evento singular en la trayectoria de la docencia de IPO en España, de la asociación AIPO, y todo un referente ampliamente citado que, además, recientemente ha podido ser reeditado para dar continuidad a una actividad tan productiva y representativa para la comunidad docente de este ámbito en España y Latinoamérica.

En cuanto a la formación para la investigación, cabe señalar que Manuel Ortega participó como profesor en el programa de *Doctorado en Tecnologías Informáticas Avanzadas* de la Universidad de Castilla-La Mancha iniciado en el curso 1995/96 en colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia. Este programa, sufrió varias transformaciones para convertirse en Máster con perfil de investigación y luego en Programa Oficial de Posgrado, obteniendo de la Mención de Calidad ministerial (ref. MCD2006-00423), ya con la participación del resto de los miembros del Grupo como profesores y tutores. Finalmente, este programa formativo dio lugar al actual *Programa de Doctorado en Tecnologías Informáticas Avanzadas* de la Universidad de Castilla-La Mancha. Durante todo este tiempo, se han desarrollado numerosas tesis doctorales en los ámbitos de las líneas anteriormente expuestas, recibiendo la visita de investigadores de reconocido prestigio internacional para interesarse y formarse en aspectos particulares de nuestro trabajo y de nuestros métodos.

Mención especial merece la relación con Latinoamérica para la formación en postgrado y doctorado que recientemente ha cristalizado en la firma de convenios de cotutela para la obtención del grado de Doctor, como es el caso del recientemente firmado con la Universidad del Cauca en Colombia.

4. Ámbitos y oportunidades de colaboración

Los miembros del Grupo CHICO siempre se plantean explotar oportunidades de colaboración con investigadores y profesionales de la industria que trabajen en investigación, docencia y/o innovación en las áreas temáticas presentadas en este artículo o en otras donde tenga sentido la aplicación del conocimiento, las técnicas y las herramientas derivadas de nuestra trayectoria previa y nuestros objetivos actuales. Para ello, se contempla como escenarios preferenciales aquellos que dibujan las convocatorias de financiación públicas y competitivas.

El ámbito de esta colaboración está abierto especialmente tanto a grupos españoles como latinoamericanos, sin descartar otros países. Además, estamos especialmente convencidos de la necesidad de configurar equipos de trabajo y colaboración de carácter interdisciplinar y multicultural para para abordar las problemáticas científico-técnicas donde la Informática Educativa y la Interacción Persona-Ordenador pueden contribuir aportando mejoras a la sociedad.

5. Comentarios finales

En este artículo se hace un recorrido de la actividad más destacada y relevante del trabajo del Grupo CHICO de la Universidad de Castilla-La Mancha con objeto de mostrar a los lectores posibles oportunidades de colaboración y dirigirles directamente hacia los miembros del Grupo con los que poder contactar.

Nuestros planes de futuro inmediato se orientan hacia el planteamiento, desarrollo y evaluación de aspectos relacionados con la creación de representaciones y abstracciones de dominios de aprendizaje, adaptados al perfil del estudiante y atendiendo a la diversidad, incluyendo como elementos fundamentales los factores de género; la inclusión de técnicas de interacción natural y manipulativa de estas representaciones; y un mejor soporte a las tareas colaboración y cooperación en grupo. En relación con este último aspecto, se abordará la problemática de la configuración de equipos de trabajo eficaces (teniendo en cuenta el perfil individual de cada miembro), así como la incorporación de mecanismos automatizados de análisis e intervención en los procesos de aprendizaje en grupo.

Referencias

Arroyo, Y., Molina, A. I., Redondo, M. A., & Gallardo, J. (2021). Learn-CIAM: A Model-Driven Approach for the Development of Collaborative Learning Tools. Applied Sciences, 11(6). doi:https://doi.org/10.3390/app11062554

Gallardo, J., Bravo, C., & Molina, A. I. (2017). A framework for the descriptive specification of awareness support in multimodal user interfaces for collaborative activities. Journal on Multimodal User Interfaces, online, 1-15. doi:https://doi.org/10.1007/s12193-017-0255-x

Lacave, C., Molina, A. I., & Cruz, J. A. (2018). Learning Analytics to identify dropout factors of Computer Science studies through Bayesian networks. Behaviour & Information Technology, 37(10-11), 993-1007. doi:10.1080/0144929X.2018.1485053

Lacave, C., Molina, A. I., & Redondo, M. A. (2018). A Preliminary Instrument for Measuring Subjective Perception of Students about Difficulties in Learning Recursion. IEEE Transactions on Education, 61(2), 119-126. doi:10.1109/TE.2017.2758346

Lacave, C., Velázquez, J. Á., Paredes, M., & Molina, A. I. (2020). Analyzing the influence of a visualization system on students' emotions: An empirical case study. Computers & Education, 2020(149). doi:10.1016/j.compedu.2020.103817

Molina, A. I., Redondo, M. A., Ortega, M., & Lacave, C. (2014). Evaluating a graphical notation for modeling collaborative learning activities: A family of experiments. Science of Computer Programming, 88, 54-81. doi:https://doi.org/10.1016/j.scico.2014.02.019

Ortega, M. (2021). Computer-Human Interaction and Collaboration: Challenges and Prospects. Electronics, 10(5), 616. doi:https://doi.org/10.3390/electronics10050616

Ortega, M., Redondo, M. Á., Bravo, C., Molina, A. I., Lacave, C., Arrollo, Y., . . . Sánchez, P. P. (2019). CHICO 2019 (Computer – Human Interaction and Collaboration), UCLM. IE Comunicaciones, 2019(30), 60-68. Retrieved from https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7231919

Sánchez, S., García, M. Á., Lacave, C., Molina, A. I., González, C., Vallejo, D., & Redondo, M. Á. (2020). A modern approach to supporting program visualization: from a 2D notation to 3D representations using augmented reality. Multimedia Tools and Applications. doi:https://doi.org/10.1007/s11042-020-09611-0