INTERACCION

Revista Digital de **AIPO**

Asociación Interacción Persona-Ordenador

Vol. 1, No 1 (2020)

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
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: 2020

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
Sandra Baldassarri, Universidad de Zaragoza
Federico Botella, Universidad Miguel Hernández de Elche
César Collazos, Universidad del Cauca, Colombia
Raquel Hervás Ballesteros, Universidad Complutense de Madrid
Rosa Gil, Universitat de Lleida
Toni Granollers, Universitat de Lleida
Francisco Gutiérrez, Universidad de Granada
José Antonio Macías: Universidad Autónoma de Madrid
Jose Ignacio Panach, Universitat de València
Pere Ponsa, Universitat Politècnica de Catalunya
Arcadio Reyes Lecuona, Universidad de Málaga

Revisores adicionales en este número:

Sandra Espín Tello, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea
Begoña Losada, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea
María de los Ángeles Menini, Universidad Nacional de Santiago del Estero

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
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 de número 1:
Este primer 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 2019" celebrado el pasado mes de junio en Donostia/San Sebastián, y otra sección de reseñas sobre Equipos de Investigación relacionados con el campo de IPO 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. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Tabla de contenidos

Sección Especial: Interacción 2019 6

Editorial Interacción 2019
Julio Abascal, Myriam Arrue, Néstor Garay y María Dolores Lozano 7

UML2App: Avanzando en la generación automática de interfaces de usuario para dispositivos móviles
Víctor López-Jaquero, Pascual González, Francisco Montero y José Pascual Molina 9

Descripción y evaluación de una herramienta de rehabilitación para los miembros superiores con gamificación y realidad aumentada
Gabriel Fuertes Muñoz y Jesús Gallardo 22

Generación Z y Fortnite: Lo que engancha a los más pequeños
Rosa M. Gil, Joan Arnedo-Moreno, Carina S. González, Patricia Paderewski, Marga Domenech y María Lleras de Frutos 32

Análisis de experiencias con objetos activos en actividades educativas basadas en interacción tangible
Mainor Cruz Alvarado, Cecilia Sanz y Sandra Baldassarri 43

La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión de alcance y perspectivas
Rubén Alcaraz Martínez, Mireia Ribera Turró y Toni Granollers Saltiveri 59

Sección: Grupos de Investigación en IPO 76

Laboratorio de Interacción con el Usuario e Ingeniería del Software
Pascual González López, Antonio Fernández Caballero, Arturo S. García Jiménez, M. Teresa López Bonal, Víctor López Jaquero, Francisco Montero Simaro, José P. Molina Massó, Rafael Morales Herrera, Elena Navarro Martínez y José L. de la Vara González 77

Investigación de HCI en Colombia: Perspectiva del Grupo IDIS
César A. Collazos, Julio Hurtado, Pablo Magé y Francisco Pino 81

Interacción 3D y Realidad Virtual en la Universidad de Málaga. Presentación del grupo 3DI-DIANA
Arcadio Reyes-Lecuona, Luis Molina-Tanco, María Cuevas-Rodríguez y Daniel González-Toledo 85

Grupo de Sistemas Interactivos DEI Lab: Computación ubicua, social y multisensorial para y con los usuarios
Paloma Díaz y Ignacio Aedo 89

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Egokituz Laboratorio de Interacción Persona-Computador para Necesidades Especiales
Julio Abascal, Myriam Arrue, Nestor Garay y Luis Gardeazabal.....93

Grupo de Investigación en Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora
Rosanna Costaguta y María de los Ángeles Menini.....97

Grupo de Investigación en Ingeniería de Sistemas Interactivos (Grupo ISE)
María D. Lozano, José A. Gallud, Víctor M.R. Penichet y Ricardo Tesoriero.....101

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Sección Especial: Interacción 2019

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Editorial Interacción 2019

Coincidiendo con el vigésimo aniversario del congreso Interacción 2019 [https://interaccion2019.ehu.eus], celebrado el pasado mes de junio en Donostia/San Sebastián, la Asociación para la Interacción Persona-Ordenador (AIPO) impulsa el lanzamiento de la primera edición de la revista digital "Interacción", una revista que pretende reflejar el espíritu de la propia asociación que la respalda, sirviendo de vehículo de transmisión y difusión del conocimiento generado por la comunidad de habla hispana en el ámbito de la Interacción-Persona Ordenador.

Con este objetivo, este primer número de la revista recoge una selección de artículos presentados en la vigésima edición del congreso Interacción, que cubren diversos aspectos de interés para la comunidad AIPO. Los cinco artículos que aquí se recogen han seguido un proceso de revisión para adaptarlos y garantizar su calidad de acuerdo a los requisitos de la revista.

El primer artículo, titulado *"UML2App: Avanzando en la generación automática de interfaces de usuario para dispositivos móviles"*, de Víctor López-Jaquero, Pascual González, Francisco Montero y José Pascual Molina, presenta una aproximación orientada a la generación automática de aplicaciones para dispositivos móviles basada en un perfil UML y algunos modelos habitualmente usados en el diseño de interfaces de usuario basadas en modelos.

El artículo titulado *"Descripción y evaluación de una herramienta de rehabilitación para los miembros superiores con gamificación y realidad aumentada"* de Gabriel Fuertes y Jesús Gallardo, describe la herramienta KineActiv®, que los autores han desarrollado para ayudar en el proceso de terapia activa y motivar a los pacientes en los procesos de rehabilitación. El sistema KineActiv®, hace uso del dispositivo Microsoft Kinect v2 para ayudar en la realización de ejercicios de rehabilitación de los miembros superiores, y para ello incluye enfoques de gamificación y de realidad aumentada, con la idea de motivar e implicar a los pacientes, mejorando así sus resultados durante el proceso de rehabilitación.

El artículo titulado *"Generación Z y Fortnite: Lo que engancha a los más pequeños"* de Rosa M. Gil, Joan Arnedo-Moreno, Carina González, Patricia Paderewski, Marga Domenech y María Lleras de Frutos presenta un estudio donde se analiza el videojuego Fortnite junto con los elementos de mayor enganche entre un grupo de usuarios de la llamada generación Z. Con esto, se pretende destacar la importancia de la inclusión de valores éticos en el diseño de los videojuegos orientados a niños/as y en la información a los padres y madres sobre los aspectos positivos y negativos de dichos videojuegos. El objetivo final es incorporarlos a la disciplina del análisis de requisitos, y así poder crear nuevos paradigmas éticos en el desarrollo de videojuegos.

El artículo titulado *"Análisis de experiencias con objetos activos en actividades educativas basadas en interacción tangible"* de Mainor Cruz Alvarado, Cecilia Sanz y Sandra Baldassarri, presenta un análisis de casos donde se utilizan objetos activos en actividades educativas. A partir del análisis observan que el uso de juguetes interactivos posibilita nuevas experiencias de aprendizaje, aprovechando el feedback visual, auditivo y háptico y anima a los estudiantes a participar de las actividades. Los autores presentan además una serie de directrices que se orientan a guiar el diseño de juguetes activos que forman parte de actividades educativas basadas en interacción tangible (IT). Estas directrices surgen del estudio realizado y abren una puerta para quienes se interesen en el uso de este tipo de objetos activos.

Por último, el artículo titulado *"La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión del estado del arte y perspectivas"* de Rubén Alcaraz, Mireia Ribera y Toni Granollers, presenta una revisión sistemática de los trabajos centrados en la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con discapacidad visual, poniendo especial énfasis en aquellos que abordan específicamente las necesidades de las personas con baja visión y con visión cromática deficiente (VCD). El resultado de la revisión evidencia un escaso número de trabajos orientados específicamente a los usuarios con baja visión o visión cromática deficiente, centrándose la mayoría de las investigaciones en las personas ciegas o con muy poco resto de visión. Además, analizan el mercado tecnológico relacionado con el software para la creación de gráficos estadísticos en vistas a analizar sus posibilidades para incorporar las características y funcionalidades descritas en la literatura para mejorar su accesibilidad.

Finalmente, nos gustaría agradecer a los autores de los artículos incluidos en esta primera edición de la revista su esfuerzo en preparar una versión adaptada a este fin. También un agradecimiento especial a los revisores, por el tiempo y esfuerzo dedicados a proporcionar valiosos comentarios y sugerencias a los autores que, sin duda, han contribuido a mejorar la calidad de los trabajos recogidos. Gracias también al equipo que, dentro de la comunidad AIPO, ha impulsado el lanzamiento de esta revista. Esperamos que los lectores puedan disfrutar de los contenidos y les resulten de utilidad.

Julio Abascal, Myriam Arrue, Nestor Garay, María Dolores Lozano

Presidentes del Comité de Programa
XX Congreso Interacción 2019, Donostia

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

UML2App: Avanzando en la generación automática de interfaces de usuario para dispositivos móviles

UML2App: Towards the automatic generation of user interfaces for mobile devices

Víctor López-Jaquero
LoUISE Research Group
Univ. de Castilla-La Mancha
02071 Albacete, España
VictorManuel.Lopez@uclm.es

Pascual González
LoUISE Research Group
Univ. de Castilla-La Mancha
02071 Albacete, España
Pascual.Gonzalez@uclm.es

Francisco Montero
LoUISE Research Group
Univ. de Castilla-La Mancha
02071 Albacete, España
Francisco.MSimarro@uclm.es

José Pascual Molina
LoUISE Research Group
Univ. de Castilla-La Mancha
02071 Albacete, España
JosePascual.Molina@uclm.es

Recibido: 19.09.2019 | Aceptado: 15.12.2019

Palabras Clave

Diseño de interfaces de usuario basado en modelos
Desarrollo dirigido por modelos
Aplicaciones móviles
Perfil UML
Android

Resumen

El desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles es cada vez más imprescindible para cualquier empresa de software. Sin embargo, dicho desarrollo presenta retos adicionales frente al desarrollo tradicional de aplicaciones de escritorio. Las características y capacidades de interacción difieren de las interfaces de escritorio, lo cual plantea la necesidad de incorporar otras maneras distintas de interactuar en los dispositivos móviles. Otro aspecto relevante en el desarrollo de dichas aplicaciones es la fragmentación existente, donde tanto la variabilidad en los sistemas operativos que usan, y por lo tanto en las guías de diseño para dichos sistemas, como las propias características físicas de dichos dispositivos hacen que mantener desarrollos que estén dirigidos a distintas plataformas móviles sea complejo. En este trabajo se presenta una aproximación dirigida por modelos orientada a la generación de aplicaciones móviles que trata de aliviar los problemas anteriormente identificados, a través de una generación automática basada en un perfil UML y modelos habitualmente usados en el diseño de interfaces de usuario basadas en modelos. De esta manera, se persigue impulsar la reutilización de la mayor parte de los modelos creados en la generación para distintas plataformas. Actualmente, la implementación en los casos de estudio se ha centrado en el marco de trabajo de Android.

Keywords

Model-Based User Interface Design
Model-Driven Development
Mobile Apps
UML Profile
Android

Abstract

The development of apps for mobile devices is becoming a must for every software company. However, this development poses additional challenges compared to the traditional desktop application development. The characteristics and interaction capabilities are different from the ones found in desktop user interfaces. Therefore, different ways of interacting must be considered to provide a natural way to interact with the mobile device. Another relevant issue in the development of such apps is the existing fragmentation, where the variability in the operating systems they use, and therefore the variability in the design guidelines, as well as their different hardware characteristics, makes it hard to maintain developments targeting several platforms. In this work, a model-driven approach is presented for the generation of mobile apps relying on a UML profile and in some models widely used in model-based user interface development. Thus, we aim at fostering reusability of most parts of the models designed for several platforms. Currently, the implementation targets Android framework.

1. Introducción

El uso de dispositivos móviles se ha disparado a nivel mundial. En concreto, España lidera las estadísticas en cuanto al uso de móviles con un 88% de usuarios únicos, frente a la media mundial global del 66% % (Ditrendia, 2019). Este imparable ascenso en el uso de los dispositivos está provocando que el foco del desarrollo de aplicaciones se mueva cada vez más hacia el mercado de dispositivos móviles. Sin embargo, el desarrollo de aplicaciones para móviles supone un reto en múltiples sentidos (Joorabchi, Mesbah, & Kruchten, 2013). En primer lugar, las plataformas más populares difieren de manera amplia tanto en aspectos hardware como software. Al mismo tiempo, la creciente demanda requiere aplicaciones que funcionen en diferentes plataformas, al menos en las más populares (Android, iOS y Windows Phone). Sin embargo, las herramientas que permiten crear aplicaciones multiplataforma no son capaces de aprovechar al máximo los recursos específicos ofrecidos por cada plataforma. Todo ello abre las puertas a una estrategia de desarrollo diferente como es el Desarrollo Dirigido por Modelos (MDD). En este contexto, este trabajo presenta una aproximación dirigida por modelos para el desarrollo de apps para dispositivos móviles llamada UML2App, que trata de avanzar en la búsqueda de soluciones que permitan generar aplicaciones usables para distintas plataformas de dispositivos móviles de una manera, además, eficiente.

El resto del documento se estructura del siguiente modo: en la Sección 2 se tratarán las distintas aproximaciones existentes para el desarrollo de apps para dispositivos móviles, incluyendo aquellas dirigidas por modelos. En la Sección 3 se presenta UML2App, primero describiendo su arquitectura general y luego cada uno de sus componentes. La Sección 4 ilustra un caso de estudio que permite entender de manera más precisa cómo funciona UML2App. Las lecciones aprendidas durante el desarrollo de la herramienta se presentan en la Sección 5, finalizando el artículo con algunas conclusiones y trabajo futuro.

2. Desarrollo de aplicaciones móviles

Como plantean Biørn-Hansen et al. (Biørn-Hansen, Grønli, Ghinea, & Alouneh, 2019) tradicionalmente el desarrollo de aplicaciones para móviles se ha realizado utilizando herramientas diseñadas específicamente para cada una de las plataformas existentes (iOS para Apple; Android para Google o Windows 10 Mobile para Microsoft). Este enfoque, aunque hace difícil la portabilidad de aplicaciones a otras plataformas, permite aprovechar al máximo las peculiaridades que cada entorno ofrece, obteniendo mejores resultados en cuanto a rendimiento (Willocx, Vossaert, & Naessens, 2015) o experiencia de usuario (Dalmasso, Datta, Bonnet, & Nikaein, 2013). En todo caso, la dificultad de creación de aplicaciones multiplataforma abre nuevos escenarios para otras aproximaciones. Una alternativa es el uso de las los denominados *cross-platform mobile development frameworks*, los cuales permiten la reutilización de código entre diferentes plataformas, facilitando de este modo la portabilidad entre distintas plataformas y, con ello, una gran mejora en coste-efectividad. Como comentan Biørn-Hansen et al. (Biørn-Hansen, Grønli, & Ghinea, 2018), dentro de este ámbito existe un amplio abanico de propuestas que hacen difícil seleccionar la más adecuada. Para facilitar su elección dentro de su estudio, plantean una taxonomía y estado de investigación de las propuestas *cross-platform development* que permite clasificar las propuestas existentes en cinco grandes grupos: híbridas; interpretadas; compilación cruzada; apps web progresivas; y dirigidas por modelos. Las propuestas híbridas (Hybrid) se apoyan en el uso de tecnologías web convencionales, incluyendo HTML, CSS y JavaScript. Para ello utilizan internamente un componente WebView que hace la función de un navegador web incrustado. Un ejemplo de este tipo de frameworks es PhoneGap o Ionic Framework. Las propuestas clasificadas dentro de interpretadas (Interpreted) permiten renderizar directamente componentes de la interfaz nativa en la pantalla. Un ejemplo de aplicaciones de este tipo son React Native o Adobe AIR. En el siguiente grupo de frameworks, de compilación cruzada o Cross-Compiled, las aplicaciones desarrolladas no dependen de los componentes de WebView ni de intérpretes en el dispositivo para la representación de la interfaz de usuario o la comunicación con las características de la plataforma y del dispositivo. En su lugar, utilizan un lenguaje, como C#, para su desarrollo accediendo a las funcionalidades ofrecidas por el SDK de las diferentes plataformas. Por lo tanto, no hacen uso de la capa puente como en las aproximaciones anteriores. La siguiente aproximación, denominada apps web progresivas *(Progressive Web Apps)*, es en esencia una aplicación Web con capacidades mejoradas, intentando que las aplicaciones Web tengan un aspecto similar (*look & feel*) a las aplicaciones nativas utilizando para ello HTML y CSS. A su vez, esta aproximación permite realizar una instalación del sitio Web en el dispositivo de tal modo que permite su uso sin conexión u offline. Por último, la aproximación dirigida por modelos se apoya en el uso de modelos independientes de la plataforma definidos a diferente nivel de abstracción que finalmente pueden convertirse en código ejecutable para una determinada plataforma. En todo caso, esta aproximación, aunque tiene una notable presencia en el ámbito de la investigación, su adopción no parece tener la misma penetración en el ámbito de la industria (Biørn-Hansen et al., 2019). A pesar de esto, también es relevante resaltar que dentro de las herramientas analizadas en el informe Gartner

sobre "Magic Quadrant for Mobile App Development Platforms" (Wong, Baker, Leow, & Resnick, 2018) encontramos en algunas de las propuestas (Appian, GeneXus o Mendix) referencias al uso de Model-Driven Development (MDD).

2.1 Desarrollo dirigido por modelos de interfaces de usuario

El Desarrollo Dirigido por Modelos (MDD) se basa en el uso de modelos para el desarrollo de sistemas, en vez del más tradicional uso de un lenguaje de programación. Se trata de llevar los modelos a un primer plano, para conseguir beneficios como la generación del código de la aplicación (Selic, 2003).

Más concretamente, en el mundo de las interfaces de usuario, se lleva usando desde principios de los 90 con el nombre de Diseño de Interfaces de Usuario Basado en Modelos (MB-UIDE) (Paternò, 1999). Aunque no existe un estándar sobre qué modelos usar para describir una interfaz de usuario, sí parece que se ha adoptado como estándar de facto el marco de trabajo de *Cameleon* (Calvary et al., 2003) (véase Figura 1).
Dentro de este marco se proponen cuatro niveles de abstracción. El más abstracto es Tareas & Conceptos (*Tasks & Concepts*). En este nivel se recogen dos de los modelos más ampliamente usados en la generación de interfaces de usuarios: el de tareas y el de dominio (conceptos). El modelo de tareas describe cuáles son las tareas que puede realizar el usuario del sistema a través de la interfaz de usuario, así como las relaciones temporales existentes entre dichas tareas. Por ejemplo, podríamos especificar que la tarea de conectarse al sistema consiste en tres tareas (introducir nombre de usuario, introducir contraseña y validar) y que dichas tareas deben realizarse de manera secuencial, en este caso. Por otro lado, el modelo de dominio describe qué información debe manejar la interfaz de usuario para ser capaz de realizar las tareas especificadas en el modelo anterior. Distintas representaciones de este modelo son posibles, siendo la más habitual una notación basada en los modelos de clases de UML. Siguiendo con el ejemplo anterior, necesitaríamos una clase *Usuario* que recoja los datos del usuario que se quiere conectar al sistema. En nuestro pequeño ejemplo, serían necesarios dos atributos: uno para representar el nombre de usuario y otro para la contraseña, así como un método que lanzará la validación.

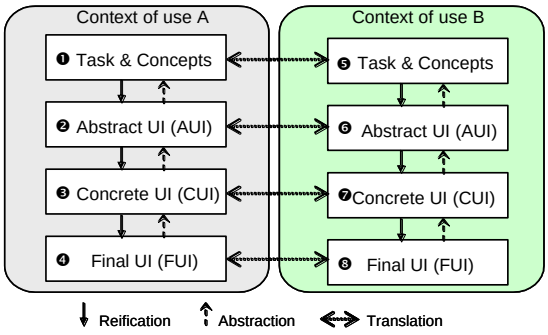

Figura 1. Marco de referencia de Cameleon (Calvary et al., 2003).

El siguiente nivel es la Interfaz de Usuario Abstracta (AUI). En este nivel se describe cómo será la presentación de la futura interfaz de usuario, usando para ello Objetos de Interacción Abstractos (AIO). Esta representación de la presentación de la interfaz de usuario presenta dos aspectos fundamentales: por un lado, es una representación independiente de la plataforma destino para la que estamos diseñando, y por otro lado es independiente de la modalidad de interacción destino, es decir, no importa si se está describiendo una interfaz vocal o gráfica, por ejemplo. El siguiente nivel de Interfaz de Usuario Concreta (CUI) también representa la presentación de la interfaz de usuario, pero esta vez usando como elementos fundamentales los Objetos de Interacción Concretos (CIO). De manera similar al AIU, este nivel también es independiente de la plataforma destino a la que va dirigida. Sin embargo, en este caso no es independiente de la modalidad o modalidades para las que se está diseñando. Para completar los niveles de abstracción del marco de trabajo, la Interfaz de Usuario Final (FUI) representa el propio código del programa, ya sea interpretado (p.ej. HTML) o compilado (Java, C#, etc).

Adicionalmente, en la Figura 1 aparece el concepto de Contexto de Uso. Dicho concepto nos permite describir en qué condiciones se usará la aplicación que estamos diseñando. Habitualmente, el contexto de uso se considera que engloba la plataforma (tanto software como hardware) donde se ejecuta la aplicación, el entorno dentro del cual se ejecuta (en casa, en la oficina, en la calle, etc.) y las características del usuario que hará uso de la aplicación. El Contexto de Uso nos facilita información que permite diseñar una aplicación mejor adaptada a las condiciones en las que será usada.

El marco también plantea tres tipos de transformaciones entre dichos niveles de abstracción: reificación, abstracción y translación. Reificación se da cuando se pasa de un nivel a otro nivel menos abstracto. Por ejemplo, a partir del nivel de Tareas & Conceptos se puede generar el AUI. Abstracción es el camino opuesto y, finalmente, translación es la transformación para adecuar un modelo de un nivel diseñado para un contexto de uso A al mismo nivel en un contexto de uso B. Por ejemplo,

podríamos transformar un CUI para un contexto de uso donde se usa la modalidad gráfica en otro CUI para un contexto de uso donde se usa la modalidad vocal.

El presente trabajo se basa en el primer nivel de dicho marco para la descripción de la aplicación a generar, como veremos más adelante. Es decir, se parte de los modelos de tareas y dominio para producir la interfaz de usuario de una manera automática mediante transformación aplicando operaciones de reificación.

Para la representación de los modelos requeridos existen multitud de metamodelos (Guerrero, González-Calleros, Vanderdonckt, & Muñoz Arteaga, 2009), habitualmente basados en XML, siendo UsiXML (Limbourg, Vanderdonckt, Michotte, Bouillon, & López-Jaquero, 2005) uno de los más extendidos. A continuación, se mostrará una revisión de aquellas aproximaciones dirigidas por modelos que se han propuesto para la generación de aplicaciones móviles que se han considerado más relevantes para el trabajo presentado.

2.2 Desarrollo de aplicaciones móviles dirigido por modelos

En el estudio de Biørn-Hansen et al. (Biørn-Hansen et al., 2018) podemos encontrar un conjunto de propuestas que se basan en cierta medida en la propuesta de desarrollo de aplicaciones dirigido por modelos. Como comentan Umuhoza y Brambilla (Umuhoza & Brambilla, 2016) estas propuestas pueden clasificarse en dos grandes grupos: Propuestas de investigación; y Soluciones comerciales. Dentro de las primeras podemos encontrar propuestas que todavía no han dado el salto al ámbito comercial. Dentro de este grupo podemos encontrar propuestas como MD^2 (Heitkötter, Majchrzak, & Kuchen, 2013), Applause (Behrens, 2010) o MAG (Usman, Iqbal, & Khan, 2014). La primera de ellas, MD^2 se apoya en el patrón MVC *(Model-View-Controller)* para estructurar su propuesta de desarrollo dirigido por modelos para aplicaciones de negocio. Para ello, define un lenguaje específico de dominio (DSL) que representa una descripción independiente de la plataforma, la cual será posteriormente transformada en código nativo para Android o iOS. La segunda, Applause (Behrens, 2010), se basa en la generación de aplicaciones centradas en datos y, al igual que la anterior, se apoya en la propuesta de un DSL para describir aplicaciones para móviles, y una serie de generadores de código que utilizarán estas descripciones para generar aplicaciones nativas para las principales plataformas móviles (iOS, Android, Windows Phone). En este caso, el comportamiento casi no es modelado y, sin embargo, las interfaces se modelan con gran precisión.

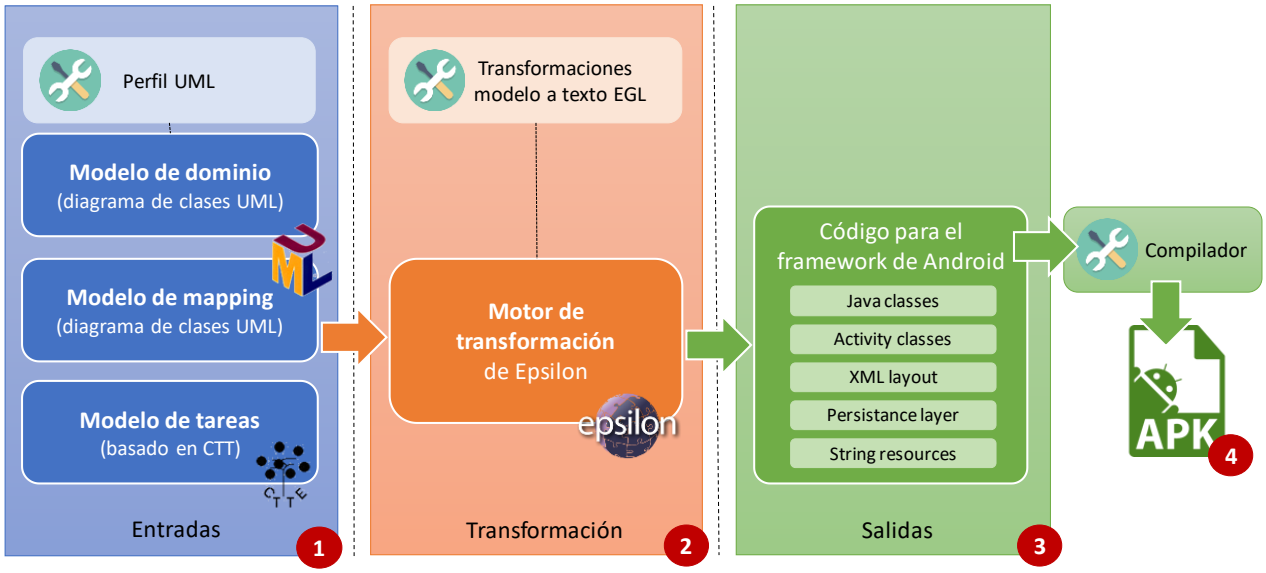

Figura 2. Arquitectura general para la generación de apps móviles.

Finamente, la propuesta MAG (Usman et al., 2014) no define su propio lenguaje específico de dominio (DSL) sino que se apoya en el uso de un conjunto de modelos de UML y un perfil de UML específicamente creado para modelar conceptos específicos de dominio de las aplicaciones móviles. En (Vaupel, Taentzer, Gerlach, & Guckert, 2018) se presenta una aproximación dirigida por modelos para la generación de aplicaciones para iOS y Android.

En este caso, como metamodelo se utiliza eCore para el modelo de dominio, y una serie de DSLs para el resto. Esta aproximación no se basa en la generación de la interfaz de usuario a partir del modelo de dominio y de tareas, sino que es el diseñador el que especifica la interfaz de usuario y su comportamiento directamente.

Para la generación para distintas plataformas se apoya en el concepto de variabilidad habitualmente usado en las aproximaciones dirigidas por modelos de línea de producto.
RAPPT ((Barnett, Avazpour, Vasa, & Grundy, 2019)) propone la generación rápida dirigida por modelos de apps para Android, usando para ello un lenguaje visual específico del dominio (DSVL) y un lenguaje de transformación específico para el dominio (DSTL). El objetivo de esta aproximación es crear prototipos, no apps finales. Finalmente, dentro de este ámbito también encontramos propuestas como LIZARD (Ruiz, Serral, & Snoeck, 2018) que se apoyan en la extensión de *frameworks* de tipo general, como CAMALEON (Calvary et al., 2003), para adaptarlos al dominio del desarrollo de aplicaciones para móviles. En este caso, ofrecen una propuesta que enriquece la transformación que se puede realizar entre la interfaz de usuario concretos (CUI) y la interfaz de usuario final (FUI). Para ello simplifican el framework CAMALEON agrupando el modelo de dominio, de tareas y CUI en un nuevo modelo denominado Interfaz de usuario de alto nivel (HLUI) y eliminando, a su vez, la interfaz de usuario abstracta (AUI) propuesta en CAMALEON.

En el otro ámbito, el de soluciones comerciales, Umuhoza y Brambilla (Umuhoza & Brambilla, 2016) citan, entre otras, propuestas como Mendix o Appian, dos de las que se incluyen en el "Magic Quadrant for Mobile App Development Platforms" (Wong et al., 2018) de Gartner. La primera de las propuestas (Mendix, 2019) se apoya en el uso de herramienta de modelado visual para la definición del modelo de dominio, las interacciones del usuario y la lógica del negocio, los cuales son posteriormente ejecutados en tiempo real. La particularidad de estos modelos es que sirven como medio de comunicación entre los responsables del negocio y los desarrolladores en un proceso de co-diseño. Por otra parte, Appian se ofrece como una herramienta para la gestión de procesos de negocio a través de BPM. Para ello, emplea el marco de trabajo *Appian Self-Assembling Interface Layer* (SAIL) para renderizar aplicaciones y se basa en React Native para generar aplicaciones para móviles y React (JavaScript) para el desarrollo Web. La plataforma funciona en la Appian Cloud y es compatible con Docker y Kubernetes.

3. UML2App: Hacia el desarrollo de aplicaciones móviles dirigido por modelos

Como se ha planteado en las secciones anteriores, el desarrollo de aplicaciones móviles plantea retos adicionales a los que se encuentran habitualmente en el desarrollo de aplicaciones de escritorio o web. Las diferencias, por ejemplo, entre las guías de estilo para el desarrollo de aplicaciones para Android e iOS hace que el uso de una aplicación no nativa para ambas plataformas no sea una solución óptima, especialmente cuando se trata de aplicaciones con un alto grado de interacción.

Una de las principales ventajas de la utilización de una aproximación dirigida por modelos para el desarrollo de una app es la capacidad de compartir la mayoría de los modelos creados para la generación del código de las distintas plataformas soportadas, mejorando con ello la mantenibilidad del producto. Adicionalmente, frente otras aproximaciones basadas en frameworks como Cordova (The Apache Software Foundation, 2019), que usan una misma aplicación HTML en distintas plataformas, con la aproximación dirigida por modelos que se presenta se generan aplicaciones nativas para cada plataforma, lo que permite tener apps que cumplen con las guías de diseño de cada una de las plataformas soportadas. Como principal desventaja está el menor control sobre la interfaz de usuario generada, a pesar de que la interfaz de usuario generada podría ser modificada a posteriori.
Para afrontar este reto, el desarrollo dirigido por modelos puede proporcionar un marco de trabajo común que permite generar las aplicaciones para distintas plataformas, a la vez que contribuye a la aceleración de su proceso de desarrollo.
En este trabajo se presenta un marco de trabajo dirigido por modelos y orientado a la generación de aplicaciones móviles, que actualmente está siendo probada en el desarrollo de aplicaciones para dispositivos basados en Android. A continuación, se describe la arquitectura general usada, cuyos componentes serán detallados en mayor profundidad en sucesivas secciones.

La arquitectura que se presenta (véase la Figura 2) incluye 4 pasos. En el primero se especifica el sistema usando una serie de modelos. En el segundo, dichos modelos se transforman mediante un motor de transformación concreto. A continuación, dichos modelos se integran en un proyecto de Android Studio para ser finalmente compilados en el paso 4.

Veamos estos pasos de una manera más detallada. El primer paso toma como base los modelos de tareas y de dominio (que coincide con el primer nivel de *Cameleon Framework*). El modelo de tareas permite especificar qué tareas podrá el usuario realizar a través del sistema, incluyendo en qué orden se realizan y otras relaciones temporales adicionales, como qué tareas son opcionales, tareas alternativas a otras, etc. Un modelo de tareas basado en CTT (Paternò, 1999) y representado en XML se usa para este propósito. Adicionalmente, el modelo de dominio permite describir qué información se requiere para llevar a cabo las tareas especificadas en el modelo anterior. En este caso, un diagrama de clases de UML se usará para representarlo. Dicho diagrama de clases se complementa aplicándole un perfil UML (Fuentes & Vallecillo, 2004) que permite enriquecer el diagrama de clases con información adicional que ayuda, y en algunos casos resulta imprescindible, durante el proceso de transformación requerido para generar la aplicación móvil.

Aunque existen distintos motores de transformación, se ha optado por Epsilon (Eclipse Foundation, 2019a), por contar con un framework completo y un lenguaje de transformación actualizado y potente. El motor de transformación toma como entrada los dos modelos descritos anteriormente y el conjunto de transformaciones que se desea aplicarles. Como salida producirá el código necesario para la aplicación móvil.
En la siguiente sección, se describe el perfil que se ha desarrollado para la generación de las aplicaciones móviles.

3.1 Desarrollo dirigido por modelos basado en perfiles UML

Un perfil UML permite especificar una serie de estereotipos (véase la Figura 3) que se pueden aplicar a distintos elementos del diagrama. En nuestro caso se aplicarán a distintos elementos de un diagrama de clases de UML. A qué elementos del diagrama de clases es aplicable un estereotipo es una de las características que se especifican durante la creación del perfil, y ayuda a evitar que el estereotipo se aplique de manera errónea a elementos para los que no tiene sentido. Por ejemplo, en la Figura 3 podemos ver una serie de estereotipos que extienden la metaclase *Class*, que representa el concepto de clase en UML. De esta manera, dichos estereotipos sólo podrán ser aplicados a clases en el diagrama, pero nunca a relaciones, por ejemplo. Adicionalmente, los estereotipos pueden incluir atributos, donde se puede especificar información adicional, y que podrá ser añadida para cada uno de los elementos del diagrama de clases sobre los que se aplique el estereotipo. Por ejemplo, el estereotipo *Task* en la Figura 3 incluye un atributo llamado *type* de tipo *TaskType*, en el que para cada clase a la que se le aplique el estereotipo se podrá especificar el tipo de tarea.

Durante el proceso de generación, las transformaciones accederán a los estereotipos y sus atributos para decidir cómo realizar las transformaciones, y tomarán la información que requieran de los atributos que incluyan dichos estereotipos.

Otro de los aspectos clave que nos facilita el uso de perfiles es la validación. Mediante el uso de restricciones escritas, usando el lenguaje OCL *(Object Constraint Language)*, se pueden especificar validaciones que eviten que se puedan dar situaciones anómalas en el diagrama de clases sobre el que se ha aplicado en perfil. Por ejemplo, en el perfil desarrollado, una de las validaciones que existen es que sólo puede existir un elemento al que esté aplicado el estereotipo *AndroidConfiguration*, ya que no tiene sentido que existan dos configuraciones para Android contradictorias. Estas validaciones son importantes, ya que permiten evitar numerosos errores durante el proceso de modelado, que conducirían a una generación de código errónea. Seguidamente, se describe el conjunto de estereotipos desarrollados dentro del perfil UML creado.

3.1.1 Un perfil UML para la generación de apps

El perfil está formado por distintos estereotipos con distintos propósitos. Por un lado tenemos la capa de persistencia que nos permitirá describir qué información queremos guardar en la base de datos, por otro tenemos algunos perfiles destinados a describir la plataforma destino, es decir, formarían parte de lo que anteriormente hemos denominado modelo de contexto de uso, y finalmente existen una serie de estereotipos encaminados a interrelacionar los modelos de tareas y de dominio, realizando lo que se denomina *mapping* entre modelos (Montero et al., 2006a).

Los estereotipos *PersistentDomainClass* (véase Figura 3), *PersistentRelationship* y *PersistentAttribute* (véase Figura 4) están relacionados con la capa de persistencia. *PersistentDomainClass* debe ser aplicado a todas aquellas clases del modelo de dominio que deseamos que sean incluidas en la base de datos, es decir, en la capa de persistencia. Todas las clases con este estereotipo tendrán su correspondiente representación en la base de datos y se generará el código necesario para poder hacer consultas o manipular los datos que dicha clase representa. El código de la capa de persistencia para el caso de Android está basado en *Room* (Google Inc., 2019e). *Room* proporciona una capa de abstracción sobre un gestor de bases de datos relacional local basado en *SQLite*, la cual es especificada añadiendo una serie de anotaciones sobre clases Java donde se especifican los datos, sus tipos de datos y las relaciones entre las distintas

clases. Además, todos aquellos atributos de las clases a las que se les ha aplicado el estereotipo *PersistentDomainClass*, que queramos que sean considerados durante la generación de la base de datos, se les debe aplicar a su vez el estereotipo *PersistentAttribute*, si no el atributo será ignorado durante la generación de la base de datos, aunque no será ignorado para la generación de la clase correspondiente.
Todas las anotaciones Java necesarias son generadas por el motor de transformación. Obviamente, la estructura de la base de datos no se genera sólo a partir de clases individuales, sino que también es necesario representar las relaciones entre dichas clases, de manera que dependiendo

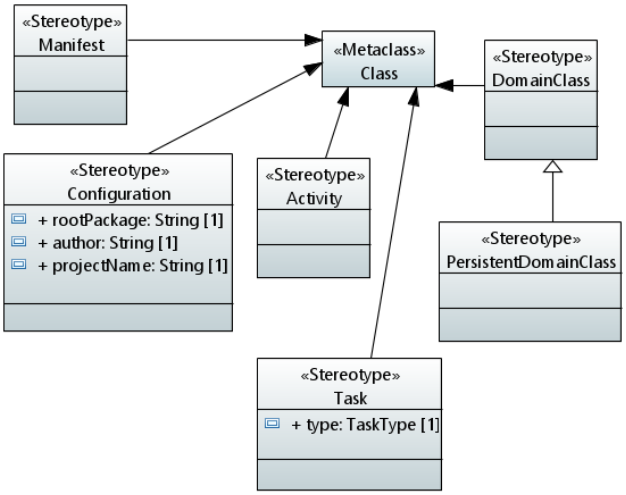

Figura 3. Estereotipos aplicables a clases UML en el perfil.

de las relaciones especificadas tendremos relaciones 1:1, 1:N, o N:M. *PersistentRelationship* (véase Figura 4) se añade a todas aquellas relaciones entre clases que deseamos que sean consideradas en la generación de la capa de persistencia.

Dichas relaciones darán lugar a claves foráneas en la base de datos, o tablas adicionales en el caso de relaciones muchos a muchos. La información que deben contener las tablas generadas es derivada de las relaciones y de los atributos con el estereotipo *PersistentAttribute* de las clases que incluyen el perfil *PersistentDomainClass*.

Además de los estereotipos genéricos para especificar la capa de persistencia, existen una serie de estereotipos adicionales dedicados a detallar la generación de la app para distintas plataformas. En este caso, los estereotipos *AndroidActivity*, *AndroidManifest* y *AndroidConfiguration* (véase Figura 3) están dedicados a la generación para la plataforma Android.

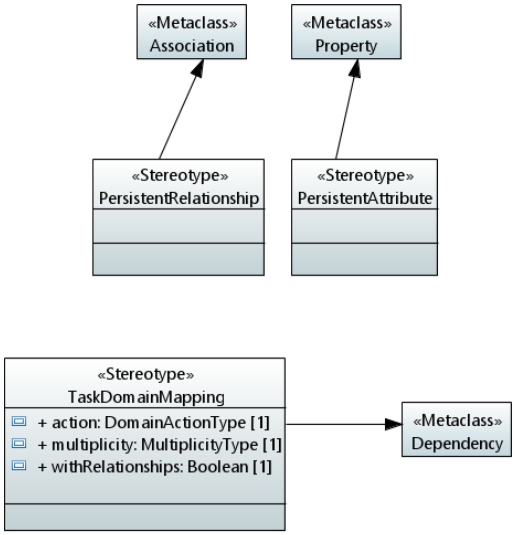

Figura 4. Relaciones usadas en el perfil.

AndroidManifest permite especificar metadatos sobre la aplicación que deseamos que sean incluidos en la app. Por ejemplo, en el caso de Android se especifica cuál es la versión de Android mínima (*minSDKversion*), o qué versión se quiere usar para compilar (*targetSDKversion*). *AndroidConfiguration* permite especificar quién es el autor, el nombre del proyecto o el paquete Java que servirá de base para el código Java generado. Es importante destacar, que este tipo de perfiles deberían ser especificados para las distintas plataformas destino para poder conseguir una generación de código de una calidad suficiente para hacerla realmente usable.

Finalmente, el perfil también incluye algunos estereotipos ligados al modelo de tareas. Estos estereotipos son necesarios para establecer las relaciones entre el modelo de tareas y el modelo de dominio (*mappings*) (Montero et al., 2006b). Esta relación es necesaria durante la generación, por ejemplo, para elegir qué widget es más adecuado para realizar una tarea específica. Si tenemos una tarea de entrada, el widget usado dependerá del tipo de datos del elemento que queremos introducir, pues no es lo mismo introducir un número que una cadena de caracteres, por ejemplo. Para ello, existe el estereotipo *Task*, que es aplicable a cualquier tarea que se haya especificado en el modelo de tareas. La tarea además incluye un atributo *type* que permite describir qué tipo de tarea se está realizando. Este atributo *type* es uno de los elementos clave en la elección de la interfaz de usuario que se generará para dicha tarea.

El conjunto de tipos de tareas (véase *TaskType* en Figura 5) hace referencia a los tipos de tarea establecidos en (Gonzalez-Calleros, Guerrero-Garcia, Vanderdonckt, & Munoz-Arteaga, 2009). Este estereotipo es complementado con el estereotipo *TaskDomainMapping*, que permite relacionar una tarea con el

elemento del dominio que manipula. Esta relación puede ser detallada especificando el tipo de acción que realiza la tarea sobre el elemento del modelo de dominio (crear, leer, actualizar o borrar), la cardinalidad (véase el tipo *MultiplicityType* en la Figura 4) y *withRelationships*, que indica que además se incluye a los elementos con los que está relacionado esa entidad. Por ejemplo, si una tarea indica que lee (READ) un cliente, podría querer también sus pedidos (que están relacionados con el cliente a través de una relación en el diagrama de clases).

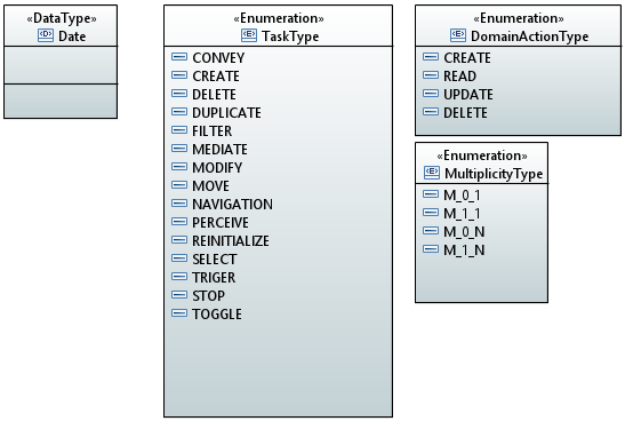

Figura 5. Tipos de datos usados en el perfil.

3.2 Generación de apps mediante transformación

Una vez se ha creado el modelo de tareas, y el modelo de dominio ha sido enriquecido con los estereotipos del perfil anteriormente descrito, llega el momento de la generación de la app. Como puede apreciarse en la Figura 2, se parte de un conjunto de modelos (tareas, dominio y *mapping*), los cuales serán la entrada del módulo de transformación de modelos, a partir del cual se genera el código para el framework de Android. A continuación, se describirá cómo se ha realizado el proceso de generación en el caso de UML2App, centrándonos en la fase de transformación y generación del código para Android.

3.2.1 Generación basada en transformación modelo a texto de apps

El proceso de transformación de una serie de modelos en código se realiza a partir de una transformación modelo a texto (M2T). Existen distintos marcos de trabajo que permiten dicho tipo de transformaciones, siendo algunos de los más populares Acceleo, Xpand o Epsilon. En este caso se ha optado por el lenguaje EGL *(Eclipse Generation Language)* (Eclipse Foundation, 2019b), un lenguaje basado en plantillas con una sintaxis cercana a OCL *(Object Constraint Language)*, el cual está incluido dentro del framework de Epsilon.

Una de las ventajas del marco de trabajo Epsilon es que las transformaciones escritas en EGL pueden ser orquestadas de manera sencilla usando el lenguaje EGX, el cual permite modularizar fácilmente la generación, algo imprescindible si no queremos crear un código de transformación imposible de mantener.

Durante el proceso de transformación descrito en EGL se irán procesando los elementos de los modelos de entrada (tanto de tareas como de dominio), leyendo la información que se presenta en los distintos modelos, e incluyendo los estereotipos que les hayan sido aplicados para afinar el proceso de generación. Por ejemplo, para la generación en Android para cada clase se genera una clase en Java. Si, además, dicha clase contiene el estereotipo *PersistentDomainClass*, se le añadirán todas las anotaciones necesarias para que dicha clase se guarde en la base de datos usando el marco de trabajo *Room* (Google Inc., 2019e) de Android. Adicionalmente, las clases extra necesarias para su uso en la app son generadas, como la propia clase de la base datos o los DAO *(Data Access Object)*, donde se describen las operaciones básicas como crear, borrar o modificar aplicables a cada una de las entidades almacenadas en la base de datos. Posteriormente, a partir de las relaciones del diagrama de clases con el estereotipo *TaskDomainMapping*, se crearán las consultas necesarias a la base datos para devolver, crear o modificar los datos requeridos para que se pueda llevar a cabo cada tarea concreta.

3.2.2 Generación de la interfaz de usuario

La capa de persistencia no tiene mucha utilidad si no podemos manejarla a través de la interfaz de usuario. El proceso de generación de la interfaz de usuario se basa en la identificación, definición y especificación de las tareas que el usuario puede hacer en el sistema y las relaciones temporales entre ellas principalmente, pero también es de gran importancia saber qué datos manipula cada tarea para decidir cuál es la manera más apropiada de interaccionar con esos datos, con el fin de realizar esas tareas de la manera más usable posible.

El proceso comienza con la generación de las ventanas que tendrá la app (*Activity* en la terminología de Android). Así, para cada tarea abstracta del modelo de tareas crearemos una nueva ventana, excepto para aquellas que no incluyan sólo una tarea no abstracta, es decir, que contengan una tarea atómica que no se puede descomponer, ya que no será necesario al poder incluirla en la tarea padre que las contiene. Dependiendo de la plataforma destino también debemos considerar las peculiaridades de sus guías de estilo. Por ejemplo, en el caso de Android no se debe incluir el elemento

de interacción para salir o volver atrás, ya que para ello se usa el botón atrás del dispositivo (ya sea este virtual o físico). Dentro de cada ventana, y de manera recursiva, se van creando los elementos de interacción (widgets) apropiados para cada tipo de tarea (Bodart & Vanderdonckt, 1994), considerando también en su elección aspectos como el tipo de datos de la información que manipula la tarea o la cardinalidad, es decir, no es lo mismo manejar un solo elemento que dos, o que una colección. Por ejemplo, si tenemos una tarea de selección (SELECT) que está relacionada con un atributo de tipo *Color* en el modelo de dominio, podríamos usar un *ColorPicker* para permitir que el usuario pueda elegir el color de una manera usable, y consistente con cómo se suele hacer habitualmente en esta plataforma. Por otro lado, si la tarea de selección está relacionada con el nombre de un país (de tipo *String*) con una relación 1:N, usaremos una lista desplegable para que el usuario seleccione el país de entre esos N elementos. Durante el proceso de transformación se van generando las interfaces de usuario XML de las distintas pantallas, ya que en Android existe una separación entre la especificación de la interfaz de usuario y la lógica que la maneja, así como los recursos necesarios para dichas interfaces. Es necesario crear todas las cadenas de texto, colores, dimensiones u otros recursos necesarios para que las actividades generadas funcionen correctamente.

4. Un caso de estudio

Como ejemplo se ha escogido una sencilla aplicación de alquiler de vehículos. La Figura 6, muestra el modelo de dominio para dicha aplicación, donde se puede ver que tenemos alquileres (*Rental*) que incluyen vehículos (*Vehicle*), los cuales son de un tipo determinado (*VehicleType*).
Adicionalmente, se representa el país donde se ha realizado el alquiler y el método de pago usado. Las tareas que puede realizar el usuario a través de la aplicación se han especificado mediante un modelo de tareas expresado usando la notación CTT (véase la Figura 7). Dicha notación no sólo permite la especificación de las tareas que podrá realizar el usuario, si no también cuáles son las relaciones temporales que se pueden establecer entre ellas. Por ejemplo, se establece que, como es lógico, antes de pagar el alquiler hay que seleccionar los coches. Durante el proceso de transformación se usará el modelo de tareas representado en formato XML, añadiendo el tipo interacción de la tarea (véase la Figura 5) a cada una de las tareas que sean de tipo Interacción (Mori, Paterno, & Santoro, 2002).

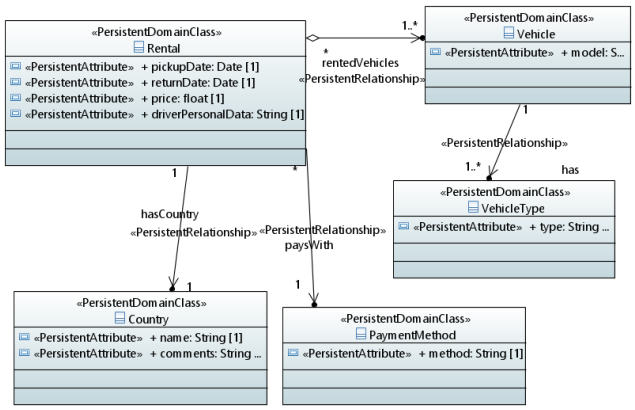

Figura 6. Modelo dominio del caso de estudio.

Finalmente, se establecen las correspondencias (*mappings*) entre el modelo de tareas y el de dominio (véase la Figura 8). En dicho modelo puede observarse cómo las correspondencias entre las tareas y los elementos del modelo de dominio se pueden crear tanto entre tareas y clases como entre tareas y atributos de las clases, o incluso con métodos para especificar qué método se ejecuta al realizar la tarea. Esto es necesario, ya que muchas veces sólo queremos manipular un atributo concreto de una clase, cuya especificación nos dará valiosa información sobre qué widgets escoger para realizar la tarea en liza.

Para ilustrarlo veamos un ejemplo. Como se puede ver en el modelo de tareas de la Figura 7, para alquilar un vehículo, una de las tareas que hay que hacer es especificar la fecha de recogida. Esta tarea está incluida dentro de una tarea abstracta denominada AlquilarVehiculo. Por lo tanto, durante la generación se ha creado una nueva ventana que contendrá todas las tareas que dicha tarea abstracta incluye. Para determinar qué widget se debería usar para realizar la tarea FechaRecogida necesitamos conocer qué tipo de tarea es y qué tipo de información manipula. En este caso es una tarea para realizar una operación de selección. Este tipo de operación es especificado en el modelo de tareas, como se describió anteriormente.

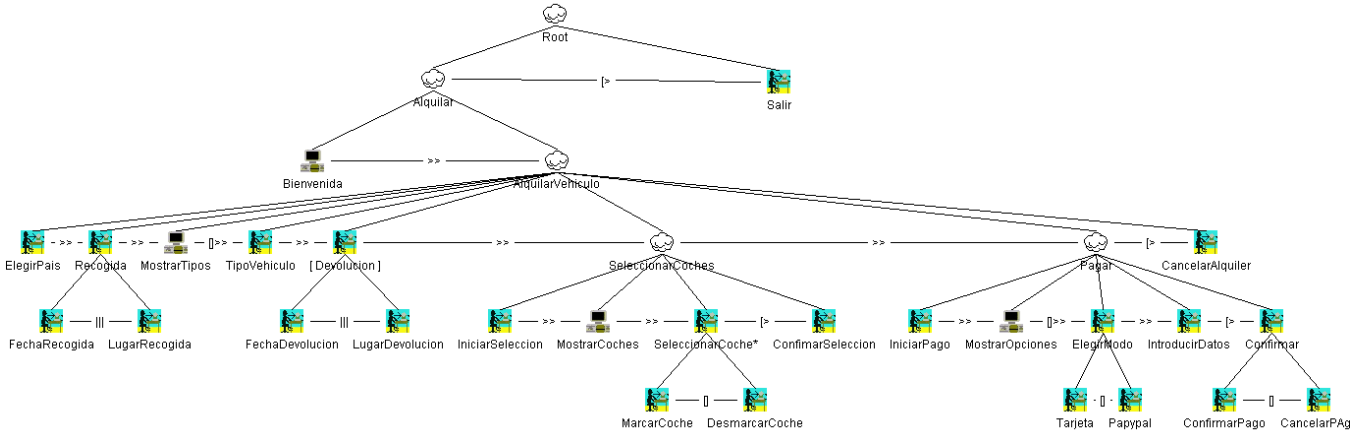

Figura 7. Modelo de tareas del caso de estudio.

