INTERACCION

Revista Digital de AIPO

Asociación Interacción Persona-Ordenador

Vol. 6, No 1 (2025)

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 6, No 1 (2025)
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: 2025

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

Diana Arellano, ACM SIGGRAPH committee y Filmakademie

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

Luis Leiva, University of Luxembourg

Diego Martinez Plasencia, University College London

Gonzalo Méndez, Universidad Complutense de Madrid

Fernando Moreira, Universida de Portucalense

José Antonio Macías: Universidad Autónoma de Madrid

José Ignacio Panach, Universitat de València

Pere Ponsa, Universitat Politècnica de Catalunya

Arcadio Reyes Lecuona, Universidad de Málaga

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 6, No 1 (2025)
ISSN 2695-6578

Revisores adicionales en este número

Sandra P. Cano Mazuera Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)

María Amelia Eliseo Universidad Presbiteriana Mackenzie (Brasil)

Juan Enrique Garrido, Universidad de Castilla-La Mancha (España)

Ramon Mas Sansó, Universitat de les Illes Balears (España)

Gloria Thomé Ponce, Universidad de Nariño (Colombia)

Javier Varona, Universitat de les Illes Balears (España)

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 6, No 1 (2025)
ISSN 2695-6578

Preámbulo

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

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

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

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

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

Resumen del Volumen 6, Número 1:

Este número presenta cinco artículos que abordan desafíos actuales en accesibilidad, tecnología y experiencia de usuario desde una perspectiva inclusiva e interdisciplinar. Entre los temas tratados se incluyen la accesibilidad de gráficos estadísticos para personas con baja visión, el desarrollo de una aplicación orientada a mejorar la comunicación y anticipación en personas con Trastorno del Espectro Autista (TEA), y una reflexión sobre la interacción persona-ordenador desde la perspectiva del autismo.

Además, se proponen métricas para la definición de perfiles de usuario y se analizan los avances en el renderizado de audio espacial en entornos de realidad virtual. En conjunto, estos trabajos ofrecen aportes relevantes tanto para la investigación académica como para el diseño de soluciones tecnológicas más accesibles e inclusivas.

Nuestro agradecimiento 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. 6, No 1 (2025)
ISSN 2695-6578

Tabla de contenidos

¿Es Posible Crear Gráficos Estadísticos Accesibles con Microsoft Excel? Una Revisión de las Posibilidades y Límites con Especial Atención a los Usuarios con Baja Visión

Rubén Alcaraz-Martínez, Mireia Ribera, Jordi Roig y Afra Pascual Almenara 6

PlanTEA 3.0: Una Aplicación para la Planificación, Anticipación y Comunicación para Personas con TEA

Laura Morales Caro, Ana Isabel Molina Díaz y Carmen Lacave Rodero 23

Propuesta de Métricas de Usuario para Definir Perfiles de Usuario

Alberto Gaspar, José Ignacio Panach, Miriam Gil y Verónica Romero 37

Renderizado de Audio Espacial en Realidad Virtual con el Binaural Rendering Toolbox (BRT)

Arcadio Reyes-Lecuona, Daniel González-Toledo y María Cuevas-Rodríguez 51

Comprendiendo la Perspectiva del Autismo en la IPO a través de la Experiencia: Lecciones y Reflexiones Valiosas

Yussy Chinchay, Javier Gómez y Germán Montoro 62

.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 6, No 1 (2025)
ISSN 2695-6578

¿Es Posible Crear Gráficos Estadísticos Accesibles con Microsoft Excel? Una Revisión de las Posibilidades y Límites con Especial Atención a los Usuarios con Baja Visión

Can we Create Accessible Charts with Microsoft Excel? A Review of Possibilities and Limits, with a Special Focus to Users with Low Vision

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

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

Jordi Roig
Departament de Matemàtiques i Informàtica
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
jordi.roig@ub.edu

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

Recibido: 29.10.2024 | Aceptado: 16.04.2025
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.121

Palabras Clave

Gráficos estadísticos
Baja visión
Accesibilidad digital
Microsoft Excel
ATAG 2.0
WCAG 2.2
Documentos digitales

Resumen

Introducción: los gráficos estadísticos son clave para la alfabetización en datos y esenciales en el proceso de comunicación de conceptos científicos abstractos y relaciones difíciles de entender a través de otras representaciones. Este tipo de visualizaciones puede presentar numerosos desafíos para los usuarios con baja visión, un grupo a menudo pasado por alto a pesar de su enorme prevalencia. Metodología: se evalúa a) el cumplimiento de Microsoft Excel como herramienta de autor con las pautas ATAG 2.0; y b) la accesibilidad de los gráficos generados por MS Excel con un conjunto de principios heurísticos. Para la evaluación heurística, además del gráfico original creado con MS Excel (XLSX), se crearon tres versiones exportadas (DOCX, HTML y SVG) del mismo gráfico utilizando todas las funciones de accesibilidad disponibles en el software. Resultados: en cuanto al cumplimiento de las ATAG, se identificaron 48 características de accesibilidad deseadas aplicables a MS Excel, de las cuales el software cumple con solo 26 de ellas (54,17%). Respecto a la evaluación heurística, las cuatro versiones del gráfico presentan un porcentaje de cumplimiento con los heurísticos igual o superior al 66,66%. Las versiones que obtuvieron las mejores puntuaciones son el gráfico original en formato MS Excel y el exportado a MS Word con un 72,2% de indicadores alcanzados, seguidos por los gráficos exportados en formato SVG y HTML, ambos con un 66,66%. A pesar de que MS Excel no cumple con buena parte de los criterios contemplados en las ATAG 2.0, ha sido posible crear gráficos con un buen nivel de accesibilidad siguiendo los principios heurísticos sugeridos.

Keywords

Statistical charts

Low vision

Digital accessibility

Microsoft Excel

ATAG 2.0

WCAG 2.2

Digital documents

Abstract

Introduction: Statistical charts are key to data literacy and essential in the process of communicating abstract science concepts and relationships that are difficult to understand through other representations. These types of visualization can present numerous challenges for users with low vision, an often-overlooked group despite its enormous prevalence. Methodology: evaluate a) the compliance of Microsoft Excel software as an authoring tool with ATAG 2.0 guidelines; and b) the compliance of MS Excel-generated charts with a domain heuristic set proposed by the authors. For the heuristic evaluation, apart from the original MS Excel chart (XSLX), three exported versions (DOCX, HTML and SVG) of the same chart were created using all the accessibility features available in the software. Results: regarding ATAG compliance, 48 desired accessibility features applying to MS Excel have been identified and the software meets just 26 of them (54.17%). Regarding heuristic evaluation, the four versions of the chart present a percentage of compliance with the heuristics equal to or greater than 66.66%. The versions that have obtained the best scores are MS Excel original and MS Word exported charts with 72.2% of indicators achieved, followed by SVG and HTML exported charts, both with 66.66%. Even though MS Excel does not meet a good part of the ATAG 2.0 success criteria, it has been possible to create charts with a good level of accessibility following the suggested heuristic principles.

1. Introducción

Carlson y Johnston (2015) en su trabajo seminal sobre la alfabetización en datos, abogan por esta habilidad como una competencia clave para los futuros investigadores. Se basan en la definición de Hunt (2004) quien afirma que la alfabetización en datos "implica comprender lo que significan los datos, lo cual incluye cómo leer gráficos y tablas apropiadamente, extraer conclusiones correctas a partir de los datos y reconocer cuándo estos se están utilizando de manera engañosa o inapropiada". Los gráficos juegan un papel crucial en la comunicación de conceptos científicos abstractos (Arteaga y otros, 2010) y permiten hacer visibles relaciones también complejas que son difíciles de entender a través de otros tipos de representaciones (Postigo y Pozo, 2000). Si se considera que la alfabetización en datos es crucial y los gráficos estadísticos son fundamentales para transmitir datos, la accesibilidad de los gráficos es, por tanto, esencial para garantizar la inclusividad en cualquier sector en el que se manejen datos y visualizaciones.

Entre los usuarios con discapacidades, existe un grupo a menudo olvidado que no ha recibido suficiente atención a pesar de su significativa prevalencia. Este grupo es el de personas con baja visión, una discapacidad visual que afecta a unos 217 millones de individuos en todo el mundo, lo que representa el 85,77% de las personas con discapacidades visuales (Bourne y otros, 2017). La baja visión abarca una diversa gama de perfiles de usuarios, con diferencias significativas en la agudeza visual o el campo de visión (central o periférico) (WebAIM, 2013), así como por lo que respecta a otras afecciones sobre la vista relacionadas con enfermedades como la retinopatía diabética, cataratas o hemianopsia, lo que resulta en manchas oscuras en el campo visual, un efecto borroso o nebuloso, o ceguera en la mitad del campo visual, respectivamente. Otros individuos con baja visión pueden experimentar sensibilidad al contraste, la luz o el resplandor, o presentar visión cromática deficiente (VCD).

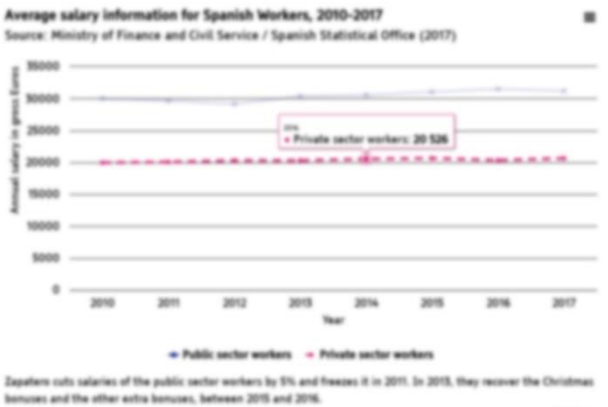


Figura 1: Simulación de un gráfico visto por una persona con baja agudeza visual. Generado con NoCoffee vision simulator

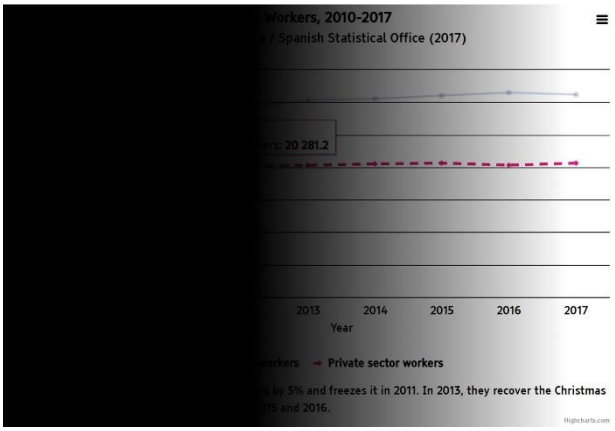


Figura 2: Simulación de un gráfico visto por una persona hemianopsia. NoCoffee vision simulator.

El hecho de que muchos usuarios con baja visión sean capaces de desenvolverse de forma autónoma a pesar de ciertas

limitaciones sin la ayuda de bastones blancos o perros guía, hace que pasen desapercibidos en el día a día. Esto ha llevado a describir la baja visión como una «discapacidad invisible» (Shinohara y Wobbrock, 2011). Las condiciones anteriormente citadas afectan a su capacidad para percibir información, particularmente cuando se trata de fórmulas matemáticas, dibujos técnicos, diagramas, gráficos u otros tipos de visualizaciones complejas y con muchos detalles. Además, las personas con baja visión utilizan un importante y muy diverso conjunto de ayudas técnicas, siendo los magnificadores de pantalla los más populares entre los usuarios de este colectivo, seguidos por otros como lectores de pantalla, opciones de zum integradas en los navegadores web, configuraciones de alto contraste, etc. Todo ello implica que satisfacer las necesidades particulares de este colectivo resulta harto complicado por la importante diversidad que lo define, caracterizada por diferentes barreras técnicas, preferencias y configuraciones.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar Microsoft (MS) Excel como herramienta de autor capaz de crear gráficos estadísticos accesibles. Entre todas las herramientas disponibles para crear gráficos estadísticos, se ha optado por evaluar MS Excel por su enorme adopción en tanto que forma parte de la suite ofimática por excelencia del sistema operativo más utilizado en entornos domésticos y profesionales para ordenadores de sobremesa. Además, un número significativo de organizaciones de muy diversos ámbitos y sectores profesionales ha integrado los servicios de MS como el conjunto de herramientas que ofrecen a su personal. Las alternativas a MS Excel incluyen paquetes estadísticos altamente especializados como IBM SPSS o SAS/STAT o paquetes muy específicos para crear visualizaciones, como Tableau o bibliotecas de software como Bokeh, Plotly o similares. Estas herramientas suelen estar dirigidas a sectores aún más específicos y requieren conocimientos especializados; en cambio, MS Excel es un software ampliamente adoptado en diferentes áreas de negocio, centros educativos de distintos niveles (Warner y Meehan, 2001) y organizaciones gubernamentales y que presenta una curva de aprendizaje menos pronunciada. Concretamente, la versión analizada de esta aplicación fue la más actual en el momento de llevar a cabo la investigación: MS Excel MSO 16.0.10356.20006 para sistemas operativos de escritorio de 64 bits de Windows.

2. Marco teórico

Las *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG) (W3C, 2023) son el documento normativo de referencia en el ámbito de la accesibilidad web. Respecto a versiones anteriores, su versión actual (2.2) se centró en mejorar la accesibilidad para dispositivos móviles, así como en abordar algunos requisitos no satisfechos anteriormente, relacionados precisamente con las necesidades específicas propias de las personas con baja visión y discapacidades cognitivas. Por lo que respecta a la accesibilidad de los gráficos estadísticos, las WCAG son demasiado generalistas y no abordan ningún criterio de conformidad que se refiera específicamente a estos tipos de objetos. En los últimos años, no obstante, han aparecido otras propuestas de directrices más específicas (Alcaraz; Ribera y Granollers, 2022; Elavsky, Bennett y Moritz, 2022). Esta investigación se basa en la primera (Alcaraz; Ribera y Granollers, 2022), un conjunto específico de indicadores heurísticos desarrollado para evaluar la accesibilidad de un gráfico estadístico. Los resultados de varias evaluaciones heurísticas (EU) conducidas en trabajos anteriores (Alcaraz y otros, 2020; Alcaraz y Ribera, 2020; Alcaraz y otros, 2021) y de un test de usuarios realizado para validar este conjunto de indicadores (Alcaraz y otros, 2024) demostraron que estos principios permiten detectar un mayor número de problemas únicos, ofrecen una mejor distribución de los problemas entre los heurísticos y permiten identificar problemas más graves y específicos que las WCAG. La evaluación también podría basarse en el conjunto de principios heurísticos de Elavsky y otros (2022), pero abarca un ámbito más amplio, en lugar de centrarse específicamente en las personas con baja visión, las cuales son el perfil de usuario en el que se centra este trabajo.

El conjunto de indicadores heurísticos propuesto está formado por 18 principios que cubren aspectos relacionados con la información que transmite el gráfico (título, ejes, alternativas de texto, pie de foto...), su presentación visual (legibilidad, uso del color, contraste...), y el comportamiento y características que ofrece (personalización, indicador de foco...). La Tabla 1 resume el conjunto de heurísticos propuesto, así como las barreras de accesibilidad asociadas a cada uno de ellos.

Por otro lado, las Authoring Tool Accessibility Guidelines (ATAG) 2.0, cuya última versión data de 2015 (W3C, 2015), tienen como objetivo establecer los requisitos necesarios para que las herramientas de autor permitan, apoyen y promuevan la producción de contenidos web más accesibles. Estas directrices se dividen en dos partes: la parte A contempla una serie de directrices para asegurar la accesibilidad de la interfaz de las herramientas de autor con el objetivo de que puedan ser utilizadas por personas con discapacidad; mientras que la parte B se centra en la capacidad de estas herramientas para dar soporte a los autores en la creación de contenidos accesibles.

Adicionalmente, el W3C también ha trabajado en una lista de requisitos de accesibilidad específicos para personas con baja visión a través de un documento no normativo (Allan, Kirkpatrick y, 2019). En cuanto a otros estudios similares centrados en el análisis de herramientas de autor mediante las ATAG 2.0, encontramos diversos trabajos (López, et al., 2011; Calvo, Iglesias y Moreno, 2012; Iglesias y otros, 2014; Villarroel, Sanchez y Luján, 2018), aunque no se ha podido localizar en la literatura publicada ningún otro análisis centrado específicamente en el cumplimiento de las ATAG por parte de

MS Excel, así como tampoco en el nivel de accesibilidad que es posible alcanzar al crear gráficos con esta herramienta

Tabla 1: Indicadores heurísticos propuestos y barreras de accesibilidad relacionadas.

ID	Heurístico	Barreras relacionadas
H1	Título	No proporcionar elementos textuales como el título, leyendas, títulos de los ejes, pies de foto o etiquetas puede dificultar la comprensión del gráfico para cualquier perfil de usuario (Cohen, Wang y Murphy, 2003; Elzer y otros, 2007; Yu, y otros, 2009; Evergreen y Metzner, 2013).
H2	Leyenda	
H3	Ejes	
H4	Pie de imagen	
H5	Abreviaturas	Las abreviaturas pueden confundir a algunos lectores en distintos sentidos, además de dificultar el acceso al contenido a las personas con discapacidad visual, tanto por lo que respecta a los que basan su interacción en lectores de pantalla, como en el caso de los usuarios de magnificadores de texto (W3C, 2020a).
H6	Fuente de los datos	Esta recomendación, más allá de ser una buena práctica (garantizar la fiabilidad y confiabilidad de los datos), resuelve la necesidad de algunos usuarios de acceder a los datos en bruto y abrirlos con sus aplicaciones favoritas.
H7	Versión impresa	La lectura en pantalla puede introducir dificultades adicionales para algunos usuarios con baja visión. En este sentido, es habitual que estos usuarios lean a muy poca distancia de la pantalla, lo que implica una postura incómoda que provoca fatiga (Allan, Kirkpatrick y, 2019). En algunas situaciones, pueden preferir imprimir el contenido para leerlo en papel.
H8	Texto alternativo	Las personas con dificultades para percibir contenidos visuales o para comprender el significado de los gráficos pueden necesitar una alternativa textual. Si la información se transmite exclusivamente a través de una imagen, algunos usuarios podrían perderse ciertos detalles o características importantes presentes en el gráfico. Por otro lado, las imágenes de texto, un tipo de solución ampliamente adoptado en la web para distribuir gráficos en todo tipo de medios de información, también imponen barreras en este sentido, ya que ese contenido tampoco está disponible para los lectores de pantalla si no es en forma de texto alternativo (Koivunen y McCathieNevile, 2001; Brajnik, 2011; Splendiani, 2015; W3C, 2019).
H9	Descripción larga	Los gráficos estadísticos son imágenes de naturaleza compleja para las cuales en una gran mayoría de las situaciones se requieren alternativas de texto más ricas y extensas. Estas descripciones largas abordan el contenido del gráfico, lo contextualizan e incorporan el acceso a una tabla con los datos a partir de los cuales se generó el gráfico (W3C, 2019; Ault y otros, 2002; DIAGRAM Center, 2015).
H10	Colores seguros	Las personas con VCD pueden presentar dificultades o ser incapaces de distinguir determinadas combinaciones de colores utilizadas para diferenciar categorías en un gráfico. Cuando los colores no ofrecen suficiente contraste, suponen una barrera para los usuarios con VCD (Allan, Kirkpatrick y, 2019; Brajnik, 2011; Splendiani, 2015; Reinecke, Flatla y Brooks, 2016; Konecki y otros, 2017).
H11	Contraste	Las personas con baja sensibilidad al contraste pueden tener problemas para diferenciar determinadas combinaciones de colores utilizadas para el texto y su fondo. (Allan, Kirkpatrick y, 2019; Brajnik, 2011; W3C, 2020b). Cuando el contraste entre el primer plano y el fondo tanto en el texto como entre elementos gráficos no es suficiente, muchos usuarios no son capaces de distinguir los diferentes elementos presentes en las figuras o les supone un reto leer el contenido (Allan, Kirkpatrick y, 2019; W3C, 2020c). Cuando se utiliza el color para codificar variables y los distintos valores no ofrecen suficiente contraste, los usuarios con VCD pueden no ser capaces de distinguirlas (Allan, Kirkpatrick y, 2019; Koivunen y McCathieNevile, 2001; Brajnik, 2011).
H12	Legibilidad	Un tamaño de letra muy pequeño, un interlineado insuficiente, un espacio entre letras (*tracking*) muy pobre o la selección de una fuente tipográfica poco legible, impiden o dificultan a algunos usuarios interactuar con el contenido (Allan, Kirkpatrick y, 2019; Bernard, Liao y Mills, 2001; Rubin y otros, 2006; Legge, 2016; Russell y otros, 2007; Calabrèse y otros, 2010; McCathieNevile y Koivunen, 2000).
H13	Calidad de la imagen	Las imágenes de texto distribuidas en formatos de mapa de bits pierden calidad cuando se amplían (Splendiani, 2015; McCathieNevile y Koivunen, 2000). Si tenemos en cuenta que en Internet se tiende cada vez más, por un lado, a optimizar el peso de los recursos que se comparten y, por el otro, los importantes niveles de zum a los que los usuarios con baja visión someten a estos gráficos, el resultado puede ser imágenes extremadamente pixeladas e ilegibles.
H14	Redimensionado	Un porcentaje significativo de usuarios con baja visión depende de la ampliación del contenido para adaptar el tamaño de los elementos de la interfaz a su nivel de agudeza visual. Si el tamaño de la fuente es demasiado pequeño y no se puede ampliar, la legibilidad no está garantizada. Si los elementos del gráfico se codifican con unidades absolutas o el diseño no es responsivo, las lupas que reducen el área visual podrían provocar solapamientos de contenidos, desplazamientos horizontales o la desaparición de elementos de la vista de los usuarios, requiriendo que estos realicen un mayor número de movimientos por la pantalla para localizar aquellas partes del

ID	Heurístico	Barreras relacionadas
		contenido con las que desean interactuar (Allan, Kirkpatrick y, 2019; Konecki y otros, 2017).
H15	Sin obstáculos en la visualización	Las marcas de agua o los banners publicitarios sobre una imagen pueden impedir la visión total o parcial de los gráficos publicados (Alcaraz y otros, 2020).
H16	Foco visible	Los usuarios con baja visión precisan de métodos que les permitan localizar rápidamente el componente o elemento activo en la interfaz, puesto que, normalmente, la interacción con magnificadores de pantalla implica acercarse y alejarse constantemente con cambios importantes de contexto. En este sentido, visibilizar el foco del ratón o el teclado les permite resituarse de una manera más eficiente (Allan, Kirkpatrick y, 2019; W3C, 2020d).
H17	Navegación independiente del dispositivo	Los usuarios de lectores de pantalla dependen del teclado para navegar por el contenido, por lo que cuando los elementos sólo reaccionan a las interacciones del ratón, dejar de ser utilizables para estas personas (Guarino y Snow, 2009; W3C, 2020e).
H18	Personalización	Las imágenes de texto no permiten a los usuarios que requieren una presentación visual particular del contenido poder ajustar la presentación de acuerdo con sus necesidades y preferencias (tamaño de la fuente, color, interlineado). Algunos usuarios con VCD utilizan una hoja de estilo personalizada en el navegador para adaptar algunas de estas características. Si el sistema impide o dificulta este tipo de personalizaciones, se impone una barrera adicional a este colectivo (Allan, Kirkpatrick y, 2019; Koivunen y McCathieNevile, 2001).

3. Metodología

Esta investigación se divide en dos partes: a) la evaluación de la capacidad de MS Excel para crear gráficos estadísticos accesibles, centrándose en la Parte B de las ATAG como marco de referencia; y b) la evaluación heurística (EU) de un gráfico creado mediante MS Excel, así como el análisis de otras tres versiones derivadas de este mismo gráfico exportadas a otros formatos, utilizando todas las funciones de accesibilidad disponibles en la herramienta, así como teniendo en cuenta todos los requisitos de accesibilidad establecidos en el conjunto de principios heurísticos recogido en la tabla 1 (Alcaraz; Ribera y Granollers, 2022). En concreto, el gráfico se exportó de MS Excel a MS Word (copiando y pegando el gráfico para incrustarlo en el documento), a HTML (seleccionando la opción por defecto guardar como > HTML) y, por último, a MS PowerPoint para, posteriormente, guardarse como imagen vectorial en formato SVG (copiando y pegando el gráfico para incrustarlo en el documento y luego guardando la diapositiva en formato SVG desde el mismo MS PowerPoint). Estas cuatro versiones del gráfico fueron evaluadas utilizando el conjunto heurístico antes mencionado.

La primera evaluación (Parte B de las ATAG) corrió a cargo de los tres primeros autores, dos de los cuales tenían experiencia previa en el uso de las ATAG. La evaluación heurística corrió a cargo de los cuatro autores, todos ellos expertos con experiencia previa en este tipo de evaluaciones.