Para saber qué información selecciona tendremos que acudir al modelo de dominio y de *mapping*. El modelo dentro de la entidad Rental (véase la Figura 6), incluye qué información necesita la aplicación, pero no qué información concreta manipula cada tarea. Para conocer qué información concreta manipula cada tarea tenemos que acudir al modelo de *mapping*. La Figura 8 describe un fragmento de dicho modelo para el caso de uso en curso. En este caso nos interesa la parte inferior de dicha figura, donde podemos observar cómo se especifica que la tarea FechaRecogida usa la información incluida en el atributo pickupDate, que como se puede ver en el modelo de dominio en la clase Rental es de tipo Date. En la figura no está recogido, pero entre los atributos especificados para la relación pickupdate se ha descrito que dicha relación es M_1_1, es decir, 1:1. Por lo tanto, ya sabemos que necesitamos un widget capaz de permitir la selección una sola fecha. Por esta razón, para la interfaz generada se escoge un DatePicker que un widget para Android especializado en la selección de fechas, y que cualquier persona familiarizada con Android encontrará intuitivo.

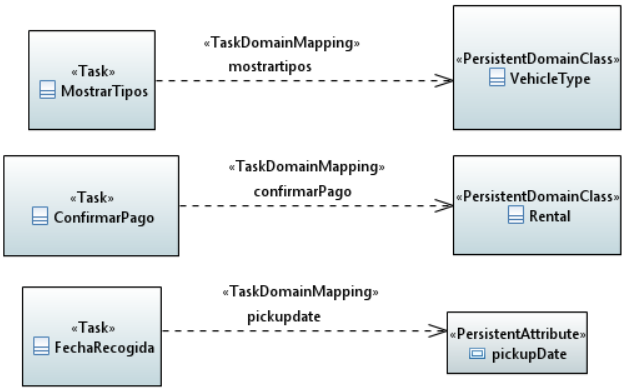

Figura 8. Correspondencias entre los modelos de tareas y dominio (fragmento).

La Figura 8 muestra los archivos fuente generados a partir de los tres modelos anteriormente descritos. La generación del código se ha realizado de acuerdo a la arquitectura recomendada para Android (Google Inc., 2019c). En ellos se puede apreciar que se han creado 4 actividades y la capa de persistencia, así como las capas intermedias que permiten comunicar la interfaz de usuario, la lógica y persistencia. Obsérvese que la capa de persistencia (incluida en la carpeta *model*) contiene las entidades que se almacenarán (carpeta *entity*), los objetos de acceso a los datos (carpeta *dao*) que actuarán como interfaz para manipular las entidades almacenadas, los conversores de tipos de datos del modelo de dominio a la base de datos para aquellos tipos de datos no soportando directamente por el gestor de la base de datos (en este caso para almacenar/leer las fechas), la propia base de datos, la vista (*viewmodel*), que será lo que realmente manipule la interfaz de usuario, y finalmente el repositorio, de acuerdo a las buenas prácticas para la creación de aplicación en Android anteriormente citadas. Adicionalmente, se han generado los recursos necesarios en la carpeta *res*: la interfaz de usuario de las actividades en XML (carpeta *layout*), los menús para dichas actividades, así como las cadenas de texto, colores o estilos, además de la información sobre la app que debe ser incluida en el manifiesto para su correcto funcionamiento y compilación.

Para compilar la aplicación se debe hacer uso el entorno oficial para el desarrollo de aplicaciones para Android: Android Studio. Para ello habrá que crear un nuevo proyecto vacío y copiar las carpetas dentro del propio proyecto. Las instrucciones sobre cómo hacerlo exactamente también se generan dentro del fichero readme.txt que aparece en la Figura 9.

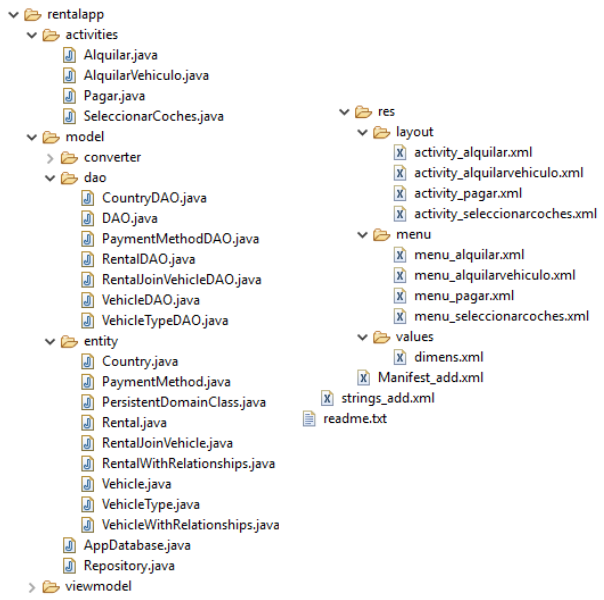

Figura 9. Código y recursos generados a partir de los modelos.

La Figura 10 muestra una de las pantallas generadas para Android. En este caso la pantalla del inicio del alquiler con la información básica. Uno de los aspectos que se puede apreciar es que no se ha cuidado el diseño gráfico. Aunque inicialmente sí que se consideró, finalmente se descartó tras realizar evaluaciones informales con desarrolladores en empresas. Las razones de esta decisión serán descritas en la siguiente sección.

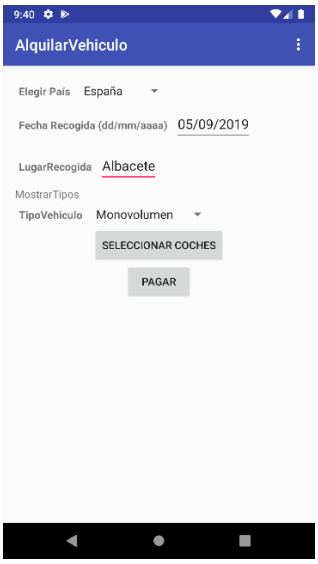

Figura 10. Pantalla de alquiler de vehículos de la app generada.

5. Lecciones aprendidas

Una de las primeras lecciones aprendidas, durante el desarrollo de esta herramienta de generación de aplicaciones para dispositivos móviles, es la rapidez con la que evolucionan los propios entornos oficiales de desarrollo para dichas plataformas. Originalmente, se generaba todo el proyecto para Android Studio, incluyendo toda la configuración del propio proyecto. Sin embargo, esa idea se desechó, debido a los constantes cambios en dichos ficheros que Google realizaba, lo cual dificultaba mantener la herramienta correctamente.

Después de distintos casos de estudio, nos dimos cuenta de que la generación de aplicaciones para estos dispositivos que no tengan una interacción estándar (juegos, por ejemplo) es dificultosa, ya que requieren patrones de generación y especificación de modelos bastante distintos a los habituales. Esto hace necesaria la creación de herramientas específicas para el diseño e implementación de dicho tipo de aplicaciones.

Un aspecto que no se debe olvidar, es que los desarrolladores que hacen uso UML2App necesitan un cierto entrenamiento. Esto se debe a que necesitan aprender cómo funciona el generador. Especialmente relevante en el modelado de tareas, donde debido al enorme número de combinaciones posibles, no siempre todas las combinaciones producen interfaces de usuario usables.

Desde el punto de vista del esfuerzo de modelado necesario, como se ha podido apreciar en los modelos del caso de estudio presentado, se requiere la creación de un solo modelo de dominio (véase Figura 6), la creación del modelo de tareas correspondiente a la interacción del usuario que se desea soportar (véase Figura 7), así como de los enlaces entre ambos modelos necesarios para saber qué información maneja cada tarea o qué métodos dispara (Figura 8).

La introducción de un modelo para representar el aspecto deseado de la interfaz de usuario (*Look & Feel*) sería sencillo de introducir en el caso de Android, ya que en las directrices de Google para el desarrollo de apps para Android (Google Inc., 2019d) está detallado. Sin embargo, aunque inicialmente se comenzó a incluirlo, se desechó. La razón principal es que, al hablar con desarrolladores en empresas, nos pedían que esa parte pudiera ser creada directamente por los diseñadores gráficos para darle un toque más atractivo a la interfaz. Aplicar plantillas a app creadas es la solución más interesante, ya que se consigue independizar el aspecto de la interfaz de la generación en gran medida, permitiendo un mantenimiento y actualización de la app sencillo.

Aunque la generación actual se ha hecho para Android, actualmente ya existen marcos de trabajo que permiten generar código para distintas plataformas como Flutter (Google Inc., 2019b). De esta manera en vez de generar código directamente para Android e iOS, se podría generar para

Flutter y así mejorar la mantenibilidad de la herramienta, dejando que sea Flutter quien genera el código final.

6. Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo se ha presentado una aproximación dirigida por modelos para el desarrollo de aplicaciones móviles llamada UML2App. El objetivo final que se persigue es crear una herramienta capaz de generar la aplicación para distintos dispositivos, incluso que usen distintos sistemas operativos.

Para ello, se han usado como base los modelos de tareas y de dominio. Dichos modelos son anotados a través de una serie de estereotipos especificados en un perfil UML. Mediante dichos estereotipos el diseñador es capaz de especificar cómo debe ser la generación de la aplicación. La propia generación de la aplicación se basa en el marco de trabajo de Epsilon, el cual garantiza que las propias transformaciones que producen la aplicación automáticamente se puedan ir actualizando de manera sencilla, al no estar directamente incluidas en el código del generador. La herramienta, denominada UML2App, soporta actualmente la generación para el marco de trabajo de Android, el cual ha sido elegido para ser el primero en ser soportado debido a su amplia expansión y a no requerir hardware específico para su desarrollo.

Actualmente, la herramienta presenta algunas limitaciones que se están abordando. En este sentido, el proceso de generación sería más preciso si se especificara un modelo de plataforma donde se describieran las capacidades de la propia plataforma destino. Este es un aspecto cuya importancia, sin embargo, se ha ido difuminando con la evolución de los propios marcos de trabajo de desarrollo para los dispositivos móviles. Por ejemplo, en Android la disposición de los componentes se realiza actualmente usando ConstraintLayout (Google Inc., 2019a), que precisamente persigue que las interfaces de usuario descritas usando este elemento sean capaces de adaptarse a distintos tamaños y formas de pantallas *(responsive)*.

Otro aspecto que se está abordando es mejorar la personalización de las aplicaciones generadas, para dar más flexibilidad al diseñador de la app. Por ejemplo, si prefiere una aplicación basada en pestañas (*tabs*) o no, qué elementos desea tener en la barra de acción (*actionBar*), etc. Estos aspectos, sin duda, contribuirían a mejorar la usabilidad de las aplicaciones generadas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad de España, la Agencia Estatal de Investigación (AEI) / Fondos Europeos para el Desarrollo Regional (FEDER, UE) mediante Vi-SMARt (TIN2016-79100-R) y el proyecto regional NeUX (SBPLY/17/180501/000192). Dicho proyecto está financiado por la Unión Europea, el fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Referencias

Barnett, S., Avazpour, I., Vasa, R., & Grundy, J. (2019). Supporting multi-view development for mobile applications. Journal of Computer Languages, 51, 88–96. https://doi.org/10.1016/j.cola.2019.02.001

Behrens, H. (2010). MDSD for the iPhone. In Proceedings of the ACM international conference companion on Object oriented programming systems languages and applications companion - SPLASH '10 (p. 123). New York, New York, USA: ACM Press. https://doi.org/10.1145/1869542.1869562

Biørn-Hansen, A., Grønli, T.-M., & Ghinea, G. (2018). A Survey and Taxonomy of Core Concepts and Research Challenges in Cross-Platform Mobile Development. ACM Computing Surveys, 51(5), 1–34. https://doi.org/10.1145/3241739

Biørn-Hansen, A., Grønli, T.-M., Ghinea, G., & Alouneh, S. (2019). An Empirical Study of Cross-Platform Mobile Development in Industry. Wireless Communications and Mobile Computing, 2019, 1–12. https://doi.org/10.1155/2019/5743892

Bodart, F., & Vanderdonckt, J. (1994). On the Problem of Selecting Interaction Objects, (August), 23–26.

Calvary, G., Coutaz, J., Thevenin, D., Limbourg, Q., Bouillon, L., & Vanderdonckt, J. (2003). A Unifying Reference Framework for multi-target user interfaces. Interacting with Computers, 15(3), 289–308. https://doi.org/10.1016/S0953-5438(03)00010-9

Dalmasso, I., Datta, S. K., Bonnet, C., & Nikaein, N. (2013). Survey, comparison and evaluation of cross platform mobile application development tools. In 2013 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC) (pp. 323–328). IEEE. https://doi.org/10.1109/IWCMC.2013.6583580

Ditrendia. (2019). Informe Ditrendia Mobile en España y el Mundo 2018. Retrieved March 8, 2019, from http://mktefa.ditrendia.es/blog/todas-las-estadísticas-sobre-móviles-que-deberías-conocer-mwc18

Eclipse Foundation. (2019a). Epsilon. Retrieved March 12, 2019, from https://www.eclipse.org/epsilon/

Eclipse Foundation. (2019b). Epsilon Generation Language. Retrieved March 14, 2019, from https://www.eclipse.org/epsilon/doc/egl/

Fuentes, L., & Vallecillo, A. (2004). An introduction to UML profiles. UML and Model Engineering, 2, 6–13.

Gonzalez-Calleros, J. M., Guerrero-Garcia, J., Vanderdonckt, J., & Munoz-Arteaga, J. (2009). Towards Canonical Task Types for User Interface Design. In 2009 Latin American Web Congress (pp. 63–70). IEEE. https://doi.org/10.1109/LA-WEB.2009.33

Google Inc. (2019a). Build a Responsive UI with ConstraintLayout. Retrieved March 14, 2019, from https://developer.android.com/training/constraint-layout

Google Inc. (2019b). Flutter. Retrieved September 12, 2019, from https://flutter.dev/

Google Inc. (2019c). Guide to app architecture. Retrieved September 5, 2019, from https://developer.android.com/jetpack/docs/guide

Google Inc. (2019d). Material Design. Retrieved March 14, 2019, from https://material.io/develop/android/

Google Inc. (2019e). Room Persistence Library. Retrieved March 12, 2019, from https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/room

Guerrero, J., González-Calleros, J. M., Vanderdonckt, J., & Muñoz Arteaga, J. (2009). A Theoretical Survey of User Interface Description Languages: Preliminary Results. In Proc. of LA-WEB/CLIHC 2009 (pp. 36–43).

Heitkötter, H., Majchrzak, T. A., & Kuchen, H. (2013). Cross-platform model-driven development of mobile applications with md 2. In Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing - SAC '13 (p. 526). New York, New York, USA: ACM Press. https://doi.org/10.1145/2480362.2480464

Joorabchi, M. E., Mesbah, A., & Kruchten, P. (2013). Real Challenges in Mobile App Development. In 2013 ACM / IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (pp. 15–24). IEEE. https://doi.org/10.1109/ESEM.2013.9

Limbourg, Q., Vanderdonckt, J., Michotte, B., Bouillon, L., & López-Jaquero, V. (2005). Usixml: A language supporting multi-path development of user interfaces. Engineering Human Computer Interaction and Interactive Systems, 200–220. Retrieved from http://www.springerlink.com/index/barbk4qmlx4ybn8a.pdf

Mendix. (2019). Mendix: Low-code Application Development Platform. Retrieved March 14, 2019, from https://www.mendix.com/

Montero, F., López-Jaquero, V., Vanderdonckt, J., González, P., Lozano, M. D., & Limbourg, Q. (2006a). Solving the Mapping Problem in User Interface Design by Seamless Integration in IdealXML. In S. W. Gilroy & M. D. Harrison (Eds.), Interactive Systems (pp. 161–172). Springer. https://doi.org/10.1007/11752707_14

Montero, F., López-Jaquero, V., Vanderdonckt, J., González, P., Lozano, M., & Limbourg, Q. (2006b). Solving the Mapping Problem in User Interface Design by Seamless Integration in IdealXML (pp. 161–172). https://doi.org/10.1007/11752707_14

Mori, G., Paterno, F., & Santoro, C. (2002). CTTE: support for developing and analyzing task models for interactive system design. IEEE Transactions on Software Engineering, 28(8), 797–813. https://doi.org/10.1109/TSE.2002.1027801

Paternò, F. (1999). Model-Based Design and Evaluation of Interactive Applications. Springer-Verlag.

Ruiz, J., Serral, E., & Snoeck, M. (2018). Evaluating user interface generation approaches: model-based versus model-driven development. Software & Systems Modeling. https://doi.org/10.1007/s10270-018-0698-x

Selic, B. (2003). The pragmatics of model-driven development. IEEE Software, 20(5), 19–25. https://doi.org/10.1109/MS.2003.1231146

The Apache Software Foundation. (2019). Apache Cordova. Retrieved November 13, 2019, from https://cordova.apache.org/

Umuhoza, E., & Brambilla, M. (2016). Model Driven Development Approaches for Mobile Applications: A Survey (pp. 93–107). https://doi.org/10.1007/978-3-319-44215-0_8

Usman, M., Iqbal, M. Z., & Khan, M. U. (2014). A Model-Driven Approach to Generate Mobile Applications for Multiple Platforms. In 2014 21st Asia-Pacific Software Engineering Conference (pp. 111–118). IEEE. https://doi.org/10.1109/APSEC.2014.26

Vaupel, S., Taentzer, G., Gerlach, R., & Guckert, M. (2018). Model-driven development of mobile applications for Android and iOS supporting role-based app variability. Software & Systems Modeling, 17(1), 35–63. https://doi.org/10.1007/s10270-016-0559-4

Willocx, M., Vossaert, J., & Naessens, V. (2015). A Quantitative Assessment of Performance in Mobile App Development Tools. In 2015 IEEE International Conference on Mobile Services (pp. 454–461). IEEE. https://doi.org/10.1109/MobServ.2015.68

Wong, J., Baker, V. L., Leow, A., & Resnick, M. (2018). Magic Quadrant for Mobile App Development Platforms

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Descripción y evaluación de una herramienta de rehabilitación para los miembros superiores con gamificación y realidad aumentada

Description and evaluation of a rehabilitation tool for upper limbs with gamification and augmented reality

Gabriel Fuertes Muñoz
Edison Desarrollos SL
Teruel, España
gabriel.fuertes@gmail.com

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

Recibido: 24.09.2019 | Aceptado: 15.12.2019

Palabras Clave

Rehabilitación
Microsoft Kinect
Realidad Aumentada
Gamificación

Resumen

Mediante la terapia activa, el proceso de rehabilitación mejora, ya que se afianza la recuperación y se hace más rápida y efectiva. Para ello, deben realizarse de manera adecuada tanto la prescripción de ejercicios por parte del personal sanitario como su ejecución por parte de los pacientes. Sin embargo, a veces la falta de motivación de los pacientes provoca que estos ejercicios no se lleven a cabo o se hagan de manera incorrecta. Para ayudar en el proceso de terapia activa y evitar que se den estos problemas, hemos desarrollado KineActiv®, un sistema que hace uso del dispositivo Microsoft Kinect v2. KineActiv ayuda a la realización de ejercicios de rehabilitación de los miembros superiores, y para ello incluye enfoques de gamificación y de realidad aumentada. Con estas características se pretende motivar e implicar a los pacientes, mejorando así los resultados del proceso de rehabilitación. En el presente artículo se describe la herramienta KineActiv, y se mencionan las primeras actividades de evaluación que se están llevando a cabo para comprobar su usabilidad y utilidad.

Keywords

Rehabilitation
Microsoft Kinect
Augmented Reality
Gamification

Abstract

Active therapy is an activity that can improve a rehabilitation process, as it consolidates the recovery and makes it faster and more effective. In order to achieve those goals, both the prescription of exercises by medical personnel and the execution of such exercises by patients must be performed in a suitable way. However, the lack of motivation of patients sometimes cause the exercises not to be performed, or to be badly performed. To help in the active therapy process and to avoid these problems to occur, we have developed KineActiv®, a system that makes use of the Microsoft Kinect v2 device. KineActiv can help to perform rehabilitation exercises for the upper limbs, and includes some elements of gamification and augmented reality. The use of these features is expected to motivate the patients and make them get involved in the rehabilitation process, improving its results. In this paper, we describe the KineActiv tool, and we explain the first activities that we have carried out in order to test its usability and usefulness.

1. Introducción

Dentro del ámbito de la rehabilitación y el tratamiento de la salud, es un hecho demostrado que la terapia activa es un método que ayuda en el proceso de rehabilitación (Montagnini et al., 2017), afianzando la recuperación y haciendo que ésta sea más rápida y efectiva (Mehboob et al., 2017; Linhares et al., 2017). Llevar a cabo ejercicios de manera repetitiva puede ayudar a personas con dificultades motoras a superar con mayor facilidad las limitaciones que experimentan en su vida diaria. A pesar de esta afirmación un estudio indica que sólo el 31% de las personas que sufren algún trastorno de la movilidad ejecutan los ejercicios tal y como les han recomendado (Richards et al., 1999).

La gente a menudo cita la falta de motivación como un impedimento a la hora de realizar ejercicios regularmente de forma autónoma (Lloyd-Jones et al., 2010). Además, el número de ejercicios en una sesión de terapia es típicamente insuficiente (Lang et al., 2007). Una solución a esta cuestión es la intervención del personal sanitario: fisioterapeutas o rehabilitadores, normalmente. Sin embargo, esto puede no ser viable desde un punto de vista económico al necesitar contratar más personal para cubrir necesidades a largo plazo.

Todo esto lleva a que el paciente que se someta a un tratamiento de rehabilitación debe implicarse de una manera activa realizando ejercicios que le son prescritos por parte del personal sanitario. La realización de estos ejercicios normalmente se lleva a cabo en casa, sin la presencia del profesional, en las distintas sesiones que tiene concertadas. De esta manera, el profesional debe confiar en la correcta realización de los ejercicios pautados por parte del paciente. Una alternativa es que el personal sanitario decida que el paciente realice dichos ejercicios en su consulta, bajo su supervisión.

Por estos motivos decidimos que había que buscar una manera de suplir esa carencia y brindar la oportunidad de que los pacientes pudieran realizar los ejercicios que les eran pautados de una manera guiada y controlada, indicando si está realizando correctamente los ejercicios, corrigiendo sus errores, almacenando su evolución, etc., sin necesidad de que el terapeuta esté presente en todo momento. Además de esta manera los resultados obtenidos por cada uno de los pacientes después de cada sesión de terapia activa serán accesibles por parte del personal sanitario de manera inmediata y desde cualquier dispositivo conectado a Internet para así poder planificar la siguiente sesión presencial.

Por otro lado, el desarrollo del campo de las tecnologías de sensores y el abaratamiento de los precios han permitido imaginar y desarrollar sistemas capaces de controlar de manera automática la frecuencia, duración y corrección de ejercicios (Saposnik et al., 2010). Además, el uso de interfaces de usuario multimodales y del concepto de gamificación pueden ser de ayuda también de cara a mantener al usuario motivado e implicado durante la realización de ejercicios (Flynn & Lange, 2010; Fuertes et al., 2019a).

Así, en este artículo presentamos el sistema de rehabilitación KineActiv®, un desarrollo basado en el dispositivo Microsoft Kinect v2. Se trata de un sistema que permite que los fisioterapeutas prescriban ejercicios a sus pacientes para así mejorar el proceso de rehabilitación entre sesiones de fisioterapia. El sistema incluye enfoques de gamificación y de realidad aumentada para obtener mejores resultados mediante una mejor motivación e implicación de los pacientes. KineActiv está pensado para rehabilitación de los miembros superiores.

El resto del artículo se estructura como sigue: en la sección 2 se comentarán algunos trabajos relacionados con el que se presenta, sobre todo de otros sistemas de rehabilitación que utilizan Microsoft Kinect. En la sección 3 se describirá la herramienta, haciendo hincapié en su arquitectura y su interfaz de usuario y en los problemas encontrados durante su desarrollo. En la sección 4 se comentará el trabajo inicial de validación llevado a cabo. Finalmente, en la sección 5 se comentarán el trabajo futuro y las mejoras que ya estamos llevando a cabo.

2. Trabajo Relacionado

En la actualidad se está trabajando ampliamente con el uso de tecnologías como Kinect, Wii, Balance Board (Gil-Gómez et al., 2011) y otros dispositivos para la rehabilitación y la ayuda en determinadas patologías de pacientes que han perdido la movilidad o poseen alguna enfermedad degenerativa que les impide de alguna manera. Así, puede verse que la tendencia actual es la de usar este tipo de tecnologías en pacientes que han sufrido una lesión cerebral (Venugopalan et al., 2013), tales como un infarto cerebral (Webster & Celik, 2014) o un accidente de tráfico, por ejemplo, además en pacientes con esclerosis múltiple u otro tipo de enfermedades degenerativas (Muñoz et al., 2013). El objetivo que tiene el uso de este tipo de tecnologías dentro del tratamiento de estas patologías es incitar a que el paciente realice los movimientos adecuados sin ser necesario mantener un control exhaustivo del movimiento, únicamente se requiere que se llegue a un objetivo para volver a educar al cerebro a recuperar una función perdida o mitigar la degeneración del movimiento.

Los pacientes de estas patologías suelen ser personas mayores (Sáenz-de-Urturi et al., 2015), ya que las

enfermedades a las que están dirigidos estos tipos de tratamientos y ejercicios son más frecuentes en este sector poblacional. El método más común de uso es en clínicas especializadas que tratan este tipo de patologías, de manera que el paciente se desplaza hasta las clínicas, aunque se está ampliando la posibilidad de realizar los ejercicios en sus hogares.

El uso de Kinect como herramienta para evaluar las variables cinéticas, en comparación con los métodos estándar actuales, es un tema de gran interés (Napoli et al., 2017). Aunque se han publicado varios estudios en esta área, la tendencia general ha sido comparar los sistemas de motion capture (MOCAP) basados en medidas de resumen escalar con los basados en medidas métricas.

Los dispositivos de interacción de las consolas de videojuegos de última generación, como Kinect, han mostrado un gran potencial con un coste de inversión reducido en comparación con otros tipos de sistemas. Nintendo Wii consta de un controlador inalámbrico que utiliza la aceleración integrada con sensores sensibles a cambios de dirección, velocidad y aceleración causados por movimientos de muñeca, brazo y mano. Dicho dispositivo se ha utilizado por ejemplo para la rehabilitación del ictus con resultados positivos (Saposnik et al., 2010).

Así, el dispositivo Microsoft Kinect está sirviendo de base para sistemas que están destinados a una amplia gama de tareas de rehabilitación con resultados más que satisfactorios. En este sentido, Chang et al. (2011) compararon el sistema óptico OptiTrack de alta fidelidad con el dispositivo Kinect y mostraron que Kinect puede realizar un seguimiento de movimiento competitivo como OptiTrack. Así, el dispositivo Kinect se incluyó en un sistema de rehabilitación de ictus para los miembros superiores, desarrollado como un entorno virtual interactivo (Ibarra Zannatha et al., 2013), usando la información de los movimientos del paciente, junto con las señales obtenidas de los dispositivos de medición ergonómicos, para supervisar y evaluar el progreso de la rehabilitación de ictus. Dentro de esta misma línea, se ha llevado a cabo un trabajo denominado RemoviEM (Lozano-Quilis et al., 2014), el cual se basa en la rehabilitación de pacientes con esclerosis múltiple, los cuales tienen mermadas sus facultades motoras, y a través de la creación de escenarios virtuales pueden realizar ejercicios de rehabilitación.

Otros estudios han demostrado que Kinect es un sensor suficientemente preciso y sensible para medir los movimientos gruesos, lo que lo hace adecuado para los sistemas de rehabilitación de apoplejía (Webster & Celik, 2014) o para medir los síntomas del movimiento en personas con enfermedad de Parkinson (Galna et al., 2014). Dentro de este enfoque existen otros sistemas y programas que pueden utilizarse dentro de la rehabilitación física. Uno de ellos es KINOVEA (Alankus et al., 2010), que es un software de biomecánica deportiva que también se usa en la rehabilitación física. Se trata de un analizador de video que se usa como recurso para evaluar, corregir y llevar un seguimiento de la técnica en los movimientos. Permite la medición de tiempos, ángulos, trayectorias, perspectivas y coordenadas. Se trata de un sistema potente, pero tiene el inconveniente de que se debe grabar el movimiento para después ser estudiado.

Un programa similar es Skill Spector (Wollersheim et al., 2010), el cual usa el mismo sistema grabación de video para un posterior estudio del mismo. Del mismo modo, se pueden establecer puntos de las articulaciones a estudiar, así como ángulos, coordenadas o sistema de medición.

También cabe mencionar un desarrollo por parte de la empresa Diaple (Pastor et al., 2012). En ese trabajo se hace uso del dispositivo Kinect para la rehabilitación física. Previamente el fisioterapeuta deberá grabar en vídeo el ejercicio que posteriormente deberá imitar el paciente. Una vez ejecutado se realiza una comparación de cada uno de los ejercicios y en base a la similitud se otorga una puntuación al paciente. Este sistema, al igual que los mencionados anteriormente, no corrigen ni mejoran en tiempo real lo realizado por parte del paciente.

En otros trabajos se ha determinado que puede rastrear el movimiento del cuerpo con la precisión requerida para las pruebas de equilibrio estándar (Funaya et al., 2013), como la evaluación del equilibrio de pie (Yang et al., 2014) y se ha comparado a Kinect con técnicas más establecidas para la estimación de la pose usando datos de captura de movimiento (Obdrzalek et al., 2012). En este trabajo, se evaluó la precisión y robustez de la estimación de la postura de Kinect para posturas de personas mayores en posiciones de pie y sentadas. Los resultados fueron positivos, indicando que podría ser utilizado para la realización de ejercicios de terapia activa.

La principal ventaja de usar el sensor de Kinect sobre las alternativas disponibles en el mercado se encuentra en el algoritmo propio de Microsoft, que realiza la detección del cuerpo en tiempo real y que puede explotarse utilizando el Kit de Desarrollo de Software de Microsoft (SDK) (Microsoft, 2019).

3. Descripción del sistema

En esta sección vamos a comentar las características de KineActiv, que es el sistema que hemos desarrollado como ayuda para los fisioterapeutas a la hora de tratar con pacientes de rehabilitación. De esta manera, hemos diseñado un producto que incentiva a los pacientes a la realización de los ejercicios pautados con la implementación de un entorno gamificado (Flynn et al., 2010), en el que se establecen los objetivos marcados por el profesional. Se trata de un entorno gamificado porque se han introducido características propias de juegos (misiones, recompensas, etc.) a la ejecución de los ejercicios de rehabilitación. La principal diferencia entre KineActiv y otros sistemas similares es que se evalúan los movimientos de los pacientes en tiempo real, mostrando mensajes de aviso al usuario para que este pueda alcanzar un movimiento casi ideal en cada ejercicio.

3.1 Arquitectura del Sistema

La arquitectura del sistema sigue una estructura cliente-servidor con una base de datos común a los dos entornos. Por un lado, poseemos un entorno web adaptable (responsive), a través del cual cada centro clínico tiene la posibilidad de dar de alta a los fisioterapeutas y pacientes que posee. Éstos a su vez pueden registrar las patologías dentro de cada historial de los pacientes que traten.

Para cada patología se crean sesiones de ejercicios que deben realizar los pacientes, ya sea en el centro clínico o en su domicilio, en la fecha que haya sido establecida, sin posibilidad de poder repetir la sesión si no es abierta nuevamente por el fisioterapeuta.

El sistema será accesible desde cualquier dispositivo que posea conexión a Internet para poder ver los resultados de los ejercicios realizados, en tiempo real, con datos precisos y gráficas de evolución y resultados.

Por otro lado, tenemos un entorno gamificado para el paciente, el cual se ha desarrollado en Unity y hace uso del dispositivo Kinect 2 de Microsoft.

Para realizar la valoración de cada uno de los pacientes, se guarda cómo es la estructura de cada persona y la articulación a tratar. Por ejemplo, si se debe realizar la rehabilitación de un hombro, se almacena la posición del hombro, codo y muñeca, así como la longitud de la extremidad, además de otros datos relevantes para la ejecución de los ejercicios.

Una vez finalizados los ejercicios pautados, el sistema se conecta con la base de datos y envía de manera automática lo realizado por el paciente para su posterior estudio por parte del profesional sanitario. Así pues, una vez recibidos los resultados, el sistema cierra automáticamente la posibilidad de repetir los ejercicios.
El especialista podrá acceder al sistema web desde cualquier dispositivo que tenga acceso a internet para acceder a las estadísticas y las gráficas generadas por el sistema para los ejercicios que ha hecho el paciente. De esta manera puede ver si la evolución es la esperada o si se ha producido algún problema en la ejecución, ya sea por desconocimiento, desconfianza, dolor del paciente o cualquier otro motivo que le haya impedido la correcta realización de lo pautado.

En cualquier caso, con los resultados obtenidos, es posible planificar las sucesivas sesiones de rehabilitación, ya sea para avanzar más rápidamente o por el contrario modificar las pautas para adaptarlas a la evolución del paciente.

3.2 Metodología

En esta sección se comentarán diversos aspectos metodológicos y de funcionamiento del sistema, así como ciertos detalles de la gamificación. Una explicación más detallada de lo que aquí se cuenta se puede encontrar en (Fuertes et al., 2019b).

3.2.1 Adquisición de datos

La fase de adquisición de datos consiste en un entorno desarrollado con el motor Unity, con la integración del SDK de Microsoft Kinect 1.8. Debido al enfoque de nuestro trabajo, capturaremos las articulaciones de la muñeca, el codo y el hombro en tiempo real. Estas coordenadas son calculadas en el espacio 30 veces por segundo, con una precisión de hasta 20 decimales, con lo que podemos conocer la ubicación de las mismas en cualquier momento que sea necesario.
Antes de comenzar cualquier ejercicio, el sistema comprueba que el paciente esté posicionado correctamente. La distancia óptima para la realización de los ejercicios es entre 2 y 4 metros, desde la posición del sensor Kinect. Aunque las especificaciones del dispositivo indican que funcionan correctamente entre 0.4 m. hasta los 8.5, se considera que el rango óptimo es desde los 1.4 hasta los 4.5 metros (Nguyen et al., 2019).
El sistema desarrollado es capaz de detectar posiciones y gestos incorrectos del paciente, así como indicar en qué sentido debe moverse el paciente para la correcta ejecución del ejercicio.

3.2.2 Entorno de usuario gamificado

Como ejemplos de ejercicios nos vamos a centrar en dos casos, uno de ejercicios concéntricos y otro de isométricos. El primero consiste en repeticiones de elevación del brazo hasta alcanzar un ángulo de elevación objetivo, establecido por el fisioterapeuta. En el segundo, el brazo se eleva hasta una

posición concreta y se mantiene en esa posición un cierto periodo de tiempo, también establecido por el especialista. En ambos casos, los objetivos son personalizados, dependiendo de las circunstancias de cada paciente.
Para animar a que los pacientes consigan sus objetivos, se han diseñado e implementado entornos y juegos específicos. La ejecución de ejercicios concéntricos es parte de un juego que genera un *alien* que amenaza una ciudad y lo ubica en el lugar exacto al que tiene que elevar el brazo el paciente (objetivo prestablecido por el profesional). En el supuesto caso de que el paciente no alcance el objetivo o no lo haga dentro de los parámetros marcados por el fisioterapeuta en la ejecución del movimiento, el alien realizará un ataque sobre una ciudad situada en la parte inferior de la pantalla. El alien está diseñado con el fin de seguir al paciente en todo momento durante la ejecución del ejercicio, con el fin de permitir cierta movilidad espacial, y siempre mantendrá la posición objetivo a alcanzar. Se pueden identificar dos escenarios en este ejercicio:

- Positivo. El paciente realiza correctamente la ejecución del ejercicio, alcanzando al alien, destruyéndolo y manteniendo la ciudad a salvo. Una vez que el paciente lleve el brazo a la posición de descanso, se genera otro alien que será posicionado en el mismo lugar.
- Negativo. El paciente realiza erróneamente la ejecución del ejercicio, y falla al intentar alcanzar la posición objetiva donde se encuentra el alien. En este caso, el alien atacará la ciudad lanzando bolas de fuego.

El sistema guarda cuántas repeticiones han sido correctas y cuántos fallos se ha producido en cada una de las series, almacenando los datos en un sistema en la nube.
En cuanto al ejercicio isométrico está basado en un juego totalmente diferente al anterior. Consiste en un pájaro que está volando en la mano del paciente y existe una jaula ubicada en el lugar exacto (grados objetivos a alcanzar) donde el paciente debe mantener su mano durante un cierto periodo de tiempo, también estipulado por el fisioterapeuta. Así pues, se espera que el paciente sea capaz de llevar el pájaro de su mano hasta la jaula y lo mantenga ahí encerrado.
En este juego también se pueden identificar dos escenarios.

- Positivo. El paciente realiza una correcta ejecución del ejercicio, alcanzando la jaula y manteniendo el pájaro en la jaula durante el tiempo prescrito de forma continua, por lo que el pájaro se posa y descansa.
- Negativo. El paciente ejecuta el ejercicio de manera incorrecta, no pudiendo mantener al pájaro dentro de la jaula el tiempo requerido, volviendo éste a volar en su mano fuera de la jaula.

El sistema almacena el periodo de tiempo que el paciente ha sido capaz de aguantar en la posición requerida con el pájaro enjaulado para cada una de las repeticiones de cada serie, dentro de un sistema en la nube.

3.2.3 Monitorización y medición

La fase de monitorización y medición se puede dividir en las siguientes tareas:

1. Calibración del paciente
2. Establecimiento del margen de tolerancia
3. Monitorización de las articulaciones
4. Manejo de oclusiones

En lo que se refiere a la **calibración del paciente**, dado un paciente, el primer paso tiene la intención de capturar sus datos biométricos, de modo que los límites asociados a los ejercicios prescritos puedan determinarse de manera confiable. Se asegura así que el paciente realice los ejercicios dentro de un entorno personalizado.
Una vez que el paciente está bien posicionado y en posición vertical, las coordenadas 3D del hombro, el codo y la muñeca se utilizan para calcular la longitud del brazo (distancia desde el hombro hasta la muñeca). Luego se define un vector euclidiano tomando la coordenada del hombro como el punto inicial, la longitud del brazo como su magnitud y utilizando el tipo de acción (abducción, flexión) y el ángulo establecido por el fisioterapeuta para definir la dirección del vector. El punto final de este vector determina la posición objetivo personalizada del ejercicio, donde se generarán los elementos gamificados.

El segundo paso es el **establecimiento del margen de tolerancia**. Los márgenes de tolerancia definen una región 3D personalizada para cada paciente y ejercicio, fuera del cual cualquier movimiento se considera una ejecución incorrecta. También se considera un paso de calibración, porque los márgenes dependen de la condición del paciente.
Se han considerado dos tipos de movimientos en este trabajo: abducción y flexión. Comienzan desde una posición de pie, con los brazos paralelos al tronco. En la abducción, el brazo de interés se eleva en línea recta en el *plano del tronco* hasta alcanzar el ángulo objetivo. La flexión es similar, excepto que el brazo se eleva hacia adelante, en un plano perpendicular al del tronco. En ambas acciones, la posición objetivo de la mano al final del movimiento está modelada por un elemento gamificado. La Figura 1 ilustra los márgenes de tolerancia establecidos para la abducción y la flexión (vista cenital).

Figura 1. Márgenes de tolerancia para la abducción y la flexión.

En los ejercicios de abducción, se definen dos márgenes de tolerancia (frontal y posterior) a partir de dos planos no paralelos cuya intersección está determinada por las coordenadas del hombro. Esta geometría abierta admite ejercicios de abducción de pacientes con un amplio espectro de condiciones físicas. En flexión, el fisioterapeuta establece dos márgenes paralelos de tolerancia, que a su vez son perpendiculares al plano del tronco. En cada caso, los dos márgenes delimitan una región 3D válida, que no puede ser superada por ninguna articulación en ningún momento. Cuando una articulación rompe un margen, el sistema interpreta el error e informa al paciente cómo corregir el ejercicio. Por ejemplo, si el sistema detecta un codo fuera de los márgenes (el paciente está doblando el brazo), el sistema le pide al paciente que extienda completamente el brazo. Para los registros de sesión, se interrumpe la repetición y se anota el ángulo alcanzado en el momento de la interrupción. Estos márgenes permanecen virtualmente unidos al paciente, por lo que si el paciente se mueve (dentro de límites aceptables), los márgenes se actualizan de acuerdo con las nuevas coordenadas de la articulación.

Como tercera tarea se tiene la **monitorización de las articulaciones**. Kinect proporciona coordenadas de unión de alta precisión 30 veces por segundo. La precisión de cada valor de coordenadas está representada por más de 20 decimales: el simple hecho de respirar hace que cambien las posiciones de las articulaciones. Afortunadamente, tal alta precisión no es necesaria para monitorizar los ejercicios de rehabilitación, por lo que se adoptó una precisión menor de tres decimales después de demostrar que es suficiente para detectar cambios significativos. De esta manera, la complejidad de los datos y el software se redujo sin perder efectividad.

Finalmente, la última tarea consiste en el **manejo de oclusiones**. Los ejercicios de abducción son muy fáciles de controlar, ya que todas las articulaciones del brazo permanecen visibles durante todo el tiempo de ejecución. Por el contrario, la flexión podría implicar la oclusión de la articulación o la pérdida de seguimiento para un pequeño rango de ángulos, donde las articulaciones están alineadas con el sensor. En estos casos, Kinect proporciona estimaciones de las posiciones de las articulaciones ocluidas. Para cuando la articulación vuelva a ser visible, podemos asegurar su posición. Lidiar con esta situación es simple y efectivo. Si las posiciones reales de la articulación ocluida justo antes y después de la oclusión eran correctas, entonces se puede suponer que la articulación mantuvo las posiciones correctas mientras estaba ocluida. De lo contrario, en caso de que la articulación hubiera roto la alineación, el sensor la habría detectado nuevamente y su posición real se evaluaría con respecto a los márgenes de tolerancia.

3.3 Interfaz de Usuario

De cara a la interfaz de usuario del sistema, se han utilizado solo tres colores (blanco, verde y gris), además de un cuarto (naranja) en contadas ocasiones. Por un lado, se tienen las pantallas de información de los ejercicios que el paciente debe llevar a cabo en el proceso de rehabilitación. Estas pantallas se han dividido en cuanto a diseño en cuatro columnas, de forma que la descripción del ejercicio estará en las dos o tres de la derecha (dependerá de la pantalla concreta), y la información general estará a la izquierda. Dos ejemplos de estas pantallas están en las figuras 2 y 3.

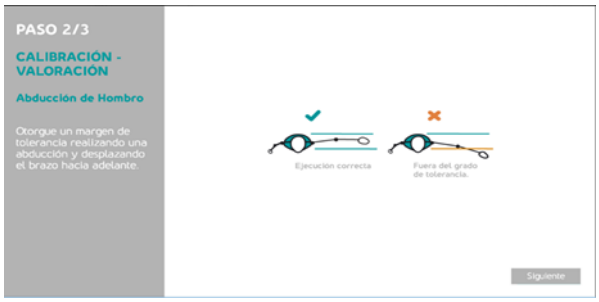

Figura 2. Pantalla de calibración.

Figura 3. Explicación de un ejercicio.

Por otro lado, se tiene la ejecución de los ejercicios gamificados en sí. En la figura 4 podemos ver un primer ejemplo de ejercicio, que consiste en mantener el brazo en una posición de 90º sujetando un peso durante 35 segundos. La gamificación en esta actividad ha consistido en que se cocina un pollo en una barbacoa. Como puede observarse, se sigue un enfoque de realidad aumentada, ya que los elementos del pollo y la barbacoa se superponen en la imagen a la imagen real captada por el sistema.

Figura 4. Ejecución de una actividad (1).

Otro ejemplo de ejercicio es el de la figura 5. En este caso, se trata del juego de ejecución de ejercicios concéntricos que se mencionó en la sección 3.2.

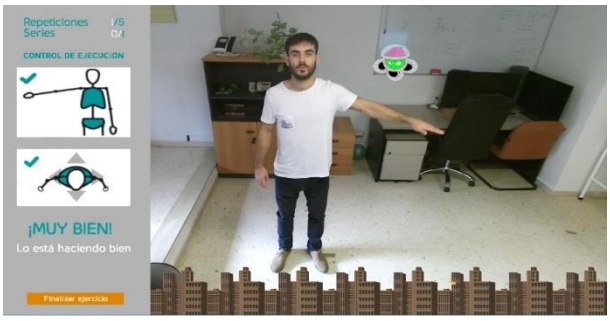

Figura 5. Ejecución de una actividad (2).

Siguiendo dentro de la gamificación de los ejercicios enfocados en el tren superior, podemos ver el desarrollo de juegos más elaborados en el apartado gráfico. En la figura 6 podemos ver una guerra de barcos pirata, en la cual la realización de una ejecución correcta del ejercicio hará que nuestro barco dispare contra el enemigo, en caso contrario, seremos nosotros los que recibamos el impacto del barco contrario. La ejecución del ejercicio consiste en el movimiento del hombro dentro del plano horizontal sin mover ninguna otra parte del cuerpo.

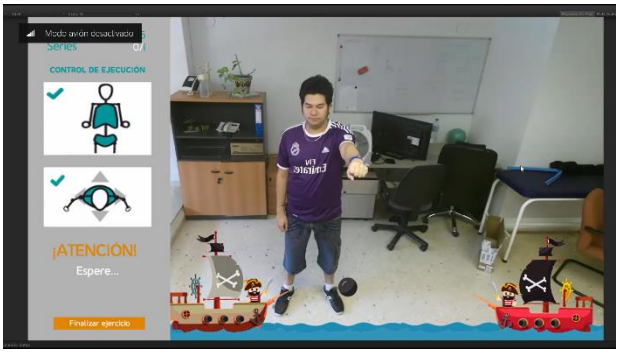

Figura 6. Ejecución de una actividad (3).

Finalmente, en la figura 7 la actividad consiste en intentar aproximar lo máximo posible las escápulas, sin mover ninguna parte más del cuerpo, y mantener esa posición durante el tiempo establecido previamente por el fisioterapeuta. En este caso, se contabiliza el tiempo correcto manteniendo esa postura. La gamificación consiste en el lanzamiento de una piedra mediante una catapulta contra un castillo. En función del tiempo correcto de ejecución la catapulta imprimirá más o menos potencia a la piedra, pudiendo incluso no impactar la piedra contra el castillo en el caso de que no se haya ejecutado el movimiento correctamente el tiempo mínimo necesario.

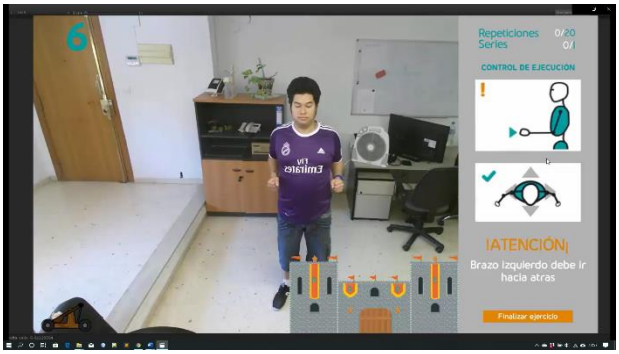

Figura 7. Ejecución de una actividad (4).

Después de realizar cada actividad, el paciente verá una pantalla con la puntuación que ha obtenido. La puntuación se mostrará mediante una escala de estrellas, completando así la gamificación de la actividad.

3.4 Problemas encontrados

A lo largo del desarrollo de la aplicación nos hemos encontrado con varios problemas que hemos tenido que solventar. Uno de los principales problemas ha sido la necesidad que poseen los fisioterapeutas en el control del ejercicio, ya que la precisión de la realización de los mismos es un objetivo fundamental en el tratamiento de terapia física.

Por parte de Kinect no es un problema el seguimiento de las articulaciones, ya que nos da una precisión de hasta 20 decimales. En nuestro caso el simple hecho de respirar nos da variaciones en los datos que se capturan y que en determinadas ocasiones pueden provocar resultados que indican que el ejercicio está mal ejecutado cuando en realidad no es así.

Para ello, comparamos las longitudes y los grados de la articulación dentro de todo el recorrido comparándolo en tiempo real con el establecido inicialmente en la valoración. Además, se controlan otras articulaciones que, aunque no tienen funcionalidad dentro del ejercicio de rehabilitación, si se produce un movimiento no permitido también es necesario avisar al paciente de que no debe hacerlo. Un ejemplo de ello es la inclinación del tronco del paciente en las

elevaciones de los hombros, evitando así que se ayude con dicha inclinación para la ejecución del movimiento requerido.

Otro problema encontrado, en la línea de lo que acabamos de comentar, es el que abarca los errores de reconocimiento de las articulaciones que se generan si en algún momento dentro del trazo del movimiento el dispositivo pierde un punto de control de la articulación, ya que en ese caso dibuja la posición de esa articulación en base a una estimación de dónde se debería encontrar, concurriéndose así en un error inaceptable para nuestro objetivo.

4. Validación Inicial

Para comenzar a comprobar la validez del enfoque propuesto, la primera actividad que se ha llevado a cabo es un cuestionario de aceptación de tecnología basado en el modelo TAM (Davis, 1989). Al tratarse de una validación muy preliminar, se ha conformado un cuestionario reducido de cinco ítems, dos de ellos referidos a la utilidad percibida del sistema y los otros tres a su facilidad percibida de uso, para comprobar así esos dos conceptos que están presentes en el modelo TAM. Cada ítem se ha valorado con una puntuación de 1 a 7, siendo 1 el valor menor y 7 el mayor. Los cuestionarios han sido cumplimentados por traumatólogos, rehabilitadores y fisioterapeutas hasta un total de 6 personas. Más adelante se realizará este mismo cuestionario por más personas de esas y otras profesiones realizadas en el proceso de rehabilitación. Los resultados de dicho cuestionario se muestran en la tabla 1. En ella, se detallan los resultados de las dos preguntas de utilidad percibida (UP1 y UP2) y de las tres preguntas sobre facilidad de uso percibida (FUP1, FUP2 y FUP3).

Tabla 1: Resultados del cuestionario de aceptación

	UP1	UP2	FUP1	FUP2	FUP3
Sujeto 1	5	5	7	7	7
Sujeto 2	7	7	7	7	7
Sujeto 3	7	7	7	7	7
Sujeto 4	6	6	7	7	7
Sujeto 5	6	6	6	6	6
Sujeto 6	5	5	6	6	6

Se observa cómo el valor de los resultados de las dos preguntas referidas a la utilidad percibida se ubica en torno al 6, mientras que el valor de los resultados de las tres preguntas sobre la facilidad percibida de uso es de 7 (el máximo) en la mayoría de los casos y de 6 en el resto. Por lo tanto, y a pesar de que somos conscientes de que se trata de una muestra pequeña y de una validación muy preliminar, estos resultados parecen validar nuestro enfoque y nos animan a continuar probando y validando nuestro sistema.

Además de esta validación, en un trabajo paralelo se han medido la usabilidad y el *flujo* en el uso de la herramienta mediante sendos cuestionarios que han dado buenos valores de aceptación (Fuertes et al., 2019a). En concreto, en dicho trabajo se realizó un estudio de uso con 10 pacientes de entre 38 y 83 años, con una edad media de 54,8 años, que padecían de lesiones de los miembros superiores como luxaciones o tendinopatías. Todos ellos utilizaron la herramienta durante tres semanas, dos veces a la semana, siendo un total por lo tanto de seis usos de la herramienta. Para evaluar aspectos relacionados con la usabilidad y la inmersión en el juego (el concepto de *flujo*), los participantes rellenaron unos cuestionarios de 16 preguntas con cuestiones obtenidas del cuestionario SUS de análisis de la usabilidad (Brooke, 1996) y también con las cuestiones usadas por Shin et al. (2014) para el estudio del flujo en un sistema de rehabilitación similar a este, siendo cuestiones adaptadas de las propuestas por Park et al. (2010). Todas esas cuestiones se unieron en un único cuestionario en el cual las preguntas debían ser valoradas con valores de 1 a 5. En cuanto a la parte del SUS, la puntuación obtenida fue de 84,5 sobre 100, lo cual entendemos que nos refuerza en nuestra idea de que el sistema desarrollado es usable. En lo que se refiere a la otra parte del cuestionario, ésta realmente mide tres ítems distintos. En el ítem referido a la atención no se obtuvieron los valores deseados (2,75 sobre 5 de media de las dos preguntas), lo cual indica que el juego podría mejorar en cómo mantener la atención del usuario. En la parte de interés intrínseco sí que se recibieron buenos valores, al igual que en los ítems relativos al control, con lo cual estos aspectos podríamos darlos en principio por bien implementados en el sistema.

5. Conclusiones y trabajo futuro

El trabajo realizado hasta ahora ha sido la búsqueda del equilibrio entre la usabilidad del usuario paciente con el sistema, junto con la precisión y utilidad que requiere el trabajo de los profesionales de la rehabilitación. Por ese motivo la elaboración de distintos juegos para cada uno de los ejercicios que se pueden ejecutar con el fin de conseguir el paciente tenga un estímulo añadido para llevar a cabo una rehabilitación correcta y que además le permita conocer en tiempo real cómo está siendo dicha rehabilitación. Así pues, y tras el estudio breve de usabilidad que hemos realizado, estudiando los resultados obtenidos, concluimos que nos encontramos que nuestro enfoque es el adecuado, pues los resultados así nos lo muestran.

Como hemos comentado en el apartado anterior, nos encontramos en pleno proceso de evaluación del sistema, de cara también a futuras mejoras. El siguiente paso será conformar un panel de pacientes con lesiones de los

miembros superiores, como luxaciones articulares, tendinopatías o pinzamientos, para que hagan uso de la herramienta de cara a que se pruebe la validez de la herramienta en cuanto a mejora del rendimiento alcanzado por los pacientes.

En cuanto a posibles mejoras del sistema que se están valorando, se pretende que en un futuro se pueda dar la opción de seleccionar varios juegos distintos o la elección de un entorno más aséptico, sin entorno gamificado, todo ello a elección del paciente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, la Agencia Española de Investigación y la Unión Europea (FEDER) mediante el proyecto RTI2018-096986-B-C31, y por el Gobierno de Aragón y la Unión Europea mediante el FEDER 2014-2020 "Construyendo Europa desde Aragón" (Grupo T25_17D).

Referencias

Alankus, G., Lazar, A., May, M., & Kelleher, C. (2010). Towards Customizable Games for Stroke Rehabilitation. CHI 2010: Therapy and Rehabilitation.

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

Chang, Y.J., Chou, L.D., Wang, F.T.Y., & Chen, S.F. (2011). A Kinect-based vocational task prompting system for individuals with cognitive impairments, Personal and Ubiquitous Computing. http://dx.doi.org/10.1007/s00779-011-0498-6.

Davis, F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly 13 (3): 319-340

Flynn, S.M., & Lange, B.S. (2010) Games for the rehabilitation: the voice of the players. In: International Conference on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies (ICDVRAT 2010), pp. 185–194

Fuertes, G., Gallardo, J., & Mollineda, R. (2019a) Usability Study of a Kinect-Based Rehabilitation Tool for the Upper Limbs. In: Rocha Á., Adeli H., Reis L., Costanzo S. (eds) New Knowledge in Information Systems and Technologies. WorldCIST'19 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 931. Springer, Cham

Fuertes, G., Mollineda, R., Gallardo, J., & Pla, F. (2019b). A RGBD-Based Interactive System for Gaming-Driven Rehabilitation of Upper Limbs. Sensors 19(16), 3478.

Funaya, H., Shibata, T., Wada, Y., & Yamanaka, T. (2013). Accuracy assessment of Kinect body tracker in instant posturography for balance disorders. In: Medical Information and Communication Technology (ISMICT), 2013 7th International Symposium on, pp. 213–217. doi: 10.1109/ISMICT.2013.6521731 . Tokyo.

Galna, B., Barry, G., Jackson, D., Mhiripiri, D., Olivier, P., & Rochester, L. (2014). Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson 's disease. Gait Posture 39 (4), 1062–1068. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.01.008

Gil-Gómez, J., Lloréns, R., Alcañiz, M. et al. (2011) Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. J NeuroEngineering Rehabil 8, 30

Ibarra Zannatha, J.M., Malo Tamayo, A.J., Gómez Sánchez, A.D., Lavín Delgado, J.E., Rodríguez Cheu, L.E., & Sierra Arévalo, W.A. (2013). Development of a system based on 3D vision, interactive virtual environments, ergonometric signals anda humanoid for stroke rehabilitation, Computer Methodsand Programs in Biomedicine 112 (2) 239–249.A

Lang, C., MacDonald, J., & Gnip, C. (2007). Counting repetitions: An observational study of outpatient therapy for people with hemiparesis post-stroke. Journal of Neurologic Physical Therapy, 31, 3–10.

Linhares, S.G.D., Pereira, J.C.D.N., Fernandes, P.M.P., & de Campos, J.R.M. (2017). Functional exercise capacity and lung function in patients undergoing an early rehabilitation program after the Nuss procedure: a randomized controlled trial. Pediatric surgery international, 33(1), 69-74.

Lloyd-Jones, D., Adams, R., Brown, T., Carnethon, M., Dai, S., De Simone, G., et al (2010). Heart disease and stroke statistics—2010 update: A report from the American Heart Association. Circulation, 121, 46–215.

Lozano-Quilis, J.A., Gil-Gómez, H., Gil-Gómez, J.A., Albiol-Pérez, S., Palacios-Navarro, G., Fardoun, H.M., & Mashat, A.S. (2014). Virtual rehabilitation for multiple sclerosis using a kinect-based system: randomized controlled trial. JMIR serious games, 2(2), e12.

Mehboob, H., Kim, J., Mehboob, A., & Chang, S.H. (2017). How post-operative rehabilitation exercises influence the healing process of radial bone shaft fractures fixed by a composite bone plate. Composite Structures, 159, 307-315.

Microsoft, Kinect for Windows SDK 2.0. [Online] Available: https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=44561. [Accessed: 14 March 2019].

Montagnini, M., Javier, N.M., & Ritchie, C. (2017). Physical therapy and other rehabilitation issues in the palliative care setting. UpToDate May, 16.

Muñoz, J., Henao, O., López, J., & Villada, J. (2013) BKI: Brain Kinect Interface, a new hybrid BCI for rehabilitation. In: Schouten B., Fedtke S., Bekker T., Schijven M., Gekker A. (eds) Games for Health. Springer Vieweg, Wiesbaden.

Napoli, A., Glass, S., Ward, C., Tucker, C., & Obeid, I. (2017). Performance analysis of a generalized motion capture system using microsoft kinect 2.0. Biomedical Signal Processing and Control, 38, 265-280.

Nguyen, A.V., Ong, Y.L.A., Luo, C.X., Thuraisingam, T., Rubino, M., Levin, M.F., & Archambault, P.S. (2019) Virtual reality exergaming as adjunctive therapy in a sub-acute stroke rehabilitation setting: Facilitators and barriers. Disabil. Rehabil. Assist. Technol., 14, 317–324

Obdrzalek, S., Kurillo, G., Ofli, F., Bajcsy, R., Seto, E., Jimison, H., & Pavel, M. (2012). Accu- racy and robustness of Kinect pose estimation in the context of coaching of elderly pop- ulation. In: Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE, pp. 1188–1193. doi: 10.1109/EMBC.2012.6346149 . San Diego, CA.

Park, J., Parsons, D., & Ryu, H. (2010) To flow and not to freeze: Applying flow experience to mobile learning. Learn Tech, IEEE Trans 3(1):56-67.

Pastor, I., Hayes, H., & Bamberg, S. (2012). A Feasibility Study of an Upper Limb Rehabilitation System Using Kinect and Computer Games. 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS.

Richards, S.B., Taylor, R.L., Ramasamy, R., & Richards, R.Y. (1999). Single subject research: Applications in educational and clinical settings. New York: Wadsworth Shaughnessy, M., Resnick, B., & Macko, R. (2006). Testing a model of post-stroke exercise behavior. Rehabilitation Nursing, 31, 15–21.

Sáenz-de-Urturi, Z., García Zapirain, B., & Méndez Zorrilla, A. (2015). Elderly user experience to improve a Kinect-based game playability. Behaviour & Information Technology, 34(11), 1040-1051

Saposnik, G., Teasell, R., Mamdani, M., Hall, J., McIlroy, W., Cheung, D., Thorpe, K.E., Cohen, L.G., & Bayley, M.E. (2010). Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation: a pilot randomized clinical trial and proof of principle. Stroke 41 (7), 1477–1484.

Shin, J.H., Ryu, H., & Jang, S.H. (2014). A task-specific interactive game-based virtual reality rehabilitation system for patients with stroke: a usability test and two clinical experiments. Journal of neuroengineer-ing and rehabilitation, 11(1), 32.

Venugopalan, J., Cheng, C., Stokes, T.H., & Wang, M.D. (2013). Kinect-based rehabilitation system for patients with traumatic brain injury. In 2013 35th annual international conference of the ieee engineering in medicine and biology society (embc) (pp. 4625-4628). IEEE

Webster, D., & Celik, O. (2014). Experimental evaluation of Microsoft Kinect 's accuracy and capture rate for stroke rehabilitation applications. In: Haptics Symposium (HAPTICS), 2014 IEEE, pp. 455–460. doi: 10.1109/HAPTICS.2014.6775498 . Houston, TX.

Wollersheim, D., Merkes, M., Shields, N., Liamputtong, P., Wallis, L., Reynolds, F., & Koh, L. (2010). Physical and psychosocial effects of Wii video game use among older women. International Journal of Emerging Technologies and Society, 8(2), 85–98

Yang, Y., Fang, P., Yan, L., Shuyu, L., Yubo, F., & Deyu, L. (2014). Reliability and validity of Kinect RGB-D sensor for assessing standing balance. Sensors J., IEEE 14, 1633–1638. doi: 10.1109/JSEN.2013.22

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Generación Z y Fortnite: Lo que engancha a los más pequeños

Generation Z and Fortnite: What engages the little ones

Rosa M. Gil
Departamento de Informática e Ingeniería Industrial, Universitat de Lleida
Lleida, España
rgil@diei.udl.cat

Joan Arnedo-Moreno
Estudios de Informática (EIMT), Universitat Oberta de Catalunya
Barcelona, España
jarnedo@uoc.edu

Carina S. González
Universidad de la Laguna /Universitat Oberta de Catalunya
La Laguna /Barcelona, España
carina.gonzalez@ieee.org

Patricia Paderewski
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad de Granada
Granada, España
patricia@ugr.es

Marga Domenech
Equip d'Assessorament Psicopedagògic (EAP- B-39), Generalitat de Catalunya
Barcelona, España
mdomen85@xtec.cat

María Lleras de Frutos
Unitat de Conductes Addictives de l'Adolescent. HSJD,Unitat de Psicooncologia Institut Català d'Oncologia
Barcelona, España
mlleras@iconcologia.net

Recibido: 25.09.2019 | Aceptado: 15.12.2019

Palabras Clave

Videojuegos
Interacción
Enganche
Fortnite
Diseño de juego

Resumen

Las formas de interacción de los usuarios de la Generación Z suponen un nuevo desafío para los diseñadores de software. El diseño de videojuegos y aplicaciones que "enganchen" puede fomentar la aparición de ciertos patrones de conducta inesperados en los usuarios, como la adicción a los videojuegos (o IGD, "*Internet Game Disorder*" que, actualmente, es objeto de investigación. En este artículo se presenta un estudio donde se analiza el videojuego Fortnite junto con los elementos de mayor enganche entre un grupo de usuarios de dicha generación (561 niños/as entre 8 y 11 años). Los resultados permiten observar las conductas y hábitos desarrollados principalmente respecto a la demografía de los grupos de juego. Con esto, se pretende destacar la importancia de la inclusión de hábitos más saludables en el diseño de los videojuegos orientados a niños/as y de la necesidad de dar información a los padres y madres sobre los aspectos positivos y negativos de los videojuegos. El objetivo final es tener un mayor conocimiento del jugador Generación Z, que pueda ser incorporado en el análisis de requisitos del proceso de diseño de los videojuegos, y así poder crear nuevos paradigmas éticos en su desarrollo.

Keywords

Videogames
Interaction
Engagement
Fortnite
Game design

Abstract

The ways of interaction of users of Generation Z pose a new challenge for software designers. The design of video games and applications that "engage" (or "hook") can encourage the appearance of certain unexpected behavior patterns in users, such as the "Internet Game Disorder" that is currently under investigation. In this article, we present a study where the Fortnite videogame is analyzed together with the elements of greater engagement among a group of users of that generation (561 children between 8 and 11 years old). The results allow observing the behaviors and habits developed, mainly regarding the demographics of the playgroups. With this, it is intended to highlight the importance of the inclusion of healthier habits in the design of video games aimed at children and in the information to fathers and mothers about the positive and negative aspects of video games. The ultimate goal is to get a bigger picture of the Generation Z player, in order to

incorporate it into the requirements analysis of video game design, and thus be able to create new ethical paradigms in the development.

1. Introducción

Las formas de interacción entre los usuarios y los nuevos dispositivos tecnológicos evolucionan constantemente. Dependiendo de la generación a la que se pertenezca, las formas de interaccionar cambian. *Baby Boomers* (nacidos entre 1944-1964), *Generación X* (1965 – 1979), *Millenials* (1980 – 1994) o Generación Z (1995 – 2012) son grupos a los cuales los desarrolladores de software se dirigen de diferente manera. Si bien, estos grupos comparten tendencias tecnológicas concretas que son explotadas para conseguir más ventas.

Es necesario un estudio para asegurar que los criterios con los que se diseñan las aplicaciones son éticos. En este caso se presenta un caso concreto de videojuego, del *tipo Battle Royale*, personalizado en el videojuego *Fortnite*, examinando el efecto que tiene en los más pequeños o también llamados Generación Z. El caso de esta generación es especialmente interesante, pues se la considera aquella cuyos miembros han crecido en un entorno donde Internet, las redes sociales y los videojuegos ya son elementos omnipresentes en la sociedad. Este estudio pretende hacer reflexionar a los diseñadores sobre cómo se deben diseñar los videojuegos para enganchar usuarios, tratando de dar un mayor control al jugador, de modo que no contribuya al desarrollo de conductas adictivas. Como veremos, esto sólo se puede realizar cuando se entiende de forma integral la interacción entre usuarios y el uso que hacen del videojuego.

Este aspecto es especialmente relevante dado el hecho que la adicción a las tecnologías de los más jóvenes es creciente (Kurt *et al.* 2018). La Organización Mundial de la Salud en 2018 incluyó a la adicción a los videojuegos o "*Internet Game Disorder*" (IGD en adelante) (Greydanus 2012) dentro de su clasificación de enfermedades, en el apartado de adicciones sin sustancia o de comportamiento, descrito dentro del propio juego patológico descrita en la Clasificación Internacional de las Enfermedades CIE-11 en su última versión de 2018 (Organización Mundial de la Salud 2018). El IGD es definido como un patrón de conducta caracterizado por un control deficiente sobre el videojuego, aumentando la prioridad otorgada al mismo sobre otras actividades en la medida en que el videojuego tenga prioridad sobre otros intereses y actividades diarias, y la continuación del videojuego a pesar de sus consecuencias negativas. La adicción es multifactorial, siendo el tipo de videojuego un elemento muy relevante en la ecuación.

Este trabajo busca entender los mecanismos de enganche en el diseño de videojuegos, analizando las conductas que desarrolla en los menores y los aspectos éticos del diseño. Para ello, se tomará como caso de estudio el videojuego *Fortnite*. Se desea reflexionar sobre la importancia de incluir en el desarrollo de software, en este caso, de los videojuegos, los aspectos éticos. A diferencia de la metodología de diseño de requisitos que considera los aspectos éticos a preservar como el VSD (*Value Sensitive Design*) (Friedman 2010), en nuestro caso, estamos ante un paso anterior en el que se desconocen estos aspectos y partimos de la suposición de que no han sido considerados cuando se realizó el diseño del software.

Con este estudio buscamos entender qué mecanismos psicológicos se han desarrollado en función de la edad y poder dilucidar por qué ya a edades tempranas se pueden encontrar jóvenes con IGD, de forma que mejore nuestro conocimiento como investigadores y formadores de profesionales del sector. Además, este trabajo pretende ayudar a la comunidad de diseñadores de videojuegos a determinar qué mecánicas son potencialmente adictivas y por qué, para así poder brindar recomendaciones sobre el diseño ético en videojuegos.

Los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

1. Estudiar y confirmar que los niños y niñas juegan a *Fortnite* por debajo de la edad recomendada (12 años).
2. Conocer las conductas y hábitos que desarrollan los niños y niñas hacia el videojuego.
3. Encontrar qué elementos del videojuego les gusta más a los niños y niñas.
4. Encontrar si se realizan transacciones económicas en el juego, examinando qué compran.

El artículo se organiza de la siguiente manera. En primer lugar, se analizan los aspectos que se deben tener en cuenta para poder hablar de adicción y las características que presentan los usuarios que tienen mayores riesgos a hacerse adictos (sección 2). En segundo lugar (sección 3), se analizan los videojuegos a los que juega la Generación Z, explicando conceptos claves relacionados con el juego y los principales peligros que supone el desconocimiento de sus mecanismos de interacción. Posteriormente (sección 4), se presenta el estudio que se ha realizado en diferentes colegios de

educación primaria sobre las edades a las que juegan, qué hábitos y conductas desarrollan alrededor del videojuego y qué mecanismos son los que les producen mayor enganche (*engagement*). Finalmente, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. Factores Humanos: Riesgos del diseño del enganche

A continuación, se presentan un conjunto de factores humanos que deben considerarse como factores críticos en el diseño de videojuegos, ya que se relacionan con la influencia que pueden tener sobre el comportamiento de los niños y niñas.

2.1 Relación de la personalidad y la tendencia a la adicción

La adicción a las tecnologías o adicciones tecnológicas (Griffiths 1997) está relacionada con el malestar psicológico, baja autoestima, emociones negativas, frustración, soledad, narcisismo o bajo autocontrol. Por ello, las personas con bajas habilidades sociales, baja tolerancia a la frustración y baja capacidad de autocontrol, como pueden ser los jóvenes entre 14 y 19 años, son más vulnerables a la adicción a las tecnologías (Greydanus 2012). La adolescencia es el periodo de la neuromaduración cerebral, se desarrolla el autocontrol, siendo además la etapa de mayor narcisismo y menor empatía, menor comprensión de las consecuencias a largo plazo asociadas a los actos. Esto explica que los jóvenes sean más sensibles a las redes sociales, videojuegos y otras conductas potencialmente autodestructivas como el consumo de drogas o las autolesiones (Newcomb & Bentler 1989).

2.2 Desarrollo del mecanismo de recompensa y de autocontrol en los niños y niñas según edades

Los niños, niñas y adolescentes no tienen la capacidad para ejercer autocontrol ya que esta habilidad se desarrolla desde la primera-segunda infancia hasta la adolescencia (Lehalle & de Lara 1986). La adolescencia comprende un período fundamental en la maduración y evolución del ser humano, caracterizado por cambios físicos, cognitivos, psicológicos y sociales: es la etapa de transición. Se incrementa la inestabilidad afectiva, surgen los primeros distanciamientos y conflictos del adolescente con sus padres y madres, a quienes se les reclama más libertad, aflora la necesidad de vinculación a los iguales y aparecen las ganas de experimentar. Es por ello que es la etapa de mayor vulnerabilidad a los trastornos adictivos y otras enfermedades mentales.

La investigación describe varios factores de riesgo para las adicciones en la adolescencia, sin embargo, la adicción a las tecnologías aún es más desconocida y se ha detectado la soledad como el principal factor de riesgo (Kurt *et al.* 2018). Existen otros factores que, unidos a la soledad, pueden generar mayores problemáticas adictivas: baja autoestima, personalidad de tipo inseguro, timidez (o escasas habilidades sociales), presencia de algún déficit en el entorno familiar, baja supervisión o el desconocimiento de las nuevas tecnologías por parte de los progenitores/tutores (y la incapacidad entonces de ayudar en el inicio y gestión de las mismas) (Cerniglia *et al.* 2017).

El autocontrol en el caso de los niños y niñas es escaso, por ello sus padres y madres deben ejercer el control sobre el tiempo y el tipo de videojuego al que juegan. Si desde pequeños no se les restringe este tiempo, sino que se les enseña a controlar el tiempo a que dedican sus actividades (mientras están jugando con el videojuego están dejando de hacer otras cosas), es más fácil que de mayores tengan la capacidad de autoregularse. En el caso de jóvenes y adolescentes es más complicado porque la autoregulación la han de hacer ellos y si no lo han aprendido de más pequeños cuesta más.

2.3 Enfermedades mentales y elementos que las puedan catalizar según las edades

La prevalencia de la adicción a las tecnologías es aproximadamente un 13.6 % en nuestro entorno (Martín-Fernández *et al.*, 2017). La comorbilidad entre pacientes con adicciones es muy elevada (comorbilidad = varias enfermedades mentales), acuñando un término propio: trastorno dual (adicción junto con otro trastorno mental). En adicciones a sustancias está ampliamente estudiado, pero en las adicciones tecnológicas, de nuevo, se produce más discrepancia.

Los pacientes con IGD presentan unas elevadas tasas de comorbilidad con otros trastornos mentales. El 96% de los casos de adicción al videojuego están asociados con otros trastornos mentales, siendo los más frecuentes los Trastornos del Estado de Ánimo, el Trastorno de Ansiedad Generalizada, el Trastorno de Pánico, la Fobia Social, el Trastorno Obsesivo Compulsivo, el Trastorno por Uso de Sustancias, el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad, Trastornos de Conducta, Trastornos de Personalidad y Trastornos Psicóticos.

3. Videojuegos de la Generación Z

En esta sección analizaremos los videojuegos como un fenómeno cultural del siglo XXI, veremos cuáles son sus principales características y los principales peligros que conlleva el desconocimiento generalizado existente sobre

cómo y para qué fines están diseñados. Por último, analizaremos el videojuego *Fortnite*, objeto de estudio de este trabajo.

3.1 Clarificando conceptos sobre el juego

El juego es una actividad inherente a los seres humanos y ha estado presente siempre y en todas las culturas (Huizinga 1938/1984; Caillois 1967/1986). El juego es un concepto compacto que reúne una serie de rasgos pertinentes e inseparables que, para Navarro (2002), son: placer, incertidumbre, acuerdos-reglas, e improductividad. En este sentido, los videojuegos y la gamificación son parte del concepto amplio del juego.

Aunque la investigación sobre videojuegos como fenómeno cultural, videojuegos y educación y sobre la gamificación en educación está consolidada a nivel nacional e internacional, para la sociedad en general todavía son un fenómeno desconocido. Esto es un hecho aún cuando en los últimos años la industria del videojuego se ha convertido en una de las que más dinero genera, y a nivel social, podemos encontrar ya a jugadores de todas las edades, tanto niños como adultos, incluso ancianos. De esta forma, no distingue entre los diversos matices de los diferentes conceptos relacionados con el juego (por ejemplo, gamificación, videojuegos educativos, *exergames*, *e-sports*, etc.) y se le asigna la pátina de bondad del juego a todos ellos, muchas veces, tomándolos como sinónimos. Esto hace que los padres y madres de la Generación Z tengan actitudes diferentes frente a los videojuegos debido al desconocimiento de este fenómeno. A este desconocimiento generalizado, debemos sumarle la publicidad en los medios y noticias movidas por los intereses económicos que mueve a la industria de los videojuegos y cuyo objetivo es crear "*gamers*" y consumidores de un nuevo ecosistema de productos y servicios de ocio electrónico. En este último punto nos encontramos ante los videojuegos del tipo *e-sports*, que actualmente se están introduciendo no solo en el ocio de nuestros niños y jóvenes, sino en otros ámbitos como el educativo, turismo, etc. (Antón, 2018).

Los videojuegos y los e-sports (Funk *et al.* 2018; Hallmann & Giel 2018) no son sinónimos. Todos los e-sports son videojuegos, pero no todos los videojuegos son *e-sports*. Los *e-sports* tampoco son videojuegos activos ni educativos, sino que son competiciones de videojuegos seguidas por miles de seguidores a través de la red (*streaming*).

Si bien cuando hablamos de *e-sports* es importante no olvidar que se trata de un contexto de jugadores profesionales (Xiao *et al.* 2017), estos han servido para popularizar especialmente aquellos videojuegos con un aspecto de juego online competitivo (aunque este tipo de juegos han existido desde hace décadas, por ejemplo *Doom* (id Software 1994). Dichos juegos tienen características que los hacen altamente adictivos y están cambiando la tendencia en el diseño de los videojuegos en la industria hacia este estilo especialmente, dado su potencial lucrativo para un mercado global de espectadores a través de plataformas de *streaming*. Su estructura, organización y contexto busca un alto grado de intensificación en su práctica.

Asimismo, este tipo de videojuegos comerciales tienen compras integradas en el juego que incentivan a realizar micropagos para poder superar determinados niveles del juego o comprar objetos virtuales u obtener premios sorpresa. Aunque al principio pueda jugarse gratuitamente, estos videojuegos incentivan y buscan que los jugadores gasten dinero (real) para mejorar su experiencia de juego. Este comportamiento es alimentado constantemente con mensajes y notificaciones al usuario para lograr que finalmente realice una transacción económica.

Dentro de las mecánicas que utilizan algunos videojuegos comerciales encontramos la lucha o la violencia y dentro de su contenido el uso de estereotipos. La violencia como mecánica de actuación respecto a los demás personajes del videojuego es un uso contrario a las prácticas que tratan de educar en el conflicto, pues transmiten, simbólicamente, violencia. De manera directa, la violencia se ejerce a través de los personajes, como ocurre en muchos de estos videojuegos. Asimismo, se trasmiten estereotipos sexistas a través de la estética de sus personajes y de la narrativa. Sin embargo, en los códigos éticos de la enseñanza se ha erradicado la violencia y los estereotipos sexistas de los libros de texto escolares y de los centros educativos (Zapater 2019).

Aunque el código PEGI[1] (*Pan European Game Information*) establece los criterios y recomendaciones de videojuegos según su contenido asignando un nivel de edad de entre seis niveles (3, 7, 12, 16 y 18 años), algunos videojuegos no cumplen todos los criterios que se asignan para cada nivel, solo una parte de ellos. En este sentido, la Plataforma ciudadana PASEA (Plataforma PASEA, 2018) reclama una revisión del código PEGI, de autorregulación de la industria del videojuego. Por ejemplo, *League of Legends* está clasificado para +12 años, y debería, al menos, figurar +16 años por su violencia a través de personajes y los estereotipos de género. FIFA se clasifica para +3 años, lo cual es desafortunado porque además incluye lenguaje soez. Pero

[1] https://pegi.info/

quizá uno de los ejemplos más significativos es el caso del juego NBA 2k20, que incorpora como mecanismo de juego de gran relevancia un casino virtual. PEGI le asignó una calificación de 3 años, aún cuando en sus recomendaciones se indica literalmente que la inclusión de "juegos de azar, tal como se llevan a cabo normalmente en la vida real en casinos o salas de juego" implica una calificación de 12 años.

Si bien existen videojuegos educativos creados específicamente con un fin didáctico, y existen videojuegos comerciales que, correctamente seleccionados y trabajados con una metodología de aprendizaje basado en juegos, son buenos recursos educativos (i.e. Minecraft), los videojuegos comerciales, en general, no son videojuegos educativos, y habría que estudiar las características de cada uno de ellos en particular para ver su potencial educativo y sus riesgos.

Finalmente, y más allá del ámbito de los videojuegos, vale la pena destacar la aplicación de la gamificación, también basada en el diseño de juegos y por lo tanto susceptible a las mismas problemáticas, si bien no se trata de un videojuego propiamente. La gamificación extrae los elementos, mecánicas y dinámicas, componentes del juego aplicados a contextos de no juego o serios, como por ejemplo el educativo (Deterding *et al.* 2011). Por ello, la gamificación aplicada a los procesos de enseñanza aprendizaje o experiencia educativa puede ser una poderosa herramienta para generar emociones, motivación y enganche. La gamificación estudia la motivación humana para potenciar este enganche. Pero no toda gamificación es eficaz ni funciona a largo plazo, depende de su diseño (Mora *et a.*, 2017).

3.2 El caso del *Fortnite*

Como se ha mencionado anteriormente, en este trabajo se propone estudiar un videojuego particular: el videojuego Fortnite. Éste videojuego ha sido seleccionado por su popularidad entre los menores y siguiendo las premisas planteadas en las secciones anteriores, su estudio intenta conocer sus elementos de enganche, sus posibles riesgos y sus posibles ventajas. A continuación describiremos sus principales características.

Fortnite es el videojuego en línea más popular del mundo siendo ya un fenómeno de ocio digital dentro de su tipología de videojuego. Desde su salida al mercado el 25 de julio de 2017, su crecimiento en número de usuarios ha sido constante, contando en enero de 2019 con alrededor de 200 millones de suscriptores. Su origen nos remonta a la novela, y posterior adaptación al manga y a la gran pantalla, de '*Battle Royale*' de Takami (2003). En el juego de la compañía Epic, los jugadores aterrizan mediante un paracaídas en un lugar que eligen en una isla (la isla de Okishima en la obra original de Takami). El objetivo es simple y consiste en eliminarse mutuamente hasta que solo quede un superviviente. Sin embargo, Epic Games ofrece modos cooperativos. Se trata de un juego gratuito que incluye micropagos para la personalización del personaje. Dicho videojuego se divide en temporadas que duran aproximadamente unas ocho semanas, las cuales sirven para dar una temática y añadir una serie de desafíos como eliminar un número de jugadores con un arma en concreto, de forma que se crea una especie de metajuego.

Cuando se cumple un desafío se desbloquean nuevos niveles, PaVos -la moneda de juego- y elementos decorativos. No obstante, existe el llamado 'Pase de Batalla' cuyo precio está fijado en unos 10 euros y que solo se puede usar durante la temporada en cuestión, añadiendo una nueva capa a la experiencia: durante esas ocho semanas se da acceso a más desafíos, mejores recompensas que se ofrecen de manera más seguida y nuevos objetivos que giran en torno a la temática de cada temporada.

Se puede emprender la aventura en solitario, por parejas o en un escuadrón de cuatro jugadores, e incluso se han creado eventos de 50 contra 50. Existe un factor esencial, el terreno jugable va disminuyendo de manera gradual: la isla está rodeada por una tormenta que reduce la salud de los jugadores que están en su interior. Cada cierto tiempo (determinado por el modo de juego) se va estrechando el ojo de la tormenta con lo que en los últimos compases de la partida todos los supervivientes tienen que enfrentarse en menos espacio. Eso sí, es posible recuperar la salud perdida en la tormenta con vendas y botiquines. También para protegerse es posible construir refugios.

Las plataformas donde encontramos *Fortnite* son para PC/Mac, Xbox, PlayStation, iOS, Android y Nintendo Switch. Cabe destacar que *Fortnite* ha sido elaborado por un equipo multidisciplinar y que exhibe aciertos como que cada juego es diferente, existen varios modos de juego, no hay esperas aburridas y una larga lista positiva de mecánicas que hacen del juego la plataforma de ocio preferida. Sin embargo, la prensa ha alertado sobre los efectos negativos que puede ejercer este videojuego en niños tan pequeños. La plataforma *Netflix* considera que *Fortnite* es su competidor natural, pues los más pequeños prefieren plataformas donde la interacción sea mayor, pudiendo crear sus propias historias.

Pese a que la edad establecida por el código PEGI para jugar al videojuego se estipula a partir de los 12, nuestra hipótesis inicial se basa en que niños y niñas de edades inferiores a la permitida juegan a él con el permiso de los padres y madres.

Creemos que esta permisividad puede deberse a que éstos piensan que al jugar los niños y niñas con sus amistades, a las cuales conocen en la realidad, no existe riesgo alguno para ellos y a que no prestan atención a las características del videojuego ni al código PEGI asociado. Además, pensamos que el hecho de que el videojuego sea tan popular hace que se presuponga que es jugable por cualquier niño o niña. Por ello, en el estudio exploratorio que presentamos a continuación deseamos conocer qué está sucediendo con nuestros niños y niñas cuando juegan a este videojuego.

4. Estudio exploratorio sobre el videojuego *Fortnite*

En este estudio exploratorio se busca la formulación del problema para posibilitar una investigación más precisa o el desarrollo de una hipótesis alrededor del diseño ético de videojuegos. A continuación, detallamos cómo se llevó a cabo el estudio, desde la identificación de los elementos de "enganche" del videojuego hasta la encuesta con los niños y niñas sobre distintas preguntas de investigación.

4.1 Identificación de "enganches"

El punto de partida del estudio es el análisis del videojuego con el fin de identificar un conjunto de mecánicas de juego, "enganches", como posibles causas de riesgo para el jugador de *Fortnite*. En total se consideraron 9, enumeradas y definidas a continuación.

A. Enganche: Miedo a decepcionar a los otros
Descripción: "Al jugar con otros compañeros nos imponemos unas expectativas, reales o ficticias, sobre cuál ha de ser nuestro grado de implicación o eficacia. Queremos ser un miembro bien valorado en el grupo. Por ello, a veces actuamos solo impulsados por el miedo de defraudar dichas expectativas, o de no dar la talla esperada."

B. Enganche: Solo una partida más…
Descripción: "Algunos videojuegos se estructuran en partidas independientes y auto contenidas, de modo similar a un juego de mesa. A menudo, su duración es relativamente corta. Como quien consume una bolsa de patatas, es fácil acabar encadenando partida tras partida. A fin de cuentas, ¿vas a permitir que tus adversarios te derroten sin tu justa revancha? O ahora que por fin estás en racha, ¡no lo irás a dejar!"

C. Enganche: Instinto de supervivencia
Descripción: "Una de las condiciones básicas de derrota en un videojuego es la muerte del personaje, ya sea en un contexto competitivo o no. Mientras nuestro personaje vive, estamos dentro del juego. Por lo tanto, el jugador siempre intentará evitar que su personaje muera. La sensación que se desprende de esa lucha por la supervivencia a toda costa es un poderoso elemento de inmersión."

D. Enganche: La emoción de la caza
Descripción: "En muchos juegos, el rol del jugador alterna entre el de presa y el de cazador. Cuando somos el cazador, nos invade una sensación de superioridad, de ser quien controla la situación. Cada presa cazada significa una reafirmación de nuestro dominio del juego, un símbolo de status, o una justa venganza cuando hemos sido la presa anteriormente. Y, por lo tanto, un incentivo a continuar jugando."

E. Enganche: Personalización
Descripción: "Es posible personalizar aspectos de nuestro personaje a nuestro gusto: su apariencia física, su vestimenta, una parte de su equipo como sus armas, etc. Poder elegir exactamente cómo va a ser nuestro avatar en el juego permite expresarnos, y a la vez diferenciarnos de otros jugadores. Como en la vida real, incluso puede servir como símbolo de status, ya que tenemos acceso a elementos restringidos. Somos especiales."

F. Enganche: Como dibujos animados
Descripción: "Los personajes del juego no son realistas, sino que siguen un estilo similar a los dibujos animados. Se intenta potenciar y evidenciar la percepción de que solo se trata de una fantasía, de algo irreal. Esto permite crear situaciones exageradas, ya sean puramente cómicas o explícitamente violentas, pero sin que resulten chocantes para el jugador. Alguien ha sido aplastado o ha explotado, pero no pasa nada, es como en los dibujos animados".

G. Enganche: Juego emergente
Descripción: "Un videojuego no es como un libro o una película. El jugador juega un papel clave y cada partida es distinta. Cada situación puede ser resuelta de manera diferente, a veces con resultados inesperados. Hay un factor sorpresa. Es posible experimentar, usar nuevas estrategias y revivir el juego desde otra perspectiva. Y, por lo tanto, podemos jugar al mismo juego una y otra vez, encontrando siempre nuevos retos."

H. Enganche: Esperando hasta la próxima partida
Descripción: "Una vez que la partida ha terminado, y hasta poder iniciar la siguiente partida, hay que mantener al jugador entretenido, inmerso. Evitar que desconecte y deje de pensar en el juego. Por lo tanto, la experiencia va más allá de la propia partida en sí. Quizá hay estrategias que analizar, elementos vinculados al juego que requieren un mantenimiento, o

simplemente la posibilidad de socializar con otros jugadores o ser un espectador."

I. Enganche: La promesa de recompensas
Descripción: "Se supone que jugamos de manera intrínseca, simplemente porque es divertido. Ver que uno es capaz de superar retos, o demostrar su maestría. Pero si, además, se consigue alguna recompensa dentro del juego, tampoco está mal. Quizá incluso esta recompensa nos permite ser más competitivos, o mejorar la propia experiencia de juego. Entonces, hay que seguir jugando una y otra vez para conseguirlas todas."

J. Enganche: La vida no tiene botón de pausa
Descripción: "Mientras tu descansas, tu enemigo entrena. No siempre es posible pausar un juego, o tomarte un respiro. Una vez que te has comprometido, hay que seguir hasta el final, o abandonar, asumiendo las consecuencias. Cada partida que dejas de jugar significa ser menos competitivo en tu próximo enfrentamiento. Las interrupciones en la vida real deben esperar."

4.2 Método

La muestra ha estado formada por 561 niños y niñas pertenecientes a 4 colegios de primaria de Canarias y Cataluña en edades comprendidas entre 8 y 11 años. Para realizar este estudio se ha diseñado un breve cuestionario, en donde se les preguntaba sobre su edad, sexo, conductas y hábitos, transacciones comerciales en el videojuego y gustos y preferencias (enganches). Este cuestionario fue validado previamente e internamente de forma iterativa hasta llegar a la versión final por 3 investigadores y el coordinador de tecnologías de uno de los colegios participantes. Además, se hicieron grupos de niños y niñas elegidos al azar para comprobar si entendían las preguntas del instrumento.

Se realizó un documento escrito a los padres y madres donde se especificaba qué se iba a hacer y las características del estudio, de forma que se entendía el consentimiento si no se objetaba nada al estudio. Se hizo de esta manera porque era la forma más eficiente de proceder. Los cuestionarios fueron pasados por los profesores-as/tutores-as de cada clase telemáticamente en una herramienta en la nube (*Google Forms*). Se pusieron mecanismos para que no se contestase a las preguntas sobre *Fortnite* específicas si no se había contestado antes que se había jugado alguna vez. Las preguntas, realizadas en catalán y en español según cada caso, fueron las siguientes:

1. ¿Cuántos años tienes?
2. Dinos si eres jugadora o jugador
3. ¿Te gustan los videojuegos de lucha?
4. ¿Juegas o has jugado en *Fortnite* alguna vez?
5. ¿Juegas con otros niños que conoces de la escuela o de tu alrededor?
6. ¿Compras regularmente bailes?
7. ¿Compras regularmente picos[2]?
8. ¿Compras regularmente *skins*[3]?
9. ¿Juegas entre semana?
10. ¿Juegas solamente los fines de semana y festivos?
11. ¿Cuántas horas juegas/has jugado cada día al *Fortnite*?
12. ¿Qué es lo que más te gusta del juego (bailes, *skins*, picos)? Escríbelo:
13. Elige las 3 razones por la que juegas a *Fortnite*

En estas preguntas se consideraron los distintos "enganches" identificados (A-J, ver apartado 4.1), con el fin de saber cuáles influyen más y, con el objetivo de que los niños y niñas comprendieran la pregunta, se hizo una adaptación de los distintos tipos de enganches de la siguiente manera:

A - Pregunta del estudio: P13. Opción: "Para no decepcionar a mis compañeros y ser parte del grupo."
B - Pregunta del estudio: P13. Opción: "Porque puedo jugar partidas rápidas diferentes."
C y D - Pregunta del estudio: P13. Opción: "Me gusta la emoción de que no me atrapen."
E - Pregunta del estudio: P13. Opción: "Me gusta poder crear un personaje tal y como quiero."
F - Pregunta del estudio: P13. Opción "Porque los gráficos son divertidos, parecen dibujos animados."
G - Pregunta del estudio: P13. Opción "Porque cada partida es diferente y el juego no se repite."
H - Pregunta del estudio: P7-8, a través del análisis de micropagos.
I - Pregunta del estudio: P13. Opción "Porque obtengo recompensas después de las partidas" y P12. ¿Qué es lo que más te gusta del juego (bailes, *skins*, picos)?
J - Pregunta del estudio: P13. Opción "Una vez comienzas una partida, el ritmo es trepidante y no se puede pausar."

A través de las preguntas anteriores, como veremos a continuación, se pretende responder a los siguientes objetivos del estudio:

[2] Literalmente. O sea, la herramienta usada para excavar recursos en el juego, o como arma cuerpo a cuerpo improvisada.

[3] Disfraces con los que personalizar la apariencia del personaje al gusto del jugador.

1. Estudiar y confirmar que los niños y niñas juegan a *Fortnite* por debajo de la edad recomendada, 12 años. (Preguntas 1, 2 y 4)
2. Conocer las conductas y hábitos que desarrollan los niños y niñas hacia el videojuego. (Preguntas 5, 9, 10 y 11)
3. Encontrar qué elementos del videojuego les gusta más a los niños y niñas (Preguntas 3, 12 y 13).
4. Encontrar si se realizan transacciones económicas en el juego examinando qué compran (Preguntas 6, 7 y 8)

A continuación, se presentan los resultados del estudio realizado.

4.3 Resultados

Los resultados de la encuesta, muestran que de los encuestados/as, un 51% son niños y un 49% son niñas (ver Figura 1) de diferentes edades comprendidas entre 8 y 11 años, de los cuales un 42%, tiene 10 años, un 35% 11 años, un 22% 9 años y 1% 8 años (ver Figura 2).

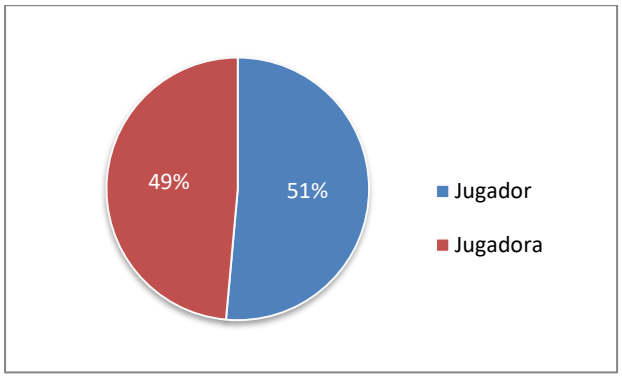

Figura 1: Porcentaje de niños y niñas encuestados

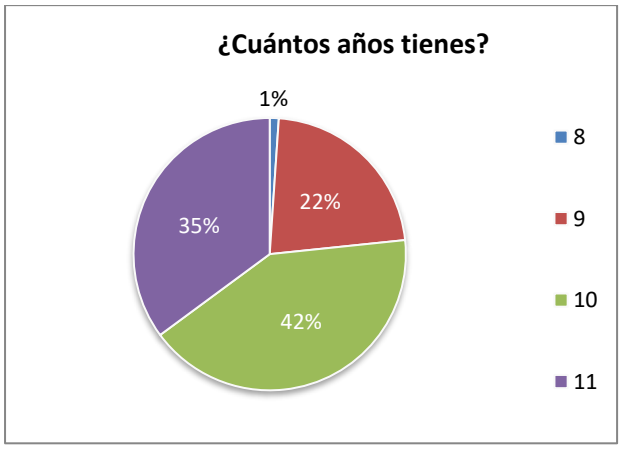

Figura 2: Porcentaje según la edad de los niños y niñas encuestados (de 8 a 11 años)

Un 60% de los encuestados/as han jugado o juegan al *Fortnite* (ver Figura 3) y en la misma proporción, a un 60% de los menores les gustan los videojuegos de lucha. También se ha observado que un 83% de los encuestados/as juegan con amigos/as o compañeros/as de colegio (ver Figura 4) y que el 74,6% dicen que juegan solamente los fines de semana y festivos (ver Figura 5), el otro 25,5% juega tanto los fines de semana como durante la semana. También se les preguntó cuántas horas juegan al día, un 42,2% de los encuestados/as juegan dos horas o más y un 57.8% juegan solo una hora (ver Figura 6).

De los elementos del juego que les gustan destacan según sus respuestas a la pregunta 12, en este orden, los *skins*, los bailes y los picos. Sobre la pregunta de si compran regularmente *skins*, bailes o picos, podemos observar (ver Figura 7) que, lo que más compran son *skins* y después bailes. De esta forma se confirma que lo que más compran es justamente lo que más les gusta. Además, por las respuestas dadas, se observa que los jugadores/as no solo compran de un tipo, sino de varios.

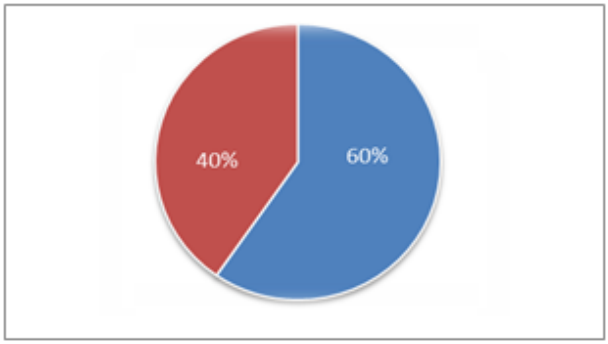

Figura 3: Porcentaje de niños (azul) y niñas (rojo) que juegan a Fortnite, que coincide con el porcentaje de que les gustan los juegos de lucha (azul) y no les gustan (rojo)

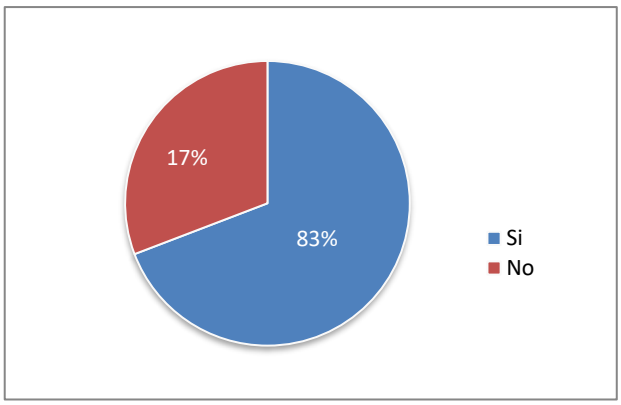

Figura 4: Porcentaje de niños y niñas que juegan a Fortnite (azul) con amigos/as o compañeros/as de colegio y no (rojo)

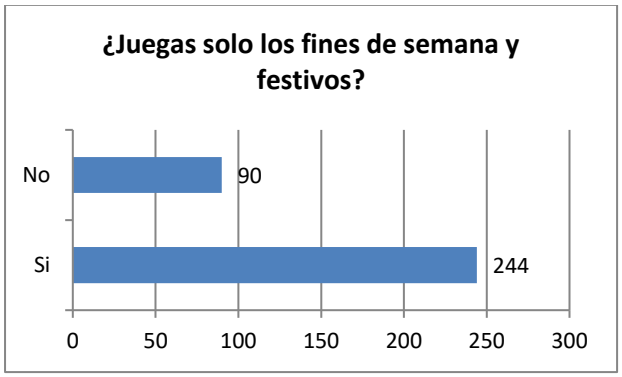

Figura 5: Porcentaje de niños y niñas que juegan solo los fines de semana y festivos

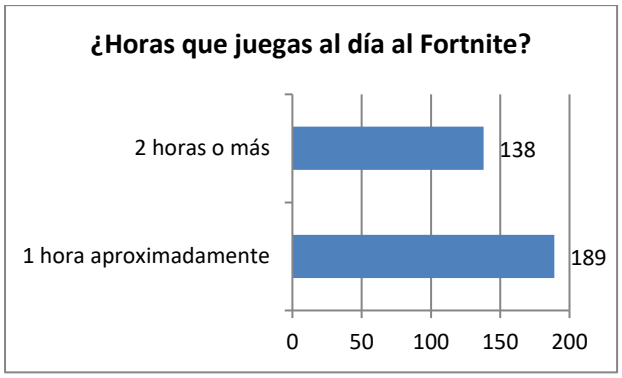

Figura 6: Horas al día que juegan a Fortnite

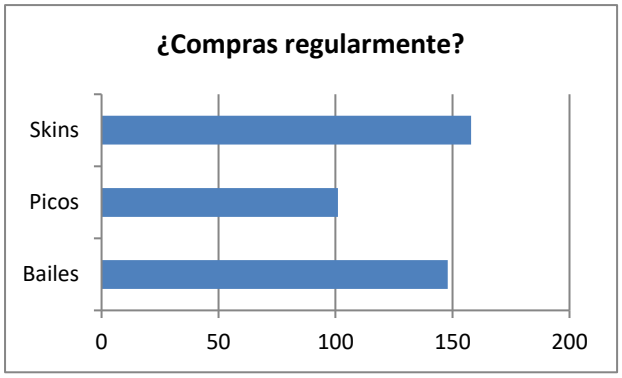

Figura 7: Respuesta ante la pregunta relacionada con la compra de elementos del juego (skins, Picos, Bailes)

Para finalizar el estudio, hicimos una pregunta sobre lo que más les gustaba de Fornite, donde podían elegir entre una lista de posibles razones. Esta pregunta, recordemos que era para esclarecer qué era lo que les atraía más del juego (Pregunta 13). De ellas, 'Me gusta la emoción de que no me atrapen' es la que tiene mayor aceptación (20,3%) seguida de 'Porque cada partida es diferente y el juego no se repite' (16,4%). La que menos se ha elegido es "Para no decepcionar a los compañeros y ser parte del grupo" (5,9%).

En el tercer, cuarto y hasta el séptimo puesto se encuentran:

- 'porque puedo jugar partidas rápidas diferentes' con un 14%
- 'una vez comienzas una partida, el ritmo es trepidante y no se repite' con un 12,4%
- 'porque los gráficos son divertidos, parecen dibujos animados' con un 11,3%
- 'me gusta poder crear un personaje tal y como quiero' con un 11%
- 'porque obtengo recompensas después de las partidas' con un 8,6%

5. Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo se ha presentado un estudio exploratorio realizado con niños y niñas en edad escolar sobre el juego *Fortnite*. Si bien los videojuegos en línea tales como *Fortnite* son un fenómeno cultural de entretenimiento del siglo XXI, y su importancia como una industria emergente es innegable, existe poca investigación sobre los efectos de los videojuegos en los niños y niñas cuando compiten en videojuegos "no serios" o "no educativos".

De los resultados presentados en la sección anterior, podemos responder a los objetivos del estudio. Sobre el objetivo 1. Estudiar y confirmar que los niños y niñas juegan a *Fortnite* por debajo de la edad recomendada (12 años), podemos observar que, de forma global, un 60% de los encuestados han jugado o juegan al *Fortnite*, por tanto, podemos concluir que, en un porcentaje elevado, existen jugadores que juegan a este videojuego por debajo de la edad recomendada. Como motivos principales que han llevado a esta situación, podemos nombrar dos: el aspecto caricaturesco del juego y el efecto "bola de nieve" provocado por otros compañeros menores de la edad recomendada que ya juegan. Destacar que uno de los aspectos fundamentales que convierte un juego PEGI para 7 años en otro para 12 años, y que se aplica directamente a *Fortnite*, es si la violencia se dirige hacia personajes humanos o no.

Sobre el objetivo 2. Conocer las conductas y hábitos que desarrollan los niños y niñas hacia el videojuego, encontramos que un 83% de los que juegan lo hace con amigos o compañeros de la escuela. Esto puede deberse a que este juego tiene un gran condicionante social que hace que les atraiga y esto puede ser un elemento importante para explicar el éxito que tiene. También es interesante conocer el tiempo que le dedican al juego, el 57,8% juega solo una hora y el 42,2% juega dos horas o más. Y el momento en el que juegan, el 25,4% de los encuestados juegan durante la semana y este porcentaje aumenta considerablemente los fines de semana

y festivos (74,6%). Esta dedicación puede deberse a la labor de los padres y madres que controlan las horas de juego durante la semana para evitar que abandonen los estudios y su vida cotidiana. Sin embargo, este control se relaja durante el fin de semana, considerándolo quizás un premio o un entretenimiento, sustitutivo de la obligación escolar.

Sobre el objetivo 3. Encontrar qué elementos del videojuego les gusta más a los niños y niñas, vemos que un 60% responde que les gustan los videojuegos de lucha, por tanto, la temática del juego es atractiva y les motiva a jugar. De los elementos del juego que les gustan destacan, por orden, los *skins*, los bailes y los picos. Estos elementos pueden estar relacionados con su prestigio y protagonismo ante sus amigos y rivales.

Sobre el objetivo 4. Encontrar si se realizan transacciones económicas en el videojuego examinando qué compran, vemos que compran regularmente los elementos que más les gustan del juego: *skins* y bailes. También se observa que les gusta jugar con sus amigos o con otras personas, destacando el carácter social del videojuego. Asimismo, en los cuatro colegios que se ha realizado el cuestionario se ha llegado a la misma conclusión: los niños y niñas se 'enganchan' al juego porque extrapolan el juego de *Fortnite* a un juego al que habitualmente juegan en el patio del colegio: el pillarse, obviando la violencia y la temática del videojuego. Sin embargo, algunos se ven atrapados en opciones del juego como los micropagos y pueden dedicarle más tiempo del indicado, jugando además entre semana, lo que puede ocasionarles efectos negativos, como por ejemplo la pérdida de atención en clase por culpa del sueño acumulado.

Por todo lo anterior, creemos que se debe realizar una labor de divulgación destinada a las familias y al profesorado de las escuelas sobre las implicaciones de no respetar las edades recomendadas para los videojuegos, así como de los riesgos que conlleva un uso indebido. En ese sentido, y como líneas actuales de trabajo, se ha iniciado un estudio con los padres y madres y el profesorado de los colegios para triangular y contrastar las respuestas de los menores. La hipótesis de partida es que las familias y profesorado parten de premisas erróneas, que obvian el contenido y el objetivo de los videojuegos, pues, asumen que si juegan con sus amigos de la escuela no están expuestos a nada negativo. Además, se ha comenzado una campaña de divulgación sobre hábitos saludables en relación al uso de los videojuegos. Para ello, se ha creado material divulgativo sobre este tema para el profesorado de las escuelas.

Por último, destacar que, a pesar de los potenciales efectos positivos de los videojuegos y de *Fortnite* tales como sus aspectos sociales y creativos ya demostrados, se necesita continuar investigando sobre sus efectos y sobre el diseño ético en videojuegos. Por ello, como trabajo futuro, se considera definir las directrices o recomendaciones para el diseño ético de videojuegos, de acuerdo a los principios de diseño sensible a valores (*Value Sensitive Design*).

Referencias

Antón, M. (2018). Los eventos de deportes electrónicos (esports) como herramienta de promoción turística. In Actas XII Congreso Virtual Internacional sobre Turismo y Desarrollo (pp. 77-89).

B. Friedman. (2010). Value sensitive design.

Cerniglia, L., Zoratto, F., Cimino, S., Laviola, G., Ammaniti, M., & Adriani, W. (2017). Internet Addiction in adolescence: Neurobiological, psychosocial and clinical issues. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 76, 174-184.. Volume 76, Part A, Pages 174-184.

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011, September). From game design elements to gamefulness: defining gamification. In Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments (pp. 9-15). ACM.

Funk, D. C., Pizzo, A. D., & Baker, B. J. (2018). eSport management: Embracing eSport education and research opportunities. Sport Management Review, 21(1), 7-13.

Greydanus, D. E., & Greydanus, M. M. (2012). Internet use, misuse, and addiction in adolescents: current issues and challenges.