Las ATAG son un conjunto de principios de carácter muy general. Es por esta razón que las directrices del W3C se han adaptado y particularizado a los diferentes componentes que forman un gráfico estadístico. En este sentido, resultó necesario asimilar los principios heurísticos propuestos con los requisitos planteados por las ATAG. Concretamente, más allá de los que las directrices contemplan, se incorporaron los siguientes: H2 (Leyenda), H3 (Ejes), H4 (Pie de foto), H6 (Fuente de datos), H7 (Versión para impresión), H12 (Legibilidad), H13 (Calidad de la imagen), H14 (Redimensionamiento, que sólo se aplica al texto en las WCAG), H15 (Sin obstáculos en la visualización) y H18 (Personalización). Por ejemplo, los requisitos establecidos en el criterio de conformidad B.1.1.2 (Autogeneración de contenidos durante las sesiones de trabajo) de las ATAG se han repetido para cada elemento relevante de los gráficos. En total, se identificaron 48 requisitos considerados esenciales para la creación de un gráfico estadístico accesible.

En el caso de la evaluación heurística, para cada característica, los autores determinaron el cumplimiento positivo (sí) o el fallo (no), optando por no utilizar una escala Likert más amplia como en estudios anteriores. La evaluación se complementó con un breve razonamiento en caso de darse una puntuación negativa. Cada evaluador realizó su evaluación de manera independiente y, tras ello, se celebró una reunión final para revisar y consolidar los resultados.

La lista de criterios y el resultado de su análisis se recoge en la tabla 6.

4. Resultados

4.1 Evaluación ATAG de MS Excel

Los tres primeros autores, por orden de firma, realizaron la evaluación mediante los principios obtenidos tras la asimilación de los indicadores heurísticos y los criterios de conformidad propuestos por las ATAG. Este análisis se realizó individualmente para, posteriormente, pasar a consolidar los resultados en grupo. La tabla 6 resume el resultado de la evaluación. También indica los principios heurísticos relacionados con cada criterio de conformidad planteado. La columna «Justificación» ofrece una explicación y contexto para el resultado. Finalmente, para ofrecer al lector posibles

soluciones alternativas en aquellos casos en los que la herramienta no cumple con el criterio de conformidad, se añadió una columna con una sugerencia de solución alternativa.

De los 48 criterios de conformidad identificados, MS Excel cumple 26 (54,17%) y falla en 22 (45,83%). MS Excel ofrece mecanismos para añadir y editar algunos de los componentes más importantes de un gráfico estadístico accesible, como el título, la leyenda, los títulos de los ejes o el texto alternativo. Sin embargo, carece de opciones o campos específicos para otros, como la leyenda, la fuente de datos o la descripción larga. Aunque éstos pueden añadirse en celdas cercanas al gráfico o en otras hojas, la relación programática entre ellos sólo puede establecerse mediante un enlace interno.

Por otro lado, MS Excel no proporciona plantillas predeterminadas accesibles, ni tampoco información sobre el nivel de accesibilidad o las posibles barreras que pueden generar las plantillas precargadas. Ejemplos de características que podrían tenerse en cuenta en las plantillas por defecto son el tamaño de letra, el uso de combinaciones de colores seguras o las ratios de contraste entre texto y fondo y colores adyacentes en las marcas del gráfico. Los autores pueden seleccionar cualquier tamaño de fuente y crear sus propias combinaciones de colores seguras mediante selecciones manuales, pero la herramienta no ofrece ninguna orientación ni advierte al usuario cuando esta operación no se hace correctamente. Los autores también pueden crear nuevas plantillas más accesibles y guardarlas o compartirlas para usos posteriores.

Como característica positiva, MS Excel ofrece una herramienta de validación de la accesibilidad automática que comprueba diversos aspectos importantes de la accesibilidad que se basan en un conjunto de reglas que desencadenan los errores y advertencias que se recogen a continuación. Errores: a) todo el contenido no textual debe contar con un texto alternativo; b) las tablas especifican información sobre el encabezado de las columnas; c) las celdas de una hoja de cálculo no utilizan exclusivamente el color (formato de sólo rojo) para los números negativos; d) el acceso al documento no está restringido mediante la protección de hojas o celdas; Advertencias: a) la tabla presenta una estructura simple; b) las pestañas de las hojas tienen nombres significativos; c) existe suficiente contraste entre el texto y el fondo. En cuanto a estos errores y advertencias, en el contexto de este trabajo se probaron todas las características implicadas en gráficos reales y se pudo comprobar que todas funcionaban correctamente excepto en el caso de un contraste insuficiente entre el texto y el fondo, el cual, si bien funcionaba correctamente en las celdas, no disparaba ninguna advertencia cuando se daba dentro de un gráfico.

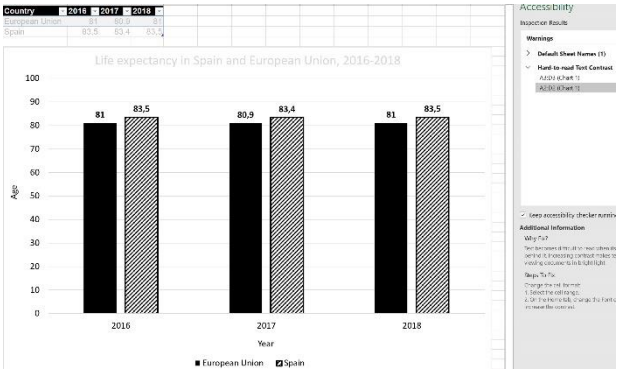


Figura 3: La herramienta de validación automática de la accesibilidad advierte de la presencia de texto con contraste insuficiente en la tabla, pero no del mismo error en el caso del título del gráfico, los ejes o la leyenda.

Todas estas características de accesibilidad se incluyen en la documentación integrada en la herramienta, así como en la documentación disponible en formato web. En concreto, la documentación interna incluye información sobre cómo añadir textos alternativos, cómo utilizar el color y el contraste o cómo cambiar el nombre de las pestañas de las hojas de cálculo y utilizar el comprobador de accesibilidad. La documentación web explica cómo incluir textos alternativos, añadir textos de hipervínculos significativos, utilizar ratios de contraste adecuadas para el texto y los colores de fondo, la importancia de proporcionar nombres únicos a las pestañas de las hojas, cómo estructurar tablas y especificar la información de los encabezados de las columnas.

Por lo que respecta a la publicación de los gráficos, una práctica habitual consiste en reutilizar los gráficos generados con MS Excel en documentos de MS Word o MS PowerPoint, ambas herramientas incluidas en el paquete Microsoft Office y que comparten muchas características con MS Excel. La reutilización suele realizarse mediante una simple operación de copiar y pegar desde MS Excel a la nueva herramienta. Al tratarse de programas estrechamente relacionados, esta operación conserva toda la información de accesibilidad incluida en el gráfico original. Por el contrario, cuando el gráfico se exporta a otros formatos como HTML, gran parte de esta información se pierde

4.2 Evaluación heurística

Las tablas 2-5 recogen el resultado consolidado de las evaluaciones heurísticas. La transcripción de los comentarios de los evaluadores se incluye en la columna homónima.

Tabla 2: Resultados de la evaluación heurística del gráfico 1 XLSX

Heurístico	**¿Cumple?**	**Comentarios**
H1 (título)	Sí	-
H2 (leyenda)	Sí	-
H3 (ejes)	Sí	-
H4 (pie)	No	«Aunque es posible añadir el pie de imagen en algún lugar del documento, no existe un campo específico para ello».
H5 (abreviaturas)	Sí	«Sí, pero no de forma programática».
H6 (fuente de los datos)	No	«Aunque es posible añadirla en algún lugar del documento, no existe un campo específico para ello».
H7 (versión impresa)	No	«Aunque se puede configurar el documento para que se imprima correctamente, si el autor no modifica ningún parámetro, el gráfico aparece cortado por defecto». «Entran en conflicto dos de los principios relacionados con el tamaño del gráfico: más grande es mejor para pantalla, pero imposible de imprimir en una página sin que el gráfico aparezca cortado».
H8 (texto alternativo)	Sí	-
H9 (descripción larga)	Sí	-
H10 (colores seguros)	Sí	«Sí, aunque no por defecto».
H11 (contraste)	Sí	«Sí, aunque no por defecto».
H12 (legibilidad)	Sí	-
H13 (calidad de la imagen)	Sí	-
H14 (redimensionado)	Sí	-
H15 (sin obstáculos en la visualización)	Sí	-
H16 (foco visible)	No	«No, la implementación de la descripción larga además modifica el comportamiento del cursor cuando se posiciona sobre el gráfico. Ahora pasa a comportarse todo el gráfico como un enlace y para enfocar cada elemento es necesario presionar una nueva combinación de teclas».
H17 (navegación independiente del dispositivo)	No	«La implementación de la descripción larga además dificulta el acceso al gráfico mediante el teclado, ya que pasa a comportarse como un enlace y es necesario presionar una nueva combinación de teclas».
H18 (personalización)	Sí	«Utilizando las herramientas de autor propias de Excel».

Tabla 3: Resultados de la evaluación heurística del gráfico 2 DOCX

Heurístico	Evaluación	Comentarios
H1 (título)	Sí	-
H2 (leyenda)	Sí	-
H3 (ejes)	Sí	-
H4 (pie)	No	«No, aunque es posible añadir un pie de imagen mediante la opción específica de MS Word».
H5 (abreviaturas)	Sí	«Sí, pero no de forma programática».
H6 (fuente de los datos)	No	«No, aunque es posible añadirla en el pie de imagen».
H7 (versión impresa)	Sí	-
H8 (texto alternativo)	Sí	-
H9 (descripción larga)	No	«No, la descripción larga asociada al gráfico desaparece tras la conversión (se mantiene un vínculo con el texto '*Gráfico 1 Descripción larga'!A1*'. Sin embargo, el texto de la descripción larga podría añadirse después del gráfico en el documento de MS Word».
H10 (colores seguros)	Sí	-
H11 (contraste)	Sí	-
H12 (legibilidad)	Sí	-
H13 (calidad de la imagen)	Sí	
H14 (redimensionado)	Sí	-
H15 (sin obstáculos en la visualización)	Sí	-

Heurístico	Evaluación	Comentarios
H16 (foco visible)	No	«No, la implementación de la descripción larga además modifica el comportamiento del cursor cuando se posiciona sobre el gráfico. Ahora pasa a comportarse todo el gráfico como un enlace y para enfocar cada elemento es necesario presionar una nueva combinación de teclas».
H17 (navegación independiente del dispositivo)	No	-
H18 (personalización)	Sí	«Utilizando las opciones propias de MS Word ».

Tabla 4: Resultados de la evaluación heurística del gráfico 3 HTML

Heurístico	**Evaluación**	**Comentarios**
H1 (título)	Sí	-
H2 (leyenda)	Sí	-
H3 (ejes)	Sí	-
H4 (pie)	No	«No, aunque es posible añadir un pie de imagen mediante el elemento <figcaption>».
H5 (abreviaturas)	Sí	«Sí, pero no de forma programática».
H6 (fuente de los datos)	No	«No, aunque es posible añadirla en el pie de imagen.
H7 (versión impresa)		«Aunque el documento se puede configurar para que se imprima correctamente, en el momento de la evaluación se cortó al imprimirlo».
	No	«Entran en conflicto dos de los principios relacionados con el tamaño del gráfico: más grande es mejor para pantalla, pero imposible de imprimir en una página».
H8 (texto alternativo)	Sí	-
H9 (descripción larga)	Sí	«Sí, pero el mensaje 'descripción larga' asociado al enlace se ha convertido en un atributo *title* asociado a la imagen del gráfico en lugar de al enlace HTML».
		«Sí, en una pestaña. De hecho, al cargar el gráfico muestra primero esta pestaña, lo que hace difícil deducir dónde está el gráfico real».
H10 (colores seguros)	Sí	-
H11 (contraste)	Sí	-
H12 (legibilidad)	Sí	-
H13 (calidad de la imagen)	Sí	«Sí, MS Excel convierte la imagen vectorial original en una imagen en formato PNG que, a pesar de mantener una calidad decente, dista mucho de la calidad del gráfico original.»
		«Sí, la imagen es tan simple que presenta suficiente calidad incluso tras convertirla a PNG. Además, se crean dos versiones, una aproximadamente el doble de grande que la otra».
H14 (redimensionado)	Sí	-
H15 (sin obstáculos en la visualización)	Sí	-
H16 (foco visible)	No	«No, la imagen tras la conversión se aplana en una única imagen en formato de mapa de bits».
H17 (navegación independiente del dispositivo)	No	«No, la imagen tras la conversión se aplana en una única imagen en formato de mapa de bits».
H18 (personalización)	No	«No, la imagen tras la conversión se aplana en una única imagen en formato de mapa de bits».

Tabla 5: Resultados de la evaluación heurística del gráfico 4 SVG

Heurístico	**Evaluación**	**Comentarios**
H1 (título)	Sí	-
H2 (leyenda)	Sí	-
H3 (ejes)	Sí	-
H4 (pie)	No	«No, aunque es posible añadir un pie de imagen mediante el elemento <figcaption>».
H5 (abreviaturas)	Sí	«Sí, pero si se desean implementar de forma programática, el autor debe añadirlas mediante el elemento <abbr> en el código del objeto SVG».
H6 (fuente de los datos)	No	«No, aunque es posible añadirla en el pie de imagen».
H7 (versión impresa)	Sí	-
H8 (texto alternativo)	No	«No, el texto alternativo desaparece tras el proceso de conversión».
		«No, aunque es posible añadirlo en el código fuente».

Heurístico	Evaluación	Comentarios
H9 (descripción larga)	No	«No, aunque es posible añadir una descripción larga a través del código fuente». «No, aunque es posible añadir una descripción larga a continuación dentro la página HTML».
H10 (colores seguros)	Sí	-
H11 (contraste)	Sí	-
H12 (legibilidad)	Sí	-
H13 (calidad de la imagen)	Sí	-
H14 (redimensionado)	Sí	-
H15 (sin obstáculos en la visualización)	Sí	-
H16 (foco visible)	No	«No, aunque es posible implementarlo mediante CSS».
H17 (navegación independiente del dispositivo)	No	«No, ya que el orden de lectura generado no es correcto».
H18 (personalización)	Sí	«Sí, pero no es sencillo para los creadores de contenido y menos para el usuario final».

Las cuatro versiones del gráfico generado presentan un porcentaje de cumplimiento de los heurísticos igual o superior al 66,66%. Las versiones que han obtenido las mejores puntuaciones son los gráficos en formato MS Excel y en formato MS Word con un 72,2% de los principios alcanzados, seguidos de los gráficos en formato SVG y HTML, ambos con un 66,66% de cumplimiento. Entre las limitaciones más importantes detectadas en las cuatro versiones, cabe destacar la inexistencia de campos específicos para añadir una leyenda (H4); para indicar la forma completa de las abreviaturas (H5); y para incluir la fuente de datos (H6); sin embargo, todos estos elementos podrían añadirse en otras partes del documento. Por ejemplo, en la versión incrustada en MS Word, es posible añadir un pie de imagen utilizando las opciones específicas que ofrece esta otra aplicación o, en el caso de las versiones HTML y SVG, implementando el elemento <figcaption>.

Los esquemas de color por defecto propuestos por MS Excel no ofrecen combinaciones de colores seguras para las personas con VCD (H10). Además, no garantizan que se alcance el contraste mínimo (H11) exigido por las WCAG.

Los textos alternativos (H8) añadidos originalmente en el gráfico creado con MS Excel se preservan tras copiar el objeto a las versiones de MS Word y HTML, pero desaparecen tras convertir el gráfico a formato SVG. Algo similar ocurre con la descripción larga; aunque permanece vinculada al gráfico en la versión HTML, no se exporta automáticamente al convertir el gráfico a los formatos MS Word (gráfico 2) y SVG (gráfico 4). Al exportar en formato HTML, se crean dos pestañas, una con el gráfico y otra con la descripción larga; pero por defecto, la de la descripción larga se muestra al primer lugar, lo que dificulta la localización del gráfico.

Otro principio heurístico que no alcanza ninguno de los gráficos es el H16 (foco visible), aunque podría resolverse en la versión SVG mediante el uso de estilos CSS. Aunque MS Excel genera los gráficos en formato vectorial, al exportar el gráfico a formato HTML, estos pasan a convertirse en una imagen en formato de mapa de bits, lo que limita la implementación de muchas características o funcionalidades relacionadas con la accesibilidad. Esta conversión afecta también a la calidad de la imagen (H13), ya que el gráfico se exporta a una resolución determinada que puede no ser suficiente cuando se amplía. Por otro lado, imposibilita la navegación por las marcas (barras, ejes...) (H17). Finalmente, también limita mucho la posibilidad de personalización (H18). En este último sentido, los dos formatos más flexibles en términos de personalización del gráfico son el formato XLSX y el formato DOCX.

Si el usuario intenta generar una versión en papel del gráfico, imprimiéndolo, en el caso de las versiones MS Excel y HTML, aunque se puede configurar el documento para que se imprima correctamente, por defecto, el gráfico aparece cortado entre dos páginas. En consecuencia, los autores se ven obligados a tomar una decisión conflictiva a la hora de decidir el tamaño del gráfico: un tamaño grande resulta más adecuado para el perfil de usuarios con baja visión que acceden a este contenido a través de una pantalla, mientras que el tamaño por defecto para poder imprimir eficientemente el documento debe ser mucho menor.

5. Discusión y conclusiones

Hasta ahora, la accesibilidad se ha limitado sobre todo al cumplimiento de las WCAG, es decir, se ha abordado desde un punto de vista normativo y evaluativo/correctivo. Por otro lado, estas directrices si bien pretenden ser totalmente inclusivas en cuanto a la diversidad de barreras y necesidades presentes en el colectivo de personas con discapacidad, lo cierto es que se han orientado principalmente a las personas ciegas. Por otro lado, si bien las WCAG se han incorporado en el marco legal de muchos territorios, entre los cuales el europeo, hasta ahora los requisitos propios de las herramientas de autor no solo no han gozado de la misma popularidad, sino que han sido desatendidos por los gobiernos. En este sentido, las directrices ya están evolucionando hacia nuevas direcciones. Por ejemplo, las WCAG 2.2 incorporaron nuevos criterios de conformidad de interés para las personas con baja visión, las WCAG 3.0 prometen tener una visión más global de la diversidad que supone la discapacidad. Por otro lado, la Directiva (UE)

2019/882 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de abril de 2019, sobre los requisitos de accesibilidad de los productos y servicios, también supone un avance significativo, al incluir las ATAG y adoptar una visión más holística de los requisitos de accesibilidad, abarcando todos los productos tecnológicos, no solo los contenidos basados en la web.

Dentro de esta nueva tendencia, esta investigación evalúa un tipo particular de documento, los gráficos estadísticos, para usuarios con baja visión –un perfil de usuario habitualmente olvidado– e incluye a las ATAG junto a un conjunto de requisitos más específicos y complementario a las WCAG para su evaluación. En este camino compartido hacia una accesibilidad holística y generalizada, y como solución temporal, los autores de este trabajo intentan ayudar a los creadores de contenido a comprender en profundidad las posibilidades de MS Excel, seguir buenas prácticas y ofrecer un conjunto de principios heurísticos, junto a diferentes soluciones prácticas que pueden ser de utilidad para lograr alcanzar el objetivo de contar con una mayor cantidad de contenidos accesibles para todo el mundo.

Tradicionalmente, la responsabilidad de lograr una mayor accesibilidad en los documentos digitales se enfocado fundamentalmente a nivel de especificaciones técnicas y en la capacitación de los creadores de contenido. Prueba de ello es la nada despreciable cantidad de tutoriales destinados a orientar a los autores sobre cómo hacer accesibles ciertos tipos de documentos en diferentes ámbitos, todos ellos con un denominador común: la ausencia de crítica a las limitaciones o dificultades que tradicionalmente han impuesto las herramientas de autor.

Nuestro trabajo muestra que MS Excel, una herramienta muy popular y ampliamente adoptada, no cumple una parte significativa de los criterios de conformidad planteados por las ATAG, y que los gráficos generados (tanto los originales, como los exportados a otros formatos) presentan importantes deficiencias a nivel de accesibilidad.

Como trabajo futuro, los investigadores en accesibilidad deben estar atentos a algunos cambios recientes, como la introducción de Phyton en MS Excel, la inclusión de la inteligencia artificial en la generación de gráficos o la integración de nuevas características específicas, incorporadas al paquete Office tras la finalización de este trabajo, como la posibilidad de filtrar las combinaciones de colores que ofrecen un alto contraste para facilitar esta tarea a los autores sin necesidad de recurrir a terceras herramientas. Todas ellas características que esperamos que redunden en una mayor accesibilidad general del contenido generado con esta herramienta y ayuden a acercar la accesibilidad a un mayor número de autores, muchos todavía desconocedores de las barreras que pueden imponer a través de sus decisiones de diseño.

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con el apoyo del Grupo de investigación consolidado «Cultura, Biblioteques i Continguts Digitals (CBCD)» (subvención nº SGR-2021-00282 / Generalitat de Catalunya).

Este trabajo también ha contado con el apoyo parcial del proyecto español PID2022-136436NB-I00 (AEI-MICINN).

Tabla 6: Resultados de la evaluación de los criterios de conformidad ATAG para MS Excel

ID	Características de accesibilidad requeridas por las ATAG, particularizadas para los gráficos	Heurísticos relacionados	Criterio de conformidad ATAG 2.0	Conforme con las ATAG 2.0	Justificación	Soluciones alternativas
1	Si el título se genera automáticamente es accesible por defecto o se avisa al autor mediante algún mecanismo.	H1	B.1.1.2	No	MS Excel genera un cuadro de texto para el título con un título de ejemplo (título del gráfico). El título se genera durante la sesión, por lo que no se aplica B.1.1.1.	Editar el título de ejemplo. La herramienta no ofrece ningún mecanismo de aviso o comprobación específico.
2	La leyenda no se genera automáticamente.	H2	B.1.1.2	No	MS Excel genera por defecto una leyenda en la parte inferior del gráfico a partir de los valores de las series de datos y con los colores de la paleta por defecto.	Editar la leyenda por defecto (posición, tamaño...).
3	Los títulos de los ejes no se generan automáticamente.	H3	B.1.1.2	Sí	MS Excel no genera automáticamente títulos para los ejes durante la sesión.	-

ID	Características de accesibilidad requeridas por las ATAG, particularizadas para los gráficos	Heurísticos relacionados	Criterio de conformidad ATAG 2.0	Conforme con las ATAG 2.0	Justificación	Soluciones alternativas
4	El autor puede especificar de alguna manera que los títulos de los ejes generados automáticamente sean accesibles.	H3	B.1.1.1	Sí	MS Excel no genera automáticamente títulos para los ejes, sino que se basa en la información disponible en la tabla aportada por el autor.	Los títulos de los ejes son importantes, por lo que el autor debería incluirlos en cualquier gráfico. MS Excel incorpora una opción para hacerlo.
5	No se genera automáticamente un pie de imagen.	H4	B.1.1.1	Sí	MS Excel no genera pies de imagen ni hace sugerencias al autor en este sentido.	-
6	No se genera automáticamente un texto alternativo.	H8	B.1.1.1	Sí	MS Excel no genera automáticamente textos alternativos ni hace sugerencias al autor en este sentido.	-
7	No genera automáticamente una descripción larga.	H9	B.1.1.1	Sí	MS Excel no genera automáticamente descripciones largas ni hace sugerencias al autor en este sentido.	-
8	Se avisa al autor cuando los elementos textuales del gráfico se convierten en imágenes en formato de mapa de bits.	H1-H6	B.1.2.1	No	Al exportar el gráfico en formato HTML, este se convierte en una imagen de mapa de bits sin avisar al autor.	-
9	Todas las características de accesibilidad presentes en el gráfico se conservan al exportarlo en formato HTML.	-	B.1.2.1, B.1.2.4	No	Cuando el gráfico se exporta como HTML, se conserva el texto alternativo, pero otros elementos textuales como el título, los títulos de los ejes o la leyenda se convierten en una imagen.	En este caso es mejor añadir algunos de estos elementos textuales más tarde utilizando etiquetas HTML.
10	Todas las características de accesibilidad se conservan cuando la herramienta de autor es tanto el origen como el destino del gráfico copiado y pegado.	-	B.1.2.2, B.1.2.4	Sí	Al copiar y pegar el gráfico en otra hoja o documento de MS Excel, se conservan todas las características del gráfico (título, leyenda, colores...), incluido el texto alternativo.	-
11	Todas las características de accesibilidad se conservan cuando el gráfico se copia y pega desde la herramienta de autor a un documento de MS Word o PowerPoint.	-	B.1.2.2, B.1.2.4	Sí	Al copiar y pegar el gráfico en un documento Word o PowerPoint, se conservan todas las características del gráfico (título, leyenda, colores...), incluido el texto alternativo.	Si la paleta difiere entre el documento de origen y el de destino, los colores pueden cambiar. Los autores deben estar atentos a este aspecto.
12	Se permite insertar un título para el gráfico desde la interfaz de usuario.	H1	B.2.1.1	Sí	MS Excel permite añadir un título a cualquier tipo de gráfico.	-
13	Se permite insertar una leyenda para el gráfico desde la interfaz de usuario.	H2	B.2.1.1	Sí	MS Excel permite añadir una leyenda a cualquier tipo de gráfico.	-
14	Se permite insertar ejes con títulos para el gráfico desde la interfaz de usuario.	H3	B.2.1.1	Sí	MS Excel permite añadir títulos a los ejes en cualquier tipo de gráfico, excepto a los gráficos que no tienen ejes (gráficos circulares, de anillos…).	-