Griffiths, M. D. (1997, August). Technological addictions: Looking to the future. In Artículo presentado en la 105th Anual Convention of the American Psychological Association, Chicago, Illinois.

Hallmann, K., & Giel, T. (2018). eSports–Competitive sports or recreational activity?. Sport management review, 21(1), 14-20.

id Software. (1994) Doom. Game [MS DOS] (10 December 1993).

J. Huizinga ,1938/ 1984. Homo ludens. Madrid: Alianza.

Kurt, A. A., Dogan, E., Erdogmus, Y. K., & Emiroglu, B. G. (2018). Examining Computer Gaming Addiction in Terms of Different Variables. World Journal on Educational Technology: Current Issues, 10(1), 29-40.

Lehalle, H., & de Lara, N. P. (1986). Psicología de los adolescentes. Crítica.

Martín-Fernández, M., Matalí, J. L., García-Sánchez, S., Pardo, M., Lleras, M., & Castellano-Tejedor, C. (2017). Adolescentes con Trastorno por juego en Internet (IGD): perfiles y respuesta al tratamiento. Adicciones, 29(2), 125-133.

Mora, A., Riera, D., González, C., & Arnedo-Moreno, J. (2017). Gamification: a systematic review of design frameworks. Journal of Computing in Higher Education, 29(3), 516-548.

Navarro Adelantado, V. (2002). El afán de jugar. Teoría y práctica de los juegos motores. Barcelona, Inde.

Newcomb, M. D., & Bentler, P. M. (1989). Substance use and abuse among children and teenagers. American psychologist, 44(2), 242.

Organización Mundial de la Salud (2018). CIE-11 Trastornos mentales y del comportamiento.

Plataforma PASEA (2018). Carta abierta a centros educativos. Canarias. URL: http://www.colefcanarias.com/index.php/noticias-relevantes/item/1824-nota-de-prensa-plataforma-pasea-6-sept-2018

R.,Caillois,. (1967/1986). Los juegos y los hombres. México: FCE.

Takami, K., Taguchi, M., & Giffen, K. (2003). Battle royale. Tokyopop.

Xiao, X., Hedman, J., Tan, F. T. C., Tan, C. W., Lim, E. T., Clemenson, T., ... & Van Hillegersberg, J. (2017). Sports Digitalization: An Overview and A Research Agenda. In Thirty Eighth International Conference on Information Systems, Seoul 2017 (pp. 1-21).

Zapater Trallero, I. (2019). La influencia de los e-sports en el rendimiento académico en ciertas materias (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Análisis de experiencias con objetos activos en actividades educativas basadas en interacción tangible

Analyzing experiences with active objects in educational activities with tangible interaction

Mainor Cruz Alvarado
Universidad Nacional de La Plata
La Plata, Argentina
mainorcruz@gmail.com

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

Sandra Baldassarri
Universidad de Zaragoza
Zaragoza, España
sandra@unizar.es

Recibido: 07.10.2019 | Aceptado: 15.12.2019

Palabras Clave

Objetos activos
Interacción tangible
Interfaces de usuario tangible
Actividades educativas
Feedback

Resumen

Este artículo presenta un análisis de casos donde se utilizan objetos activos en actividades educativas. El objetivo principal de este trabajo se centra en identificar y analizar: a. las posibilidades de los objetos activos en las actividades educativas basada en interacción tangible y b. aspectos relacionados con el diseño de este tipo de actividades. Como parte del análisis se define una serie de criterios, entre los que destacan el tipo de *feedback*, la actividad educativa según sea expresiva o exploratoria, el tipo de enlace entre objetos físicos e información digital y las evaluaciones aplicadas. A partir del análisis se vislumbran resultados que permiten valorar la pertinencia del *feedback* orientado a la autorregulación en actividades del tipo expresivas, además, la vinculación entre el desarrollo de actividades expresivas y el uso de sistemas relacionales y/o constructivos. Se observa que el uso de objetos activos posibilita nuevas experiencias de aprendizaje, aprovechando el *feedback* visual, auditivo y háptico y anima a los estudiantes a participar de las actividades. Finalmente, se presenta una serie de directrices que se orientan a guiar el diseño de actividades educativas basadas en Interacción Tangible con objetos activos. Estas directrices surgen del estudio realizado y abren una puerta para quienes se interesen en el uso de este tipo de objetos.

Keywords

Active objects
Tangible interaction
Tangible User Interfaces
Educational activities
Feedback

Abstract

This paper presents an analysis of practical experiences that use active objects in educational tangible activities. The main objective of this work is to identify and analyze: a. the possibilities of active objects in educational activities based on tangible interaction and b. aspects related to the design of this type of activities. The analysis includes the definition of criteria like the type of feedback, if the educational activity is expressive or exploratory, the type of link between the physical objects and the digital information, and the kind of evaluation carried out. From the analysis, the results allow to assess the relevance of feedback oriented to self-regulation in expressive activities, and the relationship between the development of expressive activities and the use of relational and/or constructive systems. It is observed that the use of interactive objects enables new learning experiences, taking advantage of the visual, auditory and haptic feedback, and encourages students to participate in the activities. Finally, a set of guidelines for the design of educational activities based on tangible interaction with active objects are presented. These guidelines arise from the study carried out and open a door for those interested in the use of this kind of active objects.

1. Introducción

En los últimos años se ha observado un crecimiento en el desarrollo de aplicaciones con Interfaces de Usuario Tangible (TUIs) con la finalidad de generar una interacción más natural con el entorno físico de los usuarios (Ishii & Ullmer, 2003). Las TUIs permiten acoplar información digital a los objetos físicos, cuya manipulación es una de las características en el diseño y

desarrollo de TUIs. Ullmer & Ishii (1997) identifican a los objetos tangibles como entidades físicas y reales que se pueden tocar y funcionan como puente de interacción con aplicaciones digitales. Los objetos tangibles se pueden clasificar en objetos pasivos y activos. Los objetos pasivos son aquellos objetos que actúan como dispositivos de entrada, pueden ser manipulados por los usuarios y detectados por un sistema, pero no son capaces de realizar ninguna acción por sí mismos (Frías, Marco, Serón, & Latorre, 2010). Por su parte, East *et al.* (2016) definen a los objetos activos como dispositivos físicos que proveen *feedback* que se pueden usar de manera independiente o en conjunto con otro hardware o software para aumentar de forma tangible la interacción, ya sea con pantallas integradas, sensores o capacidades de actuación. Usualmente, los objetos activos contienen actuadores y sistemas de control que puede conceder al objeto diferentes acciones, por ejemplo, un desplazamiento encima de una *tabletop* (superficie horizontal interactiva, aumentada computacionalmente) (Marshall, Carter, Alexander, & Subramanian, 2012).

En este trabajo se pone el foco en las potencialidades del uso de objetos activos en el marco de actividades educativas en sistemas con interfaces tangibles. Para ello, se revisan 10 casos en los que se utilizan objetos activos, que no sólo representan el control de las aplicaciones con TUIs, sino que también posibilitan el *feedback* en el marco de estas actividades.

El artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se expone el estado del arte en este tema. La sección 3 presenta los criterios con los que se analizan los casos de actividades educativas basadas en interacción tangible con objetos activos. En la sección 4, se analizan una serie de casos seleccionados a partir de dichos criterios. En las secciones 5 y 6 se presentan los principales resultados alcanzados, mientras que en la sección 7, se describen las directrices de diseño relacionadas con los objetos activos, que se desprenden del análisis previo. Finalmente, en la sección 8 se presentan las conclusiones.

2. Estado del arte

La Interacción Tangible (IT) constituye un tema de investigación actual, que se orienta a ampliar las posibilidades de área de Interacción Persona-Ordenador (IPO) con el fin de lograr interacciones más naturales e intuitivas entre los sistemas informáticos y los humanos. Ishii (2008) sugiere que las TUIs son un nuevo camino en el marco de IPO, en donde se busca alcanzar que la computación sea realmente ubicua e invisible al integrar la tecnología digital en el entorno físico. En este sentido, los autores Vaz, Fernandes, & Rocha (2016) indican que existen 3 conceptos claves: (i) acoplamiento de bits y átomos en donde se asocian datos digitales a los objetos tangibles, (ii) superficies interactivas (mesas, paredes, etc.) que son adaptadas para la sinergia entre ambos mundos y, (iii) el medio ambiente, que incluye los elementos que permiten influir en la percepción del ser humano, a través de cambios en la luz, sonido y el movimiento del aire. La idea principal se basa en la integración de objetos físicos con elementos computacionales como una forma de aumentar la capacidad de expresión de estos sistemas. Dentro de este contexto, los objetos físicos tangibles constituyen entidades físicas y reales que pueden ser manipuladas, forman parte de un proceso de interacción entre personas y ordenadores, y se las considera así un medio de representación y control de información digital.

A continuación, se hace un breve repaso de la implicación de objetos tangibles en actividades educativas. En primer lugar, se analizan algunos fundamentos de las actividades educativas con tangibles, y posteriormente se presenta el uso de objetos activos en el marco de dichas actividades.

Varios autores destacan el potencial de las interfaces tangibles en los procesos educativos, considerándola una herramienta para la enseñanza de conceptos abstractos (Valdes *et al.*, 2014; Zuckerman, Arida, & Resnick, 2005), estudiando sus posibilidades para el trabajo colaborativo (Hwang, Shadiev, Tseng, & Huang, 2015), la creatividad (Follmer & Ishii, 2012) o el desarrollo de habilidades sociales (Marco, Cerezo, & Baldassarri, 2012). El desarrollo de interfaces naturales como las tangibles, pretende ampliar las aplicaciones didácticas para mejorar los procesos de relación e interacción entre las personas y los ordenadores (Marco, Cerezo, & Baldassarri, 2010a). Así se encuentran en la literatura investigaciones en las que se presentan las posibilidades de actividades educativas basadas en IT, y a continuación se ejemplifican algunas.

FraccionAR es un juego educativo tangible que permite ejercitar el concepto de fracciones a través de una dinámica competitiva (Sanz, Nordio, & Artola, 2018). El juego contiene objetos físicos (en este caso, juguetes) que representan porciones de pizza o chocolate para interactuar con la aplicación informática sobre una *tabletop*. La dinámica convoca a los participantes a relacionar diferentes formas de representar las fracciones (con porciones físicas y con notación matemática de fracciones). CRISPEE también es una aplicación educativa basada en IT, diseñada para involucrar a niños en conceptos de bioingeniería (Verish, Strawhacker, Bers, & Shaer, 2018). Cada participante asume el papel de un bioingeniero para crear un programa genético, donde se codifica luz bioluminiscente de una luciérnaga a través de representaciones tangibles de BiozBricks.

Por otra parte, los autores cuentan con antecedentes en este tipo de experiencias educativas en las que se integran aplicaciones basadas en IT. Entre estos antecedentes, se mencionan: *Space ship toys* (Marco, Cerezo, & Baldassarri, 2010b), *ACoTI* (Sanz *et al.*, 2013), *ITCOL* (Artola, Sanz, Pesado, & Baldassarri, 2016) y *El Conquistador* (Sanz, Cruz, Nordio, Artola, & Baldassarri, 2019).

Estos ejemplos, constituyen algunas de las tantas experiencias que se están desarrollando, como consecuencia de la investigación actual en el uso de IT en Educación (Sanz *et al.*, 2012). En este trabajo se pone el foco específicamente en el uso de objetos activos en el marco de experiencias educativas con IT. Los objetos activos tienen la capacidad de brindar *feedback* en tiempo real, haciendo referencia a la capacidad de influir en la interacción, cambiar las posiciones u orientación del objeto o brindar un *feedback* multimodal, a través de manifestaciones hápticas, auditivas o visuales (Riedenklau, Hermann, & Ritter, 2010). Esta posibilidad puede ayudar en el desarrollo de actividades sociales, cooperativas o colaborativas e integrar diversas formas de interacción que las potencien (van Huysduynen, de Valk, & Bekker, 2016). Asimismo, ante las posibilidades que tienen los objetos activos para brindar *feedback*, es de interés considerar diferentes tipos que podrían orientarse a: a) mostrar el desempeño o avance del estudiante, b) ayudar a identificar errores y tomar conciencia de ello, c) proporcionar pistas y fortalecer la capacidad de los estudiantes para autorregular su propio desempeño (Nicol & MacFarlane-Dick, 2006; Van Seters, Ossevoort, Tramper, & Goedhart, 2012).

En la siguiente sección se proponen criterios para el posterior análisis de casos donde se integren objetos activos en actividades educativas, de manera tal de identificar sus posibilidades, y los tipos de diseño de actividades que se vienen realizando. Si bien se han encontrado trabajos como el de (Mehta *et al.*, 2016), en el que se presentan un análisis de experiencias educativas con objetos activos, estos presentan solo algunos de los criterios aquí contemplados; y otros se enfocan en algunos tipos de aplicaciones específicas como el biodiseño (Grote, Segreto, Okerlund, Kincaid, & Shaer, 2015).

3. Definición de los criterios de análisis

En este trabajo se analizan antecedentes en relación con la utilización de objetos activos en actividades educativas basadas en IT y se establecen los criterios para enfocar dicho análisis. La selección de los criterios se basa en Mehta *et al.* (2016) y en el objetivo del estudio. Para ello, los criterios se agrupan en 4 categorías:

1. **Aspectos generales**. Los criterios de esta categoría están vinculados a contextualizar las experiencias. A partir de estos indicadores se puede, por ejemplo, considerar de qué países provienen y a qué nivel educativo se orientan.
2. **Aspectos vinculados a la interacción tangible**. Los criterios de esta categoría permiten analizar la forma en que se lleva a cabo el proceso de interacción entre las personas y las computadoras. Se busca dar a conocer el tipo de objeto que se utiliza, así como las estrategias y técnicas con las que se plantea desarrollar la IT.
3. **Aspectos vinculados a las interfaces de usuarios tangibles**. Los criterios presentes en esta categoría permiten conocer las diferentes formas en que los objetos físicos y digitales pueden ser acoplados computacionalmente.
4. **Aspectos vinculados a lo metodológico y educativo**. Esta categoría incluye los criterios que analizan la actividad educativa y las estrategias metodológicas puestas en juego. Al tratarse de experiencias orientadas a algún proceso de enseñanza y/o aprendizaje, se busca conocer el tipo de actividades educativas realizadas.

La Tabla 1 muestra la clasificación de los criterios en cada una de las categorías de clasificación descritas.

Tabla 1: Categorías y criterios de evaluación.

Categorías	Criterios
Generales	-País donde se desarrolla -Nivel educativo
Interacción tangible	-Tipos de objetos -Modalidad de interacción -Tipos de *feedback*
Interfaces de usuario tangible	-Framework *Model-Control-Representation* -Framework basado en el grado de coherencia
Metodológico educativo	-Tipos de actividad -Evaluación

A continuación, se describen los criterios de análisis propuestos para la revisión y estudio de las experiencias.

A. Descripciones generales.

País. Este criterio refiere al país donde se desarrolla la investigación.

Nivel educativo. Este criterio identifica el nivel educativo de las experiencias seleccionadas. Los posibles valores del criterio son: i. educación especial, ii. inicial, iii. primario, iv. secundario y v. superior/universitario (grado y postgrado).

B. Interacción tangible

Tipo de actividad. De acuerdo con Marshall, Price, & Rogers (2003) se consideran 2 tipos de actividades de IT: i. Actividad exploratoria (identifica las actividades donde el estudiante explora una representación existente), y ii. Actividad expresiva (refiere a actividades donde los estudiantes generan representaciones a partir de sus propias ideas).

Modalidad de interacción. Este criterio permite identificar el espacio y forma de la interacción. Los valores posibles son: i. superficie interactiva (tipo de superficie utilizada, en caso de haberla, como una *tabletop*), ii. *Touch/Multi-Touch* (refiere a si se puede interactuar a partir de tocar con las manos las superficies interactivas), iii. Objetos tangibles (interacciones que se llevan a cabo por medio de la manipulación de un objeto físico), iv. Sin contacto (interacciones que se realizan a través de la detección de movimientos).

Tipos de *feedback*. El *feedback* consiste en cualquier tipo de mensaje que se genere en respuesta a una acción brindada. Se propone analizar a través de este criterio los tipos de *feedback* presentes según la clasificación de Van Seters, Ossevoort, Tramper, & Goedhart (2012): i. Sobre la tarea (este *feedback* indica si las respuestas proporcionadas son correctas o incorrectas), ii. Procesamiento de la tarea (especifica los pasos necesarios para resolver tareas, tanto procedimentales como metodológicos), iii. Autorregulación (es el *feedback* que incita a buscar información extra, a gestionar el tiempo y a reflexionar sobre la efectividad de las estrategias), y iv. Afectivo (expresa evaluaciones positivas, por ejemplo: "Bien hecho", o que motiven a pesar de los errores).

C. Interfaces de usuarios tangibles

Framework Model-Control-Representation (physical and digital), MCRpd, según Ullmer y Ishii (2000). Este marco se enfoca en la representación y se divide en 2 elementos: representación física y representación digital (Ullmer & Ishii, 2000), clasificando a los sistemas como: i. Sistema espacial (interpretan la posición espacial y la orientación de múltiples artefactos físicos dentro de marcos de referencia comunes), ii. Sistema constructivo (artefactos modulares con instrumentos electrónicos que permiten construir modelos del mundo físico), iii. Sistema relacional (establece relaciones entre objetos para agregar datos representados en un contexto) y iv. Sistema asociativo (se los objetos individuales con información digital, pero no integra asociaciones de múltiples objetos).

***Framework* basado en el grado de coherencia** de Koleva, Benford y Rodden (2003). Este marco considera las diferentes formas en que los objetos físicos y digitales se pueden acoplar computacionalmente: i. Herramienta de propósito general (son los objetos que presentan el nivel más bajo de coherencia, como el *mouse*), ii. Herramienta especializada (consiste en un objeto físico que forma parte de la interfaz, que tiene una función más especializada que la de propósito general, pero que se conecta de forma temporal a un objeto digital, como instrumentos ópticos o pinceles), iii. Identificador (esta categoría consiste en la representación de objetos físicos que forman parte de la interfaz, tales como marcadores para recuperar información digital como los códigos de barras), iv. Proxy (corresponden aquellos objetos que están asociados de forma más permanente y que permiten una mayor manipulación de los objetos digitales), v. Proyección (se refiere a las relaciones en donde un artefacto digital se ve como una representación directa que contiene algunas propiedades del objeto físico, por lo que la existencia del objeto digital depende del objeto físico), y vi. Ilusión de ser el mismo objeto (se crea la ilusión de visualizar dos objetos acoplados como uno solo, para esto se crean transiciones suaves entre el espacio físico y digital, como por ejemplo que un objeto físico pueda pasar por una interfaz transitable y aparecer como un objeto virtual del lado de la pantalla).

D. Metodológico - educativo

Tipos de actividad educativa. Se analiza el tipo de actividad educativa realizada. Los valores para este criterio son: i. Individual/grupal y ii. Cooperativa/ competitiva/colaborativa (aplica si la actividad es grupal).

Evaluación. Analiza si en las experiencias seleccionadas se explicita si han sido sometidas a un proceso de evaluación. Los valores para este criterio son: i. Si / No, ii. Técnica de evaluación (identifica las técnicas de evaluación empleadas), iii. Enfoque de la evaluación y principales resultados (descriptivo).

4. Recopilación de experiencias de IT

La recopilación de las experiencias y los casos seleccionados se basan en un proceso de revisión bibliográfica, contemplando como criterio de búsqueda general: experiencias de IT y su utilización en el escenario educativo donde esté presente el uso de objetos activos. La búsqueda se realizó en las bases de datos *ACM Digital Library* y *Springer*, a partir de las siguientes cadenas de búsqueda específicas: 1) "*tangible interaction" + education,* 2) "*Active objects" + education*. Se encontraron 40 trabajos, de los cuales se seleccionaron los 10 casos que cumplían todos los criterios de inclusión requeridos (texto completo, descripción de características de la interacción tangible, uso de objetos activos para la enseñanza y/o aprendizaje y aplicación de evaluaciones).

4.1 TabletopCars

TabletopCars (Dang & André, 2013) es un proyecto realizado en Alemania, cuyo objetivo principal es analizar las posibilidades que tiene el uso de *tabletops* para la creación de juegos, así como la influencia de los diferentes modos de interacción en los usuarios. Si bien no se trata de una experiencia vinculada a un objetivo educativo, fue utilizada con alumnos de Informática para el abordaje de temas de diseño de juegos y para analizar el concepto del juego con estos alumnos. *TabletopCars* se basa en el uso de objetos activos con forma de autos (creados con tecnologías accesible y de código abierto) y utiliza una *tabletop* donde se aumentan los escenarios y se interacciona de forma *multi-touch*. Tiene 4 juegos: *Car Soccer, Car Crashing, Fastest Lap*, y *Parcours*. Los juegos y los objetos activos se vinculan todos con habilidades para conducir un auto.

Permite utilizar un sensor *Kinect* para interactuar con los gestos de la mano o cuerpo. Por ejemplo, a través del Kinect se hace uso de la metáfora del volante conocida de los autos reales donde ambas manos sostienen un volante virtual delante del jugador. Girando el volante hacia la izquierda o hacia la derecha brinda los comandos para controlar los autos que se ubican en la *tabletop*. Además, empujar ambas manos hacia adelante o hacia atrás activa los comandos conducción hacia adelante y hacia atrás del auto controlado. Asimismo, se presenta un control remoto para comandar los autos, y son los jugadores los encargados de probar la técnica de interacción que deseen. Los objetos tangibles (autos) son activos porque ejecutan los movimientos realizados por los usuarios sobre la *tabletop*, ésta sí muestra *feedback* en forma de luces y sonidos. Los autos cuentan con un motor e imanes para los movimientos.

La evaluación del juego fue desarrollada en 2 etapas. En la primera se trabajó con 8 estudiantes de Informática para analizar el diseño y el concepto del juego. Luego, se realizó una evaluación para explorar la interacción, con 20 voluntarios de entre 22 y 28 años. Debido a los comentarios recibidos en la primera sesión, la segunda evaluación se realizó únicamente con el juego *Car Crashing*, ya que era más fácil y el favorito de los participantes. Se aplicó un cuestionario que solicitaba opinión y preferencia de los modos de interacción al finalizar cada sesión. Entre los principales comentarios se destaca el disfrute del juego y el valor dado al uso de tangibles activos en un entorno digital.

4.2 Eugenie

Eugenie (Grote, Segreto, Okerlund, Kincaid, & Shaer, 2015) fue desarrollado en Estados Unidos y tiene como objetivo apoyar el biodiseño para el área de Biología Sintética[4], por medio de una *tabletop* con objetos activos y pasivo, a través de un proceso colaborativo en un entorno atractivo. Las tareas requieren que los estudiantes: 1) busquen información de estructura y funcionalidad de componentes biológicos disponibles (objetos activos); 2) definan reglas combinando los componentes con operadores lógicos; 3) instancien sus reglas con conjuntos de datos particulares (que suelen ser de gran volumen) y analicen los resultados obtenidos.

Los objetos activos que se utilizan en *Eugenie* se basan en *Sifteo Cube* (Merrill, Sun, & Kalanithi, 2012). Cada *Sifteo Cube* se reviste con una cubierta plástica que tiene una forma similar a un rompecabezas, lo que permite encajar los objetos activos, así como otros objetos de tipo operadores lógicos y conformar reglas de biodiseño. Los cubos se pueden manipular por medio de gestos, agitándolos, volteándolos, inclinándolos, pegándolos y tocándolos. Se puede interactuar con ellos deslizándolos o haciendo clic y se utilizan en el juego para controlar información digital de entrada y no de salida.

La evaluación de *Eugenie* fue realizada a través de un estudio cualitativo, aplicado a 18 estudiantes entre 18 y 32 años, y recolectando información a través de la observación y filmación de las sesiones. Los estudios se realizaron de a pares (9 grupos). El objetivo de la evaluación fue examinar la usabilidad del sistema, determinar las fortalezas y las limitaciones para el objetivo educativo de creación de biodiseños, haciendo uso de la IT. Entre los principales resultados se evidencia que todos los usuarios pudieron trabajar fácilmente, la mayoría lograron identificar los operadores lógicos y crearon soluciones. Solo a unos pocos se les dificultó identificar algunos operadores lógicos. Todos los pares colaboraron con los demás participantes, verbal y físicamente, con palabras y gestos.

4.3 SynFlo

SynFlo (Okerlund *et al.*, 2016) es un sistema desarrollado en Estados Unidos que busca explorar el biodiseño a través de una actividad lúdica interactiva bajo una plataforma de colaboración, permitir a los usuarios diseñar y jugar con la Biología sintética (en forma, similar al caso de Eugenie). *SynFlo* fue diseñado para la audiencia en general, utiliza *Sifteo Cubes* como objetos activos, pero no *tabletop* (Merrill *et al.*, 2012). Entre los objetivos educativos a alcanzar se menciona, que los alumnos logren conocer conceptos de la BioIngeniería,

[4] Biología sintética: área de que combina la Biología e Ingeniería, con el fin de diseñar organismos con comportamientos específicos para usar en dominios de aplicación como terapias, descontaminación del medio ambiente, etc.

comunicar reglas de biodiseño y desarrollar habilidades de investigación.

El proyecto de *SynFlo* consta de 2 versiones: la primera versión reside en la combinación de *tokens* activos (objetos físicos programables con tecnologías integradas de visualización, detección o actuación) con objetos concretos reales, mientras que la segunda está basada en *tokens* activos abstractos, representados en la pantalla del cubo. Las dos versiones hacen uso de animaciones en los *displays* para ilustrar los comportamientos y se brinda *feedback* en relación con las acciones físicas realizadas durante cada etapa.

La evaluación de *SynFlo* incluyó una mesa de trabajo, guías visuales y 2 colaboradores para asistir en el proceso. El enfoque de evaluación se basó en obtener información relacionada con la participación de los usuarios: el tiempo de interacción, la diversión, la colaboración y el aprendizaje. Las sesiones fueron filmadas y se aplicó un cuestionario al finalizar cada una para medir agrado y disfrute. Los autores destacan que el uso de los objetos activos permitió participar de una actividad agradable con distintos puntos de acceso para la colaboración. La mayoría de los grupos completaron con éxito la creación del biodiseño. Desde el punto de vista educativo, se observó una buena comprensión de la abstracción y aspectos de modularidad del biodiseño.

4.4 Active Pathways

Active Pathways (Mehta *et al.*, 2016) es un sistema tangible desarrollado en Alemania, compuesto por una *tabletop* y objetos activos que facilita el descubrimiento colaborativo y el aprendizaje en el modelado de procesos bioquímicos. *Active Pathways* permite la construcción y manipulación de modelos que generen propiedades espaciales y dinámicas a problemas científicos abstractos en el área de Bioquímica. Se parte de la hipótesis de que construir modelos computacionales, con visualizaciones dinámicas, puede apoyar la comprensión conceptual y conducir a nuevos descubrimientos.

Un punto importante de *Active Pathways* reside en los objetos activos (*Sitfeo Cubes*), no solo funcionan como control para la manipulación de los datos que se visualizan en la *tabletop*, sino que se pueden convertir en componentes físicos del sistema dinámico que adquieren propiedades cambiantes a través del tiempo. Así aquí los objetos activos forman parte del modelado de la solución.

Como parte del proceso de evaluación asistieron 14 participantes, 12 de ellos con edades entre 18 y 24 años, y otros 2 entre 25 y 39 años. Se aplicó una entrevista semiestructurada con la finalidad de conocer los conocimientos previos de cada participante. Al terminar cada sesión, se empleó un cuestionario a cada participante. Los resultados de la evaluación del sistema sugieren que es fácil de utilizar y aprender, y en cuanto a la utilidad, se indicó que principalmente proporciona la comprensión de sistemas complejos y la colaboración.

4.5 Sparse Tangible

Sparse Tangibles es un sistema desarrollado en Canadá, que se enfoca en una exploración colaborativa de redes genéticas para descubrir diferencias genéticas y la evolución entre organismos divergentes, a través de objetos activos, una *tabletop* y sensores inerciales (Arif *et al.*, 2016). Los biólogos realizan exploración de redes genéticas con el fin de encontrar diferencias genéticas y evoluciones estructurales en organismos divergentes, así como también identificar limitaciones para su evolución. El sistema *Sparse Tangibles* se orienta tanto a contextos educativos para el aprendizaje como al apoyo de expertos. Para la interacción se utilizan objetos activos que son relojes inteligentes (LG G *Watches*) (Kaltenbrunner & Bencina, 2007). Cuando se coloca un objeto activo (o un agrupamiento de estos) sobre la *tabletop*, hace las veces de *query* (consulta) y el sistema muestra todas las redes relacionadas, mediante un gráfico de anillos en la *tabletop*, permitiendo al usuario girar el objeto para apuntar hacia la opción que desee y continuar expandiendo las opciones para obtener mejores visualizaciones sobre el gen u organismo, según sea el caso. Cada reloj se integra a una estructura impresa en 3D, para permitir que se puedan apilar, para la ejecución de consultas más complejas (cada objeto al apilarse involucra un AND). En el display de los relojes pueden configurarse parámetros.

La evaluación del sistema fue de carácter informal, con 3 biólogos expertos en el área, de entre 28 y 30 años, y una sesión de aproximadamente una hora. Los invitados interactuaron con el sistema, y debían comentar cada paso que realizaban. Como resultado destacaron que el sistema es útil, fácil de usar y consideraron que fomenta la colaboración (Arif *et al.*, 2016).

4.6 Knight`s Castle

Knight`s Castle (Lampe & Hinske, 2007) consiste en un parque con temática de la Edad Media, que contiene tecnologías de computación móvil integradas con juguetes tradicionales. Se propone que los alumnos aprendan canciones, poemas y conozcan información de la Edad Media. Es un sistema desarrollado en Suiza.

Los juguetes y los edificios extienden la realidad física y son capaces de brindar una retroalimentación a los niños. Por ello, se integraron módulos de vibración para brindar una

respuesta táctil, LEDs que otorgan un *feedback* visual, principalmente para indicar qué objetos se encuentran activos para utilizar, y diferentes tipos de sonidos. Todos los objetos se pueden tocar, mover, manipular y reorganizar, la información digital se integra como *feedback* y se orienta a estimular a los estudiantes para generar un mayor aprendizaje.

Los principales resultados en la evaluación de *Knight`s Castle* (Hinske, Lampe, Yuill, Price, & Langheinrich, 2009), se relacionan fundamentalmente con la diversión y las posibilidades que ofreció para la narración de cuentos, comparando ésta con una versión del juego idéntica pero no aumentada. El estudio fue realizado con un total de 103 participantes, de una escuela primaria, en 39 grupos. Las sesiones fueron observadas y filmadas. Se aplicaron entrevistas y cuestionarios en grupos pequeños. Solo 37 participantes jugaron ambos juegos. En su mayoría, indicaron su preferencia hacia el juego aumentado. Por otra parte, se les consultó a los que jugaron únicamente la versión aumentada del juego, y 32 de 33 indicaron que les gusta más esta forma de jugar que los tradicionales juegos de video.

4.7 Multimodal Mixer

Multimodal Mixer (Hopma, Bekker, & Sturm, 2009) es un juguete consistente en un objeto activo (creado con tecnología accesible como Arduino Diecimilia), que se utiliza en juegos abiertos y con múltiples modalidades de salida. Está diseñado para niños entre 8 y 12 años, y su objetivo consiste en permitir una exploración y aprendizaje, donde los usuarios pueden crear sus propios juegos, estableciendo reglas de juego basadas en las salidas multimodales de los objetos activos. *Multimodal Mixer* utiliza un sensor de aceleración para detectar el balanceo o la agitación y un sensor de infrarrojos para las señales. Presenta 3 modalidades diferentes de *feedback*: 1) visual a partir de *LEDs RGB*, 2) auditivo a través de un altavoz y 3) táctil con la integración de un motor de vibración. El objetivo de esta actividad es estimular la creatividad de los niños al inventar ellos mismos nuevos juegos. Fue desarrollado en Países Bajos.

El objetivo de la evaluación era conocer el impacto de múltiples modalidades de salida en un juego con juguetes interactivos, centrándose en la experiencia y creatividad de los niños. Así, fue comparado con una variante unimodal para mostrar cómo estas diferencias afectan la cantidad de juegos jugados, la diversidad de juegos y la forma en que se utiliza el juguete. Para la evaluación se organizaron 10 grupos mixtos de 3 o 4 participantes (un total de 37), entre 8 y 12 años, en una escuela primaria. Para la comparación entre la variante multimodal con la unimodal, se asignaron 5 grupos para cada condición, a los cuales se explicaba que tenían que crear un juego y las posibilidades de interacción. Todas las sesiones fueron observadas, filmadas y se aplicó un cuestionario para analizar la experiencia.

Entre los principales resultados se encontró que el *Multimodal Mixer* motivó a los niños a utilizar las acciones de sacudir o hacer rodar el juguete para enviar señales a otro juguete *Multimodal Mixer*. Crearon múltiples juegos y utilizaron a los juguetes con diferentes roles en cada uno. Además, ayudó a los participantes a estar físicamente activos y estimular la actividad social. Los niños desarrollaron su juego de forma grupal, ya que el hecho de que los mezcladores se pudieran comunicar provocó que los niños jugaran juntos.

4.8 TAOs

TAOs (*Tangible Active Objects*) (Riedenklau *et al.*, 2010) combina objetos tangibles activos con el uso de sonidos y permite a personas con discapacidad visual explorar datos multivariantes a través de diagramas de dispersión. Es un proyecto alemán, que permite traducir la experiencia visual de diagramas de dispersión en un dominio basado en audio y manifestaciones hápticas, empleando tecnología accesible y de código abierto.

El proceso de interacción presentado para la exploración de los diagramas de dispersión consiste en que cada *TAO* se convierte en un anclaje de los datos. Particularmente, se realiza una cuantificación vectorial utilizando, por ejemplo, el algoritmo k-medias, así los *TAO,* se mueven de forma autónoma sobre la mesa activando un módulo de accionamiento, lo que significa que dos motores accionan dos ruedas en el mismo eje para poder desplazarse sobre la mesa o también cada TAO puede ser manipulado y desplazado por los interesados siendo la mesa la encargada de capturar las acciones y de proveer el *feedback*, permitiendo a los usuarios explorar cómo se organizan los datos. Cada *TAO* puede usarse para examinar cómo se distribuyen los datos en detalle: moviendo un *TAO,* se excita un sonido que se orienta a que los participantes perciban las características locales de la distribución de datos.

La evaluación se llevó a cabo a través de estudios cualitativos y cuantitativos. Para ello, se realizaron 13 sesiones con 9 usuarios, de 24 a 67 años. Entre los principales resultados se encontró que un 77% de las sesiones resultaron exitosas. El 67% de los usuarios pudieron reconocer de forma exitosa el conjunto de datos explorados. Además, se aplicó un cuestionario donde todos indicaron que pueden trabajar con el sistema, asimismo, opinaron que fue divertido y que era fácil captar los *TAO* sin verlos.

4.9 Tangible Bots

Tangible Bots (Pedersen & Hornbæk, 2011) es un proyecto para *tabletop* desarrollado en Dinamarca con tangibles activos que permiten reflejar cambios en modelos digitales. El principal objetivo educativo se relaciona con que los alumnos logren crear interpretaciones musicales complejas.

Las técnicas de interacción propuestas se dividen en: 1) *feedback* de interacción, 2) comandos de interacción, 3) interacciones grupales e 4) interacción basada en modelos. Los *Tangible Bots* toman como base de hardware a *Pololu 3pi Robots* equipados con un microcontrolador, motores de movimiento que permiten reflejar *feedback* háptico, corrección de errores y control *multi-touch*.

Como parte de la evaluación, se realizaron 2 estudios, el primero basado en la usabilidad y el segundo en la utilidad. Para el primer estudio se trabajó con 16 personas con el fin de investigar cómo los tangibles activos afectan la velocidad y precisión de la interacción. Los participantes manifestaron preferencias por el uso de los *Tangibles Bots* por sobre objetos pasivos. Utilizaron especialmente los movimientos de girar durante la experiencia. Para el segundo estudio, se analizó cómo las técnicas de IT ayudan o apoyan a usuarios expertos. Para ello, participaron 7 músicos electrónicos para evaluar una versión de *MixiTUI*, un secuenciador tangible para muestras de sonido y música editada (Pedersen & Hornbæk, 2009). Entre los principales resultados se identificó que todos los músicos encontraron los *feedback* hápticos útiles para llevar adelante la tarea.

4.10 MagicBuns

MagicBuns (van Huysduynen *et al.*, 2016) es un trabajo desarrollado en los Países Bajos, cuyo objetivo consiste en examinar el apoyo de diferentes modalidades de *feedback*, sobre diferentes comportamientos y formas de juego en distintas etapas de desarrollo de los niños. Los objetos activos se integran al juego libre de los niños y tienen el objetivo de mejorar la interacción social a través de actividades con estos. *MagicBuns* está enfocado en combinar características de objetos de juegos tradicionales con tecnología moderna. Incluye 3 modalidades de *feedback*: luz, sonido y vibración, que se producen a partir de la interacción que tengan los participantes con el objeto tangible: rodar o sacudir.

El diseño de los objetos se ha realizado de manera que los niños pueden cargar y correr fácilmente con ellos, pero también brindan oportunidades para el juego constructivo. La forma de los objetos permite que los niños los puedan hacer rodar o deslizarlo en el piso hacia otros niños.

Como parte de la evaluación, se realizó un estudio exploratorio para examinar las combinaciones entre 3 modalidades de *feedback*; 1) luces de colores y sonido, 2) luces de colores y vibración, y 3) sonido y vibración. Se emplearon grabaciones de audio y video en las sesiones. Participó un total de 80 niños de ambos sexos, 36 tenían edades entre los 4 y 6 años, y 44 entre 10 y 12 años. Entre los principales resultados se encontró que se crearon un total de 34 juegos, entre ellos, 21 en torno al *feedback*, y relacionados con la asociación. Las formas de juego y el *feedback* provisto por los *MagicBuns* indicaron que los participantes de menor edad desarrollaran juegos más físicos y simples, mientras que los de mayor edad incluían elementos más sociales, con reglas inventadas y eran cooperativos. Además, se determinó que 2 de las combinaciones de *feedback* empleadas provocaron una mayor atención de los participantes, principalmente porque contenía luces de colores. En cuanto a la vibración y sonido, los participantes más chicos, se sentían menos atraídos, mientras los más grandes valoraron el sonido.

4.11 Comparativa de los casos seleccionados

La Tabla 2 presenta un resumen de las características de las experiencias y casos seleccionados según los criterios definidos.

Tabla 2: Resumen de características de las experiencias de IT con objetos activos.

Casos	Descripción general		Interacción tangible			Interfaces de usuario tangible		Metodológico educativo	
	País	Nivel educativo	Actividad de aprendizaje	Modalidad de interacción	*Feedback*	F. *MCRpd*	F. basado en el grado de coherencia	Actividad	Evaluación
Tabletop Cars	Alemania	Superior/ universitario	Exploratoria	*Tabletop, multi-touch,* Objetos tangibles y sin contacto	Sobre la tarea	Sistema espacial	Proxy	Grupal/ competitiva	Analiza aspectos de diseño, concepto de juego y modos de interacción
Eugenie	Estados Unidos	Superior/ universitario	Expresiva	*Tabletop* y Objetos tangibles	Sobre la tarea	Sistema relacional y constructivo	Ilusión de ser el mismo objeto	Grupal/ competitiva	Estudio cualitativo sobre la usabilidad.
SynFlo	Estados Unidos	Inicial-Primaria-Secundaria-Superior/ universitario	Expresiva	Objetos tangibles	Sobre la tarea y autorregulación	Sistema relacional y constructivo	Ilusión de ser el mismo objeto	Grupal/ colaborativo	Interacción, disfrute, aprendizaje y colaboración.
Active Pathways	Alemania	Superior/ universitario	Exploratoria	*Tabletop* y Objetos tangibles	Sobre la tarea	Sistema relacional y constructivo	Identificador	Grupal/ colaborativo	Utilidad y factibilidad
Sparse Tangible	Canadá	Superior/ universitario	Exploratoria	*Tabletop* y Objetos tangibles	Sobre la tarea	Sistema asociativo	Identificador	Grupal/ competitivo	Usabilidad
Knight`s Castle	Suiza	Primario	Expresiva	Objetos tangibles	Sobre la tarea y autorregulación	Sistema relacional	Ilusión de ser el mismo objeto	Individuales y grupales	Usabilidad
Multimodal Mixer	Países bajos	Primario	Expresiva	Objetos tangibles	Sobre la tarea y autorregulación	Sistema relacional	Ilusión de ser el mismo objeto	Individuales y grupales	Procesos de interacción
TAOs	Alemania	Educación especial	Exploratoria	Objetos tangibles	Sobre la tarea	Sistema espacial	Identificador	Individual	cualitativo y cuantitativo sobre la utilidad.
Tangible Bots	Dinamarca	Superior/ universitario	Exploratoria	Tabletop y Objetos tangibles	Sobre la tarea	Sistema espacial	Identificador	Grupal/ colaborativo	Usabilidad y utilidad
MagicBuns	Países Bajos	Primario	Expresiva	Objetos tangibles	Sobre la tarea y autorregulación	Sistema relacional	Ilusión de ser el mismo objeto	Grupal/ colaborativo	Utilidad y factibilidad

5. Análisis de resultados a partir de la aplicación de criterios de evaluación

En esta sección se presenta la aplicación de los criterios a los antecedentes seleccionados y descritos previamente.

A. Descripciones generales

Se observa que los proyectos que incluyen objetos activos se llevaron a cabo mayormente en países europeos: 3 en Alemania, 2 en los Países Bajos, 1 en Suiza y 1 en Dinamarca, mientras que en el continente americano se analizaron 3 experiencias: 2 en Estados Unidos y 1 en Canadá. Ninguna corresponde a un país de Latinoamérica. Por otra parte, en la Figura 1, se muestra el análisis del nivel educativo. El **nivel educativo** superior/universitario, ha sido el foco de 6 de las experiencias analizadas. Además, SynFlo es el único antecedente estudiado que fue planificado para ser utilizado en distintos niveles educativos.

Figura 1: Casos clasificados según nivel educativo.

B. Interacción tangible

En la Figura 2 se realiza el análisis del criterio de **tipo de actividad de aprendizaje**. Se observa que existe paridad en las actividades analizadas. En las 5 actividades de tipo exploratorio el estudiante se encarga de examinar una representación de un dominio ya existente, que es planificado por el docente o experto. Las restantes son representaciones expresivas donde los objetos ayudan a los alumnos a concretar sus propias ideas (biodiseño en *Eugenie* y *SynFlo*, cuentos en *Knight's Castle*, y juegos en *Multimodal Mixer* y *MagicBuns*).

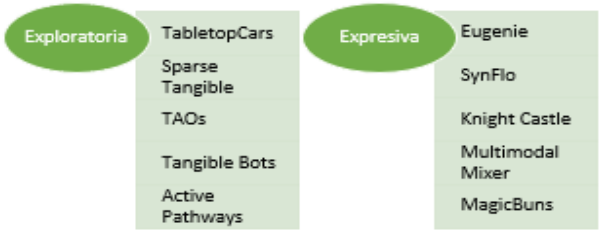

Figura 2: Casos clasificados según tipo de actividad de aprendizaje.

La aplicación del criterio **modalidad de interacción** identifica si las modalidades de interacción seleccionadas por los investigadores para el desarrollo de las actividades son unimodales o por el contrario son actividades donde se hace uso de diferentes tipos de modalidades de interacción. En 5 casos las actividades fueron unimodales, usando sólo tangibles como modalidad de interacción (*Knight`s Castle, Multimodal Mixer, TAOs, SynFlo* y *MagicBuns*) mientras que los 5 restantes utilizaron al menos 2 modalidades, combinando principalmente los tangibles activos con *tabletops*. De esas 5 actividades, en 3 las *tabletop* eran *multi-touch* (*TabletopCars, Tangible Bots* y *Sparse Tangibles*) y sólo en una oportunidad (*TabletopCars*) se hizo uso de tangibles con *tabletop, multi-touch* y sin contacto.

Al analizar el criterio **tipos de *feedback*** se observa, en la Figura 3, que los antecedentes estudiados brindan sólo 2 tipos de *feedback* sobre la tarea y la autorregulación. Esto coincide con lo afirmado por Van Seters *et al.* (2012), quienes indican que el *feedback* sobre la tarea es el que más se utiliza, ya que indica al estudiante si las acciones realizadas son correctas o incorrectas. Todas las actividades estudiadas presentan *feedback* sobre la tarea, ya sea mediante texto, sonidos, luces y/o vibraciones.

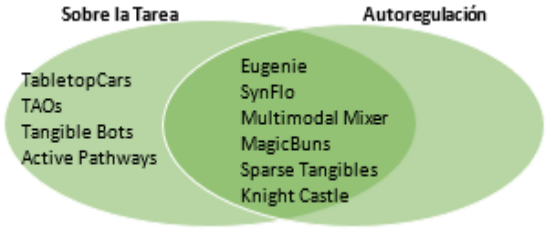

Figura 3: Casos clasificados según tipo de feedback

El *feedback* de autorregulación se puede orientar a ayudar en la gestión de tiempo, la organización del espacio de trabajo, el uso de determinadas estrategias, mientras que el de la tarea da cuenta de los aciertos y errores en las decisiones/acciones de los participantes

En la Tabla 3 se observa que, en 4 ocasiones, se utilizó texto o animaciones a través del display de los objetos, en 5 sonidos, en 4 luces y en 5 *feedback* háptico. Es interesante resaltar que se encontró un estudio específico sobre la atención acorde a estos tipos de *feedback*, demostrando que las combinaciones de *feedback* que incluían luces generaban mayor atención y exploración de los usuarios, que cuando no solo se utilizaron sonidos y vibraciones (van Huysduynen *et al.*, 2016).

Tabla 3: Tipos de feedback por casos.

Antecedentes	Texto y/o animación	Sonidos		Luces	Háptico
TabletopCars		X			
Eugenie	X				
SynFlo	X				
Sparse Tangible	X			X	
Knight`s Castle				X	X
Multimodal Mixer				X	X
TAOs		X			X
Tangible Bots					X
Active Pathways	X				
MagicBuns		X		X	X

Además, 6 de 10 antecedentes (*Eugenie, SynFlo, Multimodal Mixer, MagicBuns Sparse Tangibles* y *Knight`s Castle*) agregan un tipo de *feedback* de autorregulación en conjunto con el *feedback* sobre la tarea. Se observa que se concreta a partir de acciones en donde se sugiere cierta información, y en algunos casos, qué estrategias utilizar.

C. Interfaces de usuario tangible

En la Figura 4 se presenta la clasificación de los casos estudiados al aplicar el criterio ***Framework MCRpd***, analizando las distintas instancias de TUIs, en donde hay objetos físicos como controladores de información digital.

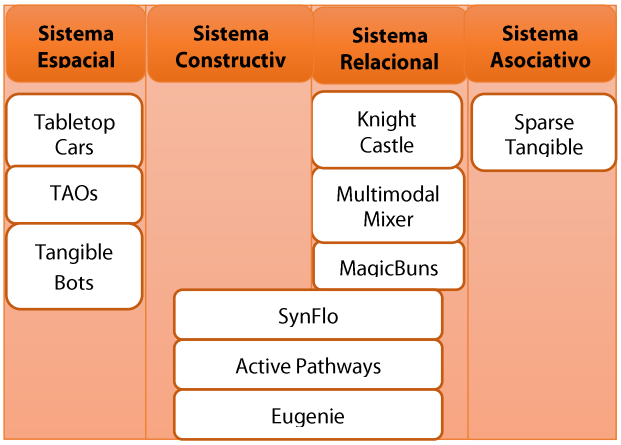

Figura 4: Casos clasificados según tipo Framework MCRpd.

Las interfaces tangibles que presentan posiciones espaciales de diversos objetos físicos dentro de un mismo marco de referencia son *TabletopCars, TAOs* y *Tangible Bots*, donde los tangibles activos se manipulan para generar interacciones de la información digital. Los sistemas constructivos incluyen interfaces tangibles donde se desarrollan artefactos modulares, como los sistemas de biodiseño basados en los módulos de *Sifteo*. En este sentido, *SynFlo, Active Pathways* y *Eugenie* constituyen un sistema constructivo, donde se realizan diseños ya sea apilando, uniendo o incrustando los objetos. Los sistemas relacionales, donde existen relaciones establecidas computacionalmente entre los diversos tangibles son: *Knight`s Castle, Multimodal Mixer* y *MagicBuns*. Finalmente, como sistema asociativo se encuentra *Sparse Tangibles*, que asocia los objetos activos con información digital sobre una *tabletop*, de manera que a medida que se mueven por la superficie de la *tabletop*, estos siguen asociados e ilustran gráficos y tablas, y cuando se separan de la superficie los gráficos desaparecen.

La intención de clasificar los casos según el **Framework basado en el grado de coherencia** al igual que el ***Framework MCRpd***, está dirigida a analizar las interfaces tangibles considerando las diferentes formas en que se pueden acoplar los objetos físicos y digitales. En particular, el grado de coherencia pone el foco en el tipo de enlace de los objetos físicos y digitales. Es decir, busca clasificar las TUIs con respecto al grado en que los objetos físicos y digitales se ven como un mismo objeto que existe tanto en el dominio físico como en el digital, o si se ven como objetos separados que se interconectan de forma temporal. La Figura 5 muestra la clasificación de los antecedentes estudiados de acuerdo con las categorías preestablecidas por Koleva *et al.* (2003). Se encontraron en las experiencias 2 formas de relación entre objetos físicos y digitales: la basada en un identificador y la ilusión de ser el mismo objeto.

Figura 5: Casos clasificados según Framework basado en el grado de coherencia.

El criterio identificador corresponde a la representación de objetos físicos que forman parte de la interfaz, y para ello utilizan marcadores para recuperar información digital, por ejemplo, un fiducial. *TabletopCars, TAOs, Active Pathways, Tangible Bots y Sparse Tangibles* pertenecen a este criterio, ya que todos utilizan marcadores para presentar y aumentar información digital. Luego, se pueden establecer diferencias en las experiencias estudiadas basadas en: el alcance de la interacción, si el vínculo es permanente, si la información es fija o puede ser transformada, incluso si existe autonomía o dependencia entre los objetos físicos y digitales.

También, como segunda categoría se ha identificado la ilusión de ser el mismo objeto, que se da cuando se acoplan objetos físicos y digitales, y se genera la ilusión de ser sólo uno, como ocurre en *Knight`s Castle, Multimodal Mixer, MagicBuns, Eugenie* y *SynFlo*, donde la mayor parte de la interacción está centrada en los objetos físicos que representan lo mismo en el mundo digital y en el físico.

D. Aspectos Metodológico-educativos

La aplicación del criterio **tipo de actividad educativa** busca identificar la dinámica de trabajo y el enfoque de educativo empleado. El análisis demuestra que sólo en una ocasión se identificó una dinámica exclusivamente de trabajo individual (*TAOs*). En *TabletopCars* se presenta una actividad grupal y competitiva, mientras que en *Knight`s Castle* se presentan actividades tanto grupales como individuales, debido a la configuración y las modalidades del entorno creado para llevar a cabo el proceso de interacción y la forma del juego. Finalmente, los 7 antecedentes restantes contienen actividades grupales y colaborativas.

La aplicación del criterio de **evaluación** evidenció que todos los casos estudiados presentan una evaluación, algunas de las cuales fueron formales y otras no, y que se utilizaron distintos enfoques. Entre las técnicas empleadas se identificaron: la observación, registro con filmación, cuestionarios, entrevistas

y encuestas. El foco de evaluación fue la usabilidad, utilidad, experiencia de usuario, aprendizaje, y en algunos casos la comparación de las modalidades de interacción. También, algunas se realizaron con usuarios finales, mientras que en 2 oportunidades (*Sparse Tangibles* y *Tangible Bots*) con usuarios expertos.

Es importante mencionar que no se identificó una evaluación enfocada únicamente en las posibilidades de los objetos activos. La mayoría buscaba evaluar aspectos de la interacción como un todo, principalmente ver comportamientos del diseño de los escenarios y del juego, y no en cómo la incorporación de objetos activos aporta al desarrollo de las actividades educativas. En un caso (*Multimodal Mixer*) se analizó el tipo de *feedback* en los objetos y en otro la preferencia de los objetos activos por sobre los pasivos (*Tangible Bots*), antecedente que resulta de especial interés para este trabajo.

6. Relaciones entre los criterios de análisis

La categoría **descripciones generales** revela que, para el criterio de nivel educativo, hay casos estudiados en todos los niveles educativos, pero la mayoría se concentró en el superior/universitario.

Por otra parte, en la categoría de **IT** en cuanto al criterio de los tipos de actividad de aprendizaje, existe paridad entre los trabajos de tipo exploratorio y expresivo. No obstante, en la Figura 6 se puede apreciar una particularidad, y ésta radica en que 4 de 5 actividades de tipo expresiva fueron planificadas para el nivel educativo primario y las actividades exploratorias en su mayoría fueron destinadas al nivel educativo superior/universitario. Las actividades de aprendizaje expresivas en donde los participantes tienen la posibilidad de crear representaciones se utilizaron para la creación de juegos y cuentos, principalmente cuando el nivel educativo se orientó exclusivamente a nivel primario.

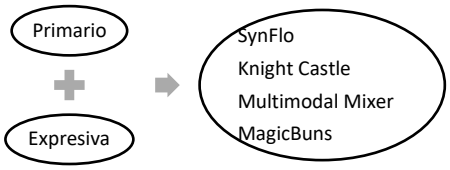

Figura 6: Relación entre nivel educativo y actividad de aprendizaje.