ID	Características de accesibilidad requeridas por las ATAG, particularizadas para los gráficos	Heurísticos relacionados	Criterio de conformidad ATAG 2.0	Conforme con las ATAG 2.0	Justificación	Soluciones alternativas
15	Se permite insertar un pie de imagen para el gráfico desde la interfaz de usuario.	H4	B.2.1.1	No	MS Excel no ofrece una opción específica para añadir un pie de imagen.	El autor puede añadir un pie de imagen utilizando una celda cercana, una etiqueta HTML o la opción específica para añadir pies de imagen de MS Word de Microsoft, según el caso.
16	Se permite indicar la forma completa o una explicación de una abreviatura en su primera aparición.	H5	B.2.1.1	No	MS Excel no dispone de una opción específica para añadir indicar ningún tipo de aclaración respecto a las abreviaturas.	Evitar abreviaturas innecesarias o especificar su forma completa en su primera aparición.
17	Se permite insertar una referencia a la fuente de datos del gráfico desde la interfaz de usuario.	H6	B.2.1.1	No	MS Excel no dispone de una opción específica para añadir la fuente de datos.	En este caso, la fuente de datos debe puede incluirse en una celda cercana o en el pie de imagen (ver criterio 15).
18	Se permite generar una versión impresa accesible.	H7	B.2.1.1	Sí	MS Excel permite generar una versión de impresa accesible y totalmente personalizada del gráfico.	-
19	Se permite insertar un texto alternativo desde la interfaz de usuario.	H8	B.2.1.1	Sí	MS Excel dispone de un cuadro de texto específico para insertar un texto alternativo de hasta 65532 caracteres.	-
20	Se permite insertar un URL para la descripción larga desde la interfaz de usuario.	H9	B.2.1.1	Sí	MS Excel permite añadir un enlace a la descripción larga en cualquier tipo de gráfico.	-
21	Se permite editar el título desde la interfaz de usuario.	H1	B.2.2.2	Sí	El autor tiene la opción de editar el título, pero no dispone de ningún control sobre las propiedades de accesibilidad.	El usuario debe ser consciente de los problemas de accesibilidad relacionados con los títulos.
22	Se permite editar la leyenda desde la interfaz de usuario.	H2	B.2.2.1, B.2.2.2	Sí	El autor tiene la opción de editar la leyenda, pero no tiene ningún control sobre las propiedades de accesibilidad.	El usuario debe ser consciente de los problemas de accesibilidad relacionados con las leyendas.
23	Se permite editar los títulos de los ejes desde la interfaz de usuario.	H3	B.2.2.1, B.2.2.2	Sí	El autor tiene la opción de editar el título de los ejes, pero no tiene ningún control sobre las propiedades de accesibilidad.	El usuario debe ser consciente de los problemas de accesibilidad relacionados con el título de los ejes.
24	Se permite editar la versión completa o la explicación de una abreviatura desde la interfaz de usuario.	H5	B.2.2.2	No	MS Excel no dispone de una opción específica para añadir una abreviatura.	En este caso, el autor debe atender a este requisito tal y como se detalla en el criterio 16.
25	Se permite editar la fuente de datos del gráfico desde la interfaz de usuario.	H6	B.2.2.2	No	MS Excel no tiene una opción específica para editar la información sobre la fuente de datos.	En este caso, la fuente de datos puede generarse de acuerdo con lo aconsejado en el criterio 17.

ID	Características de accesibilidad requeridas por las ATAG, particularizadas para los gráficos	Heurísticos relacionados	Criterio de conformidad ATAG 2.0	Conforme con las ATAG 2.0	Justificación	Soluciones alternativas
26	Se permite editar las características de la versión impresa desde la interfaz de usuario.	H7	B.2.2.2	Sí	El autor tiene la opción de editar las características de la versión impresa en cualquier momento.	-
27	Se permite editar el texto alternativo desde la interfaz de usuario.	H9	B.2.2.2	Sí	El autor tiene la opción de editar el texto alternativo en cualquier momento.	-
28	Permite editar el URL de la descripción larga desde la interfaz de usuario.	H7	B.2.2.2	Sí	El autor tiene la opción de editar el URL del enlace a la descripción larga en cualquier momento.	-
29	Se proporcionan plantillas accesibles para crear nuevos gráficos o se incluye un mecanismo de selección de plantillas que muestra distinciones entre las accesibles y las no accesibles.	-	B.2.4.1, B.2.4.2	No	MS no dispone de plantillas accesibles para los nuevos gráficos, ni se ha implementado ningún mecanismo adicional relacionado.	MS Excel permite al usuario crear una colección de plantillas de gráficos accesibles personalizadas. Una vez creadas, estas plantillas están disponibles en la galería de plantillas de gráficos de la interfaz de usuario.
30	Se proporcionan paletas de colores seguras por defecto para los gráficos.	H10	B.4.1.1, B.2.2.1	No	MS Excel no proporciona paletas de colores seguras por defecto para todos los perfiles VCD.	MS Excel permite al usuario seleccionar una paleta de colores más segura en sus plantillas o diseños personalizadas.
31	Se proporciona suficiente contraste entre los elementos textuales del gráfico (título, ejes, leyendas...) por defecto.	H11	B.4.1.1, B.2.2.1	Sí	MS Excel proporciona suficiente contraste entre los elementos textuales del gráfico (por defecto: relación de contraste 7:1).	MS Excel permite al usuario seleccionar colores para los elementos textuales del gráfico con una relación de contraste suficiente en sus plantillas personalizadas.
32	Se proporciona suficiente contraste entre las marcas del gráfico.	H11	B.4.1.1, B.2.2.1	No	MS Excel no proporciona suficiente contraste entre elementos no textuales adyacentes (por defecto, relación de contraste 1,7:1 entre el azul y naranja por defecto).	MS Excel permite al usuario seleccionar colores para las marcas del gráfico con una relación de contraste suficiente en sus plantillas personalizadas.
33	Se avisa al autor si este no proporciona un título.	H1	B.3.1.1	No	MS Excel genera un cuadro de texto con un título de relleno, pero no avisa al autor si este no lo modifica.	-
34	Se avisa al autor cuando no proporciona la forma completa de una abreviatura.	H5	B.3.1.1	No	MS Excel no avisa al autor cuando se incluyen abreviaturas sin haberlas explicado previamente.	-
35	Se avisa al autor si la versión impresa no es accesible.	H7	B.1.2.1	No	MS Excel sí avisa al autor cuando la versión impresa no es accesible, pero no ofrece información sobre versiones impresas accesibles.	-

ID	Características de accesibilidad requeridas por las ATAG, particularizadas para los gráficos	Heurísticos relacionados	Criterio de conformidad ATAG 2.0	Conforme con las ATAG 2.0	Justificación	Soluciones alternativas
36	Se advierte al autor si no ha proporcionado un texto alternativo.	H8	B.3.1.1	Sí	MS Excel no avisa al autor por defecto cuando no se proporciona el texto alternativo, pero sí que lo hace si este utiliza la herramienta integrada de validación automática de la accesibilidad.	-
37	Se advierte al autor de la posibilidad de que el texto alternativo no proporcione el mismo contenido o transmita la misma información que el gráfico.	H8	B.3.1.1, B.2.3.2	No	MS Excel no avisa al autor cuando el texto alternativo no proporciona o transmite la misma información que el gráfico.	-
38	Se advierte al autor si la combinación de colores no es segura.	H10	B.3.1.1	No	MS Excel no avisa al autor cuando la combinación de colores no es segura.	MS Excel permite al autor seleccionar combinaciones de colores que garanticen la accesibilidad de las personas con VCD en sus plantillas personalizadas.
39	Se advierte al autor si el contraste entre texto y fondo no es suficiente.	H11	B.3.1.1	No	MS Excel no avisa al autor cuando el contraste entre el texto y el fondo no es suficiente. La herramienta de validación automática sólo funciona para el contenido de las celdas.	MS Excel permite al autor seleccionar colores que accesibles para personas con VCD en sus plantillas personalizadas.
40	Se advierte al autor si el contraste no textual no es suficiente.	H11	B.3.1.1	No	MS Excel no avisa al autor cuando el contraste no textual no es suficiente.	-
41	La herramienta proporciona un informe sobre el nivel de accesibilidad basado en los resultados de diversas comprobaciones.	-	B.3.1.4	Sí	MS Excel proporciona un informe desde su herramienta de verificación de la accesibilidad, el cual ofrece información sobre los problemas de accesibilidad (texto alternativo, contraste, encabezados…)	-
42	Tras la inserción de un texto alternativo no accesible, se indica al autor cómo describir correctamente la imagen.	H8	B.3.2.1	No	MS Excel no proporciona ninguna indicación o ejemplo sobre cómo debe ser un texto alternativo.	-
43	La herramienta proporciona funciones de soporte disponibles por defecto para la creación de contenido accesible	-	B.4.1.1	No	Funciones como el tamaño del texto o la paleta de colores, entre otras, no son accesibles por defecto.	El autor debe basar su contenido en plantillas accesibles creadas previamente.
44	Las características integradas en la herramienta que dan soporte a la creación de contenido accesible aparecen igual de destacadas que los errores de marcado, ortográficos o gramaticales.	-	B.4.1.4	No	El comprobador de accesibilidad no se encuentra activado por defecto y los problemas de accesibilidad sólo se muestran cuando el autor lo activa. Una vez activado, el mensaje que indica que existen problemas de accesibilidad aparece discretamente en la parte inferior izquierda de la interfaz.	Activar el validador de accesibilidad al empezar a trabajar y dejar abierta la ventana con los resultados de la inspección.

ID	Características de accesibilidad requeridas por las ATAG, particularizadas para los gráficos	Heurísticos relacionados	Criterio de conformidad ATAG 2.0	Conforme con las ATAG 2.0	Justificación	Soluciones alternativas
45	Se proporcionan ejemplos que muestran buenas prácticas para la creación de gráficos accesibles.	-	B.4.2.1	Sí	Tanto en la ayuda integrada en la aplicación, como en la documentación web, se incluyen ejemplos que contemplan buenas prácticas.	-
46	Se proporcionan instrucciones para utilizar las funciones o herramientas de soporte a la creación de contenido accesible.	-	B.4.2.2	Sí	Tanto en la ayuda integrada en la aplicación, como en la documentación web, MS Excel proporciona instrucciones para utilizar todas las funciones de soporte a la creación de contenido accesible disponibles.	-
47	Se proporciona un tutorial específico para esta herramienta que detalla cómo crear contenido accesible.	-	B.4.2.3	Sí	Tanto en la ayuda integrada en la aplicación, como en la documentación web, MS Excel ofrece recursos para facilitar el proceso de creación de contenido accesible con la propia herramienta.	-
48	La documentación de la herramienta incluye un índice que da acceso a los apartados en los que se ofrece información sobre las funcionalidades relacionadas con el contenido accesible.	-	B.4.2.4	Sí	La documentación de la herramienta de autor contiene un índice que da acceso a las instrucciones para utilizar todas las funciones, incluidas las de soporte a la creación de contenidos accesibles.	-

Referencias

Alcaraz-Martínez, R., Ribera, M., Roig, J., Pascual Almenara, A. y Granollers Saltiveri, T. (2021). Accessible charts are part of the equation of accessible papers: a heuristic evaluation of the highest impact LIS journals. Library Hi-Tech, 40(3), 594-622. https://doi.org/10.1108/LHT-08-2020-0188

Alcaraz-Martínez, R., Ribera, M. y Granollers, T. (2022). Methodology for heuristic evaluation of the accessibility of statistical charts for people with low vision and color vision deficiency. Universal access in the information society, 21, 863-894. https://doi.org/10.1007/s10209-021-00816-0

Alcaraz-Martínez, R., Ribera, M., Adeva Fillol, A. y Pascual Almenara, A. (2024). Enhancing statistical chart accessibility for people with low vision: insights from a user test". Universal access in the information society. Special issue, New trends in the design and evaluation of accessible human-computer interfaces. https://doi.org/10.1007/s10209-024-01111-4

Allan, J., Kirkpatrick, A. y Henry, S. L. (2019). W3C World Wide Web Consortium, Editor's Draft. W3C. https://w3c.github.io/low-vision-a11y-tf/requirements.html

Arteaga, P., Batanero, C., Cañadas, G. y Contreras, M. (2010). Las tablas y gráficos estadísticos como objetos culturales. Números: revista de didáctica de las matemáticas 76, 55-67. http://www.sinewton.org/numeros/numeros/76/Articulos_02.pdf

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

Bernard, M., Liao, C. H. y Mills, M. (2001). The effects of font type and size on the legibility and reading time of online text by older adults. En CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 175-176. http://dx.doi.org/10.1145/634067.634173

Bourne, R., Flaxman, S., Braithwaite, T. y otros (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), 888-897. https://doi.org/10.1016/s2214-109x(17)30293-0

Brajnik, G. (2011). Barrier walkthrough. https://people.uniud.it/node/3465

Calabrèse, A., Bernard, J. B., Hoffart, L., Faure, G., Barouch, F., Conrath, J. y Castet, E. (2010). Small effect of interline spacing on maximal reading speed in low-vision patients with central field loss irrespective of scotoma size. Investigative ophthalmology & visual science 51(2), 1247-1254. https://doi.org/10.1167/iovs.09-3682

Calvo, R., Iglesias, A. y Moreno, L. (2012). Is Moodle accessible for visually impaired people? En Filipe, J, Cordeiro, J (eds.). Web Information Systems and technologies 7th International Conference, WEBIST 2011, 207-220. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-28082-5_15

Carlson, J. y Johnston, L. R. (2015). Data information literacy: librarians, data, and the education of a new generation of researchers. Purdue University Press, 15.

Cohen, W. W., Wang, R. y Murphy, R. F. (2003). Understanding captions in biomedical publications. En KDD '03: Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, 499-504. https://doi.org/10.1145/956750.956809

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

Elavsky, F., Bennett, C. y Moritz, D. (2022). How accessible is my visualization? evaluating visualization accessibility with Chartability. Computer graphics forum 41(3), 57-70. https://doi.org/10.1111/cgf.14522

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

Evergreen, S. y Metzner, C. (2013). Design principles for data visualization in evaluation. En Azzam, T., & Evergreen, S. (Eds.). Data visualization, part 2. New directions for evaluation, 140, 5-20.

Guarino, L. y Snow-Weaver, A. (2009). WCAG 2.0 for designers: beyond screen readers and captions. En Stephanidis, C. (eds). Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services. UAHCI 2009. Lecture Notes in Computer Science, 5616. Springer, Berlin, Heidelberg, 674-682. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02713-0_71

Hunt, K. (2004). The challenges of integrating data literacy into the curriculum in an undergraduate institution. IASSIST quarterly 28(2-3), 12-15. https://doi.org/10.29173/iq791

Iglesias, A., Moreno, L., Martínez, P. y Calvo, R. (2014). Evaluating the accessibility of three open-source learning content management systems: a comparative study. Computer applications in engineering education 22(2), 320-328. http://dx.doi.org/10.1002/cae.20557

Koivunen, Marja-Riitta y McCathieNevile, C. (2001). Accessible graphics and multimedia on the Web. World Wide Web Consortium (W3C)/MIT. https://www.w3.org/2001/05/hfweb/heuristics.htm

Konecki, M., LaPierre, C., MA, S. A. y Berrier, J. (2017). Providing accessible data visualization. En Proceeding of IAC in Vienna 2017, 159-162. https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/213104122

Legge, G. E (2016). Reading digital with low vision. Visible Language 50(2), 102-125.

López, J. M., Pascual Almenara, A., Masip, L., Granollers, T. y Cardet, X. (2011). Influence of web content management systems in web content accessibility. En P. Campos et al. (eds.). Human-Computer Interaction – INTERACT 2011. Lecture notes in computer science, 6949. Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-23768-3_79

McCathieNevile, C. y Koivunen, M. R. (2000). Accessibility features of SVG. W3C. https://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SVG-access-20000807

Postigo, Y. y Pozo, J. I. (2000). Cuando una gráfica vale más que 1000 datos: la interpretación de gráficas por alumnos adolescentes. Infancia y aprendizaje, 90, 89-110. http://dx.doi.org/10.1174/021037000760087982

Reinecke, K., Flatla, D. R. y Brooks, C. (2016). Enabling designers to foresee which colors users cannot see. En Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'16). ACM, 2693-2704. https://doi.org/10.1145/2858036.2858077

Rubin, G. S., Feely, M., Perera, S., Ekstrom, K. y Williamson, E. (2006). The effect of font and line width on reading speed in people with mild to moderate vision loss. Ophthalmic and physiological optics 26(6), 545-554. https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2006.00409.x

Russell-Minda, E., Jutai, J. W., Strong, J. G., Campbell, K. A., Gold, D., Pretty, L. y Wilmot, L. (2007). The legibility of typefaces for readers with low vision: a research review. Journal of visual impairment & blindness 101(7), 402-415. https://doi.org/10.1177%2F0145482X0710100703

Shinohara, K. y Wobbrock, J. (2011). In the shadow of misperception: assistive technology use and social interactions. En CHI '11: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 705-714. https://doi.org/10.1145/1978942.1979044

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

Villarroel-Ramos, J., Sanchez-Gordon, S. y Luján Mora, S. (2018). Architectural metamodel for requirements of images accessibility in online editors. En 2018 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS), 312-319. https://doi.org/10.1109/INCISCOS.2018.00052

W3C (2015). Authoring Tool Accessibility Guidelines (ATAG) 2.0. https://www.w3.org/TR/ATAG20

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

W3C (2020a). Understanding success criterion 3.1.4: abbreviations. https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/abbreviations.html

W3C (2020b). Understanding success criterion 1.4.3: Contrast (Minimum). https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/contrast-minimum.html

W3C (2020c). Understanding success criterion 1.4.11: Non-text Contrast. https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/nontext-contrast.html

W3C (2020d). Understanding success vriterion 2.4.7: focus visible. https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/focus-visible.html

W3C (2020e). Understanding success criterion 2.1.1: keyboard. https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/keyboard.htm

W3C (2023). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2. https://www.w3.org/TR/WCAG22

Warner, C. B. y Meehan, A. M. (2001). Microsoft MS Excel as a tool for teaching basic statistics. Teaching of psychology, 25(4), 295-298. https://doi.org/10.1207/S15328023TOP2804_11

WebAIM (2013). Visual disabilities. Page 3. Low vision. https://webaim.org/articles/visual/lowvision

Yu, H., Agarwal, S., Johnston, M. y 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). http://dx.doi.org/10.1186/1747-5333-4-1

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 6, No 1 (2025)
ISSN 2695-6578

PlanTEA 3.0: Una Aplicación para la Planificación, Anticipación y Comunicación para Personas con TEA

PlanTEA 3.0: An Application for Planning, Anticipation, and Communication for People with ASD

Laura Morales Caro
Escuela Superior de Informática
Universidad de Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España
laura.morales@uclm.es

Ana Isabel Molina Díaz
Escuela Superior de Informática
Universidad de Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España
anaisabel.molina@uclm.es

Carmen Lacave Rodero
Escuela Superior de Informática
Universidad de Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España
carmen.lacave@uclm.es

Recibido: 08.11.2024 | Aceptado: 14.05.2025
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.122

Palabras Clave

Autismo
Tecnología
Planificación y anticipación
Autonomía personal

Resumen

En las personas con Trastorno del Espectro Autista (TEA), las habilidades relacionadas con la planificación y la flexibilidad mental suelen estar alteradas. Por tanto, contar con aplicaciones que les permita anticipar situaciones cotidianas e inevitables, como la asistencia a una cita médica, puede ser de gran utilidad para que puedan enfrentarse a estas actividades con un menor nivel de estrés y ansiedad. En este artículo se describen las nuevas funcionalidades incorporadas en la aplicación PlanTEA, una app para dispositivos tipo *tablet* que permite a los niños con TEA y a sus familiares o cuidadores preparar la asistencia a consultas médicas. Los nuevos requisitos soportados por la aplicación son el resultado de una primera evaluación y han permitido obtener la última versión de esta (PlanTEA 3.0).

Keywords

Autism
Technology
Personal autonomy
Planning and anticipation

Abstract

In individuals with Autism Spectrum Disorder (ASD), skills related to planning and mental flexibility are often altered. Therefore, having applications that allow them to anticipate every day and unavoidable situations, such as attending a medical appointment, can be highly beneficial in helping them approach these activities with a lower level of stress and anxiety. This article describes the new features incorporated in PlanTEA, an app for tablet devices that allows children with ASD and their family members or caregivers to prepare for medical appointments. The new requirements supported by the application are the result of an initial evaluation and have led to the latest version (PlanTEA 3.0).

1. Introducción

El Trastorno del Espectro Autista (TEA) se define como un trastorno del neurodesarrollo con una fuerte base genética que se manifiesta desde una edad temprana. Se caracteriza por un retraso o deterioro en la adquisición de habilidades en una amplia variedad de dominios y conlleva comportamientos estereotipados, rutinas rígidas, intereses repetitivos y restringidos, así como déficits persistentes en la socialización, interacción recíproca y comunicación (Lord et al., 2018).

Es uno de los trastornos del neurodesarrollo emergentes más frecuentes en la primera infancia, aunque no es exclusivo de la edad infantil y juvenil, y afecta de forma significativa a la vida de la persona con TEA y a su entorno. El diagnóstico de este trastorno ha aumentado considerablemente en los últimos 40 años (Friedman & Sterling, 2019). Según un informe reciente de la Organización Mundial de la Salud, se estima que 1 de cada 100 niños en el mundo tiene un TEA, aunque la prevalencia varía enormemente dependiendo del país y su capacidad diagnóstica. En el caso de España, la prevalencia es del 1%, similar a la media europea, lo que significa que existe alrededor de 470.000 personas con esta condición (Morales-Hidalgo et al., 2018).

Este trastorno presenta una gran variabilidad en sus manifestaciones (de ahí el término "espectro"), dependiendo de la gravedad o nivel de afectación (Itzel et al, 2017), por lo que se puede decir que no hay dos individuos con TEA iguales. Esta variabilidad está influenciada por el desarrollo específico

del individuo, así como por el apoyo que pueda recibir, la presencia de comorbilidad (la existencia de otros trastornos o enfermedades asociadas, como trastornos psiquiátricos o discapacidad intelectual) (Brondino et al., 2019), y por el nivel de desarrollo del lenguaje. Por tanto, para su abordaje es necesario considerar la especificidad de cada paciente, siendo esencial que éste reciba apoyos individualizados, en función de sus circunstancias particulares y habilidades (Itzel et al, 2017).

Para las personas con TEA, desenvolverse en ciertos entornos y situaciones que no les son familiares puede ser una fuente de ansiedad. Así, por ejemplo, hacer la compra en un supermercado, ir a una consulta médica o viajar con niños con TEA puede ser muy desafiante y estresante, tanto para los padres como para los niños (Afif et al., 2022). El proporcionar apoyos a este colectivo de usuarios supone un reto para la comunidad científica, que trata de ofrecer soluciones y mecanismos para ayudar a las personas con TEA a manejar estas actividades cotidianas (Pérez-Fuster et al., 2019). En estos casos, es habitual preparar con antelación la tarea a realizar (planificar) y explicar a la persona con TEA los detalles del procedimiento (anticipar) mediante los llamados "cuadernos de anticipación". Estos cuadernos ayudan a preparar al individuo a enfrentarse a una situación porque permiten desglosar los pasos que componen una actividad mediante el uso de representaciones visuales (pictogramas) y frases descriptivas (N. P. Friedman & Miyake, 2016).

En este contexto, la tecnología es capaz de aportar grandes beneficios, facilitando el aprendizaje y potenciando habilidades de desarrollo como la comunicación, la autonomía o la interacción social, entre otros (Valencia et al., 2019).

1.1 Trabajos relacionados

En los últimos años está habiendo un interés creciente en ofrecer apoyos tecnológicos a usuarios con TEA (Valencia et al., 2019). Las nuevas tecnologías son bien aceptadas por este colectivo, que se siente motivado y cómodo en el entorno altamente predecible que las aplicaciones les ofrecen (Strickroth et al., 2020). La mayor parte de estas aplicaciones se centran en ofrecer soportes en aquellas áreas que este tipo de usuarios tienen más afectadas, como son la comunicación (Almurashi et al., 2022), la socialización (Balderaz, 2020, Ke et al., 2017), la flexibilidad cognitiva y del comportamiento (Pasqualotto et al., 2021), la necesidad de anticipación (Desideri et al., 2020), el reconocimiento de emociones (Rashidan et al., 2021), la autogestión (Chia et al., 2018) o el control de determinados estados emocionales, como la ansiedad y el estrés (Carlier et al., 2020).