Otro de los aspectos importantes de la categoría **IT** está en el criterio de tipos de *feedback*, en donde todos los antecedentes brindan un *feedback* sobre la tarea, haciendo uso de diferentes modalidades como luces, sonidos y/o vibraciones. El *feedback* sobre la tarea permite que los participantes reconozcan sus errores, y esto puede llevarlos a indagar nuevas respuestas y estrategias para completar tareas y, por tanto, promover en algún modo hacer uso de sus propias competencias de autorregulación (Hattie & Timperley, 2010).

Además, en la Figura 7 se muestra que todos los antecedentes revisados del tipo de actividad expresiva han considerado incluir un *feedback* de autorregulación. Esto indica que aquellos casos en donde los participantes tienen la posibilidad de generar representaciones para ciertos dominios, a partir de sus propias ideas, presentan modalidades que permiten monitorear, dirigir y regular las acciones hacia la meta de aprendizaje. Por ejemplo, en *MagicBuns* a través de alguna de las modalidades de *feedback*, como los cambios de color, logró persuadir a los estudiantes a explorar nuevas posibilidades.

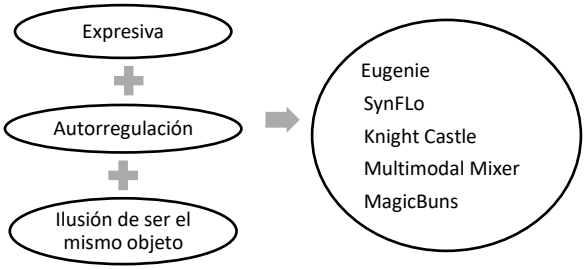

Figura 7: Relación entre tipo de actividad educativa, feedback y framework basado en el grado de coherencia.

En relación con la información recolectada en la categoría **TUIs** el resultado más destacado corresponde al criterio *framework* basado en el grado de coherencia que permite echar luz para comprender las diferentes formas en que los objetos físicos y digitales se pueden acoplar. El análisis del criterio determinó la existencia de dos clasificaciones, los que basan su proceso de interacción en los identificadores y los que hacen ilusión de ser el mismo objeto. En particular, se puede observar en la Figura 7 que todos aquellos antecedentes estudiados que hacen ilusión de ser el mismo objeto son, en general, actividades del tipo expresivo y que presentaron un *feedback* de autorregulación.

Asimismo, en la Figura 8 se ilustra que existe una similitud en al menos 4 de los antecedentes estudiados (*SynFlo, Knight Castle, MagicBuns y Multimodal Mixer*). Las características que comparten estas actividades son: se orientan a nivel educativo primario, emplean actividades expresivas a través del diseño propuesto en los objetos activos, los estudiantes son los encargados de recrear sus propias ideas en representaciones digitales, los objetos suministran a los participantes un *feedback* relacionado con la autorregulación en su aprendizaje y tienen la misma representación en el mundo físico que en el digital (ilusión de ser el mismo objeto).

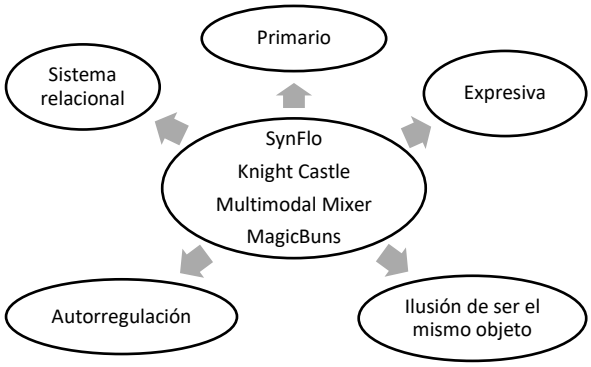

Figura 8: Relación entre características de diferentes antecedentes estudiados.

Finalmente, en cuanto a la categoría **metodológico educativo**, al aplicar el criterio de tipo de actividad se detectó que la mayoría de los antecedentes enfocan las actividades a que sean grupales y colaborativas. A su vez, en representación del criterio de evaluación los antecedentes evidenciaron que las evaluaciones estaban enfiladas principalmente en la usabilidad y utilidad. Asimismo, se observó que los objetos activos se crearon utilizando hardware de código abierto. Adicionalmente, se pudieron observar algunos resultados de valor encontrados en las experiencias analizadas, en cuanto al uso de los objetos activos en las actividades educativas. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- Manipular los objetos.
- Generar representaciones directas a través de procesos sensoriales y motores.
- Integrar tangibles de la vida real para fomentar la participación y proveer un contexto a la actividad.
- Brindar nuevas experiencias de juego y aprendizaje
- Apoyar la interacción exploratoria y expresiva.
- Reducir conflictos entre los modelos digitales y el diseño espacial de los elementos tangibles.
- Animar a los estudiantes a ser físicamente activos.
- Estimular la actividad social.
- Facilitar el aprendizaje a través de la acción.
- Crear juegos y actividades constructivas.
- Persuadir a los alumnos para que desarrollen aún más las habilidades y conocimientos, a partir del *feedback* en los propios objetos.

7. Directrices para el diseño de actividades educativas con objetos activos

A través del análisis realizado en las experiencias de IT se han determinado algunas pautas a considerar en el diseño de situaciones educativas con objetos activos, que puedan fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje (Cruz, Sandí, & Víquez, 2017).

En primer lugar, se debe definir, de forma clara, la población meta, los objetivos educativos (motivación, aprendizaje de alguna habilidad/tema específico, colaboración, etc.) y el tipo de actividad educativa (exploratoria o expresiva) a diseñar con los objetos activos, tal como se ha observado en las experiencias analizadas. Acorde a la población meta y el tipo de actividad se considera el objeto a utilizar o diseñar (forma, colores, componentes electrónicos, etc.). Al mismo tiempo, es necesario considerar si la intención es que los estudiantes trabajen individual o grupalmente, de acuerdo con los objetivos educativos planteados.

Uno de los aspectos que se deben abordar y aprovechar como parte de la experiencia educativa, es el diseño del *feedback* de los objetos activos que se involucren en la actividad. Se ha determinado que el *feedback* es más efectivo cuando éste se adapta a la población meta (Brookhart, 2008). Para ello se puede considerar la clasificación de tipos de *feedback* propuesta por Van Seters *et al.* (2012) y mencionada en la sección 3. Según lo analizado en algunas de las experiencias, el uso de uno o más tipos de *feedback* en el objeto activo puede ampliar las alternativas de interacción y contribuir al proceso educativo. Junto con los tipos de *feedback*, es necesario decidir las modalidades de salida (texto/animación, luces, sonidos, háptico), teniendo en cuenta que, de acuerdo a los estudios revisados (por ejemplo, *MagicBuns*), la combinación de dos tipos de *feedback* ha logrado mayor atención en los alumnos, además, las preferencias de combinaciones de *feedback*, ha variado según las edades de los niños. Explorar la combinación de modalidades de *feedback* de acuerdo con la dinámica de la actividad, los objetivos y los destinatarios es un aspecto para profundizar.

En síntesis, para el diseño de actividades educativas con objetos activos resulta muy importante considerar: la población meta, objetivos educativos, tipo de actividad educativa, tipos de objeto y enlaces con la información digital, tipos de *feedback*, y modalidades de *feedback*.

8. Conclusiones y trabajos futuros

Los objetos activos tienen la potencialidad de tener un comportamiento propio y reflejar *feedback* (Riedenklau *et al.*, 2010), lo que puede resultar importante en el desarrollo de actividades educativas. Así se pueden crear actividades en las que los objetos activos favorezcan la generación de metáforas y la mayor atención de los estudiantes en sus tareas (Valdes *et al.*, 2014; van Huysduynen *et al.*, 2016). Los objetos activos pueden ser desarrollados como juguetes cuando se trabaja con niños. En este trabajo se han descrito y analizado un total de 10 casos de actividades educativas que involucran objetos activos, creados generalmente con electrónica accesible y de código abierto.

El análisis presentado se ha realizado a partir de la definición de diferentes criterios de análisis, y evidenció que los antecedentes estudiados se orientan principalmente al nivel educativo superior/universitario seguido del primario, la mitad se enfocó en tipos de actividades de aprendizaje exploratorias y la otra en expresivas, usando principalmente objetos activos con *tabletops*. En cuanto a los tipos de *feedback* utilizados, se relacionan con la tarea y luego la autorregulación. Se han estudiado sistemas relacionales con relaciones espaciales y otros de tipo constructivo. En la mayoría de las experiencias, se utilizan marcadores para identificar cada objeto. En cuanto a la dinámica, se trata de actividades grupales y colaborativas, y las evaluaciones se enfocan en la usabilidad, utilidad (ej. aprendizaje) y algunos aspectos de experiencias de usuario. Finalmente, se identificó que la utilización de los objetos activos posibilita nuevas experiencias de juego y aprendizaje (como se vio en *Multimodal Mixer, MagicBuns, Synflo, Eugenie*), que aprovechan *feedback* visual, auditivo y háptico (luces, sonidos, mensajes de texto y vibraciones) y anima a los estudiantes a estar activos, y a participar de las actividades.

Además, como cierre se han planteado una serie de directrices que se orientan a guiar el diseño de actividades educativas con objetos activos. Se considera que este trabajo abre las puertas para profundizar en este tipo de investigaciones que tienen un valor en el escenario educativo.

Como trabajo futuro, se propone avanzar en el análisis realizado en este trabajo como base para el diseño de actividades educativas basadas en IT con objetos activos, considerando como punto de partida las directrices planteadas y los *frameworks* utilizados para la revisión.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Gobierno de Aragón y la Unión Europea a través de la acción FEDER 2014-2020 "Construyendo Europa desde Aragón" (Grupo T25_17D), por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidad de España, a través del proyecto RTI2018-096986-B-C31 y por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires, a través del proyecto REFORTICCA.

Referencias

Arif, A. S., Manshaei, R., Delong, S., East, B., Kyan, M., & Mazalek, A. (2016). Sparse Tangibles: collaborative exploration of gene networks using active tangibles and interactive tabletops. En Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (pp. 287–295). Eindhoven, Netherlands: ACM. https://doi.org/10.1145/2839462.2839500

Artola, V., Sanz, C., Pesado, P., & Baldassarri, S. (2016). ITCol. Tangible interaction for collaboration: Experiments carried out. En Collaboration Technologies and Systems (CTS) (pp. 172–179). Orlando, FL, USA: IEEE.

Brookhart, S. (2008). How to Give Effective Feedback to Your Students (Associatio). Alexandria: Quest Ebook Central.

Cruz, M., Sandí, J. C., & Víquez, I. (2017). Diseño de situaciones educativas innovadoras como estrategia didáctica para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje. Didasc@lia: Didáctica y Educación, VIII(2), 99–116.

Dang, C. T., & André, E. (2013). TabletopCars: interaction with active tangible remote controlled cars. En Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (pp. 33–40). Barcelona, Spain: ACM. https://doi.org/10.1145/2460625.2460630

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

Follmer, S., & Ishii, H. (2012). kidCAD : Digitally Remixing Toys Through Tangible Tools. En Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 2401–2410). Austin, Texas, USA: ACM. https://doi.org/10.1145/2207676.2208403

Frías, G., Marco, J., Serón, F., & Latorre, P. (2010). TANGIBLE: Una plataforma de labortario para el ensayo de interfaces tangibles y multimodales. Diseño de interacción, (4), 34–47.

Grote, C., Segreto, E., Okerlund, J., Kincaid, R., & Shaer, O. (2015). Eugenie : Multi - Touch and Tangible Interaction for Bio - Design. En Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (pp. 217–224). Stanford, California, USA: ACM. https://doi.org/10.1145/2677199.2680605

Hattie, J., & Timperley, H. (2010). The power of feedback. Medical Education, 44(1), 16–17.

Hinske, S., Lampe, M., Yuill, N., Price, S., & Langheinrich, M. (2009). Kingdom of the Knights: evaluation of a seamlessly augmented toy environment for playful learning. En Proceedings of the 8th International Conference on Interaction Design and Children (p. 202). Como, Italy: ACM. https://doi.org/10.1145/1551788.1551829

Hopma, E., Bekker, T., & Sturm, J. (2009). Interactive Play Objects: The Influence of Multimodal Output on Open-Ended Play. En Intelligent Technologies for Interactive Entertainment (Vol. 9, pp. 78–89). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Hwang, W. Y., Shadiev, R., Tseng, C. W., & Huang, Y. M. (2015). Exploring Effects of Multi-Touch Tabletop on Collaborative Fraction Learning and the Relationship of Learning Behavior and Interaction with Learning Achievement. Educational Technology & Society, 18(4), 459–473.

Ishii, H. (2008). Tangible bits: beyond pixels. Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and Embedded Intreaction (TEI '08), xv–xxv. https://doi.org/10.1145/1347390.1347392

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

Kaltenbrunner, M., & Bencina, R. (2007). ReacTIVision : A Computer-Vision Framework for Table- Based Tangible Interaction. En Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction (pp. 69–74). Baton Rouge, Louisiana: ACM. https://doi.org/10.1145/1226969.1226983

Koleva, B., Benford, S., Hui Ng, K. H., & Rodden, T. (2003). A framework for tangible user interfaces. En Proceedings of Physical Interaction Workshop on Real World User Interfaces (pp. 46–50). Udine, Italy.

Lampe, M., & Hinske, S. (2007). The Augmented Knight's Castle–Integrating Mobile and Pervasive Computing Technologies into Traditional Toy Environments. Concepts and technologies for Pervasive Games-A Reader for Pervasive Gaming Research, 1, 41–66.

Marco, J., Cerezo, E., & Baldassarri, S. (2010a). Desarrollo de interfaces naturales para aplicaciones educativas dirigidas a niños. En Proceedings of the VIII Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador (pp. 79–82). AIPO.

Marco, J., Cerezo, E., & Baldassarri, S. (2010b). Playing with toys on a tabletop active surface. Proceedings of the 9th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '10, 296. https://doi.org/10.1145/1810543.1810596

Marco, J., Cerezo, E., & Baldassarri, S. (2012). Tangible interaction and tabletops: new horizons for children's games. International Journal of Arts and Technology, 5(2/3/4), 151–176.

Marshall, M., Carter, T., Alexander, J., & Subramanian, S. (2012). Ultra-Tangibles : Creating Movable Tangible Objects on Interactive Tables. En Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 2185–2188). Austin, Texas, USA: ACM. https://doi.org/10.1145/2207676.2208370

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

Mehta, M., Arif, A. S., Gupta, A., DeLong, S., Manshaei, R., Williams, G., … Mazalek, A. (2016). Active Pathways: Using Active Tangible and Interactive Tabletops for Collaborative Modeling in System Biology. En Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (pp. 129–138). Niagara Falls, Ontario, Canada: ACM. https://doi.org/10.1145/2992154.2992176

Merrill, D., Sun, E., & Kalanithi, J. (2012). Sifteo cubes. En CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 1015–1018). Austin, Texas, USA: ACM.

Nicol, D., & MacFarlane-Dick, D. (2006). Formative assessment and selfregulated learning: A model and seven principles of good feedback practice. Studies in Higher Education, 31(2), 199–218.

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

Pedersen, E. W., & Hornbæk, K. (2009). mixiTUI. En Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (pp. 223–230). Cambridge, United Kingdom: ACM. https://doi.org/10.1145/1517664.1517713

Pedersen, E. W., & Hornbæk, K. (2011). Tangible bots: Interaction with Active Tangibles in Tabletop Interfaces. En Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 2975–2984). Vancouver, BC, Canada: ACM. https://doi.org/10.1145/1978942.1979384

Riedenklau, E., Hermann, T., & Ritter, H. (2010). Tangible Active Objects and Interactive Sonification as a Scatter Plot Alternative for the Visually Impaired. En Proceedings of the 16th International Conference on Auditory Display (pp. 1–7). Washington, D.C: International Community for Auditory Display. https://doi.org/10.4119/unibi/2697201

Sanz, C., Baldassarri, S., Guisen, A., Marco, J., Cerezo, E., & De Giusti, A. (2012). ACoTI: herramienta de interacción tangible para el desarrollo de competencias comunicacionales en usuarios de comunicación alternativa. Primeros resultados de su evaluación. En Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (p. 8). SEDICI.

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

Sanz, C., Guisen, A., De Giusti, A., Baldassarri, S., Marco, J., & Cerezo, E. (2013). Games as educational strategy: A case of tangible interaction for users of Alternative and Augmentative Communication. En International Conference on Collaboration Technologies and Systems, CTS 2013 (pp. 377–381). https://doi.org/10.1109/CTS.2013.6567258

Sanz, C., Nordio, M., & Artola, V. (2018). FraccionAR. Un juego para aprender sobre fracciones basado en Interacción Tangible. En XIII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (pp. 84–92). SEDICI.

Ullmer, B., & Ishii, H. (1997). The metaDESK : Models and Prototypes for Tangible User Interfaces. En Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology (pp. 223–232). Banff, Alberta, Canada: ACM.

Ullmer, B., & Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. IBM Systems Journal, 39(3.4), 915–931.

Valdes, C., Eastman, D., Grote, C., Thatte, S., Shaer, O., Mazalek, A., … Konkel, M. (2014). Exploring the design space of gestural interaction with active tokens through user-defined gestures. En Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 4107–4116). Toronto, Ontario, Canada: ACM. https://doi.org/10.1145/2556288.2557373

van Huysduynen, H., de Valk, L., & Bekker, T. (2016). Tangible Play Objects: Influence of Different Combinations of Feedback Modalities. En Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (pp. 262–270). Eindhoven, Netherlands: ACM. 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.

Vaz, R., Fernandes, P. O., & Rocha, A. C. (2016). Proposal of a Tangible User Interface to Enhance Accessibility in Geological Exhibitions and the Experience of Museum Visitors. Procedia Computer Science, 100, 832–839.

Verish, C., Strawhacker, A., Bers, M., & Shaer, O. (2018). CRISPEE: A tangible gene editing platform for early childhood. En TEI 2018 - Proceedings of the 12th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (pp. 101–107). Stockholm: ACM. https://doi.org/10.1145/3173225.3173277

Zuckerman, O., Arida, S., & Resnick, M. (2005). Extending Tangible Interfaces for Education: Digital Montessori-inspired Manipulatives. En Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 859–868). Portland, Oregon, USA: ACM. https://doi.org/10.1145/1054972.1055093

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión de alcance y perspectivas

The accessibility of statistical charts for people with low vision and color vision deficiency: scoping review and perspectives

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

Mireia Ribera Turró
Departament de Matemàtiques I Informàtica
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
ribera@ub.edu

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

Recibido: 27.10.2019 | Aceptado: 15.12.2019

Palabras Clave

Accesibilidad
Gráficos estadísticos
Percepción del color
Visión cromática deficiente
Ceguera al color
Baja visión
Discapacidad visual

Resumen

Los gráficos estadísticos juegan un papel primordial en diferentes ámbitos de nuestra vida como la información, la educación, la comunicación o la investigación, entre otros. No obstante, los autores y editores de contenido no siempre atienden a criterios de accesibilidad en el diseño y creación de este tipo de contenido. Teniendo en cuenta estas dos premisas, este trabajo presenta una revisión de alcance sobre la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con discapacidad visual. El resultado de la revisión ha evidenciado un escaso número de trabajos orientados específicamente a los usuarios con baja visión o visión cromática deficiente, centrándose la mayoría de las investigaciones en las personas ciegas o con muy poco resto de visión. Los trabajos analizados recogen cuatro aproximaciones en vistas a mejorar la accesibilidad de este tipo de contenido: alternativas textuales, sonificación, alternativas táctiles y alternativas multimodales. Todas estas alternativas se discuten con la finalidad de evaluar su idoneidad para personas con baja visión y visión cromática deficiente. Finalmente, se explora el mercado tecnológico relacionado con el software para la creación de gráficos estadísticos en vistas a analizar sus posibilidades para incorporar las características y funcionalidades descritas en la literatura para mejorar su accesibilidad.

Keywords

Accessibility
Statistical charts
Color perception
Color vision deficiency
Color blindness
Low vision
Visual impairment

Abstract

Statistical charts play a primordial role in different areas of our life, such as information, education, communication or research, among others. However, authors and content publishers do not always follow the accessibility criteria in the design and creation of this type of content. Considering these two premises, this work presents a scoping review of the studies related with the accessibility of charts for people with visual impairment. The review shows a small number of works specifically aimed at users with low vision or vision color deficiency, while most studies focus on blind people or on people with severe low vision. The review identifies four approaches to improve the accessibility of statistical charts: text alternatives, sonification, tactile alternatives and multimodal alternatives. In the review the four approaches are discussed to assess their suitability for people with low vision and color vision deficiency. Finally, authoring tools market is explored to uncover actual capabilities to implement the features and functionalities required for accessibility.

1. Introducción

Este artículo presenta una revisión de alcance de los trabajos centrados en la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con discapacidad visual, poniendo especial énfasis en aquellos que abordan específicamente las necesidades de las personas con baja visión y con visión cromática deficiente (VCD).

La literatura científica publicada hasta el momento se ha orientado, fundamentalmente, en la accesibilidad de los gráficos estadísticos para las personas ciegas o con muy poco resto de visión. Si bien es cierto que, las alternativas propuestas para este colectivo pueden suponer también ciertos beneficios para los usuarios con baja visión y VCD, existe un déficit importante de trabajos orientados a estos colectivos específicos. No obstante, se ha considerado de interés analizar las diferentes aproximaciones y soluciones existentes en la literatura para todos los perfiles de discapacidad visual, como primera fase de una investigación en curso, consistente en apuntar posibles nuevas vías de representación y metodologías de evaluación, diseño y creación para este tipo de contenido.

El artículo se organiza como continúa: en la sección 2, se abordan las características que definen la baja visión y se comenta la prevalencia a nivel mundial. En la sección 3, se justifica la necesidad de abordar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y VCD. La sección 4 introduce las preguntas de investigación. En la sección 5, se explica la metodología utilizada para la revisión de alcance de la literatura. La sección 6 lista los trabajos seleccionados y describe los resultados de la revisión. Finalmente, la sección 7 presenta las conclusiones y las líneas de trabajo futuro.

2. Baja visión: prevalencia y características

La Organización Mundial de la Salud cifra en 1300 millones, la cantidad de personas en el mundo que padecen algún tipo de discapacidad visual, de las cuales 36 millones son ciegas. La gran mayoría de personas afectadas por una discapacidad visual se engloban, por lo tanto, dentro de lo que se considera baja visión. En concreto y, por lo que respecta a la visión lejana, 188,5 millones de personas presentan baja visión moderada y 217 millones una visión situada entre moderada y grave; mientras que por lo que respecta a la visión de cerca, el número total de personas con baja visión se estima en unos 826 millones (WHO, 2019). Una cifra que va de la mano del aumento del envejecimiento global de la población. En este sentido, el 86% de las personas ciegas, el 86% de las personas con baja visión y el 61% de la población con presbicia tienen 50 años o más (Bourne et al., 2017).

Otras discapacidades visuales como la VCD también afectan a una parte sustancial de la población mundial. La Protanopia (carencia de sensibilidad a la percepción del color rojo) y, especialmente, la Deuteranopia (carencia de sensibilidad a la percepción del color verde), son las dos formas más comunes bajo las que se presenta la VCD. Éstas afectan aproximadamente al 8% de los hombres y al 0,4% de las mujeres (Birch, 2014), lo que supone cerca del 4,5% de la población mundial -más de 300 millones de personas- (Colour Blindness Awareness, 2017).

La baja visión engloba a todas aquellas personas con una discapacidad visual distinta a la ceguera, que no puede ser corregida por completo con lentes correctoras (WebAIM, 2013). Esto implica la existencia, bajo esta categoría, de múltiples perfiles de usuario con diferentes grados de agudeza visual y campo de visión, así como múltiples problemas relacionados con la sensibilidad al contraste o a la luz, congénitos o causados por diferentes afecciones y enfermedades oculares como las cataratas, el glaucoma, la degeneración macular, o la retinopatía diabética.

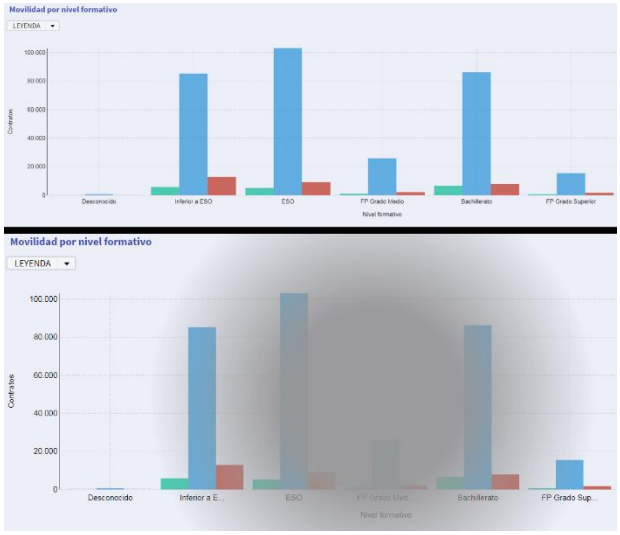

Figura 2: En la simulación de la parte inferior, los efectos de la degeneración macular producen un oscurecimiento y visión borrosa central, dificultando la visualización del gráfico. Fuente: gráfico extraído del catálogo de datos abiertos del gobierno de Asturias. Simulación realizada por los autores.

Las cataratas producen un efecto borroso, similar a una bruma o niebla que se pone de manifiesto con especial agudeza en situaciones de luz brillante. El glaucoma, causado por un aumento de presión en el ojo, deriva en la pérdida de visión periférica acompañada de un área de visión central borrosa. Por su parte, la degeneración macular (figura 1) presenta como consecuencia la incapacidad de enfocar la visión central, lo que implica una importante dificultad para ver objetos que se miran directamente ya que, a pesar de

conservar la visión periférica, ésta no es tan clara como la central. Finalmente, la retinopatía diabética, implica la aparición de manchas oscuras en el campo de visión que dificultan la lectura de un contenido que puede aparecer borroso y distorsionado para aquellas personas que la padecen (WebAIM, 2013).

Por su parte, la VCD -también denominada ceguera al color- se refiere a la incapacidad que presentan algunas personas para distinguir ciertas combinaciones de colores o, en el caso de la acromatopsia, a la no percepción de ningún color. Aunque en general se trata de una condición hereditaria, la VCD también puede derivarse de algunas enfermedades como la diabetes, el glaucoma, la esclerosis múltiple, la leucemia o la anemia falciforme, entre otras (American Optometric Association, 2019).

Atender a los problemas de accesibilidad de estos perfiles de usuario supone el reto añadido de afrontar la creación de contenido accesible para los diferentes grados de agudeza visual, campo de visión y visión cromática, cada uno de ellos con sus propias características y necesidades.

El usuario con baja visión se beneficia del uso de diferentes ayudas técnicas entre las que destaca el uso de los magnificadores de pantalla. También de otras herramientas integradas en estas aplicaciones o independientes que permiten aplicar cambios de colores en las interfaces, ofreciendo combinaciones que proporcionan un mejor contraste o que no suponen un problema en la percepción del color cuando este se utiliza para transmitir información. Algunos usuarios con baja visión, también se benefician del uso de punteros mayores al tamaño estándar y del soporte de voz mediante lectores de pantalla, que combinan con las herramientas anteriores.

3. Justificación

Los gráficos estadísticos son un tipo de representación de datos presente en prácticamente todos los ámbitos de nuestra vida. Así, en los medios de comunicación, especialmente -aunque no exclusivamente- en el denominado periodismo de datos, es frecuente encontrar este tipo de representaciones. También podemos observar ejemplos significativos en otros ámbitos como la educación, la publicidad, las redes sociales, el ocio o todos aquellos derivados del movimiento de datos abiertos, que ha supuesto la disponibilidad de grandes conjuntos de datos accesibles para la ciudadanía, publicados por parte de la administración pública a través de sus portales de transparencia. Un contexto como el actual en el que la visualización de datos es protagonista en diferentes sectores en los que además se involucra a diferentes profesiones como ingenieros, analistas de datos, periodistas, diseñadores, investigadores, entre otros (Meeks, Cesal, & Pettit, 2019), requiere que los gráficos sean accesibles para todas las personas.

Por lo que respecta al marco legal aplicable, tanto a nivel internacional, como nacional, se han venido sucediendo en las últimas décadas diferentes normas legales referidas a la accesibilidad digital y a los derechos de las personas con discapacidad. A las directrices de referencia en el ámbito de la accesibilidad, las *Directrices para la accesibilidad del contenido web* (WCAG), se han sumado diferentes textos legales como la EN 301 549: *Accessibility requirements suitable for public procurement of ICT products and services in Europe* (2014), actualizada en 2015 (EN 301 549 v1.1.2) y 2018 (EN 301 549 v2.1.2). Ambas clarifican el cumplimiento de la *Directiva (UE) 2016/2102 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de octubre de 2016, sobre la accesibilidad de los sitios web y aplicaciones para dispositivos móviles de los organismos del sector público*, que obliga a los organismos públicos europeos a que las páginas web y las aplicaciones móviles sean accesibles de acuerdo con la EN 301 549, además de adaptarse a la versión 2.1 de las WCAG. La transposición al marco jurídico español se ha materializado mediante el *Real Decreto 1112/2018, de 7 de septiembre, sobre accesibilidad de los sitios web y aplicaciones para dispositivos móviles del sector público.*
En relación con las WCAG, éstas han venido recogiendo en sus diferentes versiones, algunos criterios de conformidad relacionados con la accesibilidad del contenido para personas con baja visión, como el tamaño del texto o el contraste. La publicación de la versión 2.1 de las directrices ha ampliado estos requisitos al contenido gráfico y, por extensión, a los gráficos estadísticos (W3C, 2019a). Un hecho que corrobora la importancia creciente de la visualización de la información en todos los ámbitos de la comunicación digital, además de ampliar los horizontes de estas directrices hacía una tendencia generalizada que persigue una filosofía más amplia de la accesibilidad.

Por lo que respecta al uso de gráficos estadísticos en la educación, diferentes materias en distintos niveles formativos presentan un uso importante de gráficos entre los contenidos y estándares de aprendizaje evaluables. Por ejemplo, en el caso de España, el *Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria* (2014) recoge entre estos estándares la necesidad de que los estudiantes sean capaces no sólo de consultar documentos escritos e imágenes, sino también gráficos de diferente índole como diagramas de barras, poligonales y sectoriales o pirámides de población, entre otros, en materias como las ciencias naturales, ciencias sociales, lengua y literatura o matemáticas. Asimismo, el *Real Decreto*

1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato (2015) también recoge el uso de este tipo de contenidos en materias como las matemáticas, física, química, biología y geología, historia, o en las ciencias de la tierra y el medio ambiente, entre otras.

Finalmente, también cabe destacar que otros colectivos o perfiles como estudiantes universitarios e investigadores pueden verse beneficiados de los resultados de una mayor accesibilidad en los gráficos. En este sentido, conviene destacar que si los resultados de investigación no son accesibles -y los gráficos estadísticos son una parte fundamental de muchos trabajos científicos- son muchos los lectores que pueden verse excluidos, limitando también la visibilidad de esos trabajos entre la comunidad científica. En este sentido, los gráficos presentan, por si mismos, un valor comunicativo que en ocasiones trasciende al artículo o trabajo en el que se publican, constituyendo valiosos recursos de conocimiento (Carberry, Elzer & Demir, 2006).

Asimismo, la posibilidad de adquisición por parte de la administración pública de aquellos productos que incorporen gráficos estadísticos inaccesibles también se ve reducida, debido a su obligación legal de cumplir con unos requisitos mínimos de accesibilidad.

4. Preguntas de investigación

Con el objetivo de mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos varios autores han realizado estudios de diferente índole para determinar qué aspectos influyen más en la capacidad de las personas con discapacidad visual para acceder a este contenido, así como para analizar la utilidad de diferentes tipos de soluciones, sistemas o adaptaciones técnicas.
La revisión de la literatura se ha realizado sobre la base de las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué aproximaciones se han propuesto para mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y VCD?
- ¿Existen pautas o guías para la creación de gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y VCD?
- ¿Existen soluciones tecnológicas que permitan crear gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y VCD?

5. Método de investigación

Se ha llevado a cabo una revisión de alcance de la literatura. Las bases de datos consultadas para llevar a cabo el estado del arte han sido: ACM Digital Library, Google Scholar, IEEE Xplore Digital Library, Scopus y Springer Link. Las consultas se realizaron durante el mes de enero de 2019.

Durante el proceso de revisión de la literatura, se ha puesto de manifiesto que prácticamente no existen trabajos que estudien la accesibilidad de los gráficos estadísticos centrándose en los usuarios con baja visión o VCD. A partir de esta primera constatación, se amplió el ámbito de la búsqueda para incluir todos los trabajos relacionados con el resto de las discapacidades visuales, fundamentalmente, personas ciegas o con muy poco resto de visión. No se ha impuesto ningún límite temporal para la inclusión de trabajos en la revisión.

La estrategia de búsqueda se basó en la siguiente combinación de términos:

(charts OR graphs OR “information graphics” OR “statistical graphics” OR “computer graphics”) AND (“low vision” OR “sight-impaired” OR “visual impairment” OR “visually impaired” OR “visually impaired” OR “non-visual users” OR “near vision impairment” OR “color vision deficiency” OR “colour vision deficiency” OR “color blindness” OR “colour blindness” OR “chromatic vision deficiency” OR “color vision impairment” OR “colour vision impairment” OR daltonism OR blind OR blindness)

Los criterios de selección fueron los siguientes:

- Artículos científicos de investigación publicados en revistas o congresos revisados por pares.
- Artículos escritos en español o inglés.
- Sin límite temporal.

También se establecieron los siguientes criterios de exclusión:

- Trabajos publicados en diversas publicaciones mediante formatos diferentes (artículo, comunicación, preprint…), pero que contienen esencialmente la misma información. En esos casos, se ha optado por la versión publicada en una revista o congreso, en ese orden, y descartado las otras.
- Trabajos que se centran exclusivamente en la compresión o interpretación de los gráficos estadísticos y no en su accesibilidad.

La revisión manual de las referencias incluidas en los trabajos seleccionados permitió la identificación de trabajos adicionales de interés para esta investigación a los cuales se les aplicaron los criterios de relevancia comentados anteriormente.

Finalmente, y, en vistas a cubrir toda la documentación existente sobre la materia, se complementó la revisión de la literatura con la consulta de las *Directrices para la accesibilidad del contenido web* (W3C, 2018a), así como de las *Image description guidelines* del Diagram Center, (2015) ambas instituciones de referencia por lo que respecta a la accesibilidad digital. También se realizó una búsqueda de soluciones tecnológicas para la creación de gráficos estadísticos que contemplaran o pudieran llegar a ser compatibles con las aproximaciones exploradas en la literatura científica.

6. Resultados de la búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica permitió identificar un total de 61 trabajos relevantes de acuerdo con las preguntas de investigación planteadas.

Tabla 1: Distribución de los artículos recuperados por fuente.

Fuente	Número de artículos recuperados
ACM Digital Library	6
Google Scholar	23
IEEE Xplore Digital Library	10
Scopus	15
Springer Link	7

La literatura científica recoge, fundamentalmente, cuatro aproximaciones diferentes en vistas a mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para las personas con discapacidad visual: la inclusión de alternativas textuales, el uso de sonidos (sonificación), la generación de alternativas táctiles y la implementación de presentaciones multimodales. El uso del color, tratado por diferentes trabajos incluidos entre los resultados, también se ha recogido por su interés para el perfil de usuario objeto de estudio. Finalmente, se han localizado diferentes alternativas tecnológicas disponibles en el mercado que permiten la creación de gráficos estadísticos atendiendo a muchos de los criterios abordados en la literatura consultada.

6.1 Alternativas textuales

En relación con las alternativas textuales, son cinco las aproximaciones -no excluyentes entre sí- disponibles para ofrecer una alternativa textual del contenido de los gráficos estadísticos: el título del gráfico, los textos alternativos, las descripciones largas, las alternativas en forma de tabla y el etiquetado de gráficos dinámicos.

El título expresa de forma breve y precisa el contenido del gráfico situándose, generalmente, como encabezado. En ningún caso, se trata de una alternativa completa al contenido del gráfico. No obstante, sí resulta especialmente relevante para determinados perfiles de usuario, por ejemplo, para los usuarios de lectores de pantalla, entre los que encontramos no sólo a los usuarios ciegos, sino también a personas con baja visión. Disponer de un título suficientemente informativo, les permite identificar y reconocer rápidamente el contenido del gráfico, pudiendo saltar rápidamente entre los gráficos disponibles en una página hasta dar con el que desean consultar.

Los textos alternativos proporcionan una descripción breve del contenido del gráfico. La especificación HTML no indica un número máximo de caracteres para el atributo *alt* en las imágenes. Asimismo, los lectores de pantalla tampoco muestran problemas si el texto es muy largo, más allá de la posibilidad de que algún producto como JAWS, los lean en bloques individuales de 125 caracteres.[5] No obstante, este atributo está pensado para ofrecer una síntesis del contenido y no una explicación detallada de elementos complejos como pueden ser los gráficos que nos ocupan (W3C, 2016a) y, por tanto, debería ser breve y conciso (Diagram Center, 2015). El mismo W3C (2019b) aconseja, cuando se trata de describir imágenes complejas como los gráficos, utilizar las descripciones cortas de los textos alternativos para facilitar a los usuarios la identificación de la imagen, y no para comunicar toda la información que transmiten. Asimismo, también da la posibilidad de utilizar este atributo para informar acerca de la ubicación de la descripción larga dentro de la página, en el caso de no utilizar el atributo *longdesc* en HTML, o cuando esta no se encuentra adyacente al gráfico.

Las descripciones largas son una variante de los textos alternativos utilizada cuando esta descripción breve no es suficiente para describir la función o información que contiene el gráfico (W3C, 2016b). En el contexto de la Web, esta técnica, consiste en añadir un URI mediante el atributo *longdesc* al elemento *img*, el destino del cual contiene una descripción larga del contenido no textual (W3C, 2016b). A pesar de tratarse de una característica bien valorada por los usuarios, especialmente cuando la descripción larga se ofrece en la misma página que el gráfico (WebAIM, 2009, 2015), lo cierto es que el uso de esta técnica es minoritario en la Web, tal y como muestra el estudio de Pilgrim (2007). Como en el caso anterior, el estándar HTML no especifica una cantidad

[5] https://www.washington.edu/accessit/print.html?ID=1257.

máxima de caracteres o palabras para esta técnica y, a diferencia de los textos alternativos, en este caso sí se trata de una técnica pensada para proporcionar una representación textual de la información esencial que transmite el gráfico.

En la literatura, encontramos diferentes trabajos que se centran en abordar la posibilidad de generar alternativas textuales. Corio y Lapalme (1999), proponen SelTex, un sistema automatizado de generación de descripciones breves y pies de imagen a partir de un corpus de más de 400 resúmenes, en el que se centran, fundamentalmente en describir la intención principal del gráfico (presentación, comunicación, comparación, correlación o distribución). Chester y Elzer (2005) presentan un sistema capaz de transformar la información contenida en los gráficos en una representación textual en formato XML que incluye, por ejemplo, en el caso de un gráfico de barras, el número de barras, las etiquetas de los ejes o el color de cada barra, entre otros. Elzer, Schwartz, Carberry, Chester, Demir y Wu (2008) proponen una extensión de navegador que automatiza el proceso de generación de descripciones largas mediante un sistema de inferencia bayesiano encargado de inferir el mensaje tras el gráfico y de generar, posteriormente, un resumen en lenguaje natural. Un trabajo que amplían en Greenbacker, Wu, Carberry, McCoy, Elzer, McDonald, Chester y Demir (2011). Centrados también en el interés comunicativo del gráfico, Mahmood, Sarwar y Qazi (2014) proponen un sistema automatizado que genera resúmenes en lenguaje natural de un gráfico, con el objetivo de facilitar su interpretación. Por su parte, Ferres, Verkhogliad, Lindgaard, Boucher, Chretien, & Lachance (2007) describen inspectGraph, un sistema que permite generar descripciones breves de un gráfico generado con Microsoft Excel, y proporcionan una herramienta para que los usuarios puedan realizar consultas y navegar a través de los valores del gráfico. Ferres, Lindgaard, Sumegi y Tsuji (2010), realizan una propuesta similar con iGraph-Lite, una ayuda técnica para personas ciegas y con baja visión pronunciada que genera descripciones de los gráficos a partir de la información que contienen (título, ejes, valores, etc.), acompañada por una interfaz que facilita su navegación. Demir, Oliver, Schwartz, Elzer, Carberry, McCoy (2010) presentan Interactive SIGHT, una ayuda técnica que proporciona una descripción textual de gráficos de barras simples disponibles en la Web, así como una interfaz de usuario que permite explorar el gráfico realizando diferentes tipos de consultas. Gao, Zhou y Barner (2012) proponen VIEW (Visual Information Extraction Widget), un sistema capaz de extraer información de un gráfico en formato de mapa de bits, incluido el tipo de gráfico y una tabla con los valores representados. Nazemi y Murray (2013) también desarrollan un software (GraphicReader) pensado para crear una representación textual automatizada del gráfico a la que posteriormente se da acceso a través de su verbalización. Esta representación incluye, en el caso de los gráficos de barras, información como el número de barras utilizadas, los valores de las barras más alta y más pequeña, y de las barras con valores más cercanos, o en el caso de un gráfico circular, el número de porciones representadas y su correspondiente valor. Kallimani, Srinivasa y Eswara (2013) proponen un sistema que, tras procesar individualmente los componentes gráficos y textuales de un gráfico, es capaz de generar descripciones automatizadas en lenguaje natural. Finalmente, De (2018) aunque sin orientarse específicamente al ámbito de la accesibilidad digital, propone un algoritmo para el reconocimiento automático de los datos asociados a un gráfico circular en dos y tres dimensiones, con el objetivo de generar alternativas en forma de tabla.

Trimestre	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 trimestre	6278,2	5933,3	5444,6	4791,4	4255	3796,1
2 trimestre	6047,3	5622,9	5149	4574,7	3914,3	3490,1
3 trimestre	5943,4	5427,7	4850,8	4320,8	3731,7	3326
4 trimestre	5935,6	5457,7	4779,5	4237,8	3766,7	3304,3

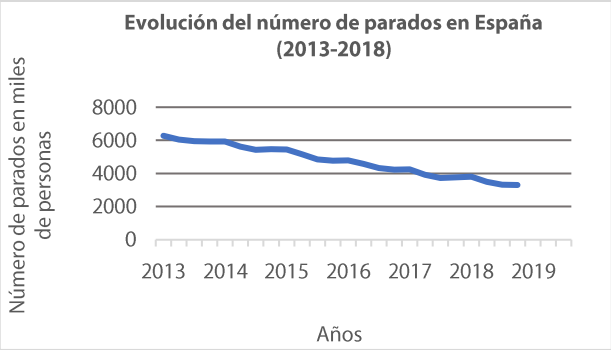

Figura 2: Frente a una tabla de datos, la consulta de un gráfico estadístico permite reconocer mucho más rápido tendencias.[6]

Las tablas contienen exactamente los mismos datos que el gráfico en formato texto. De hecho, las tablas son, en la mayoría de las ocasiones, la fuente de datos a partir de la cual se generan los gráficos estadísticos. Sin embargo, se trata de una alternativa con la que los usuarios que conservan algún resto de visión dejan de verse beneficiados por la capacidad del gráfico para mostrar, de una manera visual y más eficiente, tendencias o comparativas entre variables (figura 2). Por otro lado, el acceso al contenido de una tabla de datos, especialmente, si se trata de una tabla compleja, puede ser

[6] Tabla y gráfico elaborado por los autores a partir de los datos disponibles en: http://tiny.cc/0k4hhz.

arduo para los usuarios de lectores de pantalla, sobre todo, en aquellos casos en los que las tablas no están convenientemente creadas. En este sentido, navegar entre celdas e ir leyendo los valores asociados a sus respectivos encabezados de columna o de columna y fila, implica para los usuarios un mayor uso de su memoria a corto plazo, así como la consecución de una tarea que implica una mayor carga cognitiva.

Para un ordenador o software, el texto es la morfología de contenido más fácil de procesar y manipular, pudiendo convertirlo con relativa facilidad a otros formatos como la voz. Las personas con baja visión usuarias de lectores de pantalla se pueden beneficiar de las alternativas textuales en el sentido que su inclusión favorece una mejor compatibilidad con estas ayudas técnicas. Estos usuarios también se benefician si los autores de los gráficos les ofrecen sistemas que les permitan personalizar la apariencia del gráfico según sus preferencias. Esto es, cambiar las combinaciones de colores, la fuente tipográfica, o el tamaño del texto, entre otras.

6.1.1 Otros elementos textuales presentes en los gráficos estadísticos que pueden influir en su accesibilidad

Más allá de los elementos creados específicamente para funcionar como una alternativa a los elementos no textuales, los gráficos estadísticos acostumbran -o pueden- presentar diferentes textos que los acompañan formando, en algunos casos, parte fundamental de ellos.

Uno de estos elementos son las leyendas, utilizadas para facilitar la interpretación de las marcas y variables utilizadas (Feria, 2010), por ejemplo, relacionando una escala de colores con sus valores numéricos asociados.

Otro elemento presente son las etiquetas. Éstas dotan a los gráficos de información de carácter textual acerca de la variable y categoría representadas. El uso de etiquetas sobre gráficos en formato de imagen de mapa de bits puede comportar problemas para determinados perfiles de usuario. Por un lado, las personas ciegas o con muy poco resto de visión no podrán acceder a ese contenido, a no ser que el documento haya pasado por un proceso de reconocimiento óptico de caracteres que, para obtener buenos resultados, requiere de una imagen de calidad mínima. Por otro lado, las personas con baja visión pueden tener problemas en la lectura de unos textos disponibles en una fuente tipográfica, tamaño o color, que pueden no ser los más adecuados para ellos y que no podrán adaptar fácilmente.

Estos problemas asociados a las etiquetas y que se pueden dar tanto en el contexto de un documento ofimático, como en el de un web, se pueden solventar con el uso de gráficos dinámicos o creados con el estándar SVG. En este tipo de visualizaciones, el etiquetado de elementos no suele ser una imagen de texto, sino que es texto puro. Esto permite a las ayudas técnicas acceder a ese contenido y transmitirlo al usuario. Por otro lado, también se antoja viable, la posibilidad de ofrecer al usuario diferentes hojas de estilo para que escoja aquella que se adapte mejor a sus necesidades o preferencias. En el mismo sentido, un gráfico de estas características podría adaptarse automáticamente mediante otras ayudas técnicas como, por ejemplo, las que permiten sobrescribir la hoja de estilos del sitio web por una con alto contraste.

Por otro lado, los pies de imagen -o de figura- constituyen una breve explicación o comentario acerca del elemento no textual al que acompañan. En algunos casos, los autores o editores se limitan a utilizarlos en sustitución del título del gráfico, mientras que, en otros casos, incluyen en ellos información adicional de interés para comprender el mensaje que se intenta transmitir, ampliar la información contenida en el gráfico con conclusiones o aportaciones del autor, resumir sus aspectos más relevantes, o proporcionar la fuente de los datos, entre otras.

Del estudio del valor informativo de los pies de imagen de los gráficos publicados en la literatura científica, se han encargado autores como Elzer, Carberry, Chester, Demir, Green, Zukerman, Trnka, (2007), Agarwal y Yu (2009) o Yu, et al. (2009), cuyos estudios han demostrado que se trata de una información necesaria para la comprensión de ese contenido. Esto se debe, en buena parte, a que a menudo contienen los resultados más importantes de la investigación (Cohen, Wang, Murphy, 2003). Con el objetivo de automatizar su creación, Mittal, Carenini, Moore y Roth (1998) proponen un marco de trabajo basado en diferentes sistemas para la generación automatizada de pies de imagen en lenguaje natural.

Por su parte, Splendiani (2015) sintetiza la información recomendada que deberían incluir para ser lo más informativos posibles en el contexto de un trabajo científico. En este sentido y, atendiendo al ámbito que nos ocupa, destacan aspectos como el significado de las abreviaturas utilizadas, el enlace a la fuente de datos, las unidades de medida o los detalles del análisis estadístico (desviación estándar, valor p…).

6.1.2 Metodologías para la elaboración de alternativas textuales

El principal documento de referencia en el ámbito de la accesibilidad digital, las WCAG, no cubre ni ofrece metodologías o pautas específicas para la elaboración de ninguno de los tipos de alternativas textuales vistas en el

punto anterior. Sí existen algunos ejemplos de textos alternativos o descripciones largas en algunos documentos de referencia relacionados con las directrices del W3C (2016c). No obstante, tanto en la literatura científica, como fruto del trabajo de diferentes organizaciones, se han venido publicando en los últimos años diversas recomendaciones en este sentido.

Ault, Deloge, Lapp & Morgan (2002) proponen una serie de elementos que debe incluir la alternativa textual de un gráfico de puntos y líneas. En primer lugar, ha de indicar que se trata de un gráfico de líneas; a continuación, describir el eje horizontal, el vertical, las etiquetas y las unidades utilizadas, además de informar acerca del rango numérico de cada eje; posteriormente, describir la forma de la línea, indicando el punto de inicio, la dirección y el tipo de recorrido (ascendente o descendente); también los puntos y, en el caso de que no los haya, la estimación de sus valores; finalmente, describir el tipo de tendencia. Un proceso que se debe repetir para cada una de las líneas que forman el gráfico, sin olvidar indicar en la descripción si éstas se cruzan en algún punto.

Entre las iniciativas más relevantes relativas a la descripción de gráficos, destacan las directrices del National Center for Accessible Media (Gould, O'Connell, Freed, 2008), ampliadas posteriormente por las Image description guidelines del DIAGRAM Center (2015), que proponen una serie de recomendaciones para la descripción de gráficos de barras, líneas, gráficos circulares o diagramas de dispersión, entre otros. Las directrices se centran en proporcionar alternativas de texto. Fundamentalmente, se recomienda acompañarlos de tablas accesibles que contengan los mismos datos. También se recomienda el etiquetado de los ejes, así como inlcuir un título y descripción adecuados. Por lo que respecta a los atributos visuales de los gráficos -por ejemplo, los colores-, las directrices especifican en todos los casos que no es necesario describirlos siempre y cuando, en el contexto de una prueba o examen, no se haga referencia explícita a ellos.

El mismo DIAGRAM Center desarrolló un asistente para la descripción de algunos de los tipos de gráficos más comunes, de acuerdo con las directrices elaboradas por el NCAM STEM (Gould, O'Connell, Freed, 2008). En él se proponen una serie de preguntas sobre el gráfico en relación con su título, los títulos de los ejes o los valores mínimos y máximos, hasta llegar a una descripción que se ofrece como resultado final.

6.2 Sonificación

Diferentes autores han explorado el uso de técnicas relacionadas con la "sonificación", definida como una técnica de representación de la información a través del sonido, pero en la que se prescinde de la voz (Kramer, 1994). En este sentido, se ha explorado el mapeo de gráficos a tonos musicales (Cohen, Yu, Meacham, & Skaff, 2005) y vibraciones (Evreinova, Raisamo, & Vesterinen, 2008), el uso de sonidos para comunicar tendencias (Alty & Rigas, 1998, 2005; Walker & Nees, 2005) o la utilización del volumen, el timbre y la posición, para representar aspectos cuantitativos y cualitativos (Franklin & Roberts, 2003) (Treviranus, Mitchell, & Clark, 2018). También se ha analizado la precisión de estas técnicas utilizando diferentes combinaciones de instrumentos (Brown & Brewster, 2003).

La sonificación es una buena alternativa cuando queremos permitir a los usuarios con discapacidad visual observar las formas de una curva. No obstante, su aplicabilidad es más limitada en el caso de ciertos tipos de gráficos como los diagramas de dispersión (Doush, Pontelli, Simon, Cao, & Ma, 2009). Por otro lado, si bien pueden ser beneficiosas para determinados perfiles de usuario como las personas ciegas, muestran una menor utilidad en los casos de las personas que encontramos bajo el perfil de baja visión. En cuanto a su uso, es importante procurar no interferir en la verbalización de contenido del lector de pantalla, permitiendo a los usuarios activar o desactivar esta funcionalidad cuando así lo precisen.

6.3 Alternativas táctiles

Las alternativas táctiles o hápticas constituyen una solución centrada en convertir la información digital en algo tangible, proporcionando un nuevo medio o dimensión que permite y facilita la exploración y análisis de los datos a personas con discapacidad visual. La creación de versiones táctiles de gráficos y mapas cuenta con una importante tradición, existiendo incluso directrices específicas para su diseño (Braille Authority of North America, 2012).

En relación con este tipo de alternativas, son dos los tipos de gráficos con los que se ha experimentado: gráficos de línea elevada (*raised-line*) y gráficos en relieve (*relief*). Los primeros representan los límites de cada uno de los elementos que forman el gráfico mediante líneas elevadas, mientras que los segundos representan la intensidad o color de los elementos a partir de diferentes alturas (Krufka & Barner, 2006).

Ina (1996), Ladner, Ivory, Rao y Burgstahler (2005), Miele y Marston (2005) y Watanabe, Toshimitsu, Koda, & Minatani (2014) proponen sendas herramientas semiautomatizadas para la conversión de diferentes tipos de gráficos a representaciones táctiles. La propuesta de Ladner et al. (2005) aborda la concepción teórica de un asistente denominado Tactile Graphics, encargado de automatizar un flujo de trabajo para la adquisición de la imagen a través de un escáner, su clasificación (ilustración, diagrama, gráfico...), segmentación (bloques de texto y gráficos), el reconocimiento óptico de

caracteres, la traducción a Braille, la simplificación de la imagen, el diseño de la forma y la creación de la versión táctil.