La mayoría de las aplicaciones se han desarrollado para dispositivos móviles (Moon et al., 2019), como smartphones y tablets (Hong et al., 2018), así como otros dispositivos táctiles, como las mesas multi-touch (Chen, 2012, Gal et al., 2015). Entre los desarrollos realizados destacan la creación de juegos serios para el aprendizaje y entrenamiento de habilidades comunicativas y sociales (Carvalho et al., 2024). También se han explotado nuevos paradigmas de interacción, como la recreación de escenarios virtuales en aplicaciones de Realidad Virtual y Aumentada (Almazaydeh et al., 2022, Almurashi et al., 2022). Estas aplicaciones proporcionan información sensorial, principalmente visual, pero también auditiva y háptica, que puede utilizarse para recrear y simular situaciones y entornos con los que el usuario con TEA pueda interactuar. En los últimos años está cobrando interés el empleo de robots sociales de asistencia (socially assistive robots o SARs) en intervenciones con personas con TEA, para trabajar aspectos como la regulación emocional y la empatía (DiPietro et al., 2019), así como la integración de soluciones móviles con dispositivos vestibles (Koumpouros & Kafazis, 2019).

Gran parte de estos desarrollos han sido evaluados y han demostrado ser efectivos en la mejora y entrenamiento de las habilidades de comunicación y socialización de las personas con TEA (Leung et al., 2021), y todas ellas buscan, en última instancia, mejorar la inclusión y calidad de vida de las personas con TEA y sus familiares (Hrabal et al., 2022).

A pesar de la proliferación de aplicaciones orientadas al colectivo de personas con TEA, solo unas pocas dan soporte a la planificación y anticipación de tareas cotidianas. Además, no permiten la incorporación y categorización de pictogramas e imágenes personalizadas (que representan objetos, lugares o personas conocidas por el usuario), ni contemplan distintos roles de usuario; no incorporan mecanismos de comunicación aumentativa y alternativa, ni consideran la gestión de los tiempos de espera ni las recompensas y, en caso de que lo hagan, no son gratuitas. Además, la gran mayoría de los desarrollos existentes no tienen en cuenta las características específicas que deben soportar las aplicaciones software orientadas a la población TEA (procesamiento visual, diferenciación en la percepción sensorial, atención al detalle, predilección por una cierta rutina u orden, así como por ciertos sonidos, objetos y personas, es decir, adaptación a cada usuario) (Munteanu et al., 2015). Por estas razones, los familiares y cuidadores siguen recurriendo a métodos artesanales (papel, plastificadora y cinta adhesiva) para crear sus propios "sistemas" que les permitan planificar y anticipar situaciones cotidianas, basándose en los llamados Sistemas de Comunicación Aumentativa y Alternativa (SCAA)[1].

1.2 Objetivo

Con el fin de paliar las limitaciones descritas, se desarrolló un prototipo de aplicación para tablets, llamada PlanTEA

[1] Formas de expresión distintas al lenguaje hablado que tienen que como objetivo aumentar el nivel de expresión (aumentativa) y/o compensar (alternativa) las dificultades de comunicación que algunas personas tienen en esta área.

(Hernández et al., 2022), para planificar y anticipar visitas al médico. Esta aplicación incorpora mecanismos de entretenimiento durante los tiempos de espera, métodos de refuerzo positivo (recompensas) y facilita la comunicación con el personal sanitario, cuando sea necesario, ya que incluye un cuaderno de comunicación aumentativa y alternativa, con vocabulario específico del dominio médico. Para esta primera versión se eligió el ámbito sanitario porque todas las personas TEA antes o después tienen que enfrentarse a este tipo de situaciones. Su diseño se orientó a las características y necesidades del usuario final, siguiendo la metodología del Diseño Centrado en el Usuario. Y en su desarrollo se aplicaron recomendaciones y directrices específicas de diseño de software orientado a usuarios con TEA (Aguiar et al., 2020), haciendo hincapié en facilitar su aceptación, usabilidad y experiencia del usuario (UX). La usabilidad y aceptación de PlanTEA fue evaluada por un conjunto de usuarios con TEA con resultados muy positivos. Además, se obtuvo un conjunto de propuestas de mejora que han dado lugar a la versión actual de la aplicación, PlanTEA 3.0.

En consecuencia, el objetivo de este trabajo es describir y justificar las modificaciones realizadas en la versión anterior de PlanTEA y que han dado lugar al estado actual de la aplicación.

Para ello, el resto del artículo se organiza así: la sección 2 describe los antecedentes que han dado lugar a la versión actual de PlanTEA; la sección 3 ilustra cómo ha sido su evolución, tanto en aspectos de diseño como en funcionalidad. Por último, la sección 4 destaca las conclusiones derivadas del presente trabajo.

2. Estado del arte

En esta sección se describen los antecedentes que han dado lugar a la versión actual de PlanTEA: el prototipo anterior (PlanTEA 2.0) y la evaluación de su usabilidad.

2.1 PlanTEA 2.0

PlanTEA 2.0 (abreviado como PlanTEA) es una aplicación para tablet que ayuda a las personas con TEA a planificar actividades de su vida diaria, mediante el uso de pictogramas, para especificar y visualizar los pasos de los que constan. Así, una secuencia de pictogramas que representa una situación o actividad se denomina planificación. Una planificación que se desea llevar a cabo en un día y hora concretos se denomina evento. PlanTEA da soporte a dos tipos de usuario o roles: el planificador y el usuario TEA. El planificador será el encargado de crear y gestionar las planificaciones. Los usuarios TEA podrán consultar las planificaciones y anticipar así distintas situaciones, en el contexto médico, mediante el seguimiento de una planificación creada por el planificador. La aplicación también incorpora un cuaderno de comunicación con vocabulario específico del ámbito clínico. El rol de usuario TEA es opcional ya que el planificador puede seguir una planificación y acceder al cuaderno de comunicación. La principal funcionalidad en PlanTEA es el soporte a la creación de planificaciones (Figura 1). Las planificaciones se diseñan añadiendo pictogramas a una lista, mediante técnicas de manipulación directa (*drag & drop*), dando la posibilidad de modificar su orden, o eliminar o modificar pictogramas, en caso de ser necesario.

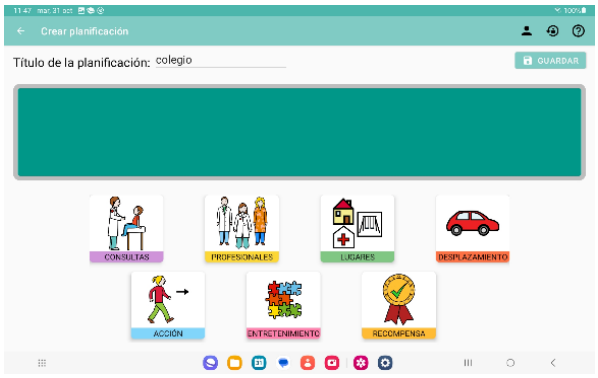


Figura 1. Pantalla de "Creación de una planificación"

La visualización y seguimiento de las planificaciones creadas (Figura 2) se realiza mediante la interacción (pulsación) sobre los distintos pictogramas que forman la planificación, simulándose así que dicho paso ha sido realizado.



Figura 2. Pantalla de "Visualización de una planificación"

En cuanto al soporte a la comunicación, PlanTEA incluye varios cuadernos de comunicación predefinidos (Figura 3), consistentes en colecciones de pictogramas de un tema específico (en este caso, pictogramas en el ámbito de las visitas médicas).

2.2. Evaluación de PlanTEA

La experiencia de usuario (UX) en PlanTEA se evaluó mediante una metodología y conjunto de instrumentos de evaluación de la UX de aplicaciones específicamente orientadas a usuarios TEA (Valencia et al., 2022, Valencia, Botella, et al., 2022).

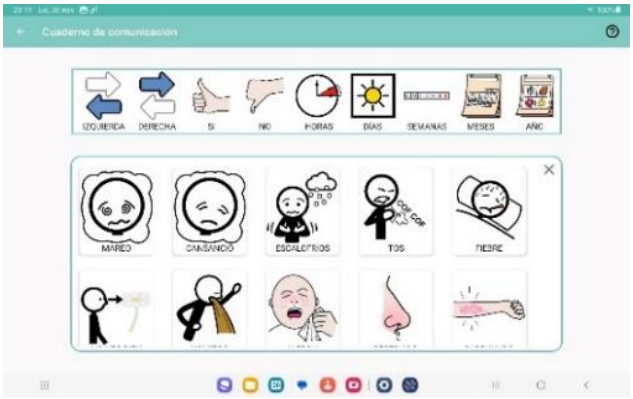


Figura 3. Aspecto del "Cuaderno de comunicación"

La evaluación inicial (Hernández et al., 2022) se basó en un diseño descriptivo transversal (Figura 4), en el que se usó como instrumento de medida un cuestionario de percepción subjetiva (Azad-Khaneghah et al., 2020). En dicha evaluación participaron un total de 17 expertos de diversas áreas: familiares de niños con TEA, terapeutas o especialistas en este trastorno, y desarrolladores de aplicaciones.

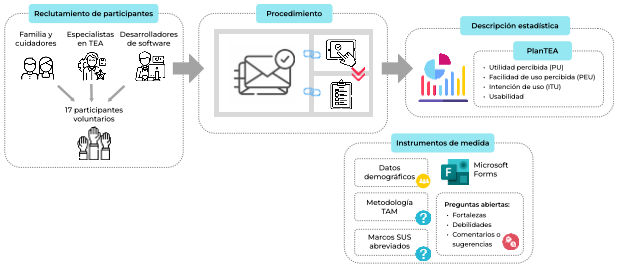


Figura 4. Diseño de la evaluación de usabilidad de PlanTEA

En cuanto al procedimiento seguido, los participantes recibieron, por correo electrónico, dos enlaces, uno de ellos a un video demostrativo del funcionamiento de PlanTEA y otro a un cuestionario, que debían cumplimentar después de asegurarse de haber entendido el funcionamiento de la aplicación. Dicho cuestionario contenía 12 ítems, con respuestas en escala Likert de cinco niveles, y 3 preguntas abiertas, que permitían recopilar los puntos fuertes y débiles de PlanTEA, así como propuestas de mejora de los participantes. Los primeros 8 ítems permitían medir la utilidad, facilidad e intención de uso de PlanTEA percibida por los participantes. Su formulación estaba basada en las dimensiones PEU, PU e ITU propuestas en el framework TAM (Technology Acceptance Model) (Davis, 1989). Los 4 ítems restantes permitían valorar la sabilidad de la aplicación, mediante una versión abreviada y adaptada del cuestionario SUS (System Usability Scale) (Brooke, 1996).

Los resultados relacionados con la aceptación de la herramienta mostraron que el 82.4% de los participantes considera que la aplicación es útil para mejorar la comunicación en contextos médicos, es fácil de usar y recomendable. La mayoría de los participantes (76%) mostró interés en mantenerse informados sobre la evolución de la aplicación. Los evaluadores también destacaron que PlanTEA es accesible y no requiere de ayuda técnica para su uso. Entre los comentarios positivos, los participantes resaltaron la simplicidad, facilidad de uso y flexibilidad para personalizar el contenido, lo cual es especialmente útil para personas con TEA. No obstante, algunos señalaron como áreas de mejora la sobrecarga de algunas pantallas. En definitiva, se identificaron potenciales problemas (Pi) y posibles mejoras (Si) para optimizar su funcionalidad. Entre los primeros, destacan:

P1. No hay diferenciación entre usuarios y objetos
P2. Dificultad para mover pictogramas
P3. Categorías de pictogramas confusas
P4. Dificultad para eliminar un pictograma
P5. Visualización incorrecta en función del dispositivo
P6. Exceso de información
P7. Cierre inesperado de la aplicación
P8. No existe *tour* de bienvenida

Las principales las sugerencias de mejora fueron:

S1. Incluir un buscador para facilitar la localización de pictogramas en lugar de navegar por categorías.

S2. Acceder a la base de datos pública de pictogramas de ARASAAC[2].

S3. Incluir contenido multimedia (“recorridos animados” o videos) para mostrar los pasos a seguir en las consultas.

3. Evolución

Como discutimos en la sección 2.1, nuestra estrategia de HGR se basa en el uso de información posicional tridimensional de las articulaciones de la mano capturada por el dispositivo Microsoft HoloLens 2. Nuestro enfoque se centra en el diseño de un sistema robusto de clasificación de gestos: dada una ventana temporal compuesta por múltiples *frames* (donde cada *frame* representa la posición tridimensional de los 26 *joints* de la mano en un instante de tiempo), nuestro clasificador principal está diseñado para identificar el gesto específico dentro de dicha ventana.

En esta sección se detallan las decisiones de diseño e implementación que han dado lugar a la nueva versión de PlanTEA, en función de los problemas y sugerencias de mejora proporcionados por los participantes en la evaluación, y que se muestran resumidos en la Tabla 1.

[2] https://arasaac.org. Centro Aragonés de la Comunicación Aumentativa y Alternativa

Tabla 1: Problemas, sugerencias y soluciones en PlanTEA

Problema / Sugerencia		Mejora implementada
P1.	No hay diferenciación entre usuarios y objetos	Se incluye una explicación de cada apartado (Figura 17).
P2.	Dificultad para mover pictogramas	Se ha sustituido el evento de "drag" por un clic en el pictograma (Sección 3.3.1).
P3.	Categorías de pictogramas confusas	Se han actualizado las categorías (Figura 6).
P4.	Dificultad para eliminar un pictograma	Se ha incorporado un botón con el icono de la papelera. 
P5.	Visualización incorrecta en función del dispositivo	La aplicación se ha hecho "responsive" para diferentes dispositivos y tamaños de pantalla (Sección 3.3.5)
P6.	Exceso de información	Se ha eliminado contenido y se ha ordenado la información (Sección 3.1).
P7.	Cierre inesperado de la aplicación	Se han solucionado los errores de ejecución inesperados (Sección 3.2).
P8.	No existe tour de bienvenida	Se ha creado un tour de bienvenida (Sección 3.3.7).
S1.	Incluir un buscador de pictogramas	Se ha implementado un buscador de pictogramas (Sección 3.3.1).
S2.	Acceder a la base de datos de ARASAAC	El buscador de pictogramas accede a la base de datos de ARASAAC (Sección 3.3.1).
S3.	Incluir contenido multimedia para mostrar los pasos a seguir	Se ha añadido una animación para la reproducción de un evento (Figura 10).

3.1 Mejoras de diseño

La versión actual incorpora cambios en su diseño que mejoran su accesibilidad, ya que se han seguido las pautas dictadas por *Material Design* (Google, 2021) y la guía de WCAG 2.2 (*Web Content Accessibility Guidelines*) (World Wide Web Consortium, 2024), así como principios fundamentales como el *Doherty Threshold (Doherty, Thadhani, 1982)* o las leyes de Gestalt (Johnson, 2014).

Uno de los objetivos de *Material Design* es aumentar, mantener o mejorar las capacidades funcionales de las personas con discapacidades. Por tanto, se rediseñaron los componentes de interacción táctil de la interfaz de PlanTEA para que los elementos táctiles tuvieran una dimensión de 48 pixeles. Así, se garantiza una interacción más accesible y funcional para todos los usuarios.

Otra de las pautas que se siguió fue incorporar descripciones de contenido (*contentDescriptions*), haciéndolos accesibles para los lectores de pantalla como *Talkback*[3], y *hints* (indicadores) para describir los elementos en pantalla.

Siguiendo la guía de accesibilidad de W3C *Making Content Usable for People with Cognitive and Learning Disabilities*[4] se delimitaron y agruparon los elementos en pantalla, mediante el uso de bordes fácilmente identificables, para organizar la información y hacer que esta sea más fácil de asimilar y relacionar por parte de los usuarios. Además, en lugar de mostrar los elementos de forma aislada, se agruparon en contenedores visuales, como cuadros, tarjetas o secciones, creando una estructura visual clara. Estas cajas visuales ayudan a establecer relaciones visuales entre los elementos relacionados y a separarlos de otros contenidos.

En la nueva versión de PlanTEA se ha usado la tipografía *Montserrat*, debido a su mejor legibilidad, su diseño limpio y proporciones equilibradas. También se ha cambiado la gama o paleta de colores utilizada, lo que permite mejorar la diferenciación y contraste de los colores empleados y conseguir una relación de contraste de 7.6:1, cumpliendo así la pauta 1.4.6. de la WCAG. Puesto que la aplicación va dirigida a personas con TEA, que pueden presentar también algún tipo de comorbilidad de tipo perceptivo, se buscó que los colores fueran fácilmente distinguibles entre sí, lo que les ayudaría a un mejor procesamiento visual de la información y a identificar los elementos clave de una manera más efectiva. Gracias a estas mejoras se ha conseguido cumplir con los estándares del nivel AA establecidos por la WCAG 2.2. De esta forma se asegura que la aplicación sea accesible para la mayoría de las personas.

[3] https://support.google.com/accessibility/android/topic/3529932

[4] https://www.w3.org/TR/coga-usable/

También se aplicaron las heurísticas de Nielsen (Nielsen, 1994) para adoptar una estética minimalista y así reducir la carga visual en pantalla, proporcionando al usuario una guía más clara sobre las acciones disponibles. Dado que las aplicaciones percibidas como estéticamente agradables suelen asociarse con una mayor facilidad de uso, esta mejora contribuyó también a mejorar la satisfacción de los usuarios al utilizar PlanTEA.

3.2 Implementación

PlanTEA 3.0 se ha desarrollado en *Kotlin*[5], lenguaje de programación que destaca por su concisión, lo que facilita el desarrollo de aplicaciones *Android* robustas y modernas. La aplicación estaba originalmente implementada en *Java* pero se decidió migrar a *Kotlin* por el rendimiento y estabilidad que este lenguaje ofrece, ya que está diseñado para ser altamente compatible con la máquina virtual de *Java* (JVM), lo que garantiza un rendimiento similar al de *Java*. Además, *Kotlin* aborda algunas limitaciones y deficiencias de *Java*, lo que puede dar lugar a una mejora en el rendimiento y estabilidad de la aplicación.

En cuanto a la persistencia, la aplicación integra *Firebase*[6] para dar soporte al registro e inicio de sesión de los usuarios. Esta elección permitió centrar los esfuerzos en el desarrollo de las funciones específicas de la aplicación, confiando en la robustez y la seguridad que ofrece *Firebase* para la gestión de usuarios.

Además, la aplicación se integra con el repositorio de pictogramas y recursos de ARASAAC para la comunicación aumentativa y alternativa (AAC) a través de la API que proporcionan para facilitar el acceso a dichos recursos desde aplicaciones de terceros. En la Figura 5 se muestra la arquitectura de la aplicación.

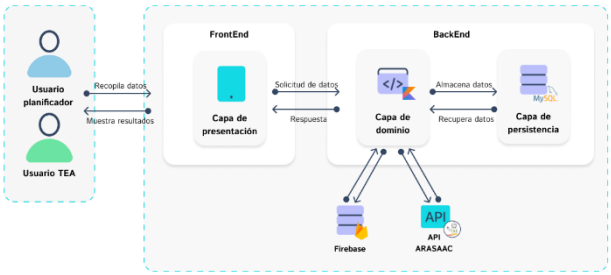


Figura 5. Arquitectura de PlanTEA 3.0

3.3 Funcionalidades de PlanTEA 3.0

A continuación, se describen las nuevas funcionalidades que incorpora la versión 3.0 de PlanTEA.

[5] Kotlin Programming Language (kotlinlang.org)

[6] https://firebase.google.com

3.3.1 Creación y edición de planificaciones.

En la anterior versión de PlanTEA se hacía uso de la técnica de *drag & drop* para añadir pictogramas a las planificaciones. Dicho mecanismo de **inserción de pictogramas** ha sido sustituido, siendo suficiente con seleccionar uno de ellos para que sea añadido a la lista de pasos de la planificación (Figura 6), lo cual simplifica considerablemente el proceso de creación de planificaciones.

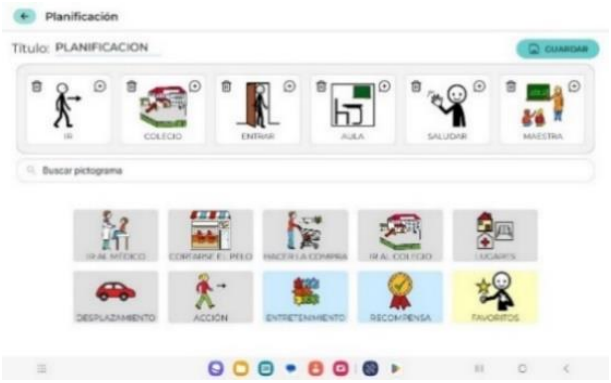


Figura 6. Pantalla de "Creación de una planificación"

Al mismo tiempo, en cada pictograma que forma parte de una planificación se puede incluir un texto breve que permite incluir **recomendaciones o pautas de carácter social**. Su objetivo principal es brindar información sobre las reglas sociales, los pensamientos o sentimientos de las personas en situaciones específicas. Estas historias representan una serie de experiencias que reflejan las claves sociales y su importancia, y proporcionan pautas sobre qué hacer y decir en estas situaciones, es decir, el "qué", el "cuándo", el "quién" y el "por qué" de las interacciones sociales.



Figura 7. Dialogo de creación de "Texto adicional"

Por otro lado, la nueva versión de PlanTEA incorpora un **buscador de pictogramas**. Se utilizó la API de ARASAAC para obtener toda la información relacionada con los pictogramas. Esta organización proporciona pictogramas y recursos para la comunicación aumentativa y alternativa y ofrece una API completa para facilitar sus recursos a aplicaciones de terceros. El usuario podrá introducir el elemento o concepto a representar en una barra de búsqueda y la aplicación accederá a la base de datos de ARASAAC, devolviendo un conjunto de opciones que representen dicho

concepto. Aparte de la búsqueda, se permite crear pictogramas nuevos con la posibilidad de añadir fotos desde la galería del dispositivo.

Además, se ha incluido una sección de **pictogramas favoritos**. La función de pictogramas favoritos permite a los usuarios guardar los pictogramas que más utilizan o prefieren en una sección especial llamada "Favoritos". Gracias a esta funcionalidad, los usuarios pueden acceder rápidamente a los pictogramas favoritos sin necesidad de buscarlos, agilizando el proceso de creación de planificaciones.

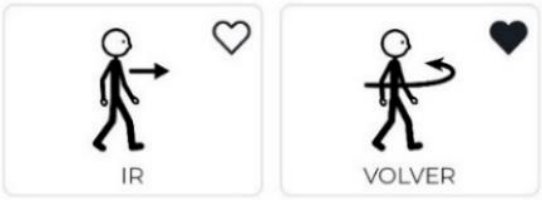


Figura 8. Pictograma no favorito/favorito

3.3.2 Visualización de planificaciones

La novedad más destacada en cuanto a la visualización de las planificaciones es la posibilidad de **escuchar** la secuencia de pictogramas que compone la planificación, mientras esta se reproduce paso a paso, es decir, se ha incorporado una funcionalidad *text-to-speech* (Figura 9). Esta característica de reproducción auditiva y visual es especialmente beneficiosa para las personas con TEA (Vives-Vilarroig et al., 2022). Proporciona una experiencia multisensorial que puede contribuir significativamente al aprendizaje y la comprensión.



Figura 9. Pantalla de "Reproducción de planificaciones"

También se añadió la funcionalidad de reproducción de planificaciones (Figura 10), que permite a los usuarios visualizar, de forma más dinámica, la secuencia de pictogramas de una planificación. Cuando se reproduce una planificación, los pictogramas se destacan agrandándose temporalmente y, tras unos instantes, regresan a su tamaño original pero se resaltan como marcados.

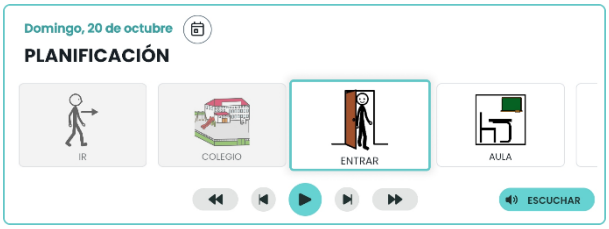


Figura 10. Sección de la pantalla "Reproducción de planificaciones"

3.3.3 Creación y edición de cuadernos

La anterior versión de la aplicación incluía un cuaderno de comunicación predefinido, con vocabulario habitual en el ámbito sanitario. En la nueva versión de PlanTEA se permite la **creación y edición de cuadernos de comunicación personalizados**. Al igual que en el proceso de diseño de las planificaciones la herramienta permite la adición de pictogramas mediante la búsqueda de pictogramas por nombre, así como la incorporación de nuevos pictogramas mediante el acceso a la galería del dispositivo. Ambas opciones permiten la creación de sistemas AAC personalizados y adaptados a los gustos e intereses del usuario TEA.



Figura 11. Pantalla de "Cuadernos de comunicación"

3.3.4 Traductor de pictogramas

Con el propósito de facilitar el proceso de diseño de las planificaciones, se ha incorporado un **traductor texto-a-pictogramas**. Esta nueva funcionalidad toma la frase introducida por el usuario y la traduce, palabra por palabra, en una representación visual basada en pictogramas (Figura 12). Si una palabra puede ser representada por varios pictogramas, se da la opción al usuario de elegir el que mejor se ajuste a sus gustos o preferencias, alternando mediante *clics* entre las opciones que le ofrece la aplicación. También es posible reemplazar un pictograma por una imagen de la galería manteniendo un clic largo. Además, se puede eliminar cualquier pictograma no deseado haciendo clic en el icono de la papelera dentro del mismo.

La aplicación también ofrece la opción de escuchar la frase traducida, proporcionando una experiencia multimodal, más completa y accesible para los usuarios. Asimismo, la traducción resultante puede ser almacenada como una planificación, permitiendo así un fácil acceso y referencia futura a la misma.

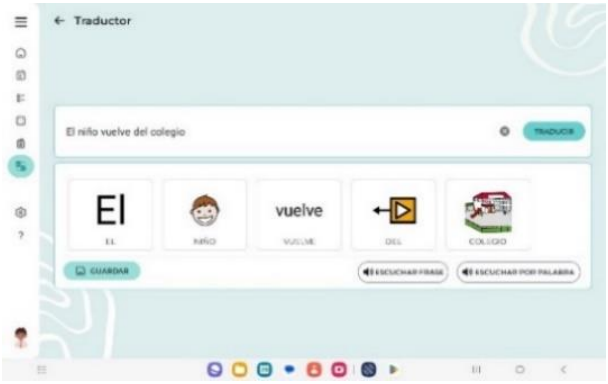


Figura 12. Aspecto de la funcionalidad "Traductor texto-a-pictogramas"

3.3.5 Multidispositivo

La anterior versión de la aplicación no permitía el despliegue multidispositivo, siendo sólo accesible mediante dispositivos de tipo *tablet*. En este sentido se ha mejorado la **portabilidad** de la nueva versión de PlanTEA que puede usarse en **dispositivos *smartphones*** (Figura 13) con sistema operativo *Android*.

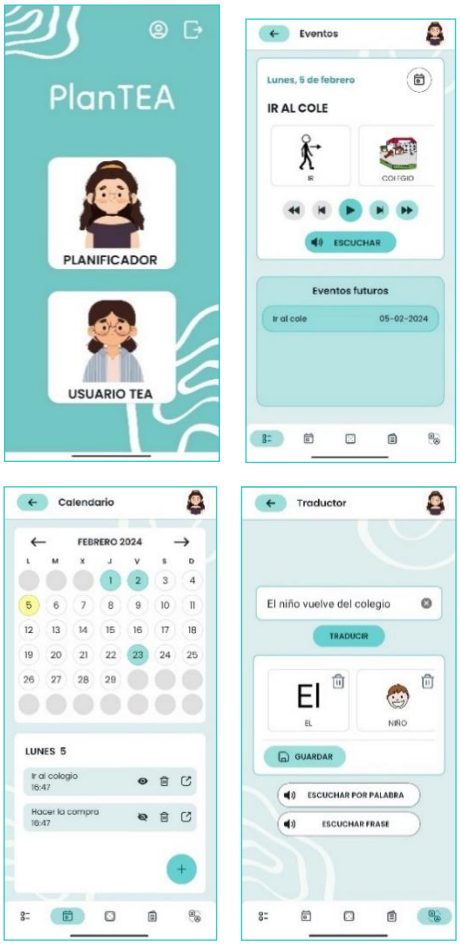


Figura 13.Capturas de pantalla de la versión de PlanTEA para smartphones

3.3.6 Modo oscuro

En la nueva versión de la aplicación se ha incorporado el **modo oscuro** (Figura 14). Este modo ofrece una experiencia opcional para los usuarios que encuentran la interfaz regular demasiado intensa o de bajo contraste, dando la opción de mejorar la accesibilidad de la aplicación.



Figura 14. Pantalla de "Reproducción de planificaciones"

3.3.7 Gestión de usuarios

Otra novedad incluida en la última versión de PlanTEA es el registro e inicio de sesión en la aplicación (Figura 15). Incorporar esta funcionalidad permite que cada usuario puede crear una cuenta personalizada, accediendo a ella con sus credenciales. Esto permite que la aplicación pueda ser utilizada por varios usuarios en un mismo dispositivo.

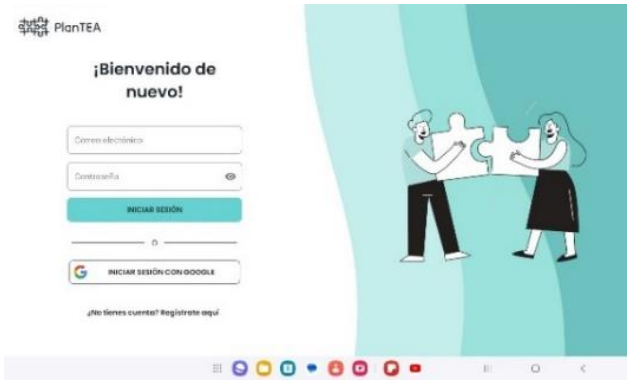


Figura 15. Pantalla de inicio de sesión

El formulario de registro solicita información en varios campos: nombre del usuario con rol planificador, nombre del usuario con rol planificado, nombre de usuario de la cuenta, contraseña y un campo opcional, para especificar la llamada actividad tranquilizadora, la cual se define como una actividad (o necesidad de portar algún objeto) que calma a la persona con TEA.

Si el usuario ha introducido los datos correctamente, el proceso seguirá con la elección de los avatares (Figura 16). Estos avatares son representaciones visuales que el usuario selecciona para personalizar su perfil en la aplicación.



Figura 16. Pantalla de selección del avatar planificador

En la pantalla de inicio de sesión el usuario tendrá la posibilidad de acceder a la aplicación introduciendo el correo electrónico y la contraseña de la cuenta o accediendo con una cuenta de Google. Aunque la cuenta ya esté creada, es posible editar los datos del perfil desde la pantalla de configuración (Figura 17). Se podrían modificar los nombres y avatares, tanto del usuario planificador como el planificado, y la actividad tranquilizadora.

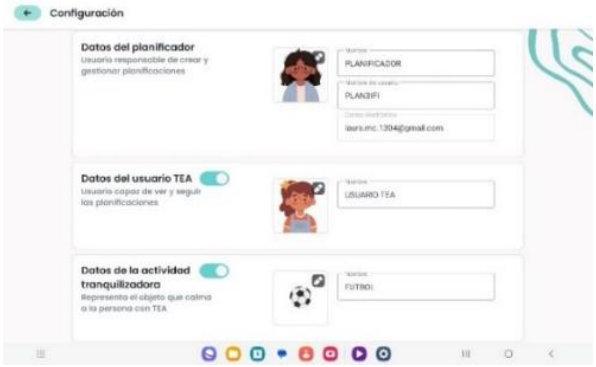


Figura 17. Pantalla de "Configuración"

3.3.7 Tutorial de bienvenida

Además de todo lo mencionado anteriormente, también se ha incorporado un tour de bienvenida con el objetivo de brindar a los nuevos usuarios una introducción clara y detallada de las características clave de la aplicación. Con su incorporación se busca facilitar la compresión y la adopción temprana de la aplicación. Además, el tour de bienvenida también puede ayudar a prevenir posibles frustraciones o confusiones iniciales, al presentar de manera clara las funciones clave y proporcionar instrucciones detalladas sobre cómo utilizarlas correctamente.



Figura 18. Pantalla del tutorial de bienvenida

4. Caso de uso

En esta sección se presenta un caso de uso para ilustrar el funcionamiento y las funcionalidades principales de la aplicación. Para ello, supongamos que María es una niña con TEA que tiene una cita con el dentista el 5 de noviembre. La visita al dentista no forma parte de la rutina diaria de María, por lo que su familia sabe que el día en cuestión le va a generar mucha ansiedad. Una forma de mitigar la ansiedad es anticipar la situación y entrenar a María en la secuencia de pasos, actividades o situaciones a las que se va a tener que enfrentar. Para ello, David, el padre de María, va a usar PlanTEA para crear una planificación que ilustre la visita al dentista y así poder visualizarla con María tantas veces como sea necesario. Por tanto, durante el uso de PlanTEA, el padre de María actuará con el rol de "planificador" y María será "el usuario TEA".

4.1. Rol *Planificador* (Padre de María)

La aplicación se inicia mediante la creación de una cuenta por parte de David, quien configurará sus datos y los de María. Una vez configurados los datos de ambos usuarios, se muestra la pantalla principal (Figura 19), donde se puede seleccionar entre dos opciones: usuario planificador (ubicado en la parte izquierda de la pantalla) o usuario TEA (en la parte derecha).



Figura 19. Pantalla de inicio

Como es el padre de María quien quiere diseñar el evento correspondiente a la visita al dentista de María, elegirá su avatar para iniciar sesión. La aplicación solicita una contraseña (Figura 20) como medida de seguridad para asegurar que

ninguna otra persona modifique las configuraciones ni las planificaciones ya creadas.

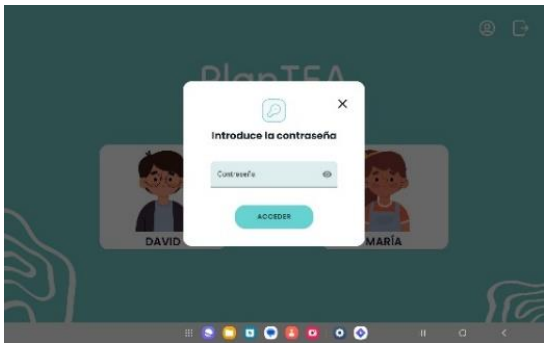


Figura 20. Diálogo de "Introducir la contraseña"

A continuación, aparece la vista de "Calendario" (Figura 21), que muestra a la derecha los eventos ya creados en formato de lista, junto con un calendario, a la izquierda, con el día seleccionado en color amarillo y, en verde, los días que ya tienen otros eventos configurados.



Figura 21. Pantalla de calendario

Así pues, David comenzará marcando el día 5 de diciembre en el calendario y, a continuación, pulsará el icono con el símbolo "+" (esquina inferior derecha) para crear el evento.

Se abrirá una nueva sección (Figura 22) en la que David definirá los datos del evento como el título, la hora, la duración, opción de recordatorio del evento y la planificación.



Figura 22. Creación de un evento

Pulsando en el botón "+ Nueva planificación", David accederá a la vista "Crear planificación" (Figura 23) para definir la secuencia de pictogramas que representan la visita al dentista. Aquí podrá elegir pictogramas de diferentes categorías o buscar en la barra de búsqueda un pictogramas específico.

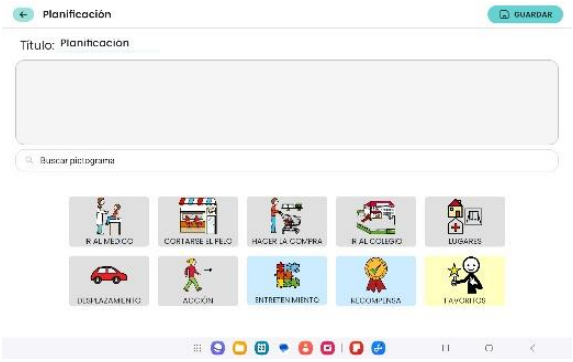


Figura 23. Pantalla de crear una planificación

Para añadir los pictogramas a la planificación basta con pulsar sobre los pictogramas deseados, elegidos de las categorías correspondientes, y se irán insertando en la parte de arriba uno a continuación de otro en orden.

Con el fin de ayudar a María a entender mejor dónde va a ir, su padre quiere incluir en la planificación la foto de la clínica que tiene en su dispositivo, en vez de uno de los pictogramas. Como es posible que la foto la utilice en otras planificaciones, la va a guardar como si fuera un pictograma más. Para ello, dentro de la categoría de "Lugares", pulsará el icono "+" de la esquina inferior derecha y se le abrirá un nuevo diálogo (Figura 24) para introducir los datos del "pictograma" nuevo. Aquí elegirá la foto de la clínica de su dispositivo, le dará el nombre "Clínica" y quedará almacenado para poder utilizarlo en futuras ocasiones.

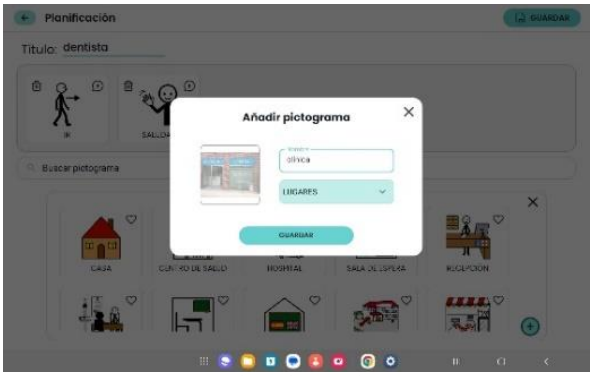


Figura 24 Diálogo de "Añadir pictograma"

Como María tiene bastantes dificultades a la hora de socializar e interaccionar con gente, su padre va a incluir texto adicional en el pictograma correspondiente a "SALUDAR" para que María recuerde que debe decir hola cuando vea al dentista (Figura 25). Para ello, solo debe hacer clic sobre el icono de texto adicional (Figura 26).

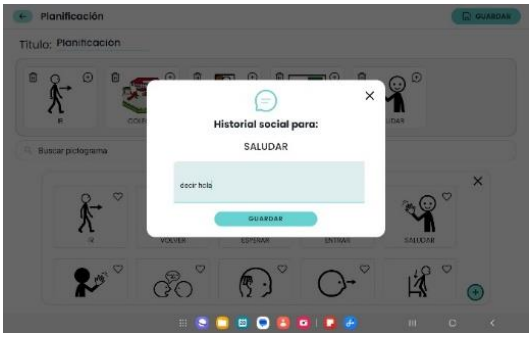


Figura 25. Dialogo de "Texto adicional"



Figura 26 Icono de texto adicional

Cuando la lista de pictogramas está completa y configurada (Figura 27), David la guardará pulsando en el botón “Guardar”, momento en el cual la planificación queda lista para ser incorporada dentro de un evento.

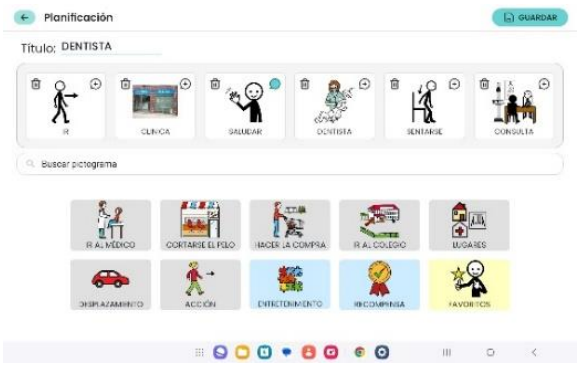


Figura 27. Pantalla de crear planificación con planificación configurada

En la pantalla de “Eventos” (Figura 28) el padre de María podrá visualizar el evento creado, haciendo clic en los pictogramas de la lista, simulando que ha completado cada paso, o mediante el reproductor que ofrece una visualización dinámica de las actividades programadas. De este modo puede comprobar que el evento está preparado para trabajarlo con María.



Figura 28 Pantalla de eventos

Al hacer clic en un pictograma, aparece un cuadro de diálogo que muestra el nombre e imagen del pictograma (Figura 29), y, si se ha añadido texto adicional, este se muestra en un bocadillo junto a la imagen (Figura 30).



Figura 29. Dialogo de un pictograma



Figura 30. Diálogo de un pictograma con texto adicional

Tras finalizar la secuencia completa, la lista se mostraría con todos los pictogramas marcados (Figura 31).



Figura 31. Pantalla de eventos con pictogramas marcados

Además de los eventos planificados, el padre de María tiene acceso a la pantalla de “Actividades” (Figura 32), donde se incluyen las actividades tranquilizadoras. Es muy probable que tengan que esperar un rato antes de que llegue su turno, por lo que es importante que María no se ponga muy nerviosa. Entre dichas actividades ellas se encuentra la posibilidad de visualizar vídeos en YouTube, que a María le encanta, por lo que David va a configurarla para que pueda usarla en caso de que haya que esperar.

Pero como es importante regular el tiempo dedicado a la visualización de vídeos, el padre de María va a limitar a 15 minutos la duración de la actividad (Figura 33).



Figura 32. Pantalla de actividades



Figura 33. Diálogo de temporizador

4.2. Rol *Usuario TEA* (María)

Una vez finalizada la planificación de la visita al dentista, es cuando María puede usar la aplicación para anticipar la situación. Podrá hacerlo acompañada de su padre o sola, en función de las destrezas que haya adquirido con el uso de PlanTEA. Para ello, pulsará sobre su avatar y aparecerá la secuencia de pictogramas que componen la planificación de la visita al dentista (Figura 34). Pulsando sobre los botones de reproducción, María podrá visualizar la secuencia de pictogramas de manera similar a como lo hizo su padre (Figuras 29 a 31).



Figura 34 Pantalla de eventos con rol usuario TEA

María también tiene acceso a la pantalla de actividades, para trabajar los tiempos de espera que puedan surgir durante la visita al dentista. Por último, en el momento de enfrentarse a la situación planificada, esto es, en el momento de acudir a la cita con el dentista, David no se olvidará de llevar su dispositivo móvil para ir visualizando con su hija cada una de las distintas situaciones por las que van a pasar. De este modo, se consigue que María pueda anticipar lo que va a venir después para disminuir su estrés.

5. Conclusiones

El estado actual de PlanTEA es fruto de la evaluación de la experiencia del usuario de la versión anterior (PlanTEA 2.0), en la que intervinieron personas con TEA, y en la que se siguió una metodología y conjunto de instrumentos específicamente orientadas a este tipo de usuarios. En consecuencia, la aplicación ha experimentado mejoras en su diseño, así como la ampliación de las funcionalidades soportadas, entre las que destaca la inclusión de un buscador de pictogramas, la escucha simultánea durante la visualización de las planificaciones, el traductor de texto a secuencia de pictogramas, la creación y edición de cuadernos de comunicación y la portabilidad para su uso en teléfonos móviles.

Como trabajo futuro se pretende realizar el despliegue de la aplicación en la *web*, así como la mejora de ciertos aspectos de accesibilidad. De forma paralela, se diseñará la experiencia de evaluación de esta nueva versión con el fin de ponerla a disposición de la sociedad.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el contexto de los proyectos APTEA (Ref. TED2021-131956B-I00), financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR y PlanTEAAF (Ref. 2022-GRIN-34175), financiado por la Universidad de Castilla-La Mancha y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER); y de los convenios de colaboración y transferencia con las asociaciones de atención a personas con TEA: AUTRADE (Ref. 220413CONV), FACLM (Ref. 230405CONV) y FesPAU (Ref. 240437CONV).

.

Referencias

Afif, I. Y., Manik, A. R., Munthe, K., Maula, M. I., Ammarullah, M. I., Jamari, J., & Winarni, T. I. (2022). Physiological Effect of Deep Pressure in Reducing Anxiety of Children with ASD during Traveling: A Public Transportation Setting. *Bioengineering (Basel, Switzerland)*, *9*(4), 157. https://doi.org/10.3390/bioengineering9040157.

Aguiar, Y.P., Galy, E., Godde, A., Trémaud, M., & Tardif, C. (2020). AutismGuide: a usability guidelines to design software solutions for users with autism spectrum disorder. *Behaviour & Information Technology, 41*, 1132 - 1150. https://doi.org/10.1080/0144929X.2020.1856927

Almazaydeh, L., Al-Mohtadi, R., Abuhelaleh, M., & Al Tawil, A. (2022). Virtual reality technology to support the independent living of children with autism. *International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708)*, *12*(4). http://doi.org/10.11591/ijece.v12i4.pp4111-4117.

Almurashi, H., Bouaziz, R., Alharthi, W., Al-Sarem, M., Hadwan, M., & Kammoun, S. (2022). Augmented Reality, Serious Games and Picture Exchange Communication System for People with ASD: Systematic Literature Review and Future Directions. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *22*(3), 1250. https://doi.org/10.3390/s22031250.

Azad-Khaneghah, P., Neubauer, N., Miguel Cruz, A., & Liu, L. (2021). Mobile health app usability and quality rating scales: a systematic review. *Disability and rehabilitation. Assistive technology*, *16*(7), 712–721. https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1701103.

Balderaz, L. (2020). Social Skills Interventions for Adults with ASD: A Review of the Literature. *Journal of Psychosocial Rehabilitation and Mental Health*, *7*(1), 45–54. https://doi.org/10.1007/s40737-020-00158-9.

Brondino, N., Fusar-Poli, L., Miceli, E., Di Stefano, M., Damiani, S., Rocchetti, M., & Politi, P. (2019). Prevalence of Medical Comorbidities in Adults with Autism Spectrum Disorder. *Journal of general internal medicine*, *34*(10), 1992–1994. https://doi.org/10.1007/s11606-019-05071-x.

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

Carlier, S., Van der Paelt, S., Ongenae, F., De Backere, F., & De Turck, F. (2020). Empowering Children with ASD and Their Parents: Design of a Serious Game for Anxiety and Stress Reduction. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *20*(4), 966. https://doi.org/10.3390/s20040966.

Carvalho, A. P., Braz, C. S., dos Santos, S. M., Ferreira, R. A., & Prates, R. O. (2024). Serious games for children with autism spectrum disorder: A systematic literature review. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *40*(14), 3655-3682.

Chen, W. (2012). Multitouch Tabletop Technology for People with Autism Spectrum Disorder: A Review of the Literature. *Procedia Computer Science*, *14*, 198–207. https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.023.

Chia, G. L. C., Anderson, A., & McLean, L. A. (2018). Use of technology to support self-management in individuals with autism: systematic review. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, *5*(2), 142-155. https://doi.org/10.1007/s40489-018-0129-5.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008.

Desideri, L., Di Santantonio, A., Varrucciu, N., Bonsi, I., & Di Sarro, R. (2020). Assistive Technology for Cognition to Support Executive Functions in Autism: a Scoping Review. *Advances in Neurodevelopmental Disorders*, *4*(4), 330–343. https://doi.org/10.1007/s41252-020-00163-w.

DiPietro, J., Kelemen, A., Liang, Y., & Sik-Lanyi, C. (2019). Computer- and Robot-Assisted Therapies to Aid Social and Intellectual Functioning of Children with Autism Spectrum Disorder. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, *55*(8), 440. https://doi.org/10.3390/medicina55080440.

Doherty, WJ & Thadhani, AJ (1982). The Economic Value of Rapid Response Time. IBM Systems Journal

Friedman, L., & Sterling, A. (2019). A Review of Language, Executive Function, and Intervention in Autism Spectrum Disorder. *Seminars in speech and language*, *40*(4), 291–304. https://doi.org/10.1055/s-0039-1692964.

Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, *86*, 186–204. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023.

Gal, E., Lamash, L., Bauminger-Zviely, N., Zancanaro, M., & Weiss, P. L. (2016). Using Multitouch Collaboration Technology to Enhance Social Interaction of Children with High-Functioning Autism. *Physical & occupational therapy in pediatrics*, *36*(1), 46–58. https://doi.org/10.3109/01942638.2015.1040572.

Google. (2021). Foundations. Material Design. https://m3.material.io/foundations

Groba, B. (2015). Impacto de las tecnologías de la información y las comunicaciones en el funcionamiento en la vida diaria de niños con trastorno del espectro del autismo [Tesis de doctorado, Universidad De Coruña]. Repositorio Universidad de Coruña. http://hdl.handle.net/2183/16132.

Hernández, P., Molina, A. I., Lacave, C., Rusu, C., & Toledano-González, A. (2022). PlanTEA: Supporting Planning and Anticipation for Children with ASD Attending Medical Appointments. Applied Sciences, 12(10), 5237. https://doi.org/10.3390/app12105237

Hong, E. R., Kawaminami, S., Neely, L., Morin, K., Davis, J. L., & Gong, L. Y. (2018). Tablet-based interventions for individuals with ASD: Evidence of generalization and maintenance effects. *Research in developmental disabilities*, *79*, 130–141. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.01.014.

Hrabal, J. M., Davis, T. N., & Wicker, M. R. (2022). The use of technology to teach daily living skills for adults with autism: A systematic review. *Advances in Neurodevelopmental Disorders.* Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s41252-022-00255-9.