Las aproximaciones anteriores se basan, en gran medida, en el uso del Braille para representar los gráficos, así como del papel en relieve para las líneas y puntos. No obstante, este tipo de alternativas suponen algunas limitaciones importantes como el hecho de que no todas las personas ciegas o con discapacidad visual conocen el Braille, o la pobre precisión alcanzada con estas técnicas en vistas a representar determinados detalles complejos propios de los gráficos. En el contexto de esta investigación, el uso del Braille tampoco aplica, al tratarse de un sistema de lectura y escritura utilizado, básicamente, por las personas ciegas.

Por otro lado, este tipo de técnicas suponen una importante limitación en la autonomía de las personas al depender de impresoras, software específico y expertos en el uso de unas tecnologías que no están al alcance de todos los públicos, tanto por lo que respecta a su coste, como a las competencias necesarias para utilizarlas (Engel, Weber, 2017).

Otro déficit característico de este tipo de alternativas es el hecho de que el resultado final es una versión estática, sobre la que no se puede o es muy difícil, realizar modificaciones de ningún tipo, y cuya reutilización es también muy limitada. Un déficit solventado, en parte, por otros trabajos que abordan soluciones algo más interactivas (Morash, Russomanno, Gillespie, & O'Modhrain, 2017). Como en el caso, de la sonificación, las alternativas táctiles recogidas en la literatura se centran en aportar soluciones a los usuarios ciegos, y no tanto a los diferentes perfiles de baja visión.

6.4 Presentaciones multimodales

La interacción multimodal propone la posibilidad de acceder al contenido mediante una o varias combinaciones basadas en el texto, el sonido o el tacto (Kouroupetroglou & Tsonos, 2008). Con las presentaciones multimodales se pretende conseguir la accesibilidad de los gráficos para diferentes perfiles de discapacidad mediante la combinación de diferentes tipos de alternativas útiles para cada uno de ellos, constituyendo la que se antoja como la opción más adecuada para conseguir la accesibilidad universal del contenido.

Una buena parte de las alternativas hápticas propuestas en la literatura combinan la generación de alternativas táctiles con la verbalización de información adicional o el uso de la sonificación como solución para mitigar las limitaciones propias de estas soluciones. Algunas propuestas en este ámbito son las de Kennel (1996), Fritz y Barner (1999) que además utilizan una fuente de luz para presentar los ejes y las líneas de cuadrícula de los gráficos; Ramloll, Yu, Brewster, Ridel, Burtor y Dimigen (2000) que combinan una representación táctil con técnicas de sonificación; Yu, Ramloll & Brewster (2000) y Roth, Kamel, Petrucci & Pun (2002) que analizan el uso del soporte de voz junto con la presentación háptica de gráficos; Yu & Brewster (2003) que utilizan el habla para proporcionar información acerca de los valores del gráfico; Iglesias, Casado, Gutierrez, Barbero, Avizzano, Marcheschi, & Bergamasco (2004) que introducen un entorno virtual que combina señales sonoras y hápticas, a través de una interfaz que permite el acceso a personas con discapacidad visual, a diferentes tipos de mapas y gráficos estadísticos (de líneas, de barras y circulares); McGookin & Brewster (2006) que, además del habla, incorporan dispositivos Phantom Omni -pensados para el modelado 3D-, capaces de captar el tacto, junto con el uso de esquemas de color en alto contraste para aquellos usuarios con algún resto de visión; Wall y Brewster (2006) que proponen el uso de una interfaz que proporciona una versión táctil de un gráfico circular mediante una tableta gráfica y un stylus en combinación con verbalización de información; Doush, et al. (2009) que, a partir de los datos en formato Office Open XML extraídos de un documento Excel, identifican las diferentes instancias disponibles (tipo de gráfico, etiquetas, escalas, etc.) y generan una alternativa táctil en tres dimensiones mediante la API de OpenGL, junto con el soporte de voz proporcionado por la API de Microsoft Speech, que utilizan para proporcionar información acerca del gráfico, así como de la posición en la que se encuentra el usuario; o Goncu, Marriott y Hurst (2010) que analizan la usabilidad de las representaciones táctiles, incluidas pantallas táctiles en combinación con tablas de datos y el soporte del lector de pantalla JAWS. En este último estudio las pruebas con usuarios mostraron una preferencia por la tabla de datos, frente al gráfico táctil; por otro lado, la combinación de audio y tacto, también se demostró más eficiente para la resolución de tareas que cualesquiera de los otros dos sistemas por separado.

6.5 Uso del color

La última actualización de las WCAG ha incorporado un nuevo criterio para alcanzar el nivel de conformidad doble A relativo a los colores. Se hace necesario un contraste mínimo de 3:1 entre colores adyacentes utilizados para cualquier componente de la interfaz de usuario, así como para objetos gráficos como iconos, infografías o gráficos estadísticos.
Olson y Brewer (1997) (2016) han ahondado en la selección de esquemas de colores para el diseño de mapas adecuados para personas con VCD. El trabajo de Brewer orientado al uso de color en mapas ha derivado en la creación de una herramienta específica que permite seleccionar diferentes esquemas de colores seguros para personas con ceguera al color, pensados para la combinación de hasta 4, 9 y 11 categorías distintas de variables de tipo cualitativo, secuencial y divergente,

respectivamente (Brewer & Harrower, 2013). No obstante, esta herramienta no atiende a otros requisitos relacionados con el color y las personas con baja visión, como es la sensibilidad al contraste (imagen 3).

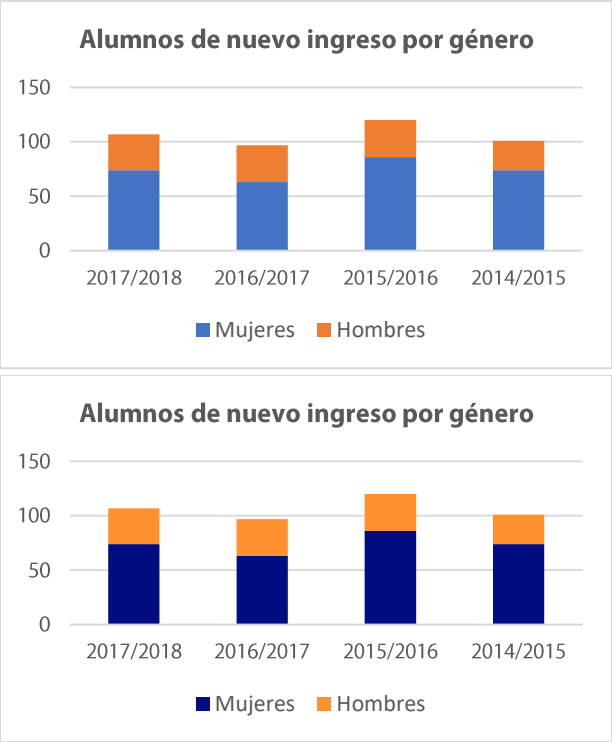

Imagen 3: En la parte superior, se observan los colores ofrecidos por defecto por Microsoft Excel cuando generamos un gráfico de barras apiladas. Este esquema de colores presenta un contraste insuficiente (1.7:1). En la parte inferior, se observa el mismo gráfico, pero con una combinación de colores con un contraste de 6.86:1.

Más allá del trabajo de Brewer, la selección de combinaciones de colores seguras para los diferentes tipos de VCD, también se ha abordado en otros ámbitos como el de la optometría o en el de la interacción persona-ordenador y la visualización de la información (Gretchen, 2012) (Albers, 2018), algunos con finalidades específicas como pueden ser la utilidad del color y otras variables visuales para la consecución de determinadas tareas (Albers, Correll & Gleicher, 2014) (Adnan, Just, & Baillie, 2016), realizar juicios estadísticos sobre grandes colecciones de datos (Correll, Albers, & Franconeri, 2012), o lograr alcanzar una percepción más precisa de los datos científicos a través de mapas de colores (Nuñez, Anderton, & Renslow, 2018).

De la extracción de información de diferente índole de un gráfico a partir del uso de diferentes tipos de marcas y variables visuales (posición, longitud, ángulo, volumen o color se ocupan Cleveland y McGill's (1984). Un trabajo ampliado en cuanto al uso del color se refiere por Mackinlay (1986), con una propuesta que ordena de mayor a menor eficiencia, atributos como el tono, la saturación o la luminosidad, en vistas a comunicar de la manera más eficiente posible diferentes tipos de variables (cuantitativas, ordinales y nominales).

El uso del color puede resultar efectivo como código nominal en vistas a clasificar elementos bajo diferentes categorías. El resto de las alternativas, incluido el uso de escalas de grises resulta mucho menos efectivo (Ware, 2012). No obstante, deben tenerse en cuenta algunos factores en su selección para asegurar que cualquier persona pueda comprender la información que transmiten. Ware, destaca la distinguibilidad, el contraste suficiente, el tono, evitar combinaciones potencialmente conflictivas para personas con VCD, utilizar un número reducido de colores (entre cinco y diez), aplicarlos en áreas con tamaños suficientes y seguir convenciones culturales universales respecto al significado de cada color. Por otro lado, los experimentos conducidos por Post y Greene (1986) relacionados con la denominación de los colores, desvelaron que sólo existen ocho colores más el blanco, que los participantes fueron capaces de nombrar de manera consistente con, al menos, un 75% de fiabilidad, lo que implica que sólo una reducida cantidad de colores pueden ser utilizados para diferenciar categorías de manera efectiva (Ware, 2012).

El uso de patrones y texturas también puede ayudar a los usuarios con baja visión a distinguir las diferentes variables presentes en un gráfico. Una solución que se antoja interesante no sólo para los diferentes perfiles de VCD, sino también como solución para mejorar la accesibilidad contextual del documento, ante situaciones como, por ejemplo, la imposibilidad de imprimir o visualizar el gráfico en color.

6.6 Gráficos dinámicos

En los últimos años han aparecido bibliotecas de software y aplicaciones web basadas en los estándares HTML, CSS, SVG y JavaScript que permiten la creación de gráficos estadísticos dinámicos e interactivos, como alternativa a la creación de imágenes estáticas en formato de mapa de bits, resultado de la exportación de un gráfico generado a partir de un software ofimático o de diseño. Este tipo de gráficos, si se crean siguiendo criterio de accesibilidad, pueden salvar las limitaciones propias de los formatos de mapa de bits que tradicionalmente se utilizan para distribuir y publicar gráficos estadísticos. El nivel de personalización admitido por estas tecnologías, así como las implementaciones concretas de módulos centrados en mejorar la accesibilidad de algunas de ellas, pueden dar como resultado, gráficos marcados con información adicional sobre cada uno de los elementos que los conforman. Esto resulta en un tipo de contenido con el que los usuarios pueden interactuar más fácilmente, percibiendo información adicional al pasar el cursor sobre las diferentes

partes del gráfico o, en el caso de las personas ciegas o con bajo resto de visión, accediendo a esa misma información mediante una interfaz de teclado y un lector de pantalla.

El uso de imágenes en formato SVG (Scalable Vector Graphics) es una recomendación del W3C para imágenes vectoriales, basada en la utilización del formato XML, en la que las características de éstas se codifican como texto plano. Este formato también puede resultar más accesible que las imágenes en mapa de bits, en la mayoría de las situaciones (W3C, 2000). Entre los beneficios del uso de SVG podemos destacar el hecho de tratarse de una solución totalmente estandarizada que permite trabajar la estructura, contenido y presentación de manera separada (Herman & Dardailler, 2002); la posibilidad de ampliar las imágenes tanto como necesite el usuario sin perder calidad, a diferencia de las imágenes en formato de mapa de bits, cuya calidad se ve afectada a medida que se aumenta su tamaño; su compatibilidad con una amplia variedad de agentes de usuario, incluidos los lectores de pantalla (Pavazza & Pap, 2012); su completa integración en el modelo de objetos del documento (DOM) de las páginas web, lo que permite interactuar con ellos para adaptarlos a diferentes presentaciones o estilos; o la posibilidad de incorporar roles o atributos ARIA para cada uno de los polígonos que conforman el gráfico. Respecto a esta última característica, el W3C ha trabajado no sólo los roles y propiedades relacionados con las imágenes entendidas en sentido amplio, sino también algunos específicos orientados al uso de gráficos estadísticos (W3C, 2015, 2018b). Unos atributos que, junto a los atributos ARIA globales pensados para etiquetar información, describir estados, la orientación, etc., permiten crear elementos con información muy pormenorizada acerca de los atributos y valores presentes en un gráfico. Toda esta información adicional sobre el gráfico además de poder mejorar su accesibilidad también es indexada por los motores de búsqueda, mejorando así también la posibilidad de posicionar mejor este contenido en las páginas de resultados de búsqueda de los buscadores de Internet (Ferraz, 2017).

Sobre la base de estas características y posibilidades del formato SVG, se han desarrollado herramientas de software capaces de transformar automáticamente un gráfico en este formato, en una alternativa táctil con soporte de un sintetizador de voz (Rotard, Otte, & Ertl, 2010). También Weninger, Ortner, Hahn, Druemmer y Miesenberger (2016) buscan mejorar la accesibilidad de los gráficos generados en formato SVG mediante la integración de información descriptiva y navegacional adicional.

Más allá de estos trabajos centrados en el estándar SVG, la literatura científica no recoge trabajos centrados en analizar las posibilidades de estas herramientas de software. Sólo Gies (2018) y Bert & Hayes (2018) han publicado sendos trabajos centrados en explicar con un carácter más divulgativo, el trabajo que están realizando Scopus y Elsevier, respectivamente, con el objetivo de incorporar estas tecnologías en sus publicaciones. No obstante, en la actualidad, encontramos un importante número de soluciones tecnológicas que dan soporte a la creación de gráficos dinámicos, distribuidas en forma de bibliotecas de JavaScript o integradas como parte de paquetes o aplicaciones comerciales de diseño o creación de visualizaciones. En las tablas 2 y 3, se recogen algunas a modo de ejemplo.

Entre las aplicaciones localizadas, destacan dos por su grado de implantación y consolidación en el mercado, así como por los esfuerzos realizados por parte de sus desarrolladores o comunidades para incorporar criterios de accesibilidad, Data-Driven Documents (D3) y Highcharts.

D3 es una biblioteca de JavaScript basada en el uso de estándares como HTML5, CSS y SVG que, en el contexto de un documento HTML, utiliza funciones en este lenguaje de programación para acceder al DOM, seleccionar elementos HTML, insertar objetos SVG, agregarles información, asignarles estilos, transiciones y otros efectos dinámicos (Bostock, Ogievetsky, & Heer, 2011). En cuanto a características relacionadas con la accesibilidad, el hecho de tratarse de elementos nativos del estándar HTML que se insertan en el DOM les confiere un alto grado de personalización, permitiendo su manipulación en vistas a ofrecer una versión accesible del gráfico. En este sentido, de la comunidad de desarrolladores de D3 han surgido módulos adicionales que permiten aplicar algunas de las posibles soluciones vistas en apartados anteriores. Este es el caso del uso de patrones para rellenar las áreas de los polígonos.[7][8]

[7] https://riccardoscalco.it/textures/.

[8] https://iros.github.io/patternfills/sample_d3.html.

Tabla 2: Ejemplos de bibliotecas de Javascript para la creación de gráficos estadísticos.

Biblioteca de JavaScript	Sitio web
AnyChart	https://www.anychart.com
CanvasJS	https://canvasjs.com
Chart.js	https://www.chartjs.org
Chartist.js	https://gionkunz.github.io/chartist-js/
Data-Driven Documents (D3)	https://d3js.org/
Google Charts	https://developers.google.com/chart
Highcharts	https://www.highcharts.com/
P5.js	https://p5js.org/libraries/
Recharts	http://recharts.org
Semiotic	https://semiotic.nteract.io
Yahoo User Interface (YUI) Charts module	https://yuilibrary.com/yui/docs/charts/
ZingChart	https://www.zingchart.com/

Tabla 3: Ejemplos de aplicaciones web para la creación de gráficos estadísticos.

Aplicación	Sitio web
Fizzcharts	https://fizz.studio/
Flourish	https://flourish.studio
Tableau	https://www.tableau.com/
Tabulae	http://www.triarilabs.com/en/tabulae

Highcharts es otro ejemplo de biblioteca de JavaScript orientada a la creación de gráficos estadísticos dinámicos que cumple con alguna de las premisas anteriores. Los datos mediante los cuales se construyen los gráficos con esta biblioteca se almacenan en un fichero JSON que sirve de base también para alimentar diferentes atributos HTML a los que las ayudas técnicas como los lectores de pantalla pueden acceder. En el caso de Highcharts, se utiliza el atributo aria-label, de la ontología WAI-ARIA para añadir este contenido a los gráficos.

Adicionalmente, Highcharts cuenta con un módulo opcional[9] que añade algunas características relacionadas con la accesibilidad como el soporte completo para la navegación por los gráficos a través de una interfaz de teclado, mejoras en la compatibilidad con lectores de pantalla y una sección oculta, pero disponible para las ayudas técnicas, con información adicional sobre el contenido, por ejemplo, el resumen o información sobre las series y puntos y el tipo de gráfico representado.

La biblioteca también ofrece funcionalidades que pueden ser útiles en vistas a mejorar la accesibilidad del contenido a través de los módulos que permiten la exportación del gráfico en diferentes formatos, entre los cuales formatos de imagen de mapa de bits, ficheros CSV o XLS, o la generación automática de tablas HTML dentro de la misma página. En el mismo sentido, otro módulo, permite el uso de tramas de patrones SVG, en cualquier elemento que admita el uso de color.

Finalmente, y, a diferencia de D3, Highcharts cuenta con un servicio en la nube que ofrece un editor visual a través del cual la implementación de este tipo de visualizaciones se democratiza al dejar de ser necesarios conocimientos de la tripleta de estándares de desarrollo web (HTML, CSS y JavaScript). Otro aspecto interesante relacionado con esta versión en la nube de Highcharts es la inclusión, por defecto, del módulo de accesibilidad comentado anteriormente. Esta tecnología también se encuentra disponible en forma de módulos para algunos de los principales sistemas de gestión de contenidos del mercado, como WordPress, Squarespace o Drupal, lo que facilita aún más su integración en los sitios y aplicaciones web.

En el siguiente ejemplo, disponible en línea[10] se puede observar un gráfico de línea implementado con Highcharts que incorpora las siguientes características vistas en apartados anteriores: título del gráfico, títulos de los ejes, leyenda, etiquetas de datos, una descripción larga no visible pero disponible para los lectores de pantalla, el uso de colores seguros para los diferentes tipos de VCD y con un contraste suficiente de acuerdo a las WCAG, el uso de diferentes patrones para cada línea, facilitando así su diferenciación en aquellos casos de problemas con el color, la posibilidad de visualizar los mismos datos en formato de tabla y la incorporación de información sobre cada una de las líneas y los puntos de datos del gráfico mediante el atributo aria-label. También incorpora un selector de colores para que cada usuario pueda personalizar el color de cada línea de acuerdo con sus necesidades.

[9] https://www.highcharts.com/docs/accessibility/accessibility-module

[10] http://rubenalcaraz.es/graficos/udl.html.

No podemos realizar un análisis de las aplicaciones para la creación de gráficos estadísticos sin nombrar a la que de alguna manera ha sido, en las últimas décadas, la herramienta más adoptada para la creación de este tipo de imágenes. Nos referimos a Microsoft Excel, una aplicación que, ha ido incorporando paulatinamente, en paralelo al resto de programas de la *suite* a la que pertenece, características para la mejora de la accesibilidad de los documentos ofimáticos generados. En este sentido, Excel permite añadir títulos al gráfico, a los ejes, a las etiquetas de los ejes, o la incorporación de un texto alternativo. No obstante y, a pesar de incorporar algunas ayudas como una herramienta automática de comprobación de la accesibilidad que atiende a algunas características como el uso de textos alternativos o el contraste entre colores, entre otras, no facilita la creación de gráficos a partir de plantillas accesibles, ni evalúa de acuerdo con los parámetros de las WCAG en cuento a valores de contraste, ni alerta al creador cuando utiliza combinaciones de colores no seguras para los usuarios con VCD, por citar sólo algunas de sus limitaciones.

7. Discusión

Mediante esta revisión de alcance se ha intentado dar respuesta a las tres preguntas de investigación planteadas.

En cuanto a las aproximaciones propuestas para mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y VCD, la literatura ha revelado un mayor interés en mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para las personas ciegas o con muy poco resto de visión, no así tanto para otros perfiles de discapacidad visual como los que se enmarcan en las categorías de baja visión y VCD. No obstante, si es cierto que las soluciones planteadas para las personas ciegas pueden suponer también importantes mejoras en la accesibilidad para las personas con baja visión, especialmente aquellas con menor resto visual y usuarias de lector de pantalla. Entre las principales aproximaciones destaca la creación de alternativas textuales a partir de la extracción de información de los gráficos, la creación de alternativas táctiles, el uso de esquemas sonoros para comunicar información y, por último, una aproximación basada en ofrecer acceso al gráfico mediante alternativas multimodales. De las aproximaciones presentes en la literatura, la generación de alternativas textuales y las presentaciones multimodales son las que pueden resultar más útiles para los usuarios con baja visión. Las primeras porque el texto es la morfología de contenido más manipulable, lo que permite fácilmente cambiar su presentación, así como convertirlo a voz mediante un sintetizador. Por lo que respecta a las alternativas multimodales, ofrecen diferentes maneras de interactuar y acceder al contenido. En ambos casos, se obtiene la tan necesaria flexibilidad requerida a la hora de trabajar con un perfil de discapacidad como la baja visión con una variabilidad tan alta en cuanto a agudeza y campo de visión, sensibilidad al contraste, o a la luz. En cuanto a las personas con VCD, se han localizado diferentes trabajos y herramientas que proponen esquemas de colores seguros que, si bien surgen en su mayoría del ámbito cartográfico, también son aplicables al caso que nos ocupa.

Con respecto a la existencia de pautas o guías para la creación de gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y VCD, sólo se ha localizado la publicada por el Diagram Center dirigida indistintamente a personas ciegas y con baja visión. En este sentido, existe un importante déficit en la existencia de recursos dirigidos a los creadores de contenido para la creación de gráficos accesibles.

Finalmente, con respecto a las soluciones tecnológicas disponibles en el mercado y su capacidad para generar gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y VCD, se ha localizado una nada despreciable cantidad de bibliotecas de JavaScript orientadas la creación de gráficos estadísticos dinámicos capaces de adaptarse para resultar accesibles, sobre todo, en comparación a los gráficos publicados como imágenes en formato de mapa de bits. Algunas de ellas incluso ya cuentan con ciertas características nativas o mediante módulos que forman parte de su núcleo orientados a facilitar la integración de características requeridas para asegurar la accesibilidad del contenido.

La revisión de la literatura incluida en este trabajo se ha realizado de acuerdo con las pautas de una revisión de alcance (Grant & Booth, 2009). Ello implica la evaluación preliminar del tamaño potencial y del alcance de la literatura científica disponible, junto con un comentario narrativo los artículos seleccionados. Una revisión sistemática, con un proceso de evaluación formal de la calidad de la evidencia citada en la literatura podría mejorar el rigor de la investigación. No obstante, la intención de los autores es ofrecer una panorámica de las soluciones y tendencias existentes y no evaluar la validez de los experimentos citados.

8. Conclusiones y trabajo futuro

Como síntesis de las normativas, directrices y trabajos citados se pueden apuntar algunas conclusiones. En primer lugar, parece clara la importancia creciente de los gráficos estadísticos en nuestros quehaceres diarios, lo que obliga a prestar especial atención a la accesibilidad de este tipo de recursos. La prevalencia de usuarios con baja visión en la sociedad también es un indicador que nos pone en alerta en cuento a la necesidad de ofrecer soluciones que aseguren el acceso de este colectivo a la información. Mientras que las

soluciones planteadas en la literatura se centran en las personas ciegas, existe un déficit importante de trabajos centrados en los diferentes perfiles de baja visión. De las cuatro aproximaciones planteadas por la comunidad científica para abordar la accesibilidad de los gráficos, el trabajo con las alternativas textuales y el buen uso de otros elementos de texto como leyendas, pies de imagen o etiquetas pueden ser beneficiosos para los usuarios con baja visión, debido a las características propias de una morfología de contenido altamente flexible y manipulable que puede ser reproducida por un lector de pantalla o modificada para adaptarse a las necesidades de tamaño y contraste de cada usuario. También el uso de colores seguros, un contraste suficiente, y patrones y texturas para diferenciar marcas se antojan como soluciones efectivas de acuerdo con las necesidades y características de las personas con visión cromática deficiente. Todas estas aproximaciones pueden abordarse sobre la base tecnológica, ya consolidada, de alguna de las bibliotecas de JavaScript existentes para la creación de gráficos estadísticos dinámicos. Una tecnología que, como se ha comentado, ofrece una flexibilidad suficiente para llevar a cabo todas las propuestas anteriormente descritas a partir de personalizaciones o nuevos módulos que presten atención a las necesidades específicas de los diferentes perfiles de usuario con baja visión.

En trabajos futuros, nuestro objetivo es desarrollar una metodología de evaluación de la accesibilidad de gráficos estadísticos orientada a las necesidades de las personas con baja visión y VCD, el análisis de las soluciones tecnológicas existentes para el diseño y creación de gráficos estadísticos accesibles, así como la elaboración de una guía para la creación de gráficos accesibles para este colectivo.

Referencias

Adnan, M., Just, M., & Baillie, L. (2016). Investigating time series visualizations to improve the user experience. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 5444-5455.

Agarwal, S. & Yu, H. (2009). FigSum: automatically generating structured text summaries for figures in biomedical literature. *Proceedings of the 2009 Anual Symposium of the American Medical Information Association (AMIA).* American Medical Information Association, San Francisco, CA, pp. 6-10.

Albers, D., Correll; M., & Gleicher, M. (2014). Task-driven evaluation of aggregation in time series visualization. *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in Computing Systems*, pp. 551-560.

Albers, D. (2018). Modeling color difference for visualization design. *IEEE transactions on visualization and computer graphics, 24*(1), pp. 392-399.

Alty, J. L. & Rigas, D. (1998). Communicating graphical information to blind users using music: the role of context. *Proc. of CHI-98, Human Factors in Com-puter Systems*, pp. 574–581.

Alty, J. L., Rigas, D. (2005). Exploring the use of structured musical stimuli to communicate simple diagrams: the role of context. *International journal of human-computer studies, 62*(1), pp. 21-40.

American Optometric Association. (2019). Color vision deficiency. En: *Glossary of common eye & vision conditions.* https://www.aoa.org/patients-and-public/eye-and-vision-problems/glossary-of-eye-and-vision-conditions/color-deficiency.

Ault, H. K., Deloge, J. W., Lapp, R. W., & Morgan, M. J. (2002). Evaluation of long descriptions of statistical graphics for blind and low vision web users. *8th International Conference, ICCHP 2002*, pp. 517-526.

Bert, A., Hayes, L. M. (2018). Making charts accessible for people with visual impairments. *Elsevier connect.* https://www.elsevier.com/connect/making-charts-accessible-for-people-with-visual-impairments.

Bostock, M., Ogievetsky, V., & Heer, J. (2011). D3: Data-Driven Documents. *IEEE Trans. Visualization & Comp. Graphics (Proc. InfoVis).* http://vis.stanford.edu/files/2011-D3-InfoVis.pdf

Bourne, Rupert R. A., Flaxman S.R., Braithwaite T., Cicinelli M.V., Das A., Jonas J.B., Keeffe J., Kempen J.H., Leasher J., Limburg H., Naidoo K., Pesudovs K., Resnikoff S., Silvester A., Stevens G.A., Tahhan N., Wong T.Y. & Taylor H.R. (2017). Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis. *Lancet global health, 5*(9), pp. 888-897. https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2214-109X%2817%2930293-0.

Braille Authority of North America. (2012). *Guidelines and standards for tactile graphics.* http://brailleauthority.org/tg/web-manual/.

Brewer, C. A. (2016). *Designing better maps: a guide for GIS users.* 2nd ed. Redlands (Calif.): ESRI Press.

Brewer. C. A., Harrower, M. (2013). ColorBrewer 2.0: color advice for cartography. Pennsylvania State University, http://colorbrewer2.org.

Brown, L. M. & Brewster, S. A. (2003). Drawing by ear: interpreting sonified line graphs. *Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display.* Boston, MA: ICAD, pp. 152-156. http://icad.org/Proceedings/2003/BrownBrewster2003a.pdf.

Carberry, S., Elzer. S, & Demir, S. (2006). Information graphics: an untapped resource for digital libraries. SIGIR 2006: proceedings of the 29th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, pp. 6-11.

Chester, D. & Elzer, A. (2005). Getting computers to see information graphics so users do not have to. *Proceedings of the 15th Int'l Symposium on Methodologies for Intelligent Systems (ISMIS)*, pp. 660-668.

Cleveland, W. S., McGill, R. (1984). Graphical perception: theory, experimentation, and application to the development of graphical methods. *Journal of the American Statistical Association, 79*(387), pp. 531-554.

Cohen R. F., Yu, R., Meacham, A., & Skaff, J. (2005). PLUMB: displaying graphs to the blind using an active auditory interface. *Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 182-183.

Cohen, W.W., Wang, R., Murphy, R.F. (2003). Understanding captions in biomedical publications. *Proceedings of the ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 499-504.

Colour Blindness Awareness. (2017). *Colour blindness*. http://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/.

Corio, M. & Lapalme, G. (1999). Generation of texts for information graphics. *Proceedings of the 7th European Workshop on Natural Language Generation EWNLG'99*, pp. 49-58.

Correll, M., Albers, D., Franconeri, S. (2012). Comparing averages in time series data. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1095-1104.

De, P. (2018). Automatic data extraction from 2D and 3D pie chart images. *Proceedings of the 8th International Advance Computing Conference, IACC 2018*, p. 20-25.

Demir, S., Oliver, D., Schwartz, E., Elzer S., Carberry, S., McCoy K. F. (2010). Interactive SIGHT demo: Textual summaries of simple bar charts. *ASSETS'10, Proceedings of the 12th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, p. 25-27.

DIAGRAM Center. (2015). *Image description guidelines*. http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html.

Doush, I. A., Pontelli, E., Simon, D., Cao, S. T., & Ma, O. (2009). Making Microsoft Excel™ accessible: multimodal presentation of charts. *Proceedings of the 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. New York, NY: ACM, pp. 147-154.

Elzer, S., Carberry, S., Chester, D., Demir, S., Green, N., Zukerman, I., Trnka, K. (2007). Exploring and exploiting the limited utility of captions in recognizing intention in information graphics. *Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'05)*, pp. 223-230.

Elzer, S., Schwartz, E., Carberry, S., Chester, D., Demir, S. & Wu, P. (2008). Accessible bar charts for visually impaired users. *Telehealth/AT '08 Proceedings of the IASTED International Conference on Telehealth/Assistive Technologies*, pp. 55-60.

Engel, C., Weber, G. (2017). Improve the accessibility of tactile charts. *Human-Computer Interaction - INTERACT 2017*, pp. 187-195.

Evreinova, T. G., Raisamo, R., & Vesterinen, L. (2008). Non-visual interaction with graphs assisted with directional-predictive sounds and vibrations: a comparative study. *Universal access in the information society, 7*(1-2), pp. 93-102. https://doi.org/10.1007/s10209-007-0105-9.

Ferraz, R. (2017). Accessibility and search engine optimization on scalable vector graphics. *4th IEEE International Conference on Soft Computing and Machine Intelligence*, pp. 94-98.

Ferres, L., Verkhogliad, P., Lindgaard, G. Boucher, L., Chretien, A. & Lachance, M. (2007). Improving accessibility to statistical graphs: the InspectGraph system. *Proceedings of the 9th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS 2007*.

Ferres, L., Lindgaard, G., Sumegi L. & Tsuji, B. (2010). Evaluating a Tool for Improving Accessibility to Charts and Graphs. *ACM Transactions on computer-human interaction, 20*,5.

Feria, M. (2010). Consejos para la confección de gráficos científicos. *Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, 20*, pp. 45-56.

Franklin, K. M. & Roberts, J. C. (2003). Pie chart sonification. *Proceedings on Seventh International Conference on Information Visualization*. Los Alamitos, CA: IEEE, pp. 4–9. DOI:10.1109/IV.2003.1217949.

Fritz, J. P., Barner, K. E. (1999). Design of a haptic data visualization system for people with visual impairments. *IEEE Transactions on rehabilitation engineering, 7*(3), pp. 372-384.

Gao, J. Zhou, Y. & Barner, K. E. (2012). VIEW: visual information extraction widget for improving chart images accessibility. *19th IEEE International Conference on Image Processing Image Processing (ICIP)*, pp. 2865-2868.

Gies, Ted. (2018). The ScienceDirect accessibility journey: a case study. *Learned publishing, 31*(1), pp. 69-76.

Goncu, C., Marriott, K., Hurst, J. (2010). Usability of accessible bar charts. International Conference on Theory and Application of Diagrams, Diagrammatic Representation and Inference, pp. 176-181.

Gould, B., O'Connell, T. & Freed, G. (2008). Effective practices for description of science content within digital talking books. En: *Guidelines for Describing STEM Images*. Boston, MA: WGBH National Center for Accessible Media, WGBH Educational Foundation. http://ncam.wgbh.org/experience_learn/educational_media/stemdx.

Grant M.J., Booth A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal, 26*(2), p. 91-108. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19490148. DOI: 10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x.

Greenbacker, C. F., Wu, P., Carberry, S., McCoy, K. F., Elzer, S., McDonald, D. D., Chester, D., Demir, S. (2011). Improving the accessibility of line Graphs in multimodal documents. *Proceedings of the 2nd Workshop on Speech and Language Processing for Assistive Technologies*, p. 52-62.

Gretchen, M. C. (2012). Increasing accessibility for map readers with acquired and inherited colour vision deficiencies: a re-colouring algorithm for maps". *The cartographic journal, 49*(4), pp. 302-311.

Herman, I. & Dardailler, D. (2002). SVG linearization and accessibility. *Computer graphics forum, 21*,4, pp. 777-786.

Iglesias, R., Casado, S., Gutierrez, T., Barbero, J. I., Avizzano, C. A., Marcheschi, S., & Bergamasco, M. (2004). Computer graphics access for blind people through a haptic and audio virtual environment. *Proceedings. Second International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing*, pp. 13-18. DOI: 10.1109/HAVE.2004.1391874.

Ina, S. (1996). Computer graphics for the blind. *ACM SIGCAPH Computers and the Physically Handicapped, 5*, pp. 16-23.

Kallimani J. S., Srinivasa K. G., Eswara R. B. (2013). Extraction and interpretation of charts in technical documents. *Proceedings of the 2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2013*, pp. 382-387.

Kennel, A. R. (1996). Audiograf: a diagram-reader for the blind. *2nd Annual ACM Conference on Assistive Technologies*, pp. 51–56.

Kouroupetroglou, G & Tsonos, D. (2008). Multimodal accessibility of documents, *Advances in Human-Computer Interaction*. Vienna: I-Tech Education and Publishing, pp. 451-470. DOI: 10.5772/5916.

Kramer, K. (1994). Auditory display: sonification, audification, and auditory interfaces. Reading, MA: Addison-Wesley.

Krufka, S. & Barner K. (2006). A user study on tactile graphic generation methods. *Behaviour and information technology, 25*(4), pp. 297-311.

Ladner, R. E., Ivory, M. Y., Rao, R. P. N., & Burgstahler, S. (2005). Automating tactile graphics translation. *Assets '05 Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. New York, NY: ACM, pp. 150-157.

Mackinlay, J. (1986). Automating the design of graphical presentations of relational information. *ACM Transactions on Graphics (TOG), 5*, pp. 110-141.

Mahmood, A., Sarwar, I. S., y Qazi, K. (2014). An automated approach for interpretation of statistical graphics. *Proceedings, 6th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, IHMSC 2014*, pp. 376-379.

McGookin, D. K. & Brewster, S. A. (2006). Soundbar: exploiting multiple views in multimodal graph browsing. *4th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 145-154.

Meeks, E., Cesal, A., & Pettit, M. (2019). Introducing the Data Visualization Society. *Nightingale: the Journal of the Data Visualization Society*. https://medium.com/datavisualization-society/introducing-the-data-visualization-society-d13d42ab0bec.

Miele, J. A. & Marston, J. (2005). Tactile map automated production (TMAP): project update and research summary. *CSUN International Technology and Persons with Disabilities Conference*, pp. 14-19.

Mittal, V. O., Carenini, G. Moore, J. D., & Roth, S. (1998). Describing complex charts in natural language: a caption generation system. Computational Linguistics, 34, pp. 431-468.

Morash. V. S., Russomanno, A., Gillespie, R. B., & O'Modhrain S. (2017). Evaluating approaches to rendering Braille text on a high-density pin display. *EEE transactions on haptics, 11*(3).

Nazemi, A., & Murray, I. (2013). A method to provide accessibility for visual components to vision impaired. *International journal of human computer interaction (IJHCI)*, 4, 1, pp. 54-69.

Nuñez, J. R., Anderton, C. R., Renslow, R. S. (2018). Optimizing colormaps with consideration for color vision deficiency to enable accurate interpretation of scientific data. *PLOS one, 13*(7). DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199239.

Olson, J. M. Brewer, C. A. (1997). An evaluation of color selections to accommodate map users with color-vision impairments. *Annals of the Association of American Geographers, 87*(1), pp. 103-134.

Pavazza, S., Pap, K. The alternative way of creating infographics using SVG technology. *Acta graphica, 23*,1-2, pp. 45-56.

Pilgrim, Mark. (2007). The longdesc lottery. *The WHATWG blog*. https://blog.whatwg.org/the-longdesc-lottery.

Post, D. L., Greene, E. A. (1986). Color name boundaries for equally bright stimuli on a CRT: phase I. *Society for Information Display, digest of technical papers, 86*, pp. 70-73.

Ramloll, R. Yu, W., Brewster, S, Ridel, B., Burtor, M., Dimigen, G. (2000). Constructing sonified haptic line graphs for the blind student: first steps. *Proceedings of ASSETS*, pp. 17-25.

Rotard, M., Otte, K., & Ertl, T. (2010). Exploring Scalable Vector Graphics for visually impaired users. *International Conference on Computers for Handicapped Persons*, pp. 725-730.

Roth, P., Kamel, H., Petrucci L. S., Pun, T. (2002). A comparison of three nonvisual methods for presenting scientific graphs. *Journal of visual impairment and blindness, 96*(6), pp. 420-428, https://archiveouverte.unige.ch/unige:47498.

Splendiani, B. (2015). *A proposal for the inclusion of accessibility criteria in the authoring workflow of images for scientific articles* (Tesis de doctorado, Universitat de Barcelona, Facultat de Biblioteconomia i Documentació). http://hdl.handle.net/10803/386242.

Treviranus, J., Mitchell, J., & Clark, C. (2018). *Sonification, Floe: the inclusive learning design handbook*. https://handbook.floeproject.org/Sonification.html.

Walker, B. N., & Nees, M. A. (2005). An agenda for research and development of multimodal graphs. *Proceedings of ICAD 05-Eleventh Meeting of the International Conference on Auditory Display, Limerick, Ireland*. http://sonify.psych.gatech.edu/ags2005/pdf/AGS05_WalkerNees.pdf.

W3C. (2000). *Accessibility features of SVG*. https://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SVG-access-20000807/.

W3C. (2015). *SVG Accessibility/ARIA roles for charts*. https://www.w3.org/wiki/SVG_Accessibility/ARIA_roles_for_charts.

W3C. (2016a). H37: using alt attributes on img elements. En: *Techniques for WCAG 2.0*. https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/H37.html.

W3C. (2016b). H45: using longdesc. En: *Techniques for WCAG 2.0*. https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/H45.html.

W3C. (2016c). G73: Providing a long description in another location with a link to it that is immediately adjacent to the non-text content. https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/G73.html.

W3C. (2018a). *Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.1*. https://www.w3.org/TR/WCAG21/

W3C. (2018b). *WAI-ARIA graphics module*. https://www.w3.org/TR/graphics-aria-1.0/.

W3C. (2019a). *Understanding success criterion 1.4.11: non-text contrast*. https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/non-text-contrast.html.

W3C. (2019b). *Complex images*. En: Web accessibility tutorials: guidance on how to create websites that meet WCAG. https://www.w3.org/WAI/tutorials/images/complex/.

Wall, S. A., Brewster, S. A. (2006). Tac-tiles: multimodal pie charts for visually impaired users. *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction: changing roles*, p. 9-18.

Ware, C. (2012). *Information visualization: perception for design*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, Morgan Kaufman.

Watanabe, T., Toshimitsu Y., Koda, & Minatani, K. (2014). Tactile map automated creation system using OpenStreetMap. *International Conference on Computers for Handicapped Persons, ICCHP 2014. Computers helping people with special needs*. London: Springer, pp. 42-49.

WebAIM. (2009). *Screen reader user survey #2 results*. https://webaim.org/projects/screenreadersurvey2/.

WebAIM (2013). *Low vision*. https://webaim.org/articles/visual/lowvision.

WebAIM. (2015). *Screen reader user survey #6 results*. https://webaim.org/projects/screenreadersurvey6/.

Weninger, M., Ortner, G., Hahn, T., Druemmer, O. & Miesenberger, K. (2016). ASVG – Accessible Scalable Vector Graphics: intention trees to make charts more accessible and usable. *Journal of assistive technologies, 9*, 4, pp. 239-246.

WHO. (2019). Blindness and vision impairment. En: *Fact sheets*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment.

Yu, H., Agarwal, S., Johnston, M. & Cohen, A. (2009). Are figure legends sufficient? evaluating the contribution of associated text to biomedical figure comprehension. *Journal of biomedical discovery and collaboration, 4*(1). https://dx.doi.org/10.1186%2F1747-5333-4-1.

Yu, W., Ramloll, R., & Brewster, S. (2000). Haptic graphs for blind computer users. *Workshop on Haptic HCI*, pp. 41-51. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.32.4689&rep=rep1&type=pdf.

Yu W. & Brewster, S. (2003). Evaluation of multimodal graphs for blind people. *Universal access in the information society, 2*(2), pp. 105-124. https://doi.org/10.1007/s10209-002-0042-6.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Sección: Grupos de Investigación en IPO

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Laboratorio de Interacción con el Usuario e Ingeniería del Software

Laboratory of User Interaction and Software Engineering

Pascual González López
Dep. Sistemas Informáticos
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
Pascual.Gonzalez@uclm.es

Antonio Fernández Caballero
Dep. Sistemas Informáticos
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
Antonio.Fdez@uclm.es

Arturo S. García Jiménez
Dep. Sistemas Informáticos
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
ArturoSimon.Garcia@uclm.es

M. Teresa López Bonal
Dep. Sistemas Informáticos
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
Maria.LBonal@uclm.es

Víctor López Jaquero
Dep. Sistemas Informáticos
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
VictorManuel.Lopez@uclm.es

Francisco Montero Simaro
Dep. Sistemas Informáticos
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
Francisco.MSimarro@uclm.es

José P. Molina Massó
Dep. Sistemas Informáticos
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
JosePascual.Molina@uclm.es

Rafael Morales Herrera
D. Ing. Eléc., Autom. y Comun.
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
Rafael.Morales@uclm.es

Elena Navarro Martínez
Dep. Sistemas Informáticos
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
Elena.Navarro@uclm.es

José L. de la Vara González
Dep. Sistemas Informáticos
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
JoseLuis.delaVara@uclm.es

Recibido: 09.11.2019 | Aceptado: 18.12.2019

Palabras Clave

Desarrollo Dirigido por Modelos
Sistemas Adaptativos y Colaborativos
Realidad Virtual/ Aumentada
Interacción Multisensorial
Sistemas Ciber-físicos
Computación Afectiva
Evaluación de Señales Fisiológicas

Resumen

El Laboratorio de Interacción con el Usuario e Ingeniería del Software (LOUISE) nace en el año 2000 y durante estos años ha centrado su actividad investigadora dentro del campo de la Interacción Persona-Computador. Su objetivo siempre ha estado dirigido en la *mejora de la calidad de los sistemas interactivos*, para lo cual también se ha apoyado en otras ramas de conocimiento como la ingeniería del software, la inteligencia artificial o el diseño de sistemas de control para el desarrollo de sistemas ciber-físicos. En la actualidad está formado por diez investigadores de plantilla de la Universidad de Castilla La Mancha (UCLM). A lo largo de su trayectoria el LoUISE ha formado a un gran número de investigadores que trabajan tanto dentro como fuera de España. En cuanto a las líneas de investigación, éstas han ido cambiando, centrándose en la actualidad principalmente en el ámbito de la salud.

Keywords

Model Driven Development
Adaptive and Collaborative Systems
Virtual/Augmented Reality
Multisensorial Interaction
Cyberphysical Systems
Affective Computing
Physiolog. Signal Evaluation

Abstract

The Laboratory of User Interaction and Software Engineering (LoUISE) was created in 2000 and during the last years has aimed his research activities towards Human-Computer Interaction discipline. Its goals have been always centred in enhancing the quality of interactive systems. With this aim it has stood on other branches of knowledge such as Software Engineering, Artificial Intelligence or the Design of Control Systems for the development of cyber-physical systems. Nowadays the group consists of ten researchers belonging to the University of Castilla-La Mancha (UCLM). Throughout the trajectory of the group, the laboratory has included

a high number of researchers working both in Spain and abroad. Regarding the research lines, they have changed, currently focusing in health area.

1. Introducción

La Interacción Persona-Ordenador o Human-Computer Interaction (HCI), como disciplina, ha sido una de las que más tarde se ha incorporado a los currícula de las titulaciones de informática en nuestro país. Esta tardanza ha provocado que el nacimiento y la creación de grupos de investigación ligados a esta disciplina haya requerido más tiempo para su desarrollo y consolidación.

Tras el surgimiento de algunos grupos asociados a la investigación en HCI, en el verano del año 2000 se presentan las primeras Jornadas de Interacción Persona-Ordenador. Durante el trascurso de dichas jornadas se constituye de manera definitiva la Asociación de Interacción Persona-Ordenador (AIPO). Así, en este contexto en el año 2000 se crea el Laboratorio de Interacción con el usuario e Ingeniería del Software (LoUISE). En un principio el grupo intenta aunar los trabajos realizados en el ámbito de la informática gráfica y la ingeniería del software. Desde ese momento el grupo LoUISE ha ido creciendo y en la actualidad, éste tiene un carácter multidisciplinar, incorporando doctores de varias disciplinas. A su vez, en ese afán de potenciar esa multidisciplinariedad, el grupo ha ido estableciendo fuertes lazos con otros grupos en el ámbito de la psicología o la medicina, con los que colabora en la realización de trabajos de investigación y en la solicitud de proyectos. Así, es relevante resaltar la pertenencia de varios integrantes del LoUISE, como investigadores asociados, a uno de los grupos del Centro de Investigación Biomédica en Red de Salud Mental (CIBERSAM) del Instituto de Salud Carlos III. Por tanto, esta vocación inicial de fusión de disciplinas ha seguido siendo una de las señas de identidad del grupo LoUISE y un valor que nos permite alcanzar grandes resultados.

2. Composición del Equipo y Líneas de Investigación

En la actualidad el equipo de investigación está formado por diez doctores, siete de ellos profesores de la Escuela Superior de Ingeniería Informática y dos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, ambas pertenecientes a la UCLM. Recientemente se ha incorporado al grupo un investigador Ramón y Cajal dentro de la Escuela Superior de Ingeniería Informática, que completa la plantilla estable del equipo de investigación. Junto a esta plantilla estable, el grupo cuenta con cinco becarios (FPU, FPI o de convocatoria regional) y otros cinco estudiantes que recientemente se han incorporado para realizar su tesis doctoral supervisados por miembros del grupo. A estos hay que sumar otros ocho doctorandos que están siendo codirigidos por investigadores de otras universidades tanto nacionales como internacionales.

Durante estos años se ha mantenido el espíritu inicial de *mejorar la calidad de las interfaces de usuario*, pero las líneas concretas de investigación han ido evolucionando. Una de las primeras líneas de trabajo, la cual ha marcado los trabajos del LoUISE, ha sido el diseño de sistemas interactivos dirigido por modelos. De estos inicios, la aplicación de las ideas asociadas al desarrollo dirigido por modelos, el desarrollo de sistemas adaptativos y colaborativos han sido el eje central de muchos de nuestros proyectos de investigación y todavía son unas de las principales líneas de investigación que han marcado el saber hacer de nuestro grupo, lo cual se ha reflejado en numerosos artículos y tesis doctorales defendidas.

Junto a ello, otro de los intereses del grupo desde sus orígenes ha sido la Realidad Virtual (RV). Esta línea de investigación ha obtenido también excelentes resultados dando lugar a varias tesis doctorales y a un número relevante de publicaciones. A su vez, hemos conseguido adquirir un equipamiento avanzado y completo que sitúa nuestro laboratorio en uno de los mejor equipados en este ámbito. Por otra parte, dentro de esta línea se han incorporado recientemente otros paradigmas de interacción como la Realidad Aumentada (RA), la interacción gestual, la interacción cerebro-computador (BCI), etc., que estamos aplicando con éxito en el desarrollo de sistemas para e-health. Por último, los trabajos en reconocimiento de patrones y visión artificial aplicada a HCI, junto a la fusión de la información han sido otro de los ejes directores de nuestra investigación. Está línea también ha obtenido excelentes resultados tanto en número de tesis dirigidas como en publicaciones relevantes. Igualmente, algunas de esas propuestas de base están sirviendo para el tratamiento de otro tipo de señales en las que estamos ahora centrados, que tienen mucho que ver con la detección de emociones, y que, junto con la regulación emocional, es otra de nuestras líneas de investigación actuales. En base a estos ejes directores, actualmente tenemos cuatro grandes líneas de trabajo (ver figura 1): Ingeniería del software y HCI; Interfaces de próxima generación; Interacción natural y artificial de sistemas; Computación ubicua.

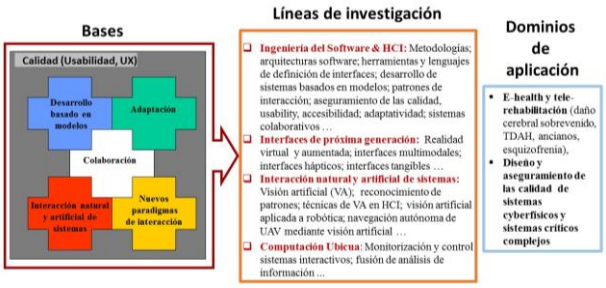

Figura 3: Líneas de investigación y dominios de aplicación.

Aunque en el pasado hemos estado interesados en otros dominios, en la actualidad nos centramos principalmente en el ámbito de la salud y especialmente en el desarrollo de propuestas que permitan a los especialistas crear nuevas terapias que incluso puedan llevarse a cabo en el hogar de los afectados, creando sistemas de tele-rehabilitación o tele-asistencia. Dentro de este dominio hemos desarrollado soluciones tanto para la infancia como para personas mayores. Igualmente estamos trabajando con afectados de perfiles muy diferentes (p.e. Daño Cerebral Sobrevenido o Esquizofrenia). Finalmente, dada las características de los sistemas desarrollados en el ámbito de la salud, los cuales requieren incluir sensores y actuadores que mezclan lo físico y lo ciber, una de nuestras líneas de trabajo está dirigida a este ámbito, analizándose, entre otras, cuestiones ligadas al diseño y aseguramiento de calidad de sistemas ciber-físicos y sistemas críticos complejos.

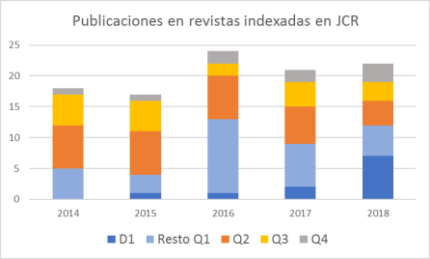

Figura 4: Publicaciones en revistas indexadas, últimos 5 años.

Todo ello nos ha permitido mantener un nivel de publicaciones que consideramos relevante. Como puede verse en la figura 2, en los últimos cinco años hemos publicado algo más de cien artículos en revistas indexadas en JCR, con un alto porcentaje de ellas situadas en el primer cuartil, incluso alcanzando la publicación de siete artículos en revistas del primer decil.

Por último, cabe indicar que durante el año 2019 tenemos activos cuatro proyectos de investigación financiados en convocatorias competitivas: *Entornos inteligentes controlados por respuestas fisiológicas, perceptuales y conductuales ante experiencias emocionales* (DPI2016-80894-R); *Arquitectura y tecnologías Post-WIMP para el desarrollo de entornos VIrtuales Sociales, Multi-sensoriales y Adaptativos en tele-rehabilitación* (TIN2016-79100-R); *Simbiosis humano-avatar en ciberterapias cognitivas: Prueba de concepto para alucinaciones auditivas* (TIN2015-72931-EXP proyecto EXPLORA);*NeUX: Evaluando la eXperiencia de Usuario en personas mayores con técnicas de Neuroevaluación* (SBPLY/17/180501/000192). Estos proyectos están centrados en el ámbito médico y de atención a personas dependientes, aplicando técnicas de Realidad Virtual, análisis de señales fisiológicas y estimulación multisensorial, entre otras.

3. Equipamiento científico

El laboratorio cuenta con un amplio equipamiento para el desarrollo de sistemas interactivos utilizando diferentes paradigmas de interacción (ver figura 3).