Itzel, G., Galán-López, Lascarez Martínez, S., Gómez-Tello, M., & Galicia Alvarado, M. (2017). Abordaje integral en los trastornos del neurodesarrollo. Rev. del Hosp. Juárez México *84, 19-25.*

Johnson, J. (2014). *Designing with the mind in mind: Simple guide to understanding user interface design guidelines* (2.ª ed.). Morgan Kaufmann.

Ke, F., Whalon, K., & Yun, J. (2017). Social Skill Interventions for Youth and Adults With Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *Review of Educational Research*, *88*(1), 3-42. https://doi.org/10.3102/0034654317740334.

Koumpouros, Y., & Kafazis, T. (2019). Wearables and mobile technologies in Autism Spectrum Disorder interventions: A systematic literature review. *Research in Autism Spectrum Disorders*. https://doi.org/10.1016/j.rasd.2019.05.005.

Leung, P. W. S., Li, S. X., Tsang, C. S. O., Chow, B. L. C., & Wong, W. C. W. (2021). Effectiveness of Using Mobile Technology to Improve Cognitive and Social Skills Among Individuals With Autism Spectrum Disorder: Systematic Literature Review. *JMIR mental health*, *8*(9), e20892. https://doi.org/10.2196/20892.

Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-Vanderweele, J. (2018). Autism spectrum disorder. *Lancet (London, England)*, *392*(10146), 508–520. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31129-2.

Moon, S. J., Hwang, J., Hill, H. S., Kervin, R., Birtwell, K. B., Torous, J., McDougle, C. J., & Kim, J. W. (2020). Mobile device applications and treatment of autism spectrum disorder: a systematic review and meta-analysis of effectiveness. *Archives of disease in childhood*, *105*(5), 458–462. https://doi.org/10.1136/archdischild-2019-318258.

Morales-Hidalgo, P., Roigé-Castellví, J., Hernández-Martínez, C., Voltas, N., & Canals, J. (2018). Prevalence and Characteristics of Autism Spectrum Disorder Among Spanish School-Age Children. *Journal of autism and developmental disorders*, *48*(9), 3176–3190. https://doi.org/10.1007/s10803-018-3581-2.

Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.

Pasqualotto, A., Mazzoni, N., Bentenuto, A., Mulè, A., Benso, F., & Venuti, P. (2021). Effects of Cognitive Training Programs on Executive Function in Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *Brain sciences*, *11*(10), 1280. https://doi.org/10.3390/brainsci11101280.

Pérez-Fuster, P., Sevilla, J., & Herrera, G. (2019). Enhancing daily living skills in four adults with autism spectrum disorder through an embodied digital technology-mediated intervention. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *58*, 54–67. https://doi.org/10.1016/j.rasd.2018.08.006.

Rashidan, M. A. , Sidek, S. N., Yusof, H. M., Khalid, M., Dzulkarnain, A. A. A., Ghazali, A. S. , Sidique, F. A. A.. (2021). Technology-Assisted Emotion Recognition for Autism Spectrum Disorder (ASD) Children: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, *9*, 33638–33653. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3060753.

Strickroth, S., Zoerner, D., Moebert, T., Morgiel, A. & Lucke, U. (2020). Game-Based Promotion of Motivation and Attention for Socio-Emotional Training in Autism: Exploring the Secrets of Facial Expressions by Combining Minecraft and a Mobile App. *i-com*, *19*(1), 17-30. https://doi.org/10.1515/icom-2020-0003.

Valencia, K., Rusu, C., Botella, F., & Jamet, E. (2022). A Methodology to Evaluate User Experience for People with Autism Spectrum Disorder. *Applied Sciences*, *12*(22), 11340. https://doi.org/10.3390/app122211340.

Valencia, K., Botella, F., Rusu, C. (2022). A Property Checklist to Evaluate the User Experience for People with Autism Spectrum Disorder. In: Meiselwitz, G. (eds) Social Computing and Social Media: Design, User Experience and Impact. HCII 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13315. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05061-9_15.

Valencia, K., Rusu, C., Quiñones, D., & Jamet, E. (2019). The Impact of Technology on People with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Literature Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *19*(20), 4485. https://doi.org/10.3390/s19204485.

Vives-Vilarroig, J., Ruiz-Bernardo, P., & García-Gómez, A. (2022). Sensory integration and its importance in learning for children with autism spectrum disorder. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, *30*, e2988. https://doi.org/10.1590/2526-8910.ctoAR22662988.

World Wide Web Consortium. (2024, December 12). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) Overview*. Web Accessibility Initiative (WAI). https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/

.

.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 6, No 1 (2025)
ISSN 2695-6578

Propuesta de Métricas de Usuario para Definir Perfiles de Usuario

Proposal of User Metrics to Define User Profiles

Alberto Gaspar
Departament d'informàtica
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Universitat de València, Avenida de la universidad s/n, 46100 Burjasot, España
alberto.gaspar@uv.es

José Ignacio Panach
Departament d'informàtica
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Universitat de València, Avenida de la universidad s/n, 46100 Burjasot, España
joigpana@uv.es

Miriam Gil
Departament d'informàtica
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Universitat de València, Avenida de la universidad s/n, 46100 Burjasot, España
miriam.gil@uv.es

Verónica Romero
Departament d'informàtica
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Universitat de València, Avenida de la universidad s/n, 46100 Burjasot, España
veronica.romero@uv.es

Recibido: 10.03.2025 | Aceptado: 20.05.2025
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.124

Palabras Clave

Perfil de usuario
Métricas de usuario
Características de usuario
Adaptación

Resumen

La adaptación en tiempo de ejecución de los elementos gráficos de la interfaz de usuario es fundamental en el desarrollo de interfaces inteligentes. Para lograrlo, el sistema debe identificar las características del usuario de manera precisa y no intrusiva, permitiendo establecer su perfil y garantizando una interacción más cómoda y segura. Este trabajo propone métricas para recopilar información del usuario y definir perfiles en tiempo de ejecución, basadas en un modelo previamente establecido. Las métricas, extraídas de investigaciones previas, han sido clasificadas en automáticas y manuales según si sus parámetros pueden obtenerse en tiempo real. Como contribución, se han definido los parámetros necesarios para estimar las características clave de cada métrica. Además, se presenta un caso práctico para ilustrar su funcionamiento y un experimento con usuarios reales para evaluar su grado de coincidencia con los resultados esperados por los sujetos. Este estudio representa un avance hacia una metodología para diseñar sistemas interfaces de usuario inteligentes capaces de ajustarse dinámicamente al comportamiento y acciones del usuario en tiempo de ejecución.

Keywords

User profile
User metrics
User characteristics
Adaptation

Abstract

The real-time adaptation of graphical elements in the user interface is essential for the development of intelligent interfaces. To achieve this, the system must identify user characteristics in a precise and non-intrusive manner, allowing for the establishment of a user profile and ensuring a more comfortable and secure interaction. This study proposes metrics for collecting user information and defining profiles in real-time, based on a previously established model. The metrics, derived from previous research, have been classified as either automatic or manual, depending on whether their parameters can be obtained in real-time. As a contribution, the necessary parameters have been defined to estimate the key characteristics of each metric. Additionally, a practical case study is presented to illustrate its functionality, along with an experiment involving real users to assess the degree of alignment between their results and the expected outcomes. This study represents progress towards a methodology for designing intelligent user interfaces capable of dynamically adjusting to user behavior and actions in real-time.

1. Introducción

Las interfaces de usuario inteligentes (IUI) establecen una serie de reglas y comportamientos para adaptar los elementos de la interfaz gráfica a las diferentes características de los usuarios. Para lograr esto, es necesario comprender cómo interactúan los usuarios con los sistemas y diseñar interfaces de usuario

adaptables (Schmidt et al., 2021). Uno de los aspectos más importantes a la hora de implementar una IUI es establecer cómo extraer las características del usuario. Para ello, estos sistemas implementan un conjunto de métricas de usuario. Una métrica de usuario se define como una medida diseñada para analizar las características del usuario durante su interacción con el sistema, con el fin de identificar sus preferencias y las configuraciones esperadas (Hou et al., 2021). La información obtenida de estas métricas de usuario permite al sistema definir su perfil de usuario. El perfil de usuario se define como el conjunto virtual de los datos y configuraciones personales que permite identificar a los usuarios en el sistema y da la posibilidad de analizar y visualizar el tipo de usuarios que interactúan con el sistema (Wu et al., 2024).

Adaptar la interfaz de usuario específicamente a las características de cada perfil de usuario es un proceso muy complejo porque sería necesario crear una interfaz específica para cada perfil de usuario. Para solucionarlo, es necesario definir un conjunto de grupos diferenciados de perfiles de usuario que agrupen a los usuarios en función de sus características comunes, de forma que el sistema pueda adaptarse a cada grupo de perfiles de usuario (Abri et al., 2020). Por ejemplo, en un comercio electrónico cuando la métrica de usuario detecta que el usuario se encuentra en un país donde se paga en euros, el sistema puede definir diferentes grupos de perfil de usuario en función de la opción de pago y mostrar el precio del producto en euros.

Automatizar el proceso de extracción de características de usuario es un proceso complejo de implementar, pero aporta una serie de beneficios, como la reducción del tiempo en recoger la información del usuario y adaptar las interfaces en tiempo real. La automatización permite aumentar la precisión de los valores obtenidos ya que de esta manera el sistema evita considerar posibles errores humanos que el usuario realice cuando rellene los formularios, como puede ser poner mal su ubicación. Por último, esta automatización permite a los sistemas adaptarse en tiempo de ejecución a los diferentes cambios que tengan las características de los usuarios puesto que permite actualizar la información del usuario en cada interacción con el sistema (Hu et al., 2020; Ziosi et al., 2024).

Para extraer el perfil del usuario, es necesario definir las características de usuario. Para ello, previamente, hemos publicado un modelo de usuario que contiene las características de usuario necesarias para poder definir a los usuarios que interactúan con el sistema. Las métricas presentadas en este artículo buscan obtener las características necesarias para rellenar este modelo de usuario (Gaspar et al., 2024).

La principal contribución de este estudio es la presentación de un conjunto de métricas de usuario diseñadas para extraer las características necesarias que permitan una implementación efectiva del perfil de usuario, el cual se almacena en el modelo correspondiente. Estas métricas han sido seleccionadas a partir de investigaciones previas. No obstante, un problema recurrente en dichos estudios es la ausencia de especificación sobre los parámetros concretos para calcular el valor de estas métricas. Nuestra contribución no solo radica en la identificación de las métricas a partir de la literatura existente, sino también en la definición de los parámetros necesarios para su cálculo. Las métricas identificadas se han clasificado en dos categorías: métricas automáticas, que el sistema puede recopilar sin intervención del usuario, y métricas manuales, que requieren que el usuario introduzca sus valores. Se busca priorizar el uso de métricas automáticas para minimizar la necesidad de interacción del usuario. Además, se ha implementado un proceso de validación para evaluar los resultados obtenidos con las métricas propuestas en comparación con los valores esperados por los usuarios.

Esta contribución se enmarca en un proyecto más ambicioso donde se plantea como próximos pasos definir los diferentes grupos de perfiles de usuario, definir las reglas a seguir para clasificar a los usuarios en cada grupo de perfil de usuario e implementar los comportamientos necesarios para adaptar los componentes de la Interfaz Gráfica de Usuario (IGU).

El artículo está estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se presentan una serie de trabajos previos. La sección 3 presenta las diferentes métricas de usuario definidas, clasificándolas en métricas manuales y métricas automáticas. La sección 4 presenta un ejemplo de sistema que hace uso de las métricas. La sección 5 define la fase experimental de las métricas de usuario propuestas. La sección 6 presenta los resultados y la discusión de los resultados obtenidos. Finalmente, la sección 7 presenta las diferentes conclusiones y trabajo futuro.

2. Estado del arte

La extracción de perfiles de usuario desempeña un papel activo en diversos dominios como el desarrollo de videojuegos, los sistemas de recomendación, o el comercio electrónico. En todos estos dominios se han llevado a cabo trabajos centrados en la obtención de las características de los usuarios de la forma más automática posible y en superar las dificultades existentes.

Definir métricas de usuario presenta una serie de retos. Algunos retos están relacionados con el uso de técnicas de aprendizaje automático. La complejidad computacional necesaria para definir cada una de las métricas de usuario y el tiempo necesario para definir estas métricas son considerados los retos más importantes. Dicha complejidad computacional viene dada por el alto volumen y variedad de información necesaria para que los algoritmos recojan y clasifiquen correctamente dicha información, en este caso, las características de los usuarios (Tufail et al., 2023). Otro reto

derivado de esto consiste en determinar los falsos positivos y negativos. En otras palabras, determinar cuándo una clasificación errónea de una característica de usuario se debe a un mal entrenamiento del algoritmo y cuándo se debe a un diseño incorrecto de la métrica (Singh, 2022). La privacidad de los datos de los usuarios se trata de un reto, porque los usuarios maliciosos tratarán de acceder a las características de usuario alojadas en el servidor. Además, la información necesaria para clasificar a los usuarios y el intercambio de información que se produce entre el servidor y la interfaz de usuario puede provocar una brecha de seguridad importante que permita acceder a las características recopiladas por el sistema a usuarios no autorizados (Gilbert et al., 2023).

Existen diferentes técnicas de inteligencia artificial utilizadas en el modelado del comportamiento del usuario y en la construcción de perfiles eficientes y eficaces. Entre estas técnicas destacan los modelos de soporte vectorial, los modelos de Markov o, más recientemente, las redes neuronales. Sin embargo, cada método de elaboración de perfiles de usuario tiene su propia forma de procesar la información, lo que crea una heterogeneidad que no favorece la evaluación comparativa de estas técnicas. Recientemente se han presentado trabajos que intentan estandarizar la entrada necesaria en este tipo de sistemas. FairUp (Abdelrazek et al., 2023), presenta un marco que estandariza la entrada de un sistema basado en Redes Neuronales Gráficas (GNN) para tareas de creación de perfiles de usuario.

En el campo de los videojuegos, conocer el perfil del usuario es fundamental para adaptar la dificultad del juego a sus habilidades, evitando, de esta forma, la frustración y el aburrimiento de éste. Sepulveda et al. (2020), investiga la metodología Dynamic Difficult Adjustement (DDA). Esta metodología almacena de forma dinámica las habilidades y conocimientos de los usuarios a partir del número de acciones realizadas para establecer el nivel de dificultad correspondiente a estas habilidades, mejorando la usabilidad del videojuego y el compromiso del usuario.

Los perfiles de usuario desempeñan un papel fundamental en los sistemas de recomendación. Estos perfiles de usuario son claves para capturar las preferencias de los usuarios, con el fin de personalizar las recomendaciones, o llevar a cabo un filtrado colaborativo, donde se utilizan perfiles similares para recomendar elementos apreciados por usuarios similares. En la literatura encontramos múltiples trabajos de definición de perfiles de usuario en este tipo de sistemas. Un ejemplo se encuentra en el método Dynamic User Interest Print (D-UIP) (Alhijawi et al., 2023) que almacena de forma dinámica las preferencias del usuario.

Los trabajos descritos en esta sección presentan diferentes metodologías para adaptarse a los usuarios. Sin embargo, estos trabajos, no aportan los parámetros concretos para definir las métricas empleadas. Nuestra propuesta integra este conjunto de métricas de usuario, estableciendo la forma en la que se calculan a partir de los parámetros.

3. Definición de las métricas de usuario

Este proyecto se desarrolló entre agosto y diciembre de 2023 e involucró a un equipo compuesto por cuatro estudiantes de la carrera de Ciencias de la Computación de una universidad privada ubicada en Brasil. El proyecto está integrado en la asignatura de Interacción Persona-Computador, que utilizó el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) para impartir tanto el contenido teórico como la parte práctica de la asignatura. De este modo, se presentará cómo se desarrolló la asignatura, así como el proyecto de desarrollo del juego enfocado en abordar temas relacionados con el medio ambiente.

La principal aportación de este trabajo consiste en la definición de un conjunto de métricas que se encargan de recopilar las características del usuario para permitir que las interfaces se adapten en tiempo de ejecución al usuario. Para definir estas métricas, se ha realizado un estudio de la literatura previa siguiendo el método de búsqueda de bibliografía específica llamado “Target Literature Review” (TLR) (Mangat & Sharma, 2023), que comprueba en una primera búsqueda si el resumen, las palabras clave o el título contienen alguna de las siguientes cadenas: (“user metrics” AND “intelligent user interface”) OR (“detect user characteristics” AND “human-computer interaction”). Además de la cadena de búsqueda, se aplican criterios de inclusión y exclusión para filtrar artículos. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (IC1) las métricas de usuario incluyen una descripción precisa de su fórmula y de sus parámetros; (IC2) dichas métricas de usuario han sido validadas con usuarios. Los criterios de exclusión fueron los siguientes: (EC1) las métricas de usuario expuestas no tienen aplicación directa en la extracción de las características de usuario, (EC2) las métricas de usuario no incluyen una validación. Primero se hizo una búsqueda en las librerías digitales Scopus y ACM digital library, aplicando los criterios de inclusión y exclusión al resumen, palabras clave, y título. El resultado devolvió 50 referencias. Después se aplicaron los mismos criterios a la lectura completa de cada artículo, reduciendo las referencias a 35.

Como conclusión del TLR, se han extraído una serie de métricas de usuario que requieren definir los parámetros a partir de los cuales se calcula su valor. Como contribución de este trabajo, vamos a definir estos parámetros. Si los parámetros se pueden calcular automáticamente a partir de la interacción con el usuario, la métrica será de tipo **automática**. Si existen parámetros que dependan de valores introducidos explícitamente por el usuario, la métrica será de tipo **manual**. A continuación, se definen los dos tipos de métricas con los parámetros necesarios para calcularlas.

3.1 Métricas automáticas

Estas métricas recopilan características del usuario de forma no intrusiva mientras el usuario interactúa con el sistema. Cada una de las características de usuario expresadas en el modelo de usuario (Gaspar et al., 2024) se obtienen de una o varias métricas. Cuando se usa más de una métrica por característica, el sistema procede a realizar el promedio de los valores de cada métrica para definir el valor de la característica.

La característica **conocimiento** trata de definir la capacidad del usuario para que el sistema pueda ajustar el nivel de complejidad de las respuestas al conocimiento del usuario (Salem & Al-Saedi, 2023). La tabla 1 muestra el conjunto de métricas propuestas para extraer el conocimiento del usuario y su rango de valores. En la columna Rango se incluye para cada posible valor, el peso que se asigna a ese rango a la hora de calcular la media que define la característica. Por ejemplo, cuando Cu vale 1, el peso es 1. Esta característica depende del promedio de varias métricas. La métrica *Cu* (Wang & Liu, 2023) realiza la resta absoluta entre el número de clics del usuario y los clics estimados para completar la tarea. La métrica *Dv* (Zhou et al., 2021) realiza la resta absoluta entre el desplazamiento vertical (scroll) realizado por el usuario y el estimado. La métrica *Nb* (Zhou et al., 2021) obtiene el número de búsquedas que ha realizado el usuario. La métrica *P* (Yu et al., 2018) consiste en realizar la resta absoluta entre los clics del usuario y las opciones accedidas por el usuario. De esta forma se obtienen los clics en los que el usuario no ha seleccionado ninguna opción. La métrica *Tt* (Yu et al., 2018) se basa en realizar la resta absoluta entre el tiempo que ha necesitado el usuario para completar la tarea y el estimado. La métrica *Tp* (Yu et al., 2021) consiste en obtener un valor medio de tiempo que el usuario interactúa con cada página. La métrica *Ps* (Yu et al., 2018) se basa en contar los periodos de inactividad del usuario que son superiores a 5 segundos. La métrica *Com* (Rao et al., 2020) comprueba si el usuario ha realizado correctamente la tarea y *Cq* (Wang & Liu, 2023) indica la complejidad de las consultas realizadas para completar la tarea. Una vez calculado el promedio de todas estas métricas, el sistema determina si un usuario posee *conocimientos altos* sobre el sistema (promedio superior a 0.80); si posee *conocimientos medios* (promedio entre 0.50 y 0.79); o si posee *conocimientos bajos* (promedio menor a 0.50).

Tabla 1 Métricas y rangos para extraer los conocimientos del usuario

Métrica	Rango
Cu = |clics $_{usuario}$- clics $_{estimados}$| (Wang & Liu, 2023)	$Cu = 1; 1$ $1 < Cu \leq 3; .5$ $Cu > 3; 0$
$Dv = \|Des_{usuario} - Des_{estimado}\|$ (Zhou et al., 2021)	$Dv \leq 50; 1$ $50 < Dv \leq 200; .5$ $Dv > 200; 0$
$Nb = \sum(clicks\ en\ search)$ (Zhou et al., 2021)	$Nb \leq 2; 1$ $2 < Nb \leq 5; .5$ $Nb > 5; 0$
P = |clics $_{usuario}$ - opciones $_{accedidas}$| (Yu et al., 2018)	$P = 0; 1$ $0 < P \leq 2; .5$ $P > 2; 0$
$Tt = \|TiempoU - estimado\|$ (Yu et al., 2018)	$Tt \leq 10; 1$ $10 < Tt \leq 35; .5$ $Tt > 35; 0$
$Tp = \frac{Tiempo_total}{Páginas}$ (Yu et al., 2021)	$Tp \leq 10; 1$ $10 < Tp \leq 20; .5$ $Tp > 20; 0$
$Ps = \sum(inactividad > 5\ s)$ (Yu et al., 2018)	$Ps = 0; 1$ $0 < Ps \leq 3; .5$ $Ps > 3; 0$
$Com = ¿\,Completa\ acción?$ (Rao et al., 2020)	$Com = Si; 1$ $Com = No; 0$
Cq = complejidad de la query (Wang & Liu, 2023)	$Cq = Alta; 1$ $Cq = Media; .5$ $Cq = Baja; 0$

Tabla 2 Métricas y rangos para extraer las habilidades del usuario

Métrica	Rango
$Co = \lvert Cuo - opciones_{formulario} \rvert$ (Yu et al., 2018)	$Co = 0; 1$ $0 < Co \leq 2; .5$ $Co < 2; 0$
Ae = #(acciones especiales) (Paulino et al., 2024)	$Ae = 1; 1$ $1 < Ae \leq .7; .5$ $Ae < .7; 0$
P = |clics usuario - opciones accedidas| (Yu et al., 2018)	$P = 0; 1$ $0 < P \leq 2; .5$ $P > 2; 0$
Com = ¿Completa tarea? (Rao et al., 2020)	$Com = Si; 1$ $Com = No; 0$
$Tt = \lvert tiempoU - estimado \rvert$ (Yu et al., 2018)	$Tt \leq 10; 1$ $10 < Tt \leq 15; .5$ $Tt > 15; 0$
R = |clics$_{usuario}$ - opciones$_{sistema}$ | (Yu et al., 2021)	$R < 2; 1$ $2 \leq R \leq 5; .5$ $R > 5; 00$

La característica **habilidades** trata de definir la capacidad del usuario para interactuar correctamente con el sistema (Kubanyi et al., 2018). La tabla 2 muestra el conjunto de métricas propuestas para extraer las habilidades del usuario y su rango de valores. Esta característica depende del promedio de varias métricas. La métrica *Co* (Yu et al., 2018) realiza la resta absoluta de los clics del usuario del usuario en las diferentes opciones y las opciones totales presentes en la tarea para saber cuáles de los clics del usuario son errores (no ha pulsado ninguna opción). La métrica *Ae* (Paulino et al., 2024) consiste en realizar el promedio de las acciones especiales del usuario (como puede ser usar atajos del teclado o menús de búsqueda avanzada). La métrica *P* (Yu et al., 2018) se basa en realizar la resta absoluta entre los clics del usuario y las opciones accedidas por el usuario de forma que así se obtienen los clics en los que el usuario no ha seleccionado ninguna opción. La métrica *Com* (Rao et al., 2020) comprueba si el usuario ha podido completar correctamente la tarea. La métrica *Tt* (Yu et al., 2018) realiza la resta absoluta entre el tiempo que ha necesitado el usuario para completar la tarea y el estimado. La métrica *R* (Yu et al., 2021) consiste en realizar la resta absoluta entre los clics del usuario en opciones y las opciones existentes en la tarea (para saber cuáles clics son en opciones ya visitadas). Una vez calculado el promedio de estas métricas, el sistema determina si el usuario es *experto* (promedio superior a 0.80); *intermedio* (promedio entre 0.50 y 0.79) o *novato* (promedio menor a 0.50).

La característica **objetivos** trata de definir las diferentes causas que llevan al usuario a interactuar con el sistema y qué es lo que espera encontrar en el sistema. Esta característica depende del promedio de varias métricas. La tabla 3 muestra el conjunto de métricas propuestas para extraer los objetivos del usuario y su rango de valores. La métrica *Nb* (Zhou et al., 2021) obtiene el número de búsquedas realizadas por el usuario. La métrica *Odc* (Berkovitch et al., 2024) consiste en comprobar el número de opciones distintas a las que el usuario accede por cada consulta. La métrica *Tmp* (Yu et al., 2021) obtiene el tiempo medio que el usuario está interactuando con cada opción. La métrica *Or* (Yu et al., 2021) se basa en realizar la resta absoluta entre el total de opciones accedidas por el usuario y el número de opciones estimadas para completar la tarea. De esta forma se obtiene el número de opciones diferentes a las que accede el usuario. La métrica T_{MPag} (Yu et al., 2021) calcula el tiempo máximo que el usuario ha interactuado con una opción específica. La métrica *Com* (Rao et al., 2020) comprueba si el usuario ha realizado todos los pasos necesarios para completar una acción específica del usuario y *Cq* (Wang & Liu, 2023) calcula la complejidad de las diferentes consultas de texto realizadas. El valor final de esta característica se calcula como el promedio entre todas las métricas. Según la literatura (Shi & Trusov, 2021), hay 3 tipos de objetivos: *Informacional* (promedio inferior a 0.50), el usuario está realizando muchas búsquedas poco completas, visita muchas páginas y está poco tiempo en cada página; *Navegacional* (promedio entre 0.50 y 0.80), el usuario está buscando una funcionalidad o página específica del sistema, realizará pocas búsquedas con consultas complejas, estará mucho tiempo en cada página pero no completa los pasos necesarios para finalizar ninguna acción específica; *Transaccional* (promedio superior a 0.80), en este caso el usuario realizará las mismas acciones que una búsqueda navegacional pero completará la acción específica.

La característica **dispositivo** trata de definir el tipo de hardware que usa el usuario para interactuar con el sistema. Esta característica solo tiene una métrica para determinar el dispositivo del usuario mediante el sistema operativo (Laor et al., 2022). Las opciones son *ordenador de sobremesa* o *portátil*, *Tablet*, *móvil*, *dispositivo inteligente* o desde otro tipo de dispositivo.

La característica **idioma** trata de definir el lenguaje óptimo para comunicarse con el usuario. Está compuesta de dos métricas. La primera consiste en analizar la configuración del idioma del sistema operativo (Gothe et al., 2021). La segunda métrica consiste en analizar el idioma de configuración del teclado. En el caso de que los valores obtenidos por las métricas coinciden, el sistema almacena ese idioma como el idioma del usuario (Gothe et al., 2021). En el caso de no coincidir, el sistema preguntará al usuario cuál de los idiomas detectados prefiere.

Tabla 3 Métricas y rangos para extraer los objetivos del usuario

Métrica	Rango
$Nb = \sum(clics\ en\ search)$(Zhou et al., 2021)	$Nb \leq 2; 1$ $2 < Nb \leq 5; .5$ $Nb > 5; 0$
$Odc = \frac{opciones_{accedidas}}{consultas}$ (Berkovitch et al., 2024)	$Odc \leq 2; 1$ $2 < Odc \leq 5; .5$ $Odc > 5; 0$
$Tmp = \frac{Tiempo\ total}{N_pags_visitadas}$ (Yu et al., 2021)	$Tmp \geq 20; 1$ $20 > Tmp \leq 5; .5$ $Tm > 5; 0$
Or=|opciones $_{accedidas}$-diferentes opciones *accedidas*| (Yu et al., 2021)	$Or < 2; 1$ $2 \leq Or \leq 5; .5$ $Or > 5; 0$
T_{Mpag} = MAX (tiempo_pagina) (Yu et al., 2021)	$T_{m_{pag}} \geq 40; 1$ $40 > T_{m_{pag}} \leq 25; .5$ $T_{m_{pag}} > 25; 0$
$Com =$¿ $Completa\ acción$? (Rao et al., 2020)	$Com = Si; 1$ $Com = No; 0$
Cq = complejidad de la query (Wang & Liu, 2023)	$Cq = Alta; 1$ $Cq = Media; .5$ $Cq = Baja; 0$

La característica **nacionalidad** trata de definir la ubicación de procedencia del usuario, aunque también se puede valorar la ubicación actual. Esta característica es necesaria porque existen ciertos comportamientos del usuario relacionados con su nacionalidad, como por ejemplo el tipo de divisa que esperan los usuarios en un comercio electrónico. La característica depende de dos métricas. La primera de ellas consiste en obtener la ubicación actual mediante GPS (Jarwal et al., 2022). La segunda de estas métricas consiste en obtener la nacionalidad mediante la IP con la que se conecta al servidor (Mishra et al., 2020). En el caso de que los valores de las dos métricas coincidan el sistema indicará dicha nacionalidad en el perfil del usuario. En el caso de los valores obtenidos por las métricas no coincidan el sistema preguntará al usuario cuál prefiere.

La característica **discapacidades** busca identificar las distintas limitaciones del usuario para interactuar correctamente con el sistema (Kinjo & Mbaitiga, 2022). Esta característica se compone de dos métricas. La primera consiste en analizar los diferentes periféricos para verificar si algunos están destinados a personas con discapacidades (Chang et al., 2020). La segunda métrica analiza la configuración del usuario en el dispositivo para elementos de accesibilidad, como puede ser que el sistema lea todos los textos del navegador en el caso de un usuario invidente (Šumak et al., 2023). La combinación de ambas métricas identifica el conjunto de discapacidades del usuario.

La característica **contexto** trata de definir la situación actual del usuario, es decir, si el usuario se encuentra solo o acompañado, si está realizando alguna otra tarea o por el contrario está concentrado en interactuar con el sistema (Iqbal et al., 2021). La métrica propuesta para esta característica consiste en el uso de diferentes sensores del dispositivo. Estos valores tratan de aprender si el usuario está en movimiento, solo, o acompañado, si puede comunicarse con el dispositivo mediante el habla o por comandos, si está al aire libre o en su casa (Sajana et al., 2022; Sikder et al., 2020).

La característica **intereses** trata de definir los diferentes gustos y preferencias que puede tener el usuario a la hora de buscar productos o servicios en un sistema. Por ejemplo, si un usuario tiene interés en los deportes va a buscar páginas que más información o productos deportivos le ofrezca (Dumitrescu & Santini, 2021). Esta característica depende de dos métricas. La primera consiste en analizar los diferentes tipos de páginas u opciones del sistema a las que accede el usuario (Hoi & Que, 2024). La segunda consiste en registrar si el usuario accede a las recomendaciones del sistema. La combinación de ambas métricas representa el listado de intereses del usuario (Dumitrescu & Santini, 2021).

La característica **emociones** trata de definir las diferentes sensaciones que el usuario experimenta mientras interactúa con el sistema. Esta característica se basa en la métrica propuesta

por Machová et al. (2023), donde se analizan diferentes movimientos del usuario, sus expresiones faciales y su voz para poder determinar su estado emocional en función de las 6 emociones principales (Tristeza, Alegría, Miedo, Sorpresa, Ira, Miedo).

3.2 Métricas manuales

A pesar del esfuerzo por encontrar métricas que se puedan automatizar, existen ciertas características de usuario cuyas métricas dependen de la información que proporcione el propio usuario mediante formularios. A continuación, detallamos estas características.

Las características **edad** y **género** pretenden determinar ciertos comportamientos. Sun et al. (2020) ponen como ejemplo un estudio en el que se visualiza que los usuarios masculinos buscaban libros de ciencia ficción mientras que los femeninos buscaban libros que les ayudasen a mejorar su estilo de vida. Además, existen ciertos sistemas en los que la clasificación del género de los usuarios es vital para adaptarse correctamente a ellos, como puede ser un comercio electrónico de ropa. Conocer el rango de edad de los usuarios es un aspecto importante porque hay acciones o productos que están limitados a cierta edad de los usuarios, bien porque están prohibidos a usuarios que no lleguen a la edad específica, como por ejemplo para crear una red social es necesario tener más de 18 años, o porque el producto está recomendado a un rango de edad específico de usuarios (Rybaczewska & Sparks, 2022).

Las características **trabajo**, **perfil y experiencia laborales** son también relevantes según los trabajos de Jin et al. (2020). Por ejemplo, un usuario considerado experto en su trabajo posee unos conocimientos muy altos en dicho ámbito y esperará unas respuestas más técnicas y elaboradas en comparación con un usuario con poca experiencia.

La característica **nivel de estudios** del usuario engloba los posibles conocimientos que el usuario haya podido adquirir con la finalidad de poder ajustar la tecnicidad de la información (Hawamdeh et al., 2022). La característica **preferencias** del usuario engloba ciertos elementos gráficos que el usuario debe elegir explícitamente, como puede ser el tema deseado para visualizar el sistema o el tamaño de fuente (Vandic et al., 2024).

La característica **salario** está relacionada con el posible presupuesto que puede tener el usuario para realizar compras o suscripciones en el sistema (Oukfif et al., 2020). Aunque existen aplicaciones que usan la ubicación del usuario para determinar el presupuesto, como hacen ciertos sistemas de suscripciones como *Netflix*, *YouTube* o *Twitch,* consideramos que el salario del usuario también influye a la hora de suscribirse a estos sistemas (Oukfif et al., 2020). Para ello, consideramos que el sistema debe contener una opción en las mismas preferencias de usuario en el que el usuario puede seleccionar el precio mínimo y máximo.

La característica **aficiones** consiste en registrar las acciones que el usuario está realizando en su tiempo libre, como puede ser jugar a videojuegos o escuchar música. Esta característica permite ofrecer respuestas relacionadas con esos pasatiempos (Sandoval-Gaytan et al., 2023).

4. Ejemplo práctico de uso de métricas de usuario propuestas

En esta sección se va a mostrar un ejemplo de uso de estas métricas de usuario. Para ello, se va a definir un sistema de recomendación de videos, similar a YouTube, que ilustra cómo se recopilan las características del usuario a través de las métricas. De las 7 tareas definidas en este escenario, las 2 primeras tareas se encargan de obtener las métricas manuales, mientras que las 4 tareas restantes se encargan de obtener las métricas automáticas.

- Tarea 1: El usuario rellena el formulario de registro y se obtendrán las siguientes características: edad, género, trabajo, perfil laboral, experiencia laboral, discapacidades, aficiones, nivel de estudios.
- Tarea 2: El usuario establece sus preferencias respecto al idioma y nacionalidad. La característica que se define es preferencias, idioma, la nacionalidad y el dispositivo.
- Tarea 3: El usuario debe buscar un video de un canal en concreto y de una temática de ocio, mientras que el sistema automáticamente se recopila las habilidades y objetivos del usuario.
- Tarea 4. El usuario debe indicar de un conjunto de videos seleccionados cuál describe mejor el término “interfaz inteligente de usuario”, mientras que el sistema determina sus objetivos.
- Tarea 5: El usuario debe verificar y, en caso necesario, modificar, los valores obtenidos por los sensores de proximidad, de movimiento, micrófono y webcam mientras el sistema detecta automáticamente el contexto del usuario.
- Tarea 6: El usuario debe configurar un recordatorio en la aplicación para que le muestre una alerta cuando su cantante preferido publique una nueva canción. El sistema evalúa automáticamente los conocimientos del usuario.
- Tarea 7: El usuario debe elegir el video que más le interese de un listado de la portada, mientras el

sistema automáticamente registra los posibles intereses del usuario.

A continuación, se va a describir a la protopersona utilizada para ejemplificar el proceso de extracción de características de usuario. Es un hombre español de 37 años que no posee ninguna discapacidad, con un grado superior en desarrollo de videojuegos que se encuentra soltero. Actualmente trabaja en una empresa desarrolladora de videojuegos con una experiencia de 15 años. En el trabajo es una persona exigente y que siempre está buscando superarse y controlar los posibles problemas que puedan ocurrir. Posee como hobbies los deportes, la lectura, la música y aprender nuevos métodos de optimización de las aplicaciones que desarrolla. Estos datos se obtienen en la tarea 1.

En la tarea 2, el usuario ha indicado que quiere tener el tamaño predeterminado de fuente, que desea visualizar la portada de los videos, no quiere ver la descripción de los videos y no desea activar las opciones de accesibilidad. Adicionalmente, el usuario indica que quiere visualizar los videos en español de España, ya que es español y que se conecta desde su ordenador de sobremesa.

En la tarea 3, para buscar el video, el usuario ha realizado un total de 5 clics, coincidiendo exactamente con el número de clics estimados para completar esta tarea y sin revisitar ninguna opción. El usuario no ha realizado ningún clic erróneo al completar la tarea. El usuario ha accedido a las opciones avanzadas para introducir el nombre del canal y el género del video que se le pedía. Por último, el tiempo total que el usuario ha necesitado para completar la tarea ha sido de 40 segundos, tiempo ligeramente superior al tiempo estimado para completar la tarea. El sistema clasifica al usuario con las siguientes métricas, la métrica *Ae* obtiene un valor de 1, la métrica *P* obtiene un valor de 1, la métrica *Com* obtiene un valor de 1, la métrica *Tt* obtiene un valor de 0.5 y la métrica R obtiene un valor de 1. Con estos valores de métricas, el sistema clasifica al usuario como *Experto* y estima que los objetivos del usuario son *transaccionales*

En la tarea 4, el usuario ha accedido a todos los videos pulsando el botón de búsqueda cada vez que quería acceder a un vídeo. Esto ha provocado que el usuario pulsase 5 veces el botón de búsqueda y que accediese a una sola opción por búsqueda. El usuario ha estado una media de 22 segundos por vídeo y un tiempo máximo de 29 segundos en un video sin acceder de nuevo a ningún video. El usuario selecciona el video que se le requerida con una complejidad de búsqueda media. Con estos valores, el sistema el sistema ha clasificado al usuario de la siguiente manera, la métrica *Nb* ha obtenido un valor de 0.5, la métrica *Odc* ha obtenido un valor de 0.5, la métrica *Tmp* 1, la métrica *Or* ha obtenido un valor de 1, la métrica *Tmpag* ha obtenido un valor de 0.5, la métrica *Com* ha obtenido un valor de 1 y la métrica *Qc* ha obtenido un valor de 0.5. Considerando los valores de las métricas estimadas, el sistema estima que el usuario posee un objetivo navegacional.

En la tarea 5, el usuario ha accedido a la opción de "configuración de perfil de usuario" y ha procedido a validar que los valores obtenidos por los sensores que indicaban que se encontraba solo en una habitación silenciosa son correctos. El sistema aprende que el usuario está solo en el interior de una habitación.

En la tarea 6, para configurar el recordatorio, el usuario ha necesitado 13 clics, superando el número de clics estimados, que es de 10 clics. Estos clics extra se deben a que el usuario ha realizo un error pulsando iconos que no debía y ha revisitado 2 opciones. El usuario ha realizado un desplazamiento vertical de 150 píxeles en total, y ha usado una vez el botón de búsqueda. El tiempo total que el usuario ha necesitado para completar esta tarea es de 85 segundos, superando los 60 segundos estimados para completar la tarea y ha estado una media de 20 segundos por página. Esto se debe a que ha realizado 3 pausas sensibles. Con estos valores, el sistema ha clasificado al usuario de la siguiente manera, la métrica *Cu* ha obtenido un valor de 0, la métrica *Dv* ha obtenido un valor de 0.5, la métrica Nb ha obtenido un valor de 1, la métrica P ha obtenido un valor de 0.5, la métrica *Tt* ha obtenido un valor de 0.5, la métrica *Tp* ha obtenido un valor de 0.5, la métrica *Ps* ha obtenido un valor de 0.5, la métrica *Com* ha obtenido un valor de 1 y la métrica *Cq* ha obtenido un valor de 1. Considerando los valores de las métricas estimadas, el sistema estima que el usuario posee conocimientos medios sobre el sistema.

En la tarea 7, el usuario ha decidido reproducir un video de la última canción publicada de su artista preferido. El sistema ha aprendido que el usuario posee interés de escuchar música en su tiempo de ocio. Además, mediante el módulo de captura de emociones, el sistema ha determinado que su estado emocional es de relajación.

5. Experimentación

En esta investigación se busca responder la pregunta de investigación: *¿Existe una correlación entre los valores obtenidos por las métricas y las preferencias del usuario?* Considerando esta pregunta de investigación, se formula también una hipótesis nula, la cual plantea que no existe ninguna correlación entre los valores obtenidos por las métricas de usuario y sus preferencias.

5.1 Instrumentación y configuración

Este proceso de experimentación ha sido evaluado con un grupo de 60 participantes. Los participantes son estudiantes de Ingeniería del Software en el grado de Ingeniería Informática de la *Universitat de València*, por lo que poseen conocimientos

sobre el desarrollo de interfaces de usuario. Fueron contactados por correo electrónico y otorgaron su consentimiento para participar en el experimento.

Para realizar el experimento, se ha utilizado el programa QuantUX (Quantux, 2025). Este programa es una herramienta de análisis que evalúa las interacciones del usuario en distintos prototipos. Para ello, registra el tiempo requerido para completar la tarea, el número de clics y su ubicación. Además, permite analizar el contenido ingresado en los campos de texto para verificar si la tarea se ha realizado correctamente.

En este experimento, los participantes utilizaron QuantUX en sus computadoras con el objetivo de obtener los parámetros necesarios para estimar sus características. En primer lugar, completaron un formulario con información demográfica, como edad, género y nivel educativo. Posteriormente, se les pidió que interactuasen con una serie de prototipos de usuario diseñados en la plataforma, realizando tareas específicas o navegando por las interfaces propuestas. Durante esta interacción, se calcularon automáticamente métricas destinadas a medir sus características, sin que los participantes fueran conscientes de ello.

Al finalizar la interacción con los prototipos, los usuarios completaron un segundo formulario en el que indicaron sus preferencias. Esto permitió comparar estas preferencias con los valores obtenidos a través de nuestras métricas propuestas.

5.2 Factores y variables respuesta

En este experimento sigue un diseño entre-sujetos con un solo factor y nueve variables respuesta. En este experimento sólo hay un factor:

- **Procedimiento para estimar las características de usuario**: Esta variable indica el método utilizado para extraer las características del usuario. Es una variable dependiente con dos categorías: una corresponde al valor de la característica del usuario obtenido mediante las métricas propuestas en el artículo, y la otra refleja las preferencias expresadas por los propios usuarios. Gracias a esta distinción, es posible analizar la relación entre el valor calculado a partir de las métricas propuestas y el valor reportado mediante las preferencias del usuario.

Este experimento posee ocho (8) variables respuesta, una por cada característica de usuario que incluye métricas automáticas para su estimación:

- **Conocimiento**: Esta variable evalúa la capacidad del sujeto para comprender correctamente las acciones necesarias para completar la tarea.
- **Habilidades**: Esta variable mide la capacidad del sujeto para ejecutar la tarea de manera correcta.
- **Objetivos**: Esta variable identifica el propósito del sujeto al interactuar con el sistema.
- **Dispositivo**: Esta variable determina el equipo a través del cual el sujeto interactúa con el sistema.
- **Idioma**: Esta variable establece el idioma utilizado para interactuar con el sistema.
- **Nacionalidad**: Esta variable indica la ubicación del sujeto, lo que puede influir en ciertos comportamientos.
- **Contexto**: Esta variable analiza la situación en la que se encuentra el sujeto. Por ejemplo, si está solo en una habitación, se podrían activar los comandos por voz.
- **Intereses**: Esta variable identifica las preferencias y gustos del sujeto.

Las métricas automáticas para extraer el estado emocional actual del usuario y las incapacidades del usuario no han sido evaluadas como variables respuesta ya que no se disponía del software adecuado para aplicar las métricas de usuario y extraer estas características en tiempo de ejecución.

5.3 Tareas evaluadas.

El experimento se desarrolla en dos escenarios de complejidad similar, cada uno compuesto por tareas sencillas diseñadas para que la duración total no supere una hora. Cada escenario incluye varias tareas, y cada una de ellas emplea una métrica específica para evaluar determinadas características del usuario. Para garantizar una distribución equitativa, las métricas se han repartido equilibradamente entre las tareas. A continuación, se presentan las definiciones de cada escenario.

Escenario experimental 1 Sistema domótico. Este escenario busca simular las diferentes interfaces de usuario que forman parte de un sistema domótico. A continuación, definimos el conjunto de tareas que forman parte del escenario 1:

- Tarea 1. El sujeto debe rellenar el formulario de registro del sistema mientras que el sistema estima su idioma, su nacionalidad y su dispositivo.
- Tarea 2. El sujeto debe generar una lista de la compra con ciertos productos, mientras que el sistema procede a estimar las habilidades del usuario.
- Tarea 3. El sujeto debe configurar los errores presentes en los valores obtenidos por los sensores de la habitación del sistema domótico, mientras que el sistema estima el contexto actual del sujeto.

- Tarea 4. El sujeto debe configurar un escenario específico para la habitación en la que se encuentra, mientras que el usuario estima los conocimientos y objetivo del usuario.
- Tarea 5. El sujeto debe reproducir el contenido multimedia que le guste más, mientras que el sistema estima los intereses del usuario.

Escenario experimental 2 Coche autónomo. Este escenario busca simular las diferentes interfaces de usuario que forman parte de un coche autónomo. A continuación, definimos el conjunto de tareas que forman parte del escenario 2:

- Tarea 1. El sujeto debe rellenar el formulario de registro del sistema mientras que el sistema estima su idioma, su nacionalidad y su dispositivo.
- Tarea 2. El sujeto debe ajustar los valores obtenidos por los sensores a su situación actual, mientras que el sistema estima su contexto.
- Tarea 3. El sujeto debe seleccionar una ruta para llegar a su casa mientras que el sistema estima sus habilidades.
- Tarea 4. El sujeto debe interactuar con la consola del sistema para cerrar las puertas del coche mientras que el sistema estima los conocimientos y objetivos del usuario.
- Tarea 5. El sujeto debe reproducir el contenido multimedia que le guste más, mientras que el sistema estima sus intereses.

La elección de estos dos escenarios se ha realizado por conveniencia estratégica. Es fundamental que la validación se base en contextos que sean funcional y contextualmente muy distintos entre sí, y en los que los participantes no tengan un nivel de experticia elevado. Hemos descartado aplicaciones relacionadas con la gestión, el comercio electrónico o los videojuegos, ya que son ampliamente utilizadas por el perfil de sujetos reclutados para el experimento. En cambio, los estudiantes suelen tener poca experiencia previa con sistemas de domótica o vehículos inteligentes, lo que convierte a ambos escenarios en opciones ideales para nuestra validación.

6. Resultados y discusión

Para evaluar si existe una correlación entre el resultado obtenido con las métricas propuestas y las preferencias de los usuarios, hemos definido la medida *porcentaje de acierto.* Este porcentaje de acierto se establece considerando como acierto aquellos casos en los que el valor de la métrica concuerda con la preferencia expresada por el usuario. De este modo, cuanto mayor sea el porcentaje de acierto, mayor será la capacidad de la métrica para reflejar y predecir las preferencias de los sujetos del experimento.

Las métricas de usuario utilizadas para estimar La nacionalidad del usuario, el contexto, el idioma, el dispositivo, los objetivos y los intereses del usuario presentan un 100 % de precisión. Esto se debe a la alta homogeneidad de los sujetos evaluados: eran españoles, en un aula con ruido ambiental, hablaban español, tenían como objetivo realizar el experimento, se conectaron desde un ordenador, e indicaron el interés que venía especificado en la tarea. Por este motivo, no se ha llevado a cabo el análisis de los resultados obtenidos por estas métricas de usuario. Por lo que respecta a las métricas manuales, se han descartado de la validación por la misma razón. Dado que son los propios usuarios quienes les asignan valor, el resultado proporcionado por estas métricas coincidiría con las preferencias establecidas por cada usuario.

Tabla 4 Resultados obtenidos

Característica	Métrica	Precisión
Conocimiento	Cu	75 %
Conocimiento	Nb	83 %
Conocimiento	P	78 %
Conocimiento	Tt	79 %
Conocimiento	Tp	60 %
Conocimiento	Ps	89 %
Conocimiento	Com	92 %
Conocimiento	Cq	85 %
Habilidades	Co	78 %
Habilidades	Ae	89 %
Habilidades	A	75 %
Habilidades	Tt	80 %
Habilidades	R	72 %

En cambio, la mayoría de métricas automáticas encargadas de estimar los conocimientos y habilidades del usuario sí que presentan una mayor variabilidad de precisión, ya que obtienen

valores diferentes y menores al 100 % de precisión. En la Tabla 4 aparecen todas las métricas de conocimiento y habilidades con menos del 100 % de precisión.

En cuanto a la característica de conocimiento, el experimento evalúa las métricas *Cu*, *Nb*, *P*, *Tt*, *SP* y *Com*. La métrica *Dv* no se incluye, ya que el programa no permite registrar el desplazamiento vertical realizado por el usuario. Además, la métrica *Tp* no puede ser evaluada debido a que la tarea se lleva a cabo en una sola página. Por otro lado, la métrica *Cq* queda fuera del análisis, ya que el usuario no realiza ninguna búsqueda durante las tareas. En cuanto a la característica de habilidades, el experimento sí evalúa todas las métricas propuestas.

En cuanto a la característica conocimiento, este experimento ha logrado una precisión media del 80.13 % en las métricas de usuario evaluadas, aunque con un desempeño variable entre ellas. La métrica *Com* obtuvo los mejores resultados, con un 92 % de coincidencia con las preferencias del usuario. En contraste, la métrica *Tp* presentó el desempeño más bajo, alcanzando sólo un 60 % de coincidencia.