Así tenemos sistemas y dispositivos que nos permiten realizar un seguimiento tanto de objetos como de partes concretas del cuerpo (p.e. PhaseSpace, Kinect o Leap Motion), lo cual nos permite diseñar sistema que utilizan interacción gestual. A su vez, disponemos de eye-trackers que nos permiten analizar la mirada del usuario en diferentes entornos, como cuando mira una pantalla, está inmerso en un entorno de RV o realiza acciones en el mundo real. Igualmente, podemos analizar su estado anímico mediante el control de ciertas señales fisiológicas (EEG, EDA, EMG, etc.). Esto nos ayuda a conocer de manera más precisa lo que siente en cada momento y en qué estímulo está centrando la atención en dicho momento.

En el ámbito de la Realidad Virtual y Aumentada, junto a los sistemas de seguimiento que nos permiten conocer la posición, también disponemos de diferentes dispositivos de visualización, ligados a sistemas inmersivos (HTC Vive, Oculus, FOVE, etc.) o semi-inmersivos (pantallas que permiten mostrar imágenes estereoscópicas). Dentro de este ámbito de visualización también disponemos de dispositivos para el desarrollo de sistemas de RA (p.e. HoloLens). Otro aspecto relevante es la capacidad de diseñar sistemas que aprovechen la activación multisensorial. En este caso, los equipos disponibles permiten la estimulación háptica (retorno de fuerza Phantom y Falcon; estimulaciones vibrotáctiles – VITAKI) Por último, también disponemos de mesas interactivas (Microsoft PixelSense) que permiten el manejo de interfaces tangibles o el desarrollo de propuestas colaborativas y distribuidas al unirlas con otros dispositivos (p.e. tabletas o móviles).

Figura 3: Parte del equipamiento científico disponible.

En este ámbito, indicar que recientemente se ha conseguido la concesión de un proyecto de infraestructuras científicas cuyo objetivo es la puesta en marcha de la *Unidad Multidisciplinar en Neurocognición y Emociones.* Este equipamiento vendrá a reforzar las líneas actuales y permitirá abrir nuevos ámbitos de investigación en áreas (p.e neuromarketing, educación, etc).

4. Colaboraciones con otros grupos

Nuestra vocación de apertura a colaborar con otros grupos de investigación no es nueva. En el pasado hemos coordinado dos proyectos del plan nacional en los que han participado investigadores de la Universidad de Granada y de la Universidad de Lleida. Igualmente hemos colaborado con grupos de investigación internacionales como, entre otros, el liderado por el Doctor. Jean Vanderdonckt de la Université Catholique de Louvain (Belgium) dentro del proyecto UsiXML. Así, seguimos interesados en potenciar la colaboración con otros grupos de investigación.

En cuanto a proyectos, en la actualidad estamos principalmente centrado en la solicitud de proyectos de ámbito internacional, principalmente europeo, donde la colaboración con otros grupos es bienvenida.

Por otra parte, el grupo LoUISE está colaborando con grupos de investigación de otras universidades en la impartición de estudios de Másteres, cursos de especialización o escuelas de verano. De este modo, esta línea de trabajo abre otro ámbito donde estamos muy interesados en abrir nuevas colaboraciones.

Otra faceta relevante de nuestra colaboración con otros grupos es en la formación de doctores. En este ámbito tenemos experiencia en la codirección de tesis con investigadores de otras universidades, tanto europeas como iberoamericanas. Así, actualmente se están codirigiendo ocho tesis con investigadores de otras universidades. Igualmente, durante este tiempo hemos recibido a un número considerable de investigadores para la realización de estancias breves.

Otra faceta destacable de nuestra colaboración con otros grupos ha sido la participación en proyectos europeos dentro del ámbito EUREKA, tanto dentro del consorcio CELTIC (MyMobileWeb - ID: CP4-020) como del consorcio ITEA2 (UsiXML. – Ref: 08026). Estos proyectos liderados por grandes compañías punteras como Telefónica I+D y Thales Research & Technology, nos han permitido colaborar no sólo con grupos de investigación relevantes en el ámbito internacional sino también con un gran número de empresas.

5. Conclusiones y líneas futuras

Como se deriva de las actividades desarrolladas, el LoUISE es un grupo consolidado con amplia experiencia en el desarrollo de propuestas dentro del ámbito de HCI. Esta larga trayectoria nos ha permitido colaborar con un amplio número de grupos de investigación. Igualmente, durante estos años nos hemos dotado de un equipamiento avanzado que nos permite desarrollar sistemas interactivos utilizando paradigmas de interacción novedosos.

A nivel de resultados de investigación, tanto el número de proyectos como el número y calidad de las publicaciones es elevado, lo cual muestra la calidad investigadora de sus integrantes y las garantías de colaboración tanto desde la perspectiva de transferencia de resultados a la industria como de proyectos de investigación básica o aplicada.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Investigación de HCI en Colombia: Perspectiva del Grupo IDIS

HCI In Colombia: IDIS Research group perspectives

César A. Collazos
Dept Sistemas
Universidad del Cauca
Popayán, Cauca, Colombia
ccollazo@unicauca.edu.co

Julio Hurtado
Dept Sistemas
Universidad del Cauca
Popayán, Cauca, Colombia
jhurtado@unicauca.edu.co

Pablo Magé
Dept Sistemas
Universidad del Cauca
Popayán, Cauca, Colombia
pmage@unicauca.edu.co

Francisco Pino
Dept Sistemas
Universidad del Cauca
Popayán, Cauca, Colombia
fjpino@unicauca.edu.co

Recibido: 12.11.2019 | Aceptado: 18.12.2019

Palabras Clave

IDIS
Ingeniería de Software
Ingeniería de la Colaboración
HCI
TIC y
Educación

Resumen

El Grupo IDIS (Investigación y Desarrollo en Ingeniería del Software), es un equipo de profesionales e investigadores cuya misión es proveer acompañamiento, asesoría y desarrollo de soluciones integrales que soporten las diferentes necesidades relacionadas con la Ingeniería del Software y el Diseño Centrado en el Usuario. El grupo está enmarcado dentro del Departamento de Sistemas de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca-Colombia. Este trabajo describe las principales tareas y logros del grupo y el impacto que ha tenido en promover HCI no solo a nivel de Colombia sino a nivel Latinoamericano.

Keywords

IDIS
Software Engineering
Collaborative Engineering
HCI
ICS and Education

Abstract

IDIS Research Group is a research group which main goal is to support consulting development and advisory of software solutions centred on the user relted with Softwre engineering and User Centered Design. This group belongs to the Faculty of Electronics and Telecommunications at University of Cauca-Colombia. This paper describes the main tasks of the group in order to promote HCI education in Colombia and some Latinamerican countries.

1. Introducción

El área de Interacción Humano-Computador (HCI) comienza a ser reconocida como una disciplina dentro del currículo académico a comienzos de los años 80. Desafortunadamente en la mayoría de los países latinoamericanos esta área no ha evolucionado de la forma como uno esperaba. Muchas razones han influido para que HCI no sea considerada un área de formación básica en los currículos actuales en los programas de Ingeniería de Sistemas (nombre equivalente a las ciencias de la computación) en éstos países (Collazos, Granollers, Ortega, Rusu, Gutiérrez, 2016). Es por esta razón, que se hace necesario comenzar a definir mecanismos para incentivar el área de HCI en países latinoamericanos. Una de estas iniciativas ha sido la formación de grupos de Investigación especializados en el área. De esta forma, surge el grupo IDIS (Investigación y Desarrollo en Ingeniería del Software), como una propuesta para trabajar los temas relacionados con la Interacción Humano Computador. Este artículo pretende mostrar lo que el grupo ha venido realizando en los últimos años en pro de fomentar la línea de HCI no solo a nivel de Colombia sino en diversos países Latinoamericanos. La siguiente sección, describe los objetivos del grupo, posteriormente se describen las líneas de interés e investigación el grupo realiza. En la Sección 4 se presentan algunas de las iniciativas más relevantes que el grupo ha estructurado, y finalmente algunas conclusiones.

2. Descripción del Grupo

El Grupo IDIS (Investigación y Desarrollo en Ingeniería del Software), es un grupo de investigación, el cual fue creado en Diciembre de 2004 y actualmente tiene la máxima categoría de investigación en Colciencias - Colombia (Categoría A1). Fue clasificado entre los 10 mejores grupos de Ingeniería de Sistemas y Software en Latinoamerica (CEELAM). En los últimos años ha sido seleccionado por Group Sapiens Research como uno de los 20 grupos de más productividad a nivel de Colombia. La investigación dentro del grupo IDIS, corresponde al elemento central, y se tiene como uno de los objetivos del grupo aunar esfuerzos para poder consolidar el grupo como líder en las temáticas que se trabajan, por esta razón se tiene como estrategia el poder integrarse en pro de pocas líneas que permitan lograr una consolidación regional, nacional e internacional. El grupo articula sus iniciativas en los tres componentes sustanciales de la vida Universitaria: Docencia, Investigación y Proyección Social. En Docencia, el Grupo soporta actividades en el Programa de Ingeniería de Sistemas (Pregrado) y en postgrado, donde participa en dos programas dentro de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones; Maestría en Computación, Doctorado en Ciencias de la Electrónica, en el área de Computación.
En Investigación, el grupo trabaja en 5 líneas esenciales, las cuales se describen a continuación:

1. Interacción Humano Computador (Usabilidad, Accesibilidad, Diseño Centrado en el Usuario). En esta línea de tiene como iniciativas las siguientes actividades:
    a. Evaluación de Interfaces
    b. Acompañamiento a la mejora de interfaces.
    c. Acompañamiento a la apropiación de técnicas y metodologías de Diseño centrado en el Usuario por parte de equipos de desarrollo de Software.
    d. Acompañamiento a la internacionalización de software.
    e. Acompañamiento y asesoría en evaluación de la usabilidad y experiencia de usuario (UX) de productos y procesos de software.
2. Ingeniería de la Colaboración: Se trabaja particularmente en las siguientes temáticas:
    a. Acompañamiento en la definición de procesos colaborativos
    b. Acompañamiento en la selección de herramientas para el soporte colaborativo.
    c. Evaluación de sistemas colaborativos.
    d. Acompañamiento en el diseño e implementación de sistema groupware.
    e. Diseño de Entornos Colaborativos que apoyen procesos de enseñanza-aprendizaje y procesos organizacionales.
3. Calidad y Procesos de Software: Se enfoca esencialmente en las siguientes acciones:
    a. Gestión de Proyectos de Mejora de Procesos de desarrollo de Software.
    b. Diagnóstico (Evaluación y Valoración) de Procesos de Software.
    c. Acompañamiento en el Diseño de procesos de software.
    d. Consultoría en los procesos de Verificación y Validación en el desarrollo de Software.
    e. Consultoría en la adaptación sistemática de procesos estandarizados de desarrollo de software.
    f. Métricas para la evaluación de software.
    g. Evaluación del nivel de calidad en Arquitecturas de Software.
4. Métodos y Técnicas de Construcción de Software: en esta línea se ha trabajado en:
    a. Acompañamiento en la definición, documentación y evaluación de arquitecturas de software.
    b. Acompañamiento en la adopción de metodologías de desarrollo: Scrum, XP, Proceso Unificado, TSP y PSP.
    c. Creación de métodos y procesos de software: XP/Architecture (Muñoz y Hurtado, 2012), AGATA, SmallSPL, Audaceous Freelance, UP-VSE.
    d. Acompañamiento en la adopción de estrategias de reutilización: desarrollo de frameworks y líneas de productos y procesos de software tales como CASPER (Hurtado y Bastarrica 2012), AVISPA (Hurtado et. Al, 2011).
5. TIC y Educación. Esta línea se ha venido enfocando en acciones como:
    a. Objetos de aprendizaje y uso de TICs en comunidades aisladas geográficamente.
    b. Acompañamiento en la incorporación de prácticas de desarrollo del pensamiento computacional en escuelas y colegios.
    c. Acompañamiento en el diseño curricular de cursos para el desarrollo del pensamiento computacional.
    d. Acompañamiento en la adopción de ChildProgramming (Hurtado, Collazos, Cruz, Rojas, 2014).

3. Iniciativas

Al interior de la Universidad del Cauca-Colombia, el Grupo IDIS ha realizado algunos mecanismos tendientes a generar conciencia de la importancia que tiene el área de HCI en diversas ramas del conocimiento, centrándose en un trabajo multidisciplinario, integrando personas de Ciencias de la Computación, Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Comunicación Social y Diseño Gráfico. A pesar del poco

tiempo que lleva esta iniciativa los resultados comienzan a observarse. En particular, con el fin de generar conciencia sobre la importancia del área, se estructuran una serie de charlas motivadoras, Cursos que han sido impartidos como optativos en el programa de Ingeniería de Sistemas y Maestría en Computación en la Universidad del Cauca-Colombia. En particular se han ofrecido las asignaturas de (a) Interacción Humano Computador, en la cual se dan las bases fundamentales del Proceso de Diseño Centrado en el Usuario; (b) Ingeniería de la Colaboración, en el cual se trabaja en los principios fundamentales del trabajo colaborativo; (c) Interfaces Físicas: asignatura en la cual se trabaja en la construcción de dispositivos de interacción basados en esquemas de NUI (Natural User interfaces) y TUI (Tangible User Interfaces); (d) Ingeniería de la Usabilidad, en el cual se fundamentan los conceptos asociados a la evaluación de aspectos de la Usabilidad y Experiencia de Usuario. Estas iniciativas de docencia no solo han sido trabajadas al interior de la Universidad del Cauca-Colombia, sino que han sido involucradas en programas académicos no solo a nivel de Colombia sino de otros países Latinoamericanos como Panamá, Perú, Chile, Argentina, Costa Rica y México. A raíz de este trabajo se ha generado un espacio de discusión global logrando crear un grupo de investigación a nivel nacional en el tema, lo que implicó la creación del primer capítulo colombiano de HCI, denominado CAFETEROS, y el cual está enmarcado dentro de los capítulos avalados por ACM SIGCHI. Esto ha permitido comenzar a definir políticas de trabajo tendientes a generar una masa crítica de investigadores a través de formación doctoral en algunos de los participantes de esta Red. De la misma forma, el grupo IDIS ha establecido alianzas con diversos grupos y asociaciones a nivel internacional expertos en HCI que han permitido el poder desarrollar colaborativamente proyectos de investigación, artículos, seminarios, direcciones de tesis (grado/postgrado), cursos, formulación de programas de Maestría y doctorado en HCI. El grupo IDIS ha participado en la organización/coorganización de diversos eventos a nivel Iberoamericano en HCI (Interacción 2014; Interacción 2017; Las I, II, III, y IV jornadas Iberoamericanas de HCI; CLIHC 2014; CLIHC 2019; Rehab 2019). Otra de las iniciativas ha sido la creación de una Red de especialistas en HCI que fomenten la enseñanza de HCI a nivel Iberoamericano, iniciativa denominada hci-collab (www.haci-collab.com), la cual es liderada por el grupo IDIS y en la cual participan un grupo de instituciones y empresas a nivel Iberoamericano en HCI.

Algunos de los proyectos más relevantes en los que el Grupo IDIS ha participado son:

- COMPETISOFT: Mejora de procesos para fomentar la competitividad de la pequeña y mediana industria del software de Iberoamérica, financiado por el programa CYTED ,2006-2009.
- REVVIS: Red de Especialistas en Verificación y Validación de Software, financiado por el programa CYTED ,2007-2010.
- Red de Investigación en Software Experimental, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de la República de Argentina, 2008.
- H-NET Health Education Network, financiado por CNPq (Brasil), 2008-2010.
- A Digital Workbook Tool to Support Asynchronous Collaboration, financiado por The Latin American and Caribbean Collaborative ICT Research (LACCIR), 2008.
- U-CSCL: Red Iberoamericana de apoyo a los procesos de enseñanza-aprendizaje de competencias profesionales a través de entornos ubicuos y colaborativos, financiado por CYTED, 2013-2016

También se tiene dentro del grupo un conjunto de semilleros de investigación, donde se intenta que los alumnos de los primeros años del programa de ingeniería de Sistemas de la Universidad del Cauca, puedan comenzar a involucrarse en dinámicas de investigación en torno a las diferentes líneas de investigación en las cuales el grupo IDIS trabaja.

3.1. Ingeniería de Software basada en la decisión: personas, tecnologías y diseño sensible al valor

Las arquitecturas de software y los procesos de software son dos grandes ejemplos de activos fundamentales dentro de las empresas de software. Sin embargo, en las pequeñas organizaciones de software, los muchos conceptos fundamentales de la ingeniería de software son normalmente ideas vagas que no permiten que se adopten buenas prácticas de desarrollo. Particularmente la ingeniería de software ha hecho énfasis en prácticas, métodos, procesos, personas y herramientas. Pero, se ha dejado en un segundo plano una tarea que recurrentemente se hace: tomar decisiones. La toma de decisiones en la ingeniería de software es una tarea compleja e importante. En el grupo IDIS hemos venido abordando el problema de la adaptación y selección de procesos (Hurtado y Bastarrica, 2012) y la selección de tácticas y patrones arquitecturales (Hyun y Hurtado, 2019). Sin embargo, obtener los criterios y aplicarlos adecuadamente no es una tarea fácil. Adicionalmente, en la mayoría de ocasiones el asistente trabaja con información más allá de los artefactos cercanos a la decisión y en general dependen de información holística que facilite alcanzar óptimos locales apuntando a lograr óptimos globales.

3.2. Desarrollo del pensamiento computacional

La iniciativa del desarrollo del pensamiento computacional que ha trabajado el grupo IDIS es conocida como ChildProgramming y ha sido un impulsador en las instituciones educativas hacia la formación en el área del desarrollo del pensamiento computacional en edades tempranas en la escuela primaria. El modelo tiene origen en

una propuesta conceptual del grupo IDIS y se refina a través de una estrategia empírica que facilita que los detalles del modelo emerjan de la experiencia y el análisis de un conjunto de actividades desarrolladas inicialmente con niños de cuarto y quinto grado de básica primaria en edades comprendidas entre los 8 y 10 años edad (Cruz et al, 2013). Su modelo de proceso está centrado en el marco de gestión Scrum y basado en algunas prácticas ágiles de desarrollo propuestas por la metodología Extreme Programming - XP. Esta forma de trabajo plantea, además, que estas prácticas, las desarrollen en forma divertida, como si estuviesen inmersos en un juego donde se ganan puntos, posiciones y se alcanzan niveles (gamification). El modelo incluye tan variados componentes que ha tenido que ser organizado para derivar varios sabores, dichos componentes son: memoria de grupo, abstracción, gamificación, colaboración, depuración, género y método. Esta iniciativa ha permitido empezar a abordar aspectos de organización de currículo, las raíces de lo que es el pensamiento computacional y su evaluación objetiva.

4. Conclusiones

Aunque la experiencia en la mayoría de países latinoamericanos es muy corta en el tema de HCI, los resultados que se han observado hasta ahora son muy alentadores; se comienza a participar en eventos internacionales de suma importancia, se empiezan a desarrollar proyectos de investigación relacionado con HCI, y se fortalece continuamente el trabajo multidisciplinario. Todos esto factores llevan a pensar que el área comienza a vislumbrarse como uno de los ejes centrales de investigación y trabajo. El camino no ha sido fácil ni lo será, pero el poder lograr la participación en una Asociación como AIPO, que está consolidada en España y que lleva varios años de trabajo, permitirá asumir este nuevo reto de manera más adecuada. Las experiencias que se han desarrollado en diversos grupos latinoamericanos y Europeos permitirá compartir el conocimiento y de alguna forma lograr una apropiación del mismo de manera más adecuada.

Referencias

Collazos, C., Ortega, M., Granollers,A., Rusu, C., Gutiérrez,F., (2016), Human-Computer Interaction in Ibero-America.. IEEE IT Professional. Technology Solutions for the Enterprise, vol. 18, pp. 8-11, March/April 2016 2016.

Hurtado, J. A.; Collazos, C. A.; Cruz, S. T.; Rojas, O. E. (2012). ChildProgramming: Una Estrategia de Aprendizaje y Construcción de Software Basada en la Lúdica, la Colaboración y la Agilidad. Rev. Univ. RUTIC, 1(1), 9-14

S. S. T. Cruz, O. E. Rojas, J. A. Hurtado and C. A. Collazos, "ChildProgramming process: A software development model for kids," 2013 8th Computing Colombian Conference (8CCC), Armenia, 2013, pp. 1-6.

J. A. Hurtado and M. C. Bastarrica, "Building software process lines with CASPER," 2012 International Conference on Software and System Process (ICSSP), Zurich, 2012, pp. 170-179.

L. F. Munoz and J. A. H. Alegría, "XA: An XP extension for supporting architecture practices," 2012 7th Colombian Computing Congress (CCC), Medellin, 2012, pp. 1-6.

Julio A. Hurtado Alegría, María Cecilia Bastarrica, and Alexandre Bergel. 2011. Analyzing software process models with AVISPA. In Proceedings of the 2011 International Conference on Software and Systems Process (ICSSP '11). ACM, New York, NY, USA, 23-32.

Marta Cecilia Camacho Ojeda, Julio Ariel Hurtado Alegría, and Francisco Javier Álvarez Rodriguez. 2018. An exploratory study for scoping software product lines in a collaborative way. In Proceedings of the 11th International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering (CHASE '18). ACM, New York, NY, USA, 17-20.

S. Hyun Dorado and J. Hurtado. Documenting architectural rationale using source code annotations: An exploratory study. Proceedings of 28th International Conference on Software Engineering and Data Engineering}. Volumen 64, PP 204—214.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Interacción 3D y Realidad Virtual en la Universidad de Málaga. Presentación del grupo 3DI-DIANA

3D Interaction and Virtual Reality at the University of Malaga. Introducing the team 3DI-DIANA

Arcadio Reyes-Lecuona
Departamento de Tecnología Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, SPAIN
areyes@uma.es

Luis Molina-Tanco
Departamento de Tecnología Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, SPAIN
lmtanco@uma.es

María Cuevas-Rodríguez
Departamento de Tecnología Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, SPAIN
mariacuevas@uma.es

Daniel González-Toledo
Departamento de Tecnología Electrónica
Universidad de Málaga
Málaga, SPAIN
dgonzalezt@uma.es

Recibido: 14.11.2019 | Aceptado: 18.12.2019

Palabras Clave

Realidad Virtual
Realidad Aumentada
Audio 3D Binaural
Acústica Virtual
Interacción 3D

Resumen

El equipo 3DI-DIANA desarrolla su labor de investigación en interacción 3D y experiencia de usuario en Entornos Virtuales Interactivos (EVI) desde 2004. Su trabajo se centra en el estudio de la interacción persona-máquina en el contexto de la interacción 3D en Realidad Virtual. Su experiencia e intereses abarcan espacialización de audio 3D binaural, interacción 3D con grados de libertad reducidos y Realidad Virtual y Aumentada, incluyendo Realidad Virtual háptica y Presencia. El equipo posee una importante experiencia en proyectos colaborativos tanto nacionales como europeos y está abierto a colaboraciones con otros grupos, pudiendo aportar su experiencia en los temas que se describen. Más concretamente, el equipo 3DI-DIANA puede contribuir en la inclusión de audio 3D a entornos virtuales interactivos, y en el desarrollo de técnicas de interacción 3D que mejoran la experiencia de usuario cuando se manejan objetos tridimensionales complejos.

Keywords

Virtual Reality
Augmented Reality
Binaural 3D audio
Virtual Acoustics
3D Interaction

Abstract

The 3DI-DIANA team is researching and developing technology in 3D interaction and user experience in Interactive Virtual Environments (IVE) since 2004. Their work has focused on 3D interaction techniques for Virtual Reality from a Human-Computer Interaction perspective. Their expertise and interests span binaural 3D audio spatialisation, 3D interaction with reduced degrees of freedom, and Virtual and Augmented Reality, including haptic Virtual Reality and Presence. The team have an important record in collaborative projects, both at national and European level. They are open to collaborations with other research teams, being able to contribute with their expertise in their described topics. More specifically, the 3DI-DIANA team can contribute in extending interactive virtual environments with 3D Audio and developing 3D interaction techniques which improve the user experience of handling and visualization of complex 3D objects.

1. Introducción

DIANA (Diseño de Interfaces AvaNzAdos) es el grupo de investigación TIC171 del PAIDI (Plan Andaluz de Investigación Desarrollo e Innovación) de la Junta de Andalucía. DIANA es un grupo de investigación multidisciplinar compuesto en la actualidad por más de 30 miembros de diferentes áreas, que van desde la ingeniería a las bellas artes y que lleva desde 1999 trabajando en el estudio de interfaces para su aplicación a las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones.

Dentro del grupo DIANA, el equipo 3DI-DIANA trabaja desde hace más de 15 años en la interacción 3D en Entornos Virtuales Interactivos (EVI). El primer proyecto del grupo DIANA relacionado con Realidad Virtual (RV) digno de consideración fue ALBATROS (Aplicaciones de un sistema de adquisición de Bioseñales y Técnicas de Realidad Virtual al

campo de la Salud). De ese trabajo seminal surgieron diferentes equipos de trabajo en diversas áreas relacionadas con la Interacción Persona Ordenador. Uno de ellos es el equipo de interacción 3D y Realidad Virtual, 3DI-DIANA.

2. Líneas de Investigación activas

En los últimos años, a través de su participación en diversos proyectos europeos de diferentes Programas Marco (6º, 7º y H2020), el equipo 3DI-DIANA ha ido consolidando dos grandes líneas de investigación: audio 3D binaural e interacción 3D. Se presentan en esta sección como líneas de trabajo básicas, pero haciendo diversas menciones a sus potenciales aplicaciones.

2.1 Audio 3D binaural.

Binaural significa literalmente que se oye con los dos oídos. En este sentido, el audio binaural es el equivalente auditivo de la visión estereoscópica. Sin embargo, mientras que la visión estereoscópica sólo añade sobre la monoscópica ciertos indicios de profundidad, el audio binaural añade sobre el audio monoaural indicios completos de localización tridimensional de la fuente sonora, que es percibida por el oyente como localizada a una distancia, azimut y elevación determinados, como se muestra en la Figura 1.

Por otro lado, el audio binaural posee una gran capacidad de crear sensaciones inmersivas. Esto lo convierte en un elemento muy importante en Entornos Virtuales Interactivos. Pero en ellos, el usuario puede moverse y cambiar su posición relativa respecto de las fuentes sonoras. Por lo tanto, el audio que incluya estos indicios debe ser **renderizado en tiempo real**.

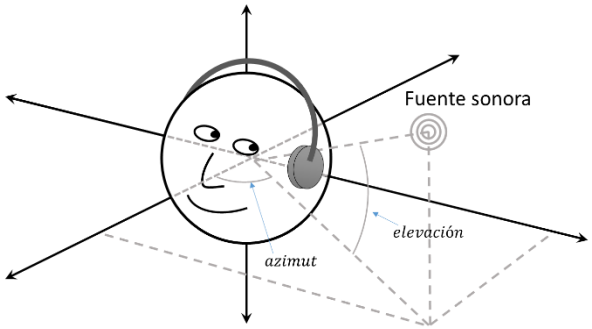

Figura 5: El 3D Tune-In Toolkit es una librería de renderizado de audio 3D binaural y simulación de pérdida auditiva y audífonos.

Gracias a la participación en el proyecto 3D Tune-In, el equipo de 3DI-DIANA ha desarrollado, en colaboración con Imperial College London, la librería **3D Tune-In Toolkit**, una herramienta de código abierto para renderizar audio 3D binaural en tiempo real, que puede ser integrado en aplicaciones de RV. Esta librería está disponible en un **repositorio abierto**[11], junto a aplicaciones de demo y un plugin VST (Figura 2). La librería 3D Tune-In Toolkit procesa fuentes monourales y anecoicas introduciendo diferencias interanuales e indicios monoaurales que sitúan la fuente en una determinada posición virtual del espacio. Se simula también el entorno, introduciendo la reverberación producida por el mismo. Todos estos procesos se han implementado de forma que sean altamente configurables. Se puede encontrar una descripción de los detalles técnicos de la librería en (Cuevas-Rodríguez et al., 2019).

Figura 6: El 3D Tune-In Toolkit es una librería de renderizado de audio 3D binaural y simulación de pérdida auditiva y audífonos.

Pero el 3D Tune-In Toolkit no sólo espacializa audio. También contiene un **simulador de pérdida auditiva** y otro de **audífono**, con los que el usuario puede experimentar cómo percibe una persona con diferentes problemas de audición un ambiente sonoro en un determinado entorno. Así mismo, se puede experimentar el tipo de corrección que proporciona un audífono con direccionalidad programable.

La vocación del 3D Tune-In Toolkit es convertirse en una **herramienta internacional** de referencia para investigación en entornos virtuales interactivos, que permita añadir audio 3D realista con la transparencia y el control en el proceso de la señal que requiere la actividad investigadora.

2.2 Interacción 3D.

La otra gran línea de trabajo del equipo 3DI-DIANA se centra en la **interacción 3D en EV**, con cascos de RV, pantallas estereoscópicas o utilizando dispositivos estándar, como teclado, ratón o pantallas táctiles, con técnicas de interacción limitadas a pocos grados de libertad. El trabajo del equipo 3DI-DIANA de los últimos años ha estado enfocado en este tipo de interacción, enfocándose a la manipulación de objetos 3D en aplicaciones web o dispositivos móviles.

[11] Código fuente disponible bajo licencia GPLv3 en el repositorio: https://github.com/3DTune-In/3dti_AudioToolkit

Esta interacción 3D es especialmente problemática cuando lo que se visualiza son objetos complejos (entiéndase aquí complejo en el doble sentido de estar compuestos de múltiples partes y presentar una geometría intrincada). En el caso de este tipo de objetos, resulta complicado visualizar las partes internas para inspeccionarlas, ya que pueden estar ocultas por otras partes más externas.

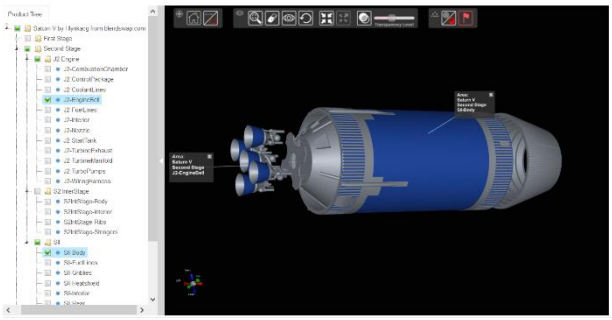

Figura 7: El visor hom3r permite interactuar con objetos complejos usando dispositivos de interacción estándar.

En esta línea, en el proyecto Use-it-Wisely, se desarrolló **hom3r** (Hierarchical prOduct Model 3D vieweR)[12], un visor 3D especializado en objetos complejos jerarquizados, que pueden estar compuestos de múltiples partes ensambladas y geometrías intrincadas que pueden ocultar algunas zonas o dificultar la selección de algunas partes (Gonzalez-Toledo, Cuevas-Rodríguez, Garre-Del-Olmo, Molina-Tanco, & Reyes-Lecuona, 2017). Estos modelos pueden, además, contener información adicional asociada a ciertas partes del objeto o a un determinado punto en la geometría.

El visor hom3r permite seleccionar y manipular partes del objeto a diferentes niveles de su jerarquía, ya que ofrece una API web para que se pueda gestionar la jerarquía del objeto desde la aplicación web en la que está incrustado (Figura 3). También permite hacer visibles partes internas del objeto mediante vistas explotadas o haciendo semitransparentes las partes que las ocultan. Además, permite colocar etiquetas flotantes enlazadas a un punto de la geometría del objeto.

[12] Disponible en https://proyectos.diana.uma.es/hom3r/

Figura 8: El visor hom3r se ha ampliado para mostrar objetos complejos en realidad Aumentada.

El visor también incluye técnicas para manipular los objetos de forma adaptativa a las proporciones de los objetos, lo que constituye otra de las áreas de trabajo del equipo. Así, han desarrollado técnicas de manipulación que mejoran las clásicas técnicas de trackball (González-Toledo, Cuevas-Rodriguez, Molina-Tanco, & Reyes-Lecuona, 2018).

La arquitectura de hom3r ha permitido integrarlo dentro del proyecto PLUGGY, en el que se desarrolla una red social centrada en el patrimonio cultural. En este proyecto, hom3r se ha hecho aún más modular y flexible, incorporando nuevas funcionalidades como la posibilidad de visualizar los objetos en dispositivos móviles y en Realidad Aumentada (RA), como se muestra en la Figura 4. Todas estas mejoras darán lugar a hom3r v2.0, aunque se trata de un trabajo aún en curso.

3. Otras líneas de trabajo

A lo largo de estos 15 años el equipo 3DI-DIANA ha trabajado también en interacción háptica, tanto en su influencia en la interacción (Viciana-Abad, Reyes-Lecuona, & Cañadas-Quesada, 2005) (Viciana-Abad, Reyes-Lecuona, Poyade, & Escolano, 2011), como en su papel en el entrenamiento de habilidades motoras (Poyade et al., 2011). Fruto de esos trabajos, el equipo liberó un servidor VRPN para controlar dispositivos háptica (Cuevas-Rodríguez, Poyade, Reyes-Lecuona, & Molina-Tanco, 2012). También se han realizado trabajos en locomoción natural en RV (De La Rubia et al., 2018).

Tabla 2: Proyectos en los que ha participado el grupo

Proyecto	Programa	Años	Área
INTENTIO	Plan Nacional	2003-2005	Realidad Virtual e Interfaces Cerebro-Computador
INTUITION	6º PM (UE)	2004-2008	Realidad Virtual
ENVIRA	Plan Nacional	2006-2009	Realidad Virtual y entrenamiento
ManuVAR	7º PM (UE)	2009-2012	Realidad Virtual háptica
Perseo	Avanza2	2012-2016	Realidad Virtual y Aumentada
Use-it Wisely	7º PM (UE)	2013-2016	Interacción 3D
3D Tune-In	H2020 (UE)	2015-2018	Audio 3D

PLUGGY	H2020 (UE)	2016-2019	Interacción 3D y RA

4. Planes para el futuro

El grupo 3DI-DIANA continúa trabajando en las dos líneas de trabajo que ha consolidado a lo largo de estos años, centradas en el renderizado de audio 3D y la interacción 3D. Este trabajo se apoya, por un lado, en el mantenimiento de sus dos principales herramientas públicas: el visor 3D hom3r y la librería de espacialización de audio 3DTI Toolkit. Pero los planes de trabajo futuro pasan por usar estas herramientas para la investigación en los campos científicos asociados.

Así, el grupo ha comenzado ya una investigación en percepción del habla con ruido de fondo en el que se analiza la importancia de los indicios espectrales espaciales para la mejora de la atención espacial en lo que se denomina problema del *cocktail party* (Picinali, Cuevas-Rodriguez, Gonzalez-Toledo, & Reyes-Lecuona, 2019). Sin embargo, los planes no se limitan a este tema, sino que se extenderán con otros estudios experimentales en psicoacústica, especialmente en percepción espacial del sonido. Uno de los planes del grupo es desarrollar un laboratorio virtual de psicoacústica espacial.

En la línea de interacción 3D, el grupo tiene planes de desarrollar nuevas técnicas de interacción que han surgido de la experiencia obtenida en pasados proyectos. Estas técnicas centradas en la manipulación de objetos con un número reducido de grados de libertad, así como en la asistencia para la visualización de partes ocultas en objetos complejos, han sido desarrolladas para resolver problemas prácticos y requieren de una validación experimental a la que dedicará un esfuerzo significativo el grupo en los próximos años.

Estas dos líneas de trabajo tienden a unificarse en el desarrollo de sistemas tridimensionales interactivos sonoros. Estos sistemas incluyen las tradicionales aplicaciones de Realidad Virtual, en las que cada vez más se incorporan elementos de audio 3D, pero también las de realidad aumentada en donde aún queda mucho que recorrer en el campo del audio, especialmente si consideramos la interacción con los objetos emisores de sonido. En cualquier caso, las implicaciones del audio 3D en entornos virtuales o aumentados son un campo de interés en el que el grupo 3DI-DIANA tiene intención de continuar su trabajo.

5. Conclusión

En este artículo se han descrito las principales líneas de investigación del equipo 3DI-DIANA, que está abierto a colaboraciones con otros grupos que trabajen en Realidad Virtual y sistemas interactivos, pudiendo aportar su experiencia, tanto en la inclusión de audio 3D en entornos virtuales, como en el desarrollo de técnicas de interacción 3D.

Referencias

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

Cuevas-Rodríguez, M., Poyade, M., Reyes-Lecuona, A., & Molina-Tanco, L. (2012). A VRPN server for haptic devices using OpenHaptics 3.0. Proceedings of the 13th International Conference on Interacción Persona-Ordenador - INTERACCION '12, 1–4. https://doi.org/10.1145/2379636.2379667

De La Rubia, E., Diaz-Estrella, A., Reyes-Lecuona, A., Langley, A., Brown, M., & Sharples, S. (2018). Natural locomotion based on a reduced set of inertial sensors: Decoupling body and head directions indoors. PLoS ONE, 13(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195191

Gonzalez-Toledo, D., Cuevas-Rodríguez, M., Garre-Del-Olmo, C., Molina-Tanco, L., & Reyes-Lecuona, A. (2017). HOM3R: A 3D Viewer for Complex Hierarchical Product Models. Journal of Virtual Reality and Broadcasting, 14(3).

González-Toledo, D., Cuevas-Rodriguez, M., Molina-Tanco, L., & Reyes-Lecuona, A. (2018). 3D Object Rotation Using Virtual Trackball with Fixed Reference Axis. In Proceeding of EuroVR2018 (pp. 3–5).

Picinali, L., Cuevas-Rodriguez, M., Gonzalez-Toledo, D., & Reyes-Lecuona, A. (2019). Speech-in-noise performances in virtual cocktail party using different non-individual Head Related Transfer Functions. In Proceeding of the 23rd International Congress on Acoustic (pp. 2158–2159). Aachen (Germany). Retrieved from http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/000333.pdf

Poyade, M., Reyes-Lecuona, A., Frutos, E., Flores, S., Langley, A., D'Cruz, M., … Tosolin, F. (2011). Using virtual reality for the training of the metallographic replica technique used to inspect power plants by TECNATOM S.A. In VTT Symposium (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus) (pp. 53–57).

Viciana-Abad, R., Reyes-Lecuona, A., & Cañadas-Quesada, F. J. (2005). Difficulties Using Passive Haptic Augmentation in the Interaction within a Virtual Environment. In Presence (pp. 287–292).

Viciana-Abad, R., Reyes-Lecuona, A., Poyade, M., & Escolano, J. (2011). The role of mismatches in the sensory feedback provided to indicate selection within a virtual environment. Multimedia Tools and Applications, 55(3), 353–378.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Grupo de Sistemas Interactivos DEI Lab: Computación ubicua, social y multisensorial para y con los usuarios

Interactive Systems Research Group DEI Lab: pervasive, social and multisensory computing for and with the users

Paloma Díaz
Dpto. de Informática
Universidad Carlos III de Madrid
Leganés, Spain
pdp@inf.uc3m.es

Ignacio Aedo
Dpto. de Informática
Universidad Carlos III de Madrid
Leganés, Spain
aedo@ia.uc3m.es

Recibido: 15.11.2019 | Aceptado: 18.12.2019

Palabras Clave
Diseño de la Interacción
Realidad Virtual, Aumentada y Mixta
Visualización de datos
Interacción multisensorial
Codiseño
Desarrollo por usuario final

Resumen

En este artículo se describen los orígenes del grupo DEI Lab, creado en 1995, nuestras líneas de trabajo y principales características con el objetivo de contribuir a delinear el panorama de la investigación en Interacción Persona Ordenador en España. El grupo trabaja en tecnologías como la computación social y colaborativa, la computación ubicua (computación móvil, realidad virtual, aumentada y mixta), la interacción natural y multisensorial, las ecologías de interacción multidispositivo, o la visualización avanzada de datos. Nuestra visión multidisciplinar y orientada al uso de la investigación nos ha llevado a integrar al usuario final como codiseñador y cocreador con el fin de facilitar la adopción de la tecnología. Así, investigamos en computación ubicua, social y multisensorial para y con los usuarios.

Keywords
Interaction design
Virtual Reality
Augmented Reality
Data visualization
Multisensory interactions
Co-design
End user development

Abstract

In this paper we describe research at DEI Lab at UC3M, founded in 1995, our goals and assumptions on how we face HCI research, the areas and projects we are working at, and, how we envision our future. We investigate on advanced interactions based on social and collaborative computing, pervasive computing (including mobile computing, virtual, augmented, and mixed reality), embodied and multisensory, natural and multi-device interaction and data visualization and interaction. We always put users in the loop as active co-designers and co-creators in order to facilitate technology adoption. Thus, we investigate on pervasive, social and multisensory computing for, with and by users.

1. Introducción

En 1995 Ignacio Aedo, Nadia Catenazzi y Paloma Díaz crearon el grupo de investigación denominado DEI Lab, cuyas siglas respondían a Documentación Electrónica Interactiva. Los tres habían investigado en el modelado formal, diseño y desarrollo de sistemas hipermedia, web y libros electrónicos. Las tecnologías interactivas han evolucionado hasta hacerse presentes en casi todas nuestras actividades cotidianas. Internet y la masiva adopción de teléfonos inteligentes permiten interactuar en cualquier momento y desde cualquier sitio. Esta ubicuidad no está exenta de problemas y ha generado múltiples retos en el ámbito de la Interacción Persona Ordenador (IPO). Hay un gran abanico de oportunidades tecnológicas, pero es necesario centrarse en por qué interactuar, cómo, para qué, con quién, dónde o cuándo. En este contexto, la investigación del grupo se centra en el diseño de interacciones avanzadas mediante computación social, ubicua (incluyendo computación móvil, realidad virtual (RV), aumentada (RA) y mixta (RM)), interacción multisensorial, y multi-dispositivo, e interacción semántica. Los resultados se han aplicado a campos como el diseño de software, la educación, la gestión de crisis, la cultura, la salud o la visualización. El grupo tiene una

perspectiva multidisciplinar y desde los primeros proyectos se incorporó la voz de distintos tipos de especialistas y usuarios finales, como codiseñadores y cocreadores. Así, en DEI Lab investigamos las posibilidades y limitaciones de tecnología para y con los usuarios. En este artículo describimos nuestros orígenes y líneas de trabajo actuales, con el objetivo de contribuir a delinear el panorama de la investigación en IPO en España.

2. Concepto de Investigación en DEI Lab

En DEI Lab se ha combinado desde sus orígenes la investigación básica con la investigación inspirada en la utilización de la tecnología (Stokes, 1997). La investigación básica no busca desarrollar un producto concreto, sino proporcionar las bases teóricas y empíricas para diseñar productos que exploten todas las posibilidades de la tecnología subyacente. En esta línea, exploramos las capacidades de interacción y las limitaciones de tecnologías emergentes, como por ejemplo las interfaces post-wimp (Bellucci et al, 2016) o los entornos inmersivos (Montero et al, 2017). La investigación inspirada en el uso identifica las oportunidades que una tecnología puede proporcionar para "*cambiar las prácticas habituales de una comunidad y hacer que sea más efectiva en lo que hace*" (Denning, 1997). En proyectos como CESAR (Aedo et al, 1996), Hiper-Apuntes o Now-Graduado se usó la multimedia, la web y los sistemas adaptables para ayudar a estudiantes y profesores (Díaz et al, 2019); en sistemas como ARCE y SIGAME se colaboró con la DGPCE en herramientas que hicieran más eficiente la colaboración entre agencias (Aedo et al, 2010); y herramientas como Ariadne o VEISIG mejoraban el diseño de sistemas web (Díaz et al, 2005). Aunque estos trabajos sean aplicados, siempre tienen como objetivo contribuir a la base de conocimiento y generar soluciones que útiles a la sociedad aplicando un enfoque de investigación a través del diseño (Zimmerman et al, 2007). DEI Lab tiene una vocación multidisciplinar e internacional, fomentando estancias y participando en convocatorias de atracción de talento. Nuestro compromiso con AIPO nos llevó a organizar Interacción 2002. Los resultados en la investigación han permitido también mejorar la formación en IPO en estudios técnicos y en cursos para gestores de emergencias, profesores o gestores culturales. Esta perspectiva multidiciplinar de la docencia en IPO cristalizó en la iniciativa Digital Living que identificaba competencias, conocimientos y actitudes para idear el futuro digital (Díaz et al, 2011).

3. Líneas de Investigación en DEI Lab

En esta sección abordamos las líneas más relevantes de nuestra investigación actual. Para ello hemos organizado los trabajos en cuatro grandes categorías no disjuntas.

3.1 Interfaces inmersivas y multisensoriales

La RV, RA y RM prometen capacidades únicas de interacción en ámbitos como la educación, la salud o la industria. En los últimos años hemos utilizado estas tecnologías para el aprendizaje, tanto conceptual como experiencial, en cultura digital, o salud. Por ejemplo, el uso de RA en el proyecto PACE (TIN2016-77690-R) permite fomentar el interés de los ciudadanos por su entorno y participar en misiones relacionadas con la gestión de riesgos (Sánchez-Francisco et al, 2019). En MagicShoes (PSI2016-79004-R) investigamos tecnologías multisensoriales que cambien la percepción del cuerpo y del espacio, el estado emocional y el comportamiento motor (Tajadura-Fernández et al, 2019). Finalmente, en CHIC (H2020-EU.2.1.4.-760891) se estudia cómo la RV y RM pueden mejorar el aprendizaje de técnicas de edición genética en agricultura (Zarraonandía et al, 2019). Actualmente se está trabajando en el estudio de las capacidades de colaboración de entornos de realidad mixta a través del proyecto crossColab (PGC2018-101884-B-100).

3.2 Visualización avanzada

En el grupo de investigación DEI Lab estamos interesados en aplicar un enfoque de Inteligencia Amplificada (Ashby, 1961) para mejorar la capacidad de las personas al explorar la información y generar conocimiento. Para ello se ha trabajado en dos líneas: incorporando semántica del dominio para dotar a los datos de significado y mejorar la interacción con los datos. En cuanto a visualización semántica, en proyectos como PACE y NOTRE (H2020-TWINN15- 692058.) se investiga el uso de ontologías y otros recursos semánticos para agregar datos heterogéneos y masivos utilizando categorías significativas en un dominio (Onorati et al, 2019). En proyectos como emerCien (TIN2012-09687) y CHIC se analizan distintos dispositivos de interacción como pantallas curvas que aprovechan la visión focal y periférica (Romero-Gómez et al, 2013); muros interactivos que ofrecen mayor espacio de visualización (Onorati et al, 2015); entornos multidispositivo para la exploración colaborativa adaptada al contexto (Díaz et al, 2016b); y los entornos de RV que amplían el espacio de visualización a bajo coste (Onorati et al, 2018). El siguiente paso consistirá en explorar la integración de interacciones multisensoriales y corporizadas con el fin de dar soporte a la cognición corporizada o *embodied cognition.*

3.3 Tecnologías para la colaboración y la participación ciudadana

En los primeros trabajos desarrollados junto con la DGPCE se explotó la capacidad de distribuir la información y los modelos de acceso basado en roles para dar soporte a plataformas colaborativas como ARCE, SIGAME o ESA6. Estas plataformas fueron diseñadas y evaluadas junto con usuarios y agentes

involucrados como se discute en (Aedo et al, 2010). Todas ellas forman parte del catálogo de productos de la DGPCE y fueron aprobadas en los correspondientes órganos como herramientas de colaboración, lo que permitió transferir a la sociedad el conocimiento generado. Esta primera toma de contacto con el mundo de la gestión de emergencias puso de manifiesto que eran muchas las problemáticas en las que el uso de sistemas interactivos colaborativos podía mejorar la eficacia y eficiencia. Así por ejemplo, dentro del proyecto TIPEx (TIN2010-19859-C03-01) se exploró el uso de mesas interactivas y el acceso basado en roles para el diseño y seguimiento de planes de emergencia (Díez et al, 2016). En proyectos como emerCIEN se proponen plataformas para mejorar la participación ciudadana avanzando hacia el concepto de coproducción de servicio para conseguir un servicio público más eficiente y sostenible (Díaz et al, 2016a). Para ello se propone un ecosistema de participación multiplataforma con acceso a las funcionalidades basado en roles, visualización semántica y filtrado por nivel de confiabilidad de grandes volúmenes de datos (Díaz et al, 2017b). En el mismo ámbito, Social Display es un entorno aumentado que promueve conversaciones alrededor de objetos culturales (Díaz et al, 2018).

3.4 Diseño participativo y EUD

Para garantizar que una solución tecnológica resuelve un problema es preciso involucrar a las personas que la van a utilizar en un proceso de codiseño entre pares. Esto requiere del uso de técnicas generativas y notaciones apropiadas con las que explorar el contexto y plantear soluciones. Desde DEI Lab hemos contribuido con métodos y herramientas de diseño participativo y codiseño. El primer ejemplo lo encontramos en el diseño de juego SafetyGames, orientado a mejorar el conocimiento de los niños sobre riesgos en el que se involucraron a dos comunidades de usuarios: niños y docentes. Para involucrar a los niños se creó la técnica de codiseño Embodied Narratives que permitió identificar características motivadoras (Díaz et al, 2012). Por otro lado, el modelo de diseño de juegos GREM (Games-Rules-scEnarios Model) se utilizó con profesores con el mismo fin (Zarraonandía et al, 2015). En el marco del proyecto meSch se desarrolló una herramienta de soporte al co-diseño para *Smart Objects* denominada CoDICE (Díaz et al., 2017a). Involucrar a los usuarios en tiempo de diseño puede no ser suficiente y a veces es preciso capacitarlos para adaptar esas soluciones en tiempo de ejecución mediante herramientas de EUD. Así, en TIPEx se desarrolló una herramienta de EUD para generar simulaciones de RV para el entrenamiento en situaciones de riesgo (Zarraonandía et al, 2015). CoDICE integra una herramienta EUD para programar comportamientos en objetos físicos sin tener conocimientos ni de programación ni de electrónica (Bellucci et al, 2017). En CreaX, se generó una herramienta EUD para realidad mixta que permitió explorar las posibilidades de interconexión entre objetos virtuales y reales en juegos educativos (Zarraonandía et al., 2018). Actualmente se está investigando cómo estas opciones de codiseño y EUD pueden adaptarse a entornos de colaboración mixta, en la que parte de los diseñadores estén en el mismo espacio físico y otra parte se encuentren distribuidos geográficamente.

4. Conclusiones

Durante casi 25 años hemos participado en distintos proyectos de investigación y transferencia que nos enriquecieron profundamente gracias al contacto con nuevos dominios de aplicación y con sus usuarios. Trabajar en IPO ha hecho posible entender la Informática como una ciencia realmente multidisciplinar, orientada a construir sistemas sociotecnológicos en los que no sólo la tecnología es importante sino, y principalmente, las personas que utilizarán esas tecnologías y los contextos en que se utilizarán. De los tres miembros que iniciaron esta andadura quedan dos en el grupo a los que se unen otros seis doctores, por orden alfabético Andrea Bellucci, Lize de Coster, Elena Márquez, Teresa Onorati, Ana Tajadura-Jiménez y Telmo Zarraonandía, a los que tenemos que agradecer su contribución al grupo. En unos momentos en los que en la sociedad sólo se habla de transformación digital, es fundamental reclamar el papel que la IPO tiene en este proceso, aportando por un lado el conocimiento multidisciplinar y científico que permitirá entender el impacto personal, social, económico y cultural que las tecnologías emergentes tendrán en nuestra sociedad, y por otro las técnicas y métodos de desarrollo centrado en la persona que garantizarán que esas transformaciones realmente sirven para aumentar las capacidades humanas, individuales o colectivas.

Agradecimientos

Es imposible mencionar todos los proyectos, organismos y entidades que apoyan nuestra investigación. A riesgo de olvidar nombres queremos mencionar a nuestros doctorandos actuales Álvaro Montero, Mónica Sánchez, Alejandro Santos y Judith Ley y a aquellos que estuvieron en nuestro grupo: Fivos Panetsos, Camino Fernández, Juanma Dodero, Miguel Ángel Sicilia, Susana Montero, Alessio Malizia, Jack Carroll, Mary Beth Rosson, Steffen Lohmann, Stefano Levialdi (†), Elisa Giaccardi, Gerhard Fischer, Kent Wittemburg, Murray Turoff, Roxanne Hiltz, David Díez, Sara Tena, Rosa Romero, Sergio Herranz, Liam Bannon, Monica Landoni, … y un largo etcétera.

Referencias

Aedo, I., Catenazzi, N., & Díaz, P. (1996). The evaluation of a hypermedia learning environment: The CESAR experience. Journal of Educational Multimedia and Hypermedia, 5(1), 49-72.

Aedo, I., Díaz, P., Carroll, J. M., Convertino, G., & Rosson, M. B. (2010). End-user oriented strategies to facilitate multi-organizational adoption of emergency management information systems. Information processing & management, 46(1), 11-21.

Ashby, W. R. (1961). An introduction to cybernetics. Chapman & Hall Ltd.

Bellucci, A., Romano, M., Aedo, I., & Díaz, P. (2016). Software support for multitouch interaction: the end-user programming perspective. IEEE Pervasive Computing, 15(1), 78-86.

Bellucci, A., Aedo, I., & Díaz, P. (2017). ECCE toolkit: Prototyping sensor-based interaction. Sensors, 17(3), 438.

Denning, P. J. (1997). A new social contract for research. Communications of the ACM, 40(2), 132-135.

Díaz, P., Aedo, I. y Zarraonandía, T. (2019). Investigación en TIC y educación en el grupo de Sistemas Interactivos DEI-Lab. IE Comunicaciones, 30. En prensa

Díaz, P., Bellucci, A., Yuan, C. W., & Aedo, I. (2018). Augmented Experiences in Cultural Spaces through Social Participation. Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH), 11(4), 19

Díaz, P., Aedo, I., & Bellucci, A. (2017a). Integrating End Users in Early Ideation and Prototyping: Lessons from an Experience in Augmenting Physical Objects. In New Perspectives in End-User Development (385-411). Springer, Cham.

Díaz, P., Onorati, T., & Aedo, I. (2017b). A digital knowledge ecosystem to increase participation in emergency warnings and alerts management. In International Conference on Green, Pervasive, and Cloud Computing (pp. 700-711). Springer, Cham.

Díaz, P., Carroll, J., & Aedo, I. (2016a). Coproduction as an approach to technology-mediated citizen participation in emergency management. Future Internet, 8(3), 41.

Diaz, P., Onorati, T., & del Olmo Pueblas, S. (2016b). Analyzing and visualizing emergency information in a multi device environment. In International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries (pp. 181-194). Springer, Cham.

Diaz, P., Paredes, P., Alvarado, D., & Giaccardi, E. (2012). Co-designing social games with children to support non formal learning. In 2012 IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies (pp. 682-683). IEEE.

Díaz, P., Giaccardi, E., & Aedo, I. (2011). Rethinking education in a changing world: toward a curriculum for digital living. interactions, 18(4), 64-68.

Díaz, P., Montero, S., & Aedo, I. (2005). Modelling hypermedia and web applications: the Ariadne Development Method. Information Systems, 30(8), 649-673.

Díez, D., Tena, S., Romero-Gomez, R., Díaz, P., & Aedo, I. (2014). Sharing your view: A distributed user interface approach for reviewing emergency plans. International Journal of Human-Computer Studies, 72(1), 126-139.

Montero, A., Zarraonandia, T., Diaz, P., & Aedo, I. (2017). Designing and implementing interactive and realistic augmented reality experiences. Universal Access in the Information Society, 1-13.

Onorati, T., Isenberg, P., Bezerianos, A., Pietriga, E., & Diaz, P. (2015). WallTweet: A Knowledge Ecosystem for Supporting Situation Awareness. DEXIS 2015 Workshop on Data Exploration for Interactive Surfaces. HAL- 01237149

Onorati, T., Díaz, P., Zarraonandia, T., & Aedo, I. (2018). The Immersive Bubble Chart: a Semantic and Virtual Reality Visualization for Big Data. In The 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology Adjunct Proceedings (pp. 176-178). ACM.

Onorati, T., Díaz, P., & Carrion, B. (2019). From social networks to emergency operation centers: A semantic visualization approach. Future Generation Computer Systems, 95, 829-840

Romero-Gómez, R., Díez, D., Díaz, P., & Aedo, I. (2013). Situation Awareness-Oriented Alarm Visualizations: A next Step in HSC Environments. GRAPP/IVAPP 2013: 483-488

Sánchez-Francisco, M., Díaz, P., Fabiano, F., & Aedo, I. (2019). Engaging Users with an AR Pervasive Game for Personal Urban Awareness. In Proceedings of the XX International Conference on Human Computer Interaction (p. 6). ACM.

Stokes, D. E. (1997). Pasteur's quadrant: Basic science and technological innovation. Brookings Institution Press.

Tajadura-Jiménez, A., Newbold, J., Zhang, L., Rick, P., & Bianchi-Berthouze, N. (2019). As Light as You Aspire to Be: Changing Body Perception with Sound to Support Physical Activity. Proceedings CHI 2019, May 4–9, 2019, Glasgow, Scotland, UK. ACM, New York, NY, USA.

Zarraonandia, T., Montero, A., Diaz, P., & Aedo, I. (2019). Magic Flowerpot: An AR Game for Learning about Plants. In Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts (pp. 813-819). ACM.

Zarraonandia, T., Diaz, P., Aedo, I., & Ruiz, M. R. (2015). Designing educational games through a conceptual model based on rules and scenarios. Multimedia Tools and Applications, 74(13), 4535-4559.

Zarraonandia, T., Díaz, P., Santos, A., Montero, Á., & Aedo, I. (2018). A Toolkit for Creating Cross-Reality Serious Games. In International Conference on Games and Learning Alliance (pp. 297-307). Springer, Cham.

Zimmerman, J., Forlizzi, J., & Evenson, S. (2007). Research through design as a method for interaction design research in HCI. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (pp. 493-502).

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Egokituz Laboratorio de Interacción Persona-Computador para Necesidades Especiales

Egokituz Laboratory of Human-Computer Interaction for Special Needs

Julio Abascal
Arquitectura y Tecnología de Computadores
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea
Donostia-San Sebastián, España
julio.abascal@ehu.eus

Myriam Arrue
Arquitectura y Tecnología de Computadores
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea
Donostia-San Sebastián, España
myriam.arrue@ehu.eus

Nestor Garay
Arquitectura y Tecnología de Computadores
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea
Donostia-San Sebastián, España
nestor.garay@ehu.eus

Luis Gardeazabal
Arquitectura y Tecnología de Computadores
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea
Donostia-San Sebastián, España
luis.gardeazabal@ehu.eus

Recibido: 18.11.2019 | Aceptado: 18.12.2019

Palabras Clave

Accesibilidad digital
Modelado y adaptación al usuario
Accesibilidad a la Web
Interacción emocional
Computación ubicua accesible
Robótica asistencial

Resumen

Egokituz (*Adaptando*, en lengua vasca) es un grupo de investigación que aplica técnicas de Interacción Persona-Ordenador a las necesidades de las personas con discapacidad. Creado en 1985, ha desarrollado metodologías y herramientas (tanto hardware como software) para dar solución a las necesidades de dichas personas y así contribuir a la mejora de su autonomía personal y su integración socio-laboral. En esta reseña se hace una breve revisión de su recorrido hasta la fecha y sus perspectivas de cara al futuro.

Keywords

Digital accessibility
User modelling and adaptation
Web Accessibility
Affective interaction
Accessible ubiquitous computing
Assistive Robotics

Abstract

Egokituz (*Adapting*, in Basque language) is a research group that applies Human-Computer Interaction techniques to the needs of people with disabilities. Created in 1985, it has developed methodologies and hardware and software tools to meet the needs of these users and, therefore, to contribute to their independent living and their socio-labor integration. In this review, a brief outline is made of its journey to date and its perspectives for the future.

1. Presentación

El Laboratorio de Interacción Persona-Computador para Necesidades Especiales Egokituz está situado en la Facultad de Informática de la Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea. Se creó en 1985 con el objetivo de aplicar las tecnologías de la información y la comunicación a la solución de los problemas de comunicación y movilidad de las personas con discapacidad, para contribuir a la mejora de su autonomía personal y de su integración socio-laboral (Abascal, Gardeazabal & Arruabarrena, 1991). Aunque inicialmente, el principal objetivo de Egokituz era desarrollar hardware y software para dispositivos de Comunicación

Aumentativa y Alternativa[13], con el tiempo su investigación se fue centrando en la aplicación de metodologías y tecnologías procedentes de la Interacción Persona-Ordenador a las necesidades de las personas con discapacidad (Obrenovic, Abascal & Starcevic, 2007; Epelde et al, 2013).

Dada la variedad de las características físicas, sensoriales y cognitivas de los usuarios con discapacidad y la diversidad de sus necesidades (comunicación, control y manipulación del entorno, navegación espacial, etc.) Egokituz se ha visto en la necesidad de aplicar metodologías y tecnologías muy variadas, frecuentemente en colaboración con otros grupos de investigación: modelado de usuario e interacción adaptada al usuario, minería de datos y aprendizaje automático, generación automática de interfaces basadas en modelos en para computación ubicua accesible, control compartido e iniciativa mixta en interacción persona-robot aplicada a la robótica asistencial, etc.

Egokituz está integrado en el Grupo de Investigación Consolidado ADIAN, subvencionado desde 2007 por el programa de Financiación General a Grupos de Investigación del Sistema Universitario Vasco del Departamento de Educación Universidades e Investigación (Eusko Jaurlaritza-Gobierno Vasco). Egokituz cuenta actualmente con cuatro miembros permanentes (J. Abascal, M. Arrue, N. Garay y L. Gardeazabal), una investigadora postdoctoral contratada (S. Espin) y tres doctorandos (X. Gardeazabal, J. E. Pérez, y A. Sala). En su página Web egokituz.org se pueden consultar más detalles sobre sus actividades.

2. Líneas de trabajo actuales

2.1 Accesibilidad y personalización de interfaces

Esta línea se orienta al desarrollo de técnicas y herramientas para mejorar la experiencia de usuario durante la navegación web. Para ello, se realizan estudios centrados en el análisis de patrones de interacción de los usuarios con discapacidad (Arrue, Valencia, Pérez, Moreno & Abascal, 2019). Los resultados obtenidos en dichos estudios se aplican en la definición de técnicas de personalización automática de las interfaces que se incluyen en las herramientas de adaptación desarrolladas por el grupo (Valencia et al, 2017; Aizpurua et al, 2019). En esta línea se están desarrollando actualmente dos tesis doctorales. Una de ellas tiene como objetivo el estudio y mejora de la interacción de personas con movilidad reducida facilitando la navegación y selección de objetivos en las interfaces web mediante adaptaciones de cursor (Pérez, Valencia, Arrue & Abascal, 2019). La otra pretende mejorar la interacción de las personas con baja visión con servicios públicos gubernamentales basados en web para mediante la aplicación de adaptaciones automáticas mejoren el flujo del proceso del servicio (Moreno, Martínez, Muguerza & Abascal, 2018) y faciliten la interacción con los elementos de la interfaz.

2.2 Interacción emocional

Se han realizado varios proyectos y tesis doctorales para integrar las emociones en la interfaz de usuario con el objetivo de hacer más natural la interacción persona-ordenador (Álvarez, Sierra, Arruti, López-Gil & Garay-Vitoria, 2016). En este sentido se han hecho estudios sobre el uso de avatares para la presentación de información con contenido emocional, (en colaboración con VICOMTech). Por otro lado, se han ha trabajado en la detección de emociones a partir de texto y habla en un contexto multimodal (Garay-Vitoria, Cearreta & Larraza-Mendiluze, 2019). Asimismo, se ha ido incorporando información fisiológica para detectar casos de estrés y se han analizado patrones del sueño en base a electroencefalografías (EEG).

2.3 Robótica asistencial

Egokituz desarrolla sistemas de interacción persona-robot para aplicarlos a la Movilidad y Manipulación Aumentativa y Alternativa[14]. Actualmente el principal objetivo es dar a niños y niñas con severas restricciones motoras (debidas, por ejemplo, a la parálisis cerebral) la experiencia de manipulación física mediante el control de un robot bi-manual. De este modo se pretende ayudar al desarrollo de su capacidad cognitiva, ya que se ha demostrado que los juegos que aportan la experiencia (física o virtual) de manipulación (de la que estos niños carecen) pueden ayudar al desarrollo cognitivo. Egokituz también trabaja con robots móviles que siguen a personas ancianas y monitorizan sus constantes vitales. Su objetivo es doble, por un lado, acompañar a esas personas y por otro, detectar de manera temprana problemas en la salud o el comportamiento.

3. Actividades de investigación destacadas

3.1 Proyecto europeo IRIS

El Proyecto IRIS: I*ncorporating Requirements of People with Special Needs or Impairments to Internet-based Systems and*

[13] La Comunicación Aumentativa y Alternativa tiene por objetivo dar soporte a las personas que tienen restringida parcial o totalmente la capacidad de comunicación oral. Para ello diseña sistemas de comunicación que mejoren la capacidad de comunicación residual o la sustituyan.

[14] Parafraseando la expresión "Comunicación Aumentativa y Alternativa", con Movilidad y Manipulación Aumentativa y Alternativa nos referimos a dispositivos y programas que dan soporte a la capacidad de manipulación y de movilidad residual o la sustituyen.

Services, fue financiado por el IST Programme EC-DG XIII, del 1/1/2001 al 31/10/2003. En este proyecto Egokituz desarrolló EvalAccess, un *web service* para evaluar automáticamente la accesibilidad de páginas web, que resultó muy novedoso en su tiempo. El análisis se basó en criterios de accesibilidad fácilmente actualizables, lo que permitió que esta herramienta pudiera incorporar nuevas pautas de accesibilidad o actualizaciones de las mismas (Abascal, Arrue, Fajardo, Garay-Vitoria & Tomás, 2004). EvalAccess podía ser usado como una aplicación independiente o como un servicio web. En este último caso, cualquier otra aplicación podía llamarla para realizar análisis de accesibilidad.

3.2 Acción Coordinada CARDIAC

La acción CARDIAC: *Coordination Action in R&D in Accessible and Assistive* ICT fue financiada por UE. Contó con la participación de 12 socios de 11 países. Se desarrolló entre 1/03/2010 y 28/02/2013, bajo la coordinación de P. Roe (E. Polytechnique Federale de Lausanne). Su principal objetivo era asesorar a la CE sobre dónde dirigir la financiación de la investigación a corto, medio y largo plazo en el contexto de las TIC para la vida independiente, la inclusión y la gobernanza. J. Abascal coordinó el WP4 y redactó el informe "*Trends on Inclusive User Interface Design*" (Abascal, n.d.) que reúne una serie de propuestas para la planificación de la investigación en la CE a corto, medio y largo plazo.

3.3 Proyecto Cenit INREDIS

El proyecto "INREDIS: Interfaces de Relación entre el Entorno y las personas con Discapacidad" se desarrolló entre 1/5/2009 y 31/3/2011 subvencionado por el CDTI (programa CENIT). Contó con la participación de 14 empresas, bajo la coordinación de Technosite (perteneciente a la Fundación ONCE), y subcontrató 18 centros de investigación. En el paquete de trabajo "PT 6. Interfaces de usuario y configuración de dispositivos" Egokituz desarrolló el modelado de usuario mediante ontologías, las interfaces auto-adaptadas al usuario, y la generación automática de interfaces de usuario basadas en modelos. Como resultado se creó un generador automático de interfaces autoadaptables y accesibles para servicios ubicuos (Gamecho et al, 2015).

4. Docencia y difusión de la accesibilidad

4.1 Docencia en grados y postgrados

Además de haber impartido numerosas asignaturas sobre accesibilidad a la web en diversos másteres de diferentes universidades, Egokituz puso en marcha en 2008 el Máster universitario en Tecnología de Apoyo a la Autonomía Personal, de 60 créditos, en colaboración con la Asociación para la Promoción de la Tecnología Social (APTES). Este máster contó con una importante componente práctica, desarrollada en centros de atención a personas con discapacidad, asociaciones y centros de investigación en accesibilidad.

Por otro lado, se editó el libro "*Education on Design for All in Information Systems and Telecommunications Curriculum*", publicado en 2013 por la Fundación ONCE (Abascal, Garay & Guasch, 2013) para asesorar sobre la inclusión de la "accesibilidad digital" y el "diseño para todas las personas" en la puesta en marcha de nuevos planes de estudio y en su evaluación por parte de la ANECA.

4.2 Actividades de formación de investigadores

Egokituz está integrado en el grupo consolidado ADIAN, en el que desarrolla un ambicioso plan de formación de investigadores, que incluye la promoción de estancias de investigación en centros nacionales y extranjeros, la asistencia a cursos de formación en metodologías y técnicas de investigación y la invitación a profesores visitantes para que impartan conferencias y seminarios.

5. Colaboraciones nacionales e internacionales en investigación

Egokituz ha participado en proyectos de investigación en colaboración con universidades españolas, tales como la U. de Sevilla, la U. de Zaragoza, la U. Carlos III de Madrid, etc., y extranjeras, tales como la U. Técnica de Lisboa, l´Ecole Polytechnique Fédérale-Laussane, U. of Oslo, etc. También ha colaborado en proyectos con centros de investigación, tales como VICOMTech-IK4, Tecnalia, Cyprus Neuroscience & Technology Institute, National Research Council-Florence, Smart Homes-NL, Technion, Forth-ICS, etc., y centros de investigación en salud, tales como el Hospital Nacional de Parapléjicos de Toledo, Remedial Clinic-Dublin, o Evangelische Stiftung Volmarstein- Wetter.

Investigadores de Egokituz han realizado estancias, tanto predoctorales como postdoctorales, en University of California Irvine, The University of Manchester, la Universidade Técnica de Lisboa, C.N.R.-ISTI-Pisa, IBM Research-Tokio, CyLab Security & Privacy Institute - Carnegie Mellon University, University of Waikato, Loughborough University, etc.

6. Actividades internacionales

Desde 1990, Egokituz ha venido colaborando en la asesoría, revisión y evaluación de los planes de I+D en Accesibilidad Digital y Diseño para Todas las Personas de la Unión Europea (TIDE, TAP, IST, Horizon 2020, etc.).

6.1 Acciones COST 219 bis y COST 291 Ter

J. Abascal, coordinador de Egokituz, fue designado por la Oficina de Ciencia y Tecnología (OCYT) para participar en el

Management Committee del COST219bis (UE, CE-DG XIII) "*Telecommunications: Access for disabled people and elderly*" que se desarrolló entre enero de 1998 y diciembre de 2001. Asimismo, fue nombrado por la CICYT para participar en el Management Committee of COST219ter (CE-DGXIII) sobre "*Accessibility for All to Services and Terminals for Next Generation Networks*", que se desarrolló entre enero de 2003 y diciembre de 2006. Estas acciones COST tuvieron gran relevancia para la definición de los objetivos de accesibilidad en Europa, y sirvieron para asesorar a la CE sobre las convocatorias europeas de investigación en accesibilidad.

6.2 Representación de España en IFIP

El coordinador de Egokituz, J. Abascal, también ha sido miembro del comité técnico TC de la *International Federation for Information Processing* desde 1990 hasta 2018 (en que España dejó de pertenecer a IFIP). Durante ese tiempo, su labor se centró en dar a conocer la labor desarrollada en España en el ámbito de la Interacción Persona-Ordenador, así como promocionar la IPO en España. Por otro lado, en 1993 creó el grupo de trabajo *WG 13.3 HCI and Disability* que presidió hasta 1998. Su labor en IFIP ha sido reconocida a través del *IFIP Silver Core* (1998), *Pioneer Award* (2015) y *IFIP Fellow Award* (2019).

Referencias

Abascal, J. (n.d.). *Trends on Inclusive User Interface Design*. Retrieved from http://212.50.96.228:5000/cardiaceuorg/deliverables/CARDIAC_D3.2_Definitive%203.pdf

Abascal, J., Arrue, M., Fajardo, I., Garay-Vitoria, N., Tomás, J. (2004). The use of guidelines to automatically verify Web accessibility. *Universal Access in the Information Society, 3*(1), 71-79

Abascal, J., Garay, N., Guasch, D. (2013). *Education on Design for All in Information Systems and Telecommunications Curriculum*. IMSERSO & FONCE. Barcelona. Retrieved from https://www.fundacionononce.es/sites/default/files/docs/ libro_informatica%2520telec_2.pdf

Abascal, J., Gardeazabal, L., Arruabarrena, A. (1991). Providing Telecommunications Access to People with Special Needs. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 9*(4), 601-604

Aizpurua, A., Miñón, R., Gamecho ,B., Cearreta, I., Arrue, M., Garay-Vitoria, N. (2019). Accessible Ubiquitous Services for Supporting Daily Activities: A Case Study with Young Adults with Intellectual Disabilities. *International Journal on Human-Computer Interaction, 35*(17), 1608-1629

Álvarez, A., Sierra, B., Arruti, A., López-Gil, J.M., Garay-Vitoria, N. (2016). Classifier Subset Selection for the Stacked Generalization Method Applied to Emotion Recognition in Speech. *Sensors, 16*(1), Paper 21

Arrue, M., Valencia, X., Pérez, J.E., Moreno, L., Abascal, J. (2019). Inclusive Web Empirical Studies in Remote and In-Situ Settings: A User Evaluation of the RemoTest Platform. *International Journal on Human-Computer Interaction, 35*(7), 568-583

Epelde, G., Valencia, X., Carrasco, E., Posada, J., Abascal, J., Diaz-Orueta, U., Zinnikus, I., Husodo-Schulz, C. (2013). Providing universally accessible interactive services through TV sets: implementation and validation with elderly users. *Multimedia Tools and Applications, 67*(2), 497-528

Gamecho, B., Miñón, R., Aizpurua, A., Cearreta, I., Arrue, M., Garay-Vitoria, N., Abascal, J. (2015). Automatic Generation of Tailored Accessible User Interfaces for Ubiquitous Services. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 45*(5), 612-623

Garay-Vitoria, N., Cearreta, I., Larraza-Mendiluze, E. (2019), Application of an Ontology-Based Platform for Developing Affective Interaction Systems. *IEEE Access, 7*, 40503-40515

Moreno, L., Martínez, P., Muguerza, J., Abascal, J. (2018). Support resource based on standards for accessible eGovernment transactional services. *Computer Standards & Interfaces, 58,* 146-158

Obrenovic, Z., Abascal, J., Starcevic, D. (2007). Universal Accessibility as a Multimodal Design Issue. *Communications of ACM, 50*(5), 83-88

Pérez, J.E., Valencia, X., Arrue, M., Abascal, J. (2019). Evaluation of two virtual cursors for assisting web access to people with motor impairments. *International Journal on Human-Computer Studies, 132,* 81-98

Valencia, X., Pérez, J. E., Arrue, M., Abascal, J., Duarte, C., Moreno, L. (2017). Adapting the Web for People With Upper Body Motor Impairments Using Touch Screen Tablets. *Interacting with Computers, 29*(6), 794-812

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Grupo de Investigación en Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora

Research Group on Computer Supported Collaborative Learning

Rosanna Costaguta
Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información (IIISI)
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT)
Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE)
Santiago del Estero, Argentina
rosanna@unse.edu.ar

María de los Ángeles Menini
Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información (IIISI)
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT)
Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE)
Santiago del Estero, Argentina
marameni@unse.edu.ar

Recibido: 18.11.2019 | Aceptado: 18.12.2019

Palabras Clave

Aprendizaje colaborativo soportado por computadora
Técnicas de Inteligencia Artificial
Técnicas de aprendizaje de máquina

Resumen

El Grupo de Investigación en Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora pertenece al Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información (IIISI), de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) en la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Argentina. Actualmente el grupo está formado por más de quince personas y enmarca sus actividades mediante el Proyecto de Investigación "Mejorando escenarios de Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora". En este artículo se introduce el área de conocimiento específico, y se describen aspectos tales como: los objetivos y el origen del grupo, sus líneas de trabajo, sus producciones más recientes, sus actividades de formación de recursos humanos, y sus intereses en establecer vínculos de colaboración.

Keywords

Computer-Supported Collaborative Learning
Artificial Intelligence Techniques
Machine Learning Techniques

Abstract

The Research Group on Computer-Supported Collaborative Learning belongs to the Research Institute in Informatics and Information Systems (IIISI), of the Faculty of Exact Sciences and Technologies (FCEyT) at the National University of Santiago del Estero (UNSE), Argentina. Nowadays, the group is made up of more than fifteen people and frames its activities through the Research Project *"Improving scenarios of Computer Supported Collaborative Learning"*. This article introduces the specific area of knowledge, and describes aspects such as: the objectives and the origin of the group, its lines of work, its most recent productions, its human resource training activities, and its interests in establishing links of collaboration.

1. Introducción

El término Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadoras (ACSC) se asocia con situaciones de enseñanza y de aprendizaje organizadas a través de actividades colaborativas, mediadas por computadora, en las que interactúan pequeños grupos de estudiantes y docentes.

El ACSC fue rápidamente adoptado en los ámbitos educativos, debido a las ventajas que ofrece, ya que entre otras, permite independizar de las variables tiempo y espacio a los integrantes de los grupos quienes pueden colaborar en cualquier momento y desde cualquier punto geográfico. Sin embargo, crear grupos e indicar a sus miembros que resuelvan consignas de manera colaborativa no garantiza que la experiencia de enseñanza y de aprendizaje sea exitosa. En el ACSC es fundamental que los integrantes se comporten de manera adecuada, es decir, se requiere que tanto los docentes como los estudiantes involucrados manifiesten correcta y oportunamente determinados roles, habilidades, conductas,

etc., pero esto generalmente no ocurre en la realidad y es así como no se alcanzan los resultados esperados.

En ACSC los estudiantes muestran un determinado modo de actuar cuando encaran las diferentes actividades grupales. Este comportamiento describe una forma de colaborar a través de sus habilidades de colaboración, pero además muestra otras características personales como podría ser cierta inclinación hacia un estilo de aprendizaje específico, o la natural predisposición a desempeñar un rol de equipo dado, o talvez, su estado emocional actual. Todas estas características que obviamente impactan en el aprendizaje tanto individual como grupal. Es evidente que se requieren mecanismos que permitan tener en cuenta estas características para monitorear e incentivar a los estudiantes a desempeñarse adecuadamente.

De igual manera, en ACSC, la oportuna intervención del docente o e-tutor resulta imprescindible. Un e-tutor en ACSC es quien apoya los procesos de enseñanza y de aprendizaje por medio de la interacción directa con los estudiantes. Corresponde al e-tutor de ACSC, estructurar y guiar los procesos colaborativos de los estudiantes, con el fin de generar las interacciones que propicien la construcción colaborativa de conocimiento. Es evidente que los e-tutores requieren capacitación y formación, resulta indispensable plantear mecanismos que les permitan adquirir las habilidades necesarias para desempeñarse adecuadamente.

2. Objetivos y Metodología de trabajo

En la sección previa se hizo explícita la necesidad de desarrollar mecanismos orientados a mejorar el comportamiento manifestado tanto por los estudiantes como por los docentes que participan en sesiones de ACSC, a fin de tender a mejorar los procesos de enseñanza y de aprendizaje exitosos. Es así, que este grupo tiene por objetivo el desarrollo de sistemas de ACSC ,o de módulos específicos que se acoplen a sistemas ya existentes, en los cuales mediante el análisis de interacciones, tanto de estudiantes como de docentes, se promuevan conductas adecuadas que beneficien los procesos de enseñanza y de aprendizaje, y se propicie así el éxito de las experiencias de colaboración.

Los desarrollos del grupo se basan en el uso de técnicas de Inteligencia Artificial y de Aprendizaje de Máquina tanto para efectuar el análisis de las interacciones como para promover las conductas adecuadas.

Los desarrollos se validan mediante sesiones experimentales especialmente diseñadas en las que participan estudiantes y docentes universitarios reales. Los datos recabados producto de dichas experiencias son procesados utilizando tanto técnicas estadísticas como métricas específicas del área, lo cual posibilita comprobar o refutar las hipótesis de investigación.

3. Origen del grupo

El Grupo de Investigación en Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora (GI-ACSC) inició las actividades de investigación en la temática en el año 2008, en el Departamento Académico de Informática, perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Argentina. Sin embargo, su constitución formal fue en enero de 2012, conjuntamente con la creación y puesta en funcionamiento del Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información (IIISI) en la mencionada facultad, y la aprobación para ejecución en el IIISI del Proyecto de Investigación "Sistemas de información web basados en agentes para promover el Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora", ejecutado desde entonces hasta diciembre de 2016. En esa oportunidad el grupo estuvo conformado por cinco profesores, cuatro estudiantes de grado y un becario doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina.

A la fecha, desde enero de 2017 a diciembre de 2021, se está ejecutando el Proyecto "Mejorando escenarios de Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora". El número de integrantes creció considerablemente, contando ahora con diecisiete miembros entre docentes investigadores, tesistas de posgrado (doctorado, maestría y especialización), egresados y alumnos de la carrera Licenciatura en Sistemas de Información (LSI).Así, el grupo y actual equipo de proyecto está integrado por: Doctora en Ciencias de la Computación Rosanna Costaguta (Directora), Master en Ingeniería de Software María de los Angeles Menini (Codirectora), Profesora Especialista Daniela Missio, Profesora en Informática y Especialista en enseñanza Marcela Domsky, Licenciado en Sistemas de Información y tesista doctoral CONICET Pablo Santana-Mansilla, Licenciado en Sistemas de Información y tesista doctoral CONICET Germán Lescano, Licenciado en Sistemas de Información y tesista de maestría Cecilia Acosta, Licenciado en Sistemas de Información Diego Yanacón-Atía, Licenciado en Sistemas de Información Carlos Pérez-Crespo, Licenciada en Sistemas de Información María Martha Pérez-Crespo, y Licenciado en Sistemas de Información Hugo Figueroa. Además, los estudiantes avanzados de la carrera Licenciatura en Sistemas de Información Pablo Varas, Alberto Palavecino, Edgar Concha-Medina, Cecilia Colman, Enrique Paz y Belén Ibañez, integran el grupo desarrollando sus tesinas en el marco del proyecto.

4. Actividades del grupo

Para describir las actividades que viene desarrollando el grupo desde sus inicios, se decidió considerar cuatro aspectos relevantes, a saber: líneas de trabajo, publicaciones, formación de recursos humanos y otras producciones, que se detallan a continuación.

4.1 Líneas de trabajo

Como en sus orígenes, y consolidando la línea de investigación, se mantienen como propósitos fundamentales:

identificar las características de aprendizaje de los estudiantes y las de enseñanza de los profesores en sistemas de ACSC, analizar las posibilidades de personalización considerando tales características, idear desarrollos que promuevan mejoras en el desempeño de los estudiantes y docentes en los sistemas de ACSC, relevar cuestiones técnicas vinculadas al diseño y creación de este tipo de sistemas (metodologías de desarrollo, técnicas de aprendizaje de máquina, software disponible, etc.), y también vinculadas con la evaluación (diseño de experimentos, variables a evaluar, métricas a utilizar, etc.), relevar permanentemente nuevos desarrollos en el área, formar recursos humanos altamente especializados, y transferir a la comunidad universitaria de la UNSE los productos generados, los conocimientos y la experiencia adquirida.

Fundamentalmente, las líneas de trabajo simultáneas que mantiene el grupo se basan en el estudio de las interacciones de estudiantes y profesores en los entornos de ACSC. Esto implica temáticas como: habilidades de colaboración, roles de equipo, estilos de aprendizaje, estilos de personalidad, emociones, etc.

4.2 Publicaciones

En los últimos tres años el grupo elaboró dos capítulos de libros (Lescano et al., 2020; Santana-Mansilla et al., 2018) y también ocho artículos publicados en revistas con referato (Costaguta et al., 2019a; Costaguta et al., 2019b; Yanacón-Atia et al., 2018; Pérez-Crespo et al., 2018; Pérez-Crespo et al., 2017; Yanacón-Atia et al., 2017; Costaguta et al., 2017; Lescano et al., 2017).

4.3 Formación de recursos humanos

Dentro del grupo existe un docente investigador formado (Categoría II, otorgada por el Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Nación, Argentina) y dos en formación (Categorías IV y V, respectivamente). Los demás integrantes del grupo se encuentran realizando sus respectivas tesis, o las finalizaron recientemente, en algunos casos se trata de tesis de postgrado y en otros de grado. Por otro lado, actualmente se cuenta con dos tesistas doctorales CONICET, y tres becarios de grado (dos becas Estímulo a la Vocación Científica otorgadas por el Consejo Interuniversitario Nacional - Becas EVC-CIN, una beca UNSE de Investigación para Estudiante. El grupo también contó con una ayudantía estudiantil en investigación en dos períodos, mayo 2017-abril 2018 y mayo 2018-abril 2019.

En particular, el grupo cuenta con dos doctorandos cuyas tesis, de Doctorado en Ciencias de la Computación, están en adelantado estado de desarrollo. Se espera realizar la presentación a evaluación de una de ellas durante el segundo semestre de 2019, y la segunda a mitad de 2020. Los títulos de las tesis doctorales mencionadas son las siguientes: Entrenamiento de Habilidades para Docentes de Aprendizaje Colaborativo Online, y Reconocimiento de conflictos en diálogos colaborativos aplicando análisis de sentimiento.

Tres integrantes del grupo están realizando sus tesis para la Maestría en Informática Educativa. Idéntica situación se observa para tres integrantes que están realizando sus tesis para la Especialización en Informática Educativa. Específicamente en estos casos se trata de trabajos que vinculan el análisis de emociones o la realidad aumentada con el desarrollo de aplicaciones de ACSC. Se espera realizar la presentación a evaluación de estas tesis para fines de 2019 o comienzos de 2020. Cabe acotar que, finalizando 2018 una integrante del grupo obtuvo su título de Especialista en Enseñanza en Ciencias Exactas mediante la tesis titulada: El Portafolio Digital Colaborativo como herramienta de evaluación formativa y sumativa.

Durante 2018-2019, cuatro integrantes presentaron sus tesinas y obtuvieron el título de Licenciados en Sistemas de Información. Los títulos de estos trabajos son: Chat con Interfaz Semiestructurada que facilita el análisis de Interacciones Colaborativas en Moodle, Jesslet: Jess como un servicio, Metabuscador basado en agentes para grupos de estudiantes colaborativos, Agentes software para monitorear el equilibrio de roles en grupos colaborativos. Un quinto integrante presentó recientemente su tesina titulada: Agentes Inteligentes para reconocimiento automático de roles de Belbin en la dinámica de grupos colaborativos, pero aún no se cuenta con los resultados de la evaluación.

Por otra parte, otros cinco integrantes se encuentran elaborando sus tesinas o trabajos fin de carrera con diferentes grados de avance. Los títulos de estos trabajos son: Detección de Conflictos Grupales IPA mediante Minería de Textos en Foros de Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadoras, Aplicación de redes neuronales para agrupar automáticamente estudiantes colaborativos, Agentes inteligentes para la detección de conflictos de origen emocional, Aplicación de un algoritmo genético para agrupar automáticamente estudiantes colaborativos.

Finalmente, cabe acotar, que en junio pasado se realizaron dos presentaciones de candidatos para las becas doctorales CONICET período 2020-2025, cuyos resultados se conocerán en diciembre próximo. Se espera contar así con dos nuevos integrantes becarios doctorales a partir del año que viene.

4.4 Otras producciones

Algunos integrantes del grupo recibieron invitaciones para brindar conferencias en otros países, a saber: Facultad de Ingeniería, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán - Colombia (2017, 2018 y 2019), Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Comfacauca, Popayán - Colombia (2017 y 2018), Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Popayán - Colombia (2017 y 2018), Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Sede Norte. Popayán - Colombia (2017), Instituto Tecnológico Latinoamericano, Sedes Mineral de la Reforma y Tula de Allende, Hidalgo – México (2017).

También se presentaron artículos en congresos internacionales: XX International Conference on Human-

Computer Interaction, España (2019), XIX International Conference on Human-Computer Interaction, España (2018), XIX Encuentro Internacional Virtual Educa, Brasil (2018), XXV International Conference on Learning, Grecia (2018), XVIII International Conference on Human-Computer Interaction, México (2017), 9th Euro American Conference on Telematics and Information Systems, Colombia (2016), 14th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, México (2015), XVI Encuentro Internacional Virtual Educa, México (2015), 7th Euro American Conference on Telematics and Information Systems, Chile (2014). Desde 2012 a la fecha, se registran numerosos desempeños como expositores en eventos científicos nacionales. También se dictaron cursos de grado y posgrado en las temáticas específicas de investigación.

5. Interés en colaborar

El grupo tiene permanente interés en la concreción de acuerdos de cooperación y trabajos en colaboración con otros grupos con los que comparte temas de investigación. Siguiendo esta perspectiva desde 2018 integra la Red VG-COLLAB junto a otros grupos de investigación iberoamericanos (red con financiamiento de la Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado - AUIP). Además recientemente en 2019, a través de la firma de un convenio específico, formalizó vínculos de investigación conjunta con el Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería del Software (Grupo IDIS) de la Universidad del Cauca (Colombia).

Referencias

Costaguta, R., Lescano, G., Santana-Mansilla, P., Missio, D. & P. Miró. (2017). Relacionando habilidades de colaboración con roles de grupo a través de minería de datos. *Revista Scintia et Co*gnito, 1(1), 165-171.

Costaguta, R., Missio, D., Menini, M., Santana-Mansilla, P. & G. Lescano. (2019a). Caracterización de las interacciones colaborativas en ambientes de e-learning considerando conductas grupales y habilidades de colaboración. *Revista Internacional de Aprendizaj*e, 5(2), 139-159.

Costaguta, R., Santana-Mansilla P., Lescano G. & D. Missio. (2019b). Mining Associations between Collaborative Skills and Group Roles in Collaborative E-learning Environments. *Journal of Information Technology Research*, 12(2), 159-174.

Lescano, G., Costaguta, R. & A. Amandi. (2020). Cap. 5 Reconocimiento de emociones basado en texto (pp. a confirmar). En *Introducción a la Computación Afectiva*. Venezuela: Red TEPUY.

Lescano, G., Santana-Mansilla, P. & R. Costaguta. (2017). Analysis of GPU implementation of Viola-Jones´Algorithm for Features Selección. *Journal of Computer Science*, 17(7), 68-73.

Pérez-Crespo, C, Pérez-Crespo, M. & R. Costaguta. (2017). JUNE: Un metabuscador basado en agentes para promover grupos colaborativos. *Revista Scintia et Cognito*, 1(1), 151-158.

Pérez-Crespo, C. Pérez-Crespo, M. & R. Costaguta. (2018). Un metabuscador que eficientiza búsquedas colaborativas. *Revista Campus Virtuales*, 7(1), 81-93.

Santana-Mansilla, P., Costaguta, R. & S. Schiaffino. (2018). Cap. 14 A Multi-Agent Model for Personalizing Learning Material for Collaborative Groups (pp. 343-375). En *Optimizing Human-Computer Interaction with Emerging Technologie*s. USA: IGI Global.

Yanacón-Atía, D., Costaguta, R. & M. Menini. (2017). Detectando habilidades de colaboración para calcular indicadores en Moodle. *Revista Scintia et Cognito*, 1(1), 173-180.

Yanacón-Atía, D., Costaguta, R. & M. Menini. (2018). Indicadores colaborativos individuales y grupales para Moodle. *Revista Campus Virtuales*, 7(1), 125-139.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 1, No 1 (2020)
ISSN 2695-6578

Grupo de Investigación en Ingeniería de Sistemas Interactivos (Grupo ISE)

Interactive Systems Engineering Research Group

María D. Lozano
Instituto de Investigación en Informática de Albacete
Universidad de Castilla-La Mancha
Albacete, España
maria.lozano@uclm.es

José A. Gallud
Instituto de Investigación en Informática de Albacete
Universidad de Castilla-La Mancha
Albacete, España
jose.gallud@uclm.es

Víctor M.R. Penichet
Instituto de Investigación en Informática de Albacete
Universidad de Castilla-La Mancha
Albacete, España
victor.penichet@uclm.es

Ricardo Tesoriero
Instituto de Investigación en Informática de Albacete
Universidad de Castilla-La Mancha
Albacete, España
ricardo.tesoriero@uclm.es

Recibido: 26.11.2019 | Aceptado: 18.12.2019

Palabras Clave

Interfaces de Usuario Distribuidas
Interfaces de Usuario Naturales
Desarrollo de Interfaces basadas en Modelos
Computación ubícua y sensible al contexto
Entornos Colaborativos
Computación afectiva

Resumen

El grupo de investigación ISE (Interactive Systems Engineering)[15] centra su actividad en el área de investigación de Interacción Persona-Ordenador (IPO) y el desarrollo de Sistemas Interactivos integrando los resultados de la investigación llevada a cabo en las líneas mencionadas para mejorar los actuales mecanismos de interacción y facilitar el uso de la tecnología. El grupo ISE pertenece al Instituto de Investigación en Informática de Albacete, de la Universidad de Castilla-La Mancha, además de la actividad de varios de sus miembros en otras universidades. En este artículo se realiza una breve descripción del grupo, indicando sus líneas de trabajo, proyectos y actividades más destacadas.

Keywords

Distributed User Interfaces (DUI)
Natural User Interfaces (NUI) Model-based User Interface Development (MB-UIDE)
Collaborative Environments
Context-Awareness and Ubiquitous computing
Affective Computing

Abstract

The ISE (Interactive Systems Engineering) research group focuses its activity in the Human-Computer Interaction research area and the development of Interactive Systems integrating the research outcomes carried out within the mentioned topics to improve the current interaction mechanisms. The ISE research group belongs to the Albacete Research Institute of Informatics, of the University of Castilla-La Mancha, in addition to the activity of several of its members in other universities. This article presents a brief description of the group, indicating their most important research lines, projects and activities.

1. Presentación del Grupo ISE

El grupo ISE (Interactive Systems Engineering) se constituye en 2011 con un conjunto de personas con experiencia previa en otros grupos de investigación desde el año 1995. El grupo forma parte del Instituto de Investigación en Informática de Albacete [1] de la Universidad de Castilla-La Mancha [2]. Actualmente está formado por 11 miembros, 8 de ellos doctores. La mayoría de ellos ejerce su actividad profesional como PDI de distintas universidades (4 en la Universidad de Castilla-La Mancha, 2 en la Universitat de Lleida y 1 en la king Abdulaziz University, Saudi Arabia). En la naturaleza del grupo está el carácter multidisciplinar propio del área HCI, y que se refleja en las constantes colaboraciones con investigadores y profesionales del área de la salud, la educación y las bellas artes, entre otros.

[15] ISE Research Group: http://www.iseresearch.com/

El **objetivo principal** del grupo es la investigación y desarrollo de sistemas interactivos avanzados integrando las propuestas metodológicas de la Ingeniería del Software junto con nuevas tecnologías y dispositivos que faciliten y mejoren la interacción de las personas con el entorno tecnológico que nos rodea. Para ello se tiene en cuenta la interacción de cualquier persona en cualquier lugar, lo que incluye movilidad, ubicuidad y sensibilidad al contexto, adaptando los mecanismos de interacción a las características y necesidades de las personas, incorporando lo que se conoce como Interfaces de Usuario Naturales.

Los miembros del grupo ISE forman parte, entre otras, de la Asociación para la Interacción Persona-Ordenador (AIPO), desde su fundación en el año 2000, participando ya en las primeras jornadas celebradas ese año en Granada.

2. Líneas de Investigación

A continuación, se detallan las líneas de investigación del grupo en las que se han conseguido importantes resultados que han dado lugar a varias tesis doctorales y más de un centenar de contribuciones científicas publicadas en revistas con índice de impacto y congresos con indicios de calidad, así como numerosos proyectos de investigación de carácter internacional, nacional y regional:

5. Metodologías, modelos y lenguajes de especificación de interfaces de usuario.
6. Nuevos paradigmas y técnicas de interacción. Interfaces de Usuario Naturales
7. Sistemas ubicuos y aplicaciones móviles sensibles al contexto
8. Entornos colaborativos para el trabajo en grupo

Metodologías, modelos y lenguajes de especificación de interfaces de usuario. Esta línea de investigación se puede considerar transversal a las demás, pues es donde se establecen las metodologías, modelos y herramientas para el desarrollo de interfaces de usuario aplicando el paradigma basado en modelos, que las demás líneas aplican y tienen en cuenta (Albertos, Penichet, Gallud y Winckler, 2018). Los trabajos en esta línea se plantean desde una perspectiva amplia en la que se integran las propuestas realizadas desde el ámbito de la Ingeniería del Software y de la Interacción Persona-Ordenador, intentando establecer puentes entre estas dos consolidadas disciplinas.

Nuevos paradigmas y técnicas de interacción. Interfaces de Usuario Naturales (NUI). En esta línea de investigación se pretende avanzar en la investigación de nuevas formas de interactuar con los sistemas y proporcionar más funcionalidad reduciendo a la vez la complejidad para el usuario, con el objetivo de romper la barrera tecnológica que en muchas ocasiones se produce entre las personas y los sistemas informáticos. En esta línea se han aportado soluciones para el desarrollo de Interfaces de Usuario Distribuibles (DUI), permitiendo distribuir la interfaz de una aplicación en diferentes dispositivos (Tesoriero, Gallud, y Altalhi, 2016), (Albertos, Gallud y Penichet, 2018). También se han aportado soluciones con la introducción de Interfaces de Usuario Tangibles (TUI) permitiendo utilizar objetos cotidianos como elementos de interacción (Tesoriero y Gallud, 2018). También se trabaja en mecanismos de interacción basado en movimiento (Garrido, Penichet y Lozano, 2014), avanzando así en la interacción más allá del ratón y el teclado tradicional; y, por último, en el campo de la computación afectiva (Garcia-García et al., 2018). Todos ellos empleados en distintos dominios de aplicación.

Sistemas ubicuos y aplicaciones móviles sensibles al contexto. Esta línea aborda el reto del desarrollo de aplicaciones para entornos "fuera del escritorio". La tendencia de llevar la computación, y por tanto la interacción con los sistemas más allá del ordenador de escritorio, hace que cada vez cobre más importancia desarrollar aplicaciones que permitan la interacción en cualquier momento y lugar, mediante dispositivos móviles, que además soporten sensibilidad al contexto y permitan enriquecer la experiencia del usuario, que podrá centrarse más en la tarea a desarrollar y no tanto en la tecnología necesaria para ello (Tesoriero et al., 2014). Estos entornos se caracterizan por ser entornos multidispositivo, y el reto actual en esta línea de investigación es conseguir hacer desaparecer la tecnología y los múltiples dispositivos y lograr que la interacción del usuario con el entorno sea intuitiva y natural.

Entornos colaborativos para el trabajo en grupo. Este objetivo aborda las necesidades de los entornos colaborativos para el trabajo en grupo. En concreto, dentro de esta línea se ha trabajado en entornos de e-learning abordando los problemas de conectividad tanto online como offline y en general, en entornos de aprendizaje basados en tecnología, (de la Guía et al., 2016 y 2015).

3. Proyectos y Actividades

En cuanto a la actividad investigadora, el grupo mantiene numerosos contactos y colaboraciones con otros grupos de investigación tanto en el ámbito nacional como internacional. Estas colaboraciones han propiciado la organización de numerosos congresos y workshops de carácter internacional y nacional, entre los que cabe destacar los realizados en la

línea de Interfaces de Usuario Distribuidas (DUI)[16] en 2011, 2012, 2013, 2014 y 2016, así como el IDEE[17] 2012, 2013 y 2014, el ISEC 2012, 2013 y 2014, el REHAB[18] 2013, 2014, 2015 y 2016, y el CADUI 2008. En el ámbito nacional, varias Escuelas de Verano de Informática en la Universidad de Castilla-La Mancha (EVI 2000 y 2003) y los congresos INTERACCIÓN 2008 y 2012.

Dentro de los **trabajos previos realizados por el grupo**, cabe destacar el desarrollo de varios prototipos aplicando DUIs y TUIs, entre ellos, destacamos Proxywork: Distributing Web Applications[19] y NFCBook: Libro-juego interactivo con objetos tangibles[20]. En el campo de la rehabilitación física y cognitiva, el grupo ha desarrollado varios prototipos en los que se ha colaborado con personal especializado del ámbito sanitario, y en colaboración con asociaciones locales de Albacete, en concreto, ASPRONA (Asociación para la Atención a Personas con Discapacidad Intelectual y sus Familias) y AFA (Asociación de Familiares de enfermos de Alzheimer) en las que se han realizado pruebas piloto de los siguientes prototipos desarrollados en esta línea: TrainAb: Sistema para la estimulación de capacidades cognitivas[21] y AlzGame: Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Atención de Personas Afectadas de Alzheimer[22].

Entre los **proyectos desarrollados en el grupo**, destacamos los siguientes. En el Proyecto de ámbito nacional, denominado "Interacción y Colaboración en el Desarrollo de Interfaces de Usuario Distribuidas Aplicadas a Publicidad Interactiva", aportamos la propuesta de una solución que permite la distribución y adaptación de aplicaciones interactivas basadas en Interfaces de Usuario Distribuidas en entornos con múltiples dispositivos (Multi-device Environments). La solución aportada permite que la interfaz de usuario de una aplicación interactiva pueda ser dividida, movida, copiada, clonada, etc. entre diferentes dispositivos, con iguales o diferentes sistemas operativos. De este modo, se permite que el usuario pueda decidir qué tareas quiere ejecutar en cada dispositivo dentro del rango de dispositivos que pueda tener a su disposición, ya sean smartphones, tablets, portátiles, etc.

En **colaboración con la industria**, caben destacar entre otros, los proyectos SIVIRE y EME-Rehab, recientemente finalizados, abordamos nuevos mecanismos de interacción basada en movimiento y gestos aplicados al campo de la rehabilitación física. En el proyecto SIVIRE se aporta un sistema virtual para la creación de ejercicios con interacción basada en movimiento para procesos de rehabilitación, que permite a los fisioterapeutas y médicos rehabilitadores crear ejercicios personalizados para cada paciente, adaptando los ejercicios a sus características y limitaciones físicas. En el proyecto EME-Rehab[23], se aporta un software para la edición y monitorización de ejercicios para procesos de rehabilitación, para permitir que los pacientes puedan realizar los ejercicios de rehabilitación creados para ellos con el sistema SIVIRE en su propio domicilio de forma fiable sin necesidad de desplazarse al centro de rehabilitación.

Actualmente se trabaja en un Proyecto nacional aplicado en el ámbito de la salud y un Proyecto regional, aplicado en el ámbito educativo.

El Proyecto nacional, denominado: "Desarrollo y Evaluación de Sistemas Interactivos Basados en Interfaces de Usuario Naturales Aplicados a Mejorar las Técnicas de Rehabilitación y Evaluación Médica", trata de aportar avances en la línea de investigación de las interfaces naturales, especialmente en el campo de la interacción tangible y basada en movimiento, aplicada en el ámbito de la rehabilitación física y cognitiva.

En el Proyecto regional denominado "Avances Tecnológicos Aplicados a dar soporte y mejorar la actividad docente en Colegios Rurales Agregados (TecnoCRA)[24], se trabaja en la línea de investigación conocida como TEL (Technology-Enhanced Learning) para mejorar las limitaciones que experimentan los Colegios Rurales Agregados (CRA) aportando novedosos sistemas interactivos que incorporan nuevos mecanismos de interacción basados en interfaces de usuario naturales, para mejorar los procesos de enseñanza/aprendizaje en ese tipo de centros, en particular.

Agradecimientos

Muchos de los trabajos realizados en el grupo no habrían sido posibles sin la participación de muchas personas que pasaron por el grupo y actualmente ejercen su trabajo en la empresa o como autónomos, así como otros colaboradores internacionales y alumnos, a los que deseamos expresar nuestro agradecimiento.

[16] DUI workshops. http://dui.uclm.es/
[17] IDEE Workshops. http://idee-workshop.org/
[18] REHAB workshops. http://rehab-workshop.org/2016/
[19] Proxywork. https://www.youtube.com/watch?v=MEC2Y5rVGXQ
[20] NFCBook. https://www.youtube.com/watch?v=zxwUPCRd32w
[21] TrainAb. https://www.youtube.com/watch?v=JO-7Fu1-GN4
[22] AlzGame: https://www.youtube.com/watch?v=A32An1_pdgw
[23] Proyecto EME-Rehab. http://eme-rehab.iseresearch.com/
[24] Proyecto TecnoCRA. http://blog.uclm.es/proyectotecnocra

Referencias

Albertos F., Gallud, J. A., and Penichet, V.M. (2018). "A study on how users perceive distributed interactions on web applications," *IEEE access*, vol. 6, pp. 57389-57399.

Albertos F., Penichet, V.M., Gallud, J. A. and Winckler M. (2018)., "A model-based approach for describing offline navigation of web applications," *Journal of Web Engineering*, vol. 16, iss. 1{&}2, pp. 1-38, 2017.

de la Guía, E., Lozano, M.D. y Penichet, V. (2015). Educational Games based on Distributed and Tangible User Interfaces to Stimulate and Improve Cognitive Abilities in Children with ADHD. *British Journal of Educational Technology (BJET)*, Vol. 46 Issue 3, p.664-678. ISSN 0007-1013. DOI: 10.1111/bjet.12165

de la Guía, E., López, V., Orozco, L., Brea, V., Penichet, V. y Lozano, M.D. (2016). Introducing IoT and Wearable Technologies into Task-Based Language Learning for Young Children. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. Vol 9, Issue: 4, pp. 366-378. ISSN: 1939-1382. DOI: 10.1109/TLT.2016.2557333

Garcia-Garcia, J.M., Penichet, V. M. R., Lozano, M. D., Garrido, J.E., and Law, E. (2018) Multimodal Affective Computing to Enrich the User Experience of Educational Software Applications. *Mobile Information Systems*, vol. 2018: 1-10. ISSN: 1875-905X. https://doi.org/10.1155/2018/8751426

Garrido, J.E., Penichet V. y Lozano, M. (2014). Movement-Based Interaction applied to Physical Rehabilitation Therapies. *Journal of Medical Internet Research (JMIR)*, Vol. 16 (12):e281: 1-14. ISSN 1438-8871. DOI:10.2196/jmir.3154

Garrido, J.E., Penichet V. y Lozano, M. (2018)., "A novel context-aware system to support healthcare environments," *Universal access in the information society*, pp. 1-11.

Tesoriero, R., Gallud, J. A., Lozano, M. D. y Penichet, V. M. R. (2014). Enhancing Visitors' Experience in Art Museums Using Mobile Technologies Environments. *Information Systems Frontiers*. ISSN 1387-3326. Vol. 16 – 2, pp. 303-327. DOI: 10.1007/s10796-012-9345-1

Tesoriero, R., Gallud, J. A., Altalhi, A. H. (2016). Supporting the Loewenstein occupational therapy cognitive assessment using distributed user interfaces. *Disability and Rehabilitation*. Vol. 39(4). ISSN: 0963-8288, pp. 389-397. 2014. DOI: 10.3109/09638288.2014.949354

Tesoriero, R., Gallud, J. A. (2018). Software Architecture and Framework to Develop NFC-Based Applications. *Sensors*, 18, 2654 DOI: https://doi.org/10.3390/s18082654. ISSN: 1424-8220