La mayoría de las métricas superaron el 75 % de precisión, lo que indica que las fórmulas utilizadas estiman correctamente las preferencias de los usuarios en comparación con sus expectativas. Estos resultados coinciden con lo previsto, ya que se esperaba un porcentaje de acierto bajo para la métrica *Tp* debido a la limitada cantidad de páginas disponibles en el experimento. Esto hace que el tiempo de permanencia en cada página sea mayor, independientemente del comportamiento del usuario. Por otro lado, los resultados de la métrica *Nb* fueron mejores de lo esperado, lo que puede explicarse por la escasez de elementos de búsqueda en las tareas. Esto llevó a que la mayoría de los usuarios asignaran una alta valoración a esta métrica.

En cuanto a las habilidades, este experimento ha logrado una precisión media del 78.80 % en las métricas de usuario evaluadas, aunque con un desempeño variable entre ellas. La métrica *Ae* obtuvo los mejores resultados, con un 89 % de coincidencia con las preferencias del usuario. Por el contrario, las métricas *R* y *A* mostraron el rendimiento más bajo, alcanzando un 75 % y un 72 %, respectivamente.

La mayoría de las métricas de las habilidades superaron el 75% de precisión, lo que indica que las fórmulas utilizadas para definir las métricas de usuario representan de manera adecuada a los usuarios en comparación con sus expectativas. Estos resultados están en línea con lo previsto, ya que se esperaba una precisión media superior al 70% en las métricas de usuario. La métrica *A* obtuvo un resultado inferior a lo esperado. Este resultado podría explicarse a través del efecto Dunning-Kruger (Gignac & Zajenkowski, 2020), el cual indica que algunos usuarios tienden a sobreestimar sus habilidades. Como consecuencia, las métricas no coinciden con las estimaciones de los usuarios, generando una discrepancia en los valores obtenidos. Por otro lado, la métrica *Ae* superó las expectativas, ya que anticipa que los usuarios interactuaron menos con las opciones avanzadas de la tarea. Sin embargo, el mayor acceso a estas funciones incrementó la estimación de sus habilidades. Por otro lado, la métrica *R* también presentó un nivel de precisión bajo, lo cual era previsible debido a que los prototipos utilizados en las tareas ofrecían pocas opciones para que los usuarios pudieran volver a acceder a ellas. Como resultado, los usuarios tendieron a sobreestimar sus habilidades. A pesar de las observaciones señaladas en estas métricas de usuario, la característica de habilidades muestra los resultados esperados. Consideramos que el cálculo del promedio de los valores obtenidos en esta métrica ha permitido normalizar los resultados y mitigar el efecto de posibles clasificaciones erróneas en las métricas.

7. Conclusiones y trabajo futuro

Este estudio presenta un conjunto de métricas diseñadas para recopilar diversas características de los usuarios con el fin de definir su perfil y desarrollar interfaces inteligentes. Se ha incidido en identificar aquellas métricas que pueden obtenerse de manera no intrusiva mientras el usuario interactúa normalmente con el sistema (métricas automáticas). Por otro lado, las métricas que requieren información explícita del usuario se recopilan mediante formularios (métricas manuales). Ambas categorías de métricas se han extraído de la literatura existente, pero en este trabajo se especifica cómo calcularlas utilizando los parámetros propuestos. Además, se han vinculado estos dos tipos de métricas con las características que conforman el perfil dentro de un modelo de usuario.

Asimismo, se ha presentado un caso práctico que demuestra cómo el sistema recopila y utiliza la información del usuario. Finalmente, se ha llevado a cabo una fase de experimentación en la que se ha evaluado la validez de las métricas propuestas, obteniendo como resultado que las métricas relacionadas con el conocimiento y las habilidades de los usuarios presentan un alto grado de coincidencia con sus expectativas.

Como limitaciones de las métricas propuestas cabe resaltar: (1) las métricas son para un modelo de usuario específico, aunque este modelo pretende ser lo más genérico posible para dar cabida a varios perfiles de usuario para distintos contextos; (2) no se han incluido métricas para tratar aspectos éticos junto con las características de los usuarios. Puede ser que un mismo perfil de usuario requiera una u otra adaptación de la interfaz atendiendo a características éticas; (3) el grupo de usuarios evaluado es muy homogéneo, lo que podría limitar la generalización de los resultados a otros grupos de usuarios; (4) las métricas propuestas no han sido evaluadas por expertos en el campo del Diseño Centrado en el Usuario (DCU); el estudio

actual se ha centrado en usuarios finales de las aplicaciones. Este estudio se podría complementar en el futuro con expertos.

Como puntos fuertes de las métricas propuestas cabe resaltar: (1) poseen un alto grado de independencia respecto a la plataforma y lenguaje usados para su diseño; (2) poseen un alto grado de independencia de los elementos gráficos, porque la misma métrica puede ser aplicada para obtener diversas características de usuario; (3) los diseñadores no encuentran una mayor dificultad para analizar los comportamientos del usuario ya que las métricas van dentro de los elementos gráficos o dentro de los formularios del sistema.

En la discusión, se considera que las métricas más adecuadas para estimar el conocimiento y las habilidades del usuario son aquellas que evalúan si este completa correctamente una tarea. Esto se debe a que la percepción del usuario sobre dichas habilidades está influenciada por el grado de confianza que tenga en la ejecución de la tarea. Adicionalmente, se considera que la métrica encargada de determinar el género del usuario es la que menos información relevante aporta al sistema ya que existen pocos contextos en los que dicha información suponga una mejora significativa a la experiencia de usuario del sistema. Asimismo, a partir del caso explicativo, consideramos que las métricas automáticas relacionadas con el idioma y el dispositivo serán las más precisas en la recopilación de datos, mientras que la métrica de objetivos podría presentar los resultados menos favorables.

Como línea de trabajo futuro, se plantea la definición de perfiles de usuario que permitan clasificar a cada individuo según sus características. En función de esta clasificación, se asignaría a cada usuario un perfil específico, lo que facilitaría la adaptación de las interfaces a sus preferencias. También, se considera la posibilidad de seleccionar un test de usabilidad con una muestra más amplia, como el *System Usability Scale (SUS)* o el *UEQ+*, para evaluar el grado de aceptación de los usuarios respecto a las reglas establecidas para personalizar la interfaz según cada grupo de usuarios. Finalmente, se considera incluir en el futuro elementos de transparencia y ética en las métricas propuestas y realizar una fase de experimentación donde expertos DCU las evalúen también.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado con la ayuda de la Generalidad Valenciana con el proyecto TENTACLE (CIAICO/2023/089). También ha contado con la ayuda del ministerio español de ciencia e innovación en el proyecto SREC (PID 2021-123824OB-I00).

Referencias

Abdelrazek, M., Purificato, E., Boratto, L., & Luca, E. W. D. (2023). FairUP: A Framework for Fairness Analysis of Graph Neural Network-Based User Profiling Models. Proceedings of the 46th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, SIGIR 2023, Taipei, Taiwan, July 23-27, 2023, 3165-3169. https://doi.org/10.1145/3539618.3591814

Abri, S., Abri, R., & Çetin, S. (2020). Group-based Personalization Using Topical User Profile. Adjunct Publication of the 28th ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization, UMAP 2020, Genoa, Italy, July 12-18, 2020, 181-186. https://doi.org/10.1145/3386392.3399559

Alhijawi, B., Fraihat, S., & Awajan, A. (2023). Adaptable inheritance-based prediction model for multi-criteria recommender system. Multim. Tools Appl., 82(21), 32421-32442. https://doi.org/10.1007/s11042-023-14728-z

Berkovitch, O., Caduri, S., Kahlon, N., Efros, A., Caciularu, A., & Dagan, I. (2024). Identifying User Goals from UI Trajectories. CoRR, abs/2406.14314. https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.14314

Chang, C.-M., Lin, C.-S., Chen, W.-C., Chen, C.-T., & Hsu, Y.-L. (2020). Development and Application of a Human–Machine Interface Using Head Control and Flexible Numeric Tables for the Severely Disabled. Applied Sciences, 10(19). https://www.doi.org/10.3390/app10197005

Dumitrescu, A., & Santini, S. (2021). Full coverage of a reader's interests in context-based information filtering. J. Assoc. Inf. Sci. Technol., 72(8), 1011-1027. https://doi.org/10.1002/asi.24470

Gaspar, A., Gil, M., Panach, J. I., & Romero, V. (2024). Towards a general user model to develop intelligent user interfaces. Multim. Tools Appl., 83(26), 67501-67534. https://doi.org/10.1007/s11042-024-18240-w

Gignac, G. E., & Zajenkowski, M. (2020). The Dunning-Kruger effect is (mostly) a statistical artefact: Valid approaches to testing the hypothesis with individual differences data. Intelligence, 80, 101449. https://doi.org/10.1016/j.intell.2020.101449

Gilbert, J., Hamid, S., Hashem, I. A. T., Ghani, N. B. A., & Boluwatife, F. F. (2023). The rise of user profiling in social media: Review, challenges and future direction. Soc. Netw. Anal. Min., 13(1), 137. https://doi.org/10.1007/s13278-023-01146-0

Gothe, S. V., Ghosh, S., Mani, S., Guggilla, B., Agarwal, A., & Sanchi, C. (2021). Language Detection Engine for Multilingual Texting on Mobile Devices. CoRR, abs/2101.03963. https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.03963

Hawamdeh, M., Altınay, Z., Altınay, F., Arnavut, A., Ozansoy, K., & Adamu, I. (2022). Comparative analysis of students and faculty level of

awareness and knowledge of digital citizenship practices in a distance learning environment: Case study. Education and Information Technologies, 27(5), 6037-6068. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10868-7

Hoi, N. T., & Que, T. D. (2024). Discovering User Interest in Social Media Based on Correlation. Advances in Information and Communication Technology, 403-413. https://www.doi.org/10.1007/978-3-031-50818-9_43

Hou, W., Liu, J., & Yan, X. (2021). A Questionnaire Data Clustering Method Based on Optimized K-Modes Algorithm. Artificial Intelligence in HCI - Second International Conference, AI-HCI 2021, Held as Part of the 23rd HCI International Conference, HCII 2021, Virtual Event, July 24-29, 2021, Proceedings, 12797, 326-342. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77772-2_22

Hu, S., Kumar, A., Al-Turjman, F., Gupta, S., Seth, S., & Shubham. (2020). Reviewer Credibility and Sentiment Analysis Based User Profile Modelling for Online Product Recommendation. IEEE Access, 8, 26172-26189. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2971087

Iqbal, M. W., Ahmad, N., Shahzad, S. K., Naqvi, M. R., Khan, B. A., & Ali, Z. (2021). User Context Ontology for Adaptive Mobile-Phone Interfaces. IEEE Access, 9, 96751-96762. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3095300

Jarwal, M. K., Barun, A., Singh, A., & Srivastava, A. (2022). Mobile Application based Tracking using GPS and GSM. 2022 8th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC), 153-156. https://doi.org/10.1109/ICSC56524.2022.10009250

Jin, Y., Tintarev, N., Htun, N. N., & Verbert, K. (2020). Effects of personal characteristics in control-oriented user interfaces for music recommender systems. User Model. User Adapt. Interact., 30(2), 199-249. https://doi.org/10.1007/s11257-019-09247-2

Kinjo, H., & Mbaitiga, Z. (2022). Development of flexible Text Input Device Based on Image Processing for Each Level of Disability Person. 2022 7th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Science (ICIIBMS), 7, 378-379. https://www.doi.org/10.1109/ICIIBMS55689.2022.9971506

Kubanyi, J., Hlavac, P., Simko, J., & Bielikova, M. (2018). Towards Automated Web Navigation and Search Skill Assessment: An Eye-tracking Study on the Skill Differences. 2018 13th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation and Personalization (SMAP), 49-54. https://www.doi.org/10.1109/SMAP.2018.8501883

Laor, T., Mehanna, N., Durey, A., Dyadyuk, V., Laperdrix, P., Maurice, C., Oren, Y., Rouvoy, R., Rudametkin, W., & Yarom, Y. (2022). DRAWN APART : A Device Identification Technique based on Remote GPU Fingerprinting. Proceedings 2022 Network and Distributed System Security Symposium. https://doi.org/10.14722/ndss.2022.24093

Machová, K., Szabóova, M., Paralič, J., & Mičko, J. (2023). Detection of emotion by text analysis using machine learning. Frontiers in Psychology, 14. https://www.doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1190326

Mangat, G., & Sharma, S. (2023). How does the use of different targeted literature review (TLR) methodologies impact the research output? Parexel International. https://www.ispor.org/docs/default-source/intl2023/ispor23gsinghmsr36poster-pdf.pdf

Mishra, V., Laperdrix, P., Vastel, A., Rudametkin, W., Rouvoy, R., & Lopatka, M. (2020). Don't Count Me Out: On the Relevance of IP Address in the Tracking Ecosystem. WWW '20: The Web Conference 2020, Taipei, Taiwan, April 20-24, 2020, 808-815. https://doi.org/10.1145/3366423.3380161

Oukfif, K., Battou, F., & Bouzefrane, S. (2020). Budget-Aware Performance Optimization of Workflows in Multiple Data Center Clouds. Mobile, Secure, and Programmable Networking - 6th International Conference, MSPN 2020, Paris, France, October 28-29, 2020, Revised Selected Papers, 12605, 144-160. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67550-9_10

Paulino, D., Ferreira, J., Netto, A., Correia, A., Ribeiro, J., Guimarães, D., Barroso, J., & Paredes, H. (2024). Probing into the Usage of Task Fingerprinting in Web Games to Enhance Cognitive Personalization: A Pilot Gamified Experience with Neurodivergent Participants. 2024 IEEE 12th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 1-8. https://doi.org/10.1109/SeGAH61285.2024.10639597

Quantux. (2025). Quant-UX. https://app.quant-ux.com

Rao, N., Bansal, C., Mukherjee, S., & Maddila, C. (2020). Product Insights: Analyzing Product Intents in Web Search. Proceedings of the 29th ACM International Conference on Information & Knowledge Management, 2189-2192. https://doi.org/10.1145/3340531.3412090

Rybaczewska, M., & Sparks, L. (2022). Ageing consumers and e-commerce activities. Ageing and Society, 42(8), 1879-1898. https://www.doi.org/10.1017/S0144686X20001932

Sajana, S. T., Jacob, S., P, V., Menon, V. G., & C, S. P. (2022). Context-aware gender and age recognition from smartphone sensors. 2022 International Conference on Computing, Communication, Security and Intelligent Systems (IC3SIS), 1-6. https://www.doi.org/10.1109/IC3SIS54991.2022.9885610

Salem, I. E., & Al-Saedi, K. H. (2023). Intensive Malware Detection Approach based on Data Mining. Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS), 5(1), 414-424. https://www.doi.org/10.37385/jaets.v5i1.2865

Sandoval-Gaytan, B. D., Camacho, L.-M., & Vazquez-Hurtado, C. (2023). Point Cloud Generation of Transparent Objects: A Comparison between Technologies. 2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 1-3. https://doi.org/10.1109/EDUCON54358.2023.10125143

Schmidt, A., Mayer, S., & Buschek, D. (2021). Introduction to Intelligent User Interfaces. Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. https://doi.org/10.1145/3411763.3445021

Sepulveda, G. K., Besoain, F., & Barriga, N. A. (2020). Exploring Dynamic Difficulty Adjustment in Videogames. CoRR, abs/2007.07220. https://www.doi.org/10.1109/CHILECON47746.2019.8988068)

Shi, S. W., & Trusov, M. (2021). The Path to Click: Are You on It? Mark. Sci., 40(2), 344-365. https://doi.org/10.1287/mksc.2020.1253

Sikder, A. K., Aksu, H., & Uluagac, A. S. (2020). A Context-Aware Framework for Detecting Sensor-Based Threats on Smart Devices. IEEE Trans. Mob. Comput., 19(2), 245-261. https://doi.org/10.1109/TMC.2019.2893253

Singh, S. (2022). Emphasis on the Minimization of False Negatives or False Positives in Binary Classification. CoRR, abs/2204.02526. https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.02526

Šumak, B., Kous, K., Martínez-Normand, L., Pekša, J., & Pušnik, M. (2023). Identification of Challenges and Best Practices for Including Users with Disabilities in User-Based Testing. Applied Sciences, 13(9). https://www.doi.org/10.3390/app13095498

Sun, B., Mao, H., & Yin, C. (2020). Male and Female Users' Differences in Online Technology Community Based on Text Mining. Frontiers in Psychology, 11. https://www.doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00806

Tufail, S., Riggs, H., Tariq, M., & Sarwat, A. I. (2023). Advancements and Challenges in Machine Learning: A Comprehensive Review of Models, Libraries, Applications, and Algorithms. Electronics, 12(8). https://www.doi.org/10.3390/electronics12081789

Vandic, D., Nederstigt, L. J., Frasincar, F., Kaymak, U., & Ido, E. (2024). A framework for approximate product search using faceted navigation and user preference ranking. Data Knowl. Eng., 149, 102241. https://doi.org/10.1016/j.datak.2023.102241

Wang, B., & Liu, J. (2023). Characterizing and Early Predicting User Performance for Adaptive Search Path Recommendation. Proceedings of the Association for Information Science and Technology, 60(1), 408-420. https://doi.org/10.1002/pra2.799

Wu, D., Du, X., & Peng, F. (2024). Multi-layer and multi-source features stacking ensemble learning for user profile. Electric Power Systems Research, 229, 110128. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.110128

Yu, R., Gadiraju, U., Holtz, P., Rokicki, M., Kemkes, P., & Dietze, S. (2018). Predicting User Knowledge Gain in Informational Search Sessions. The 41st International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval, SIGIR 2018, Ann Arbor, MI, USA, July 08-12, 2018, 75-84. https://doi.org/10.1145/3209978.3210064

Yu, R., Tang, R., Rokicki, M., Gadiraju, U., & Dietze, S. (2021). Topic-independent modeling of user knowledge in informational search sessions. Inf. Retr. J., 24(3), 240-268. https://doi.org/10.1007/s10791-021-09391-7

Zhou, J., Zahiri, S. M., Hughes, S., Jadda, K. A., Kallumadi, S., & Agichtein, E. (2021). De-Biased Modeling of Search Click Behavior with Reinforcement Learning. SIGIR '21: The 44th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Virtual Event, Canada, July 11-15, 2021, 1637-1641. https://doi.org/10.1145/3404835.3463228

Ziosi, M., Hewitt, B., Juneja, P., Taddeo, M., & Floridi, L. (2024). Smart cities: Reviewing the debate about their ethical implications. AI Soc., 39(3), 1185-1200. https://doi.org/10.1007/s00146-022-01558-0

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 6, No 1 (2025)
ISSN 2695-6578

Renderizado de Audio Espacial en Realidad Virtual con el Binaural Rendering Toolbox (BRT)

Spatial Audio Rendering in Virtual Reality with the Binaural Rendering Toolbox (BRT)

Arcadio Reyes-Lecuona
Dpto. Tecnología Electrónica
Instituto TELMA
Universidad de Málaga, España
areyes@uma.es

Daniel González-Toledo
Dpto. Tecnología Electrónica
Instituto TELMA
Universidad de Málaga, España
dgonzalezt@uma.es

María Cuevas-Rodríguez
Dpto. Tecnología Electrónica
Instituto TELMA
Universidad de Málaga, España
mariacuevas@uma.es

Recibido: 01.04.2025 | Aceptado: 23.05.2025
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.125

Palabras Clave

Audio espacial
Realidad virtual
Renderizado binaural
Interacción inmersiva
Ciencia reproducible
Código abierto

Resumen

Este artículo presenta el Binaural Rendering Toolbox (BRT), que incluye una librería en C++ para el renderizado en tiempo real de escenas sonoras espaciales en entornos de realidad virtual, así como, un conjunto de herramientas diseñadas para la simulación de audio espacial. La librería del BRT es modular, extensible y de código abierto, permitiendo la simulación de fuentes dinámicas junto con modelos de entorno acústico y escucha binaural. Su arquitectura basada en bloques interconectables facilita su adaptación a distintos escenarios, desde simulaciones simples hasta entornos complejos. Desarrollada en el marco del proyecto europeo SONICOM, esta librería continúa la línea del 3D Tune-In Toolkit, integrando varios de sus algoritmos. Al estar implementada como librería de cabeceras (header-only), se integra fácilmente en proyectos en C++. Dentro del BRT, también se incluye BeRTA, una aplicación independiente que se comunica con motores gráficos como Unity mediante el protocolo OSC. El artículo expone los fundamentos del audio espacial, describe la arquitectura del sistema, su integración en flujos de trabajo en VR y sus opciones de configuración. Además, se presenta un caso de uso centrado en un estudio de interacción inmersiva y se discuten sus ventajas como herramienta científica, especialmente en el contexto de investigación reproducible en percepción auditiva e interacción multisensorial.

Keywords

Spatial audio
Virtual reality
Binaural rendering
Immersive interaction
Reproducible science
Open-source

Abstract

This paper introduces the Binaural Rendering Toolbox (BRT), which includes a C++ library for real-time spatial audio rendering in virtual reality environments, as well as a suite of tools for spatial audio simulation. The library is modular, extensible and open-source, enabling the simulation of dynamic sound sources along with acoustic environment models and binaural listening. Its architecture, based on interconnectable blocks, allows adaptation to various scenarios, from lightweight simulations to complex environments. Developed within the European project SONICOM, this library builds on the 3D Tune-In Toolkit, integrating several of its algorithms. As a header-only library, it seamlessly integrates into C++ projects. BRT also includes BeRTA, a standalone application that communicates with engines like Unity via the OSC protocol. The article explores the spatial hearing principles, describes the system architecture, its integration into VR workflow, and its configuration options. Additionally, it presents a use case in an immersive interaction study and discusses its advantages as a scientific tool, particularly for reproducible research in auditory perception and multisensory interaction.

1. Introducción

En los últimos años, la realidad virtual (RV) se ha consolidado como una tecnología clave en numerosos campos, desde la formación profesional y la educación hasta la medicina, la arquitectura o el diseño de experiencias inmersivas. En muchos de estos contextos, el foco principal ha estado tradicionalmente en el aspecto visual, lo que ha llevado a desarrollar motores gráficos muy avanzados y plataformas que ofrecen un gran realismo en la representación tridimensional. Sin embargo, el sonido espacial, especialmente el que se reproduce mediante auriculares, desempeña un papel igualmente importante en la construcción de entornos plausibles e inmersivos (Bergstrom et al., 2017), y su integración adecuada puede tener un impacto significativo tanto en la experiencia subjetiva del usuario como en el rendimiento de tareas perceptivas o interactivas (Serafin, 2023).

Diversos trabajos han señalado que el sonido espacial sigue siendo, en muchos casos, una componente poco desarrollada en el diseño de aplicaciones inmersivas especialmente fuera de contextos altamente especializados (Serafin et al., 2018). A ello se suma la falta de herramientas abiertas y configurables que permitan un control preciso sobre los parámetros acústicos y que puedan integrarse fácilmente en plataformas de desarrollo. Esta situación limita tanto el potencial de las simulaciones como la posibilidad de llevar a cabo investigaciones sistemáticas y reproducibles en percepción auditiva tridimensional.

Esta falta de conexión entre el desarrollo de experiencias inmersivas en VR y los avances en audio espacial son un obstáculo para alcanzar una verdadera integración multisensorial, capaz de reforzar la sensación de presencia y mejorar la calidad de la interacción (Reyes-Lecuona, A et al., 2022). En este contexto, el presente artículo ofrece una presentación de la librería de C++ del Binaural Rendering Toolbox (BRT), una herramienta de código abierto diseñada precisamente para facilitar la incorporación de sonido espacializado realista en aplicaciones de investigación y en entornos de realidad virtual.

A lo largo del artículo, se describe el diseño y funcionamiento de la librería BRT, poniendo especial énfasis en sus capacidades para ser utilizada dentro de contextos de investigación científica reproducible. En este sentido, uno de los principios fundamentales que han guiado su desarrollo ha sido la necesidad de disponer de una herramienta que no solo permita generar sonido espacializado de alta calidad, sino también hacerlo de forma controlable, transparente y documentada. En muchos estudios científicos, especialmente aquellos relacionados con la percepción o la interacción, es esencial poder compartir no solo los resultados, sino también los procedimientos exactos utilizados en la generación de los estímulos. Frente a soluciones comerciales cerradas o cajas negras acústicas, una herramienta como BRT permite describir, replicar y verificar todas las etapas del proceso de renderizado sonoro, contribuyendo así a los objetivos de la ciencia abierta y reproducible.

La estructura del artículo está organizada de la siguiente manera: en la Sección 2, se presentan los fundamentos del audio espacial, incluyendo los principios perceptivos que permiten la localización de sonidos en el espacio y el papel del entorno acústico en esta percepción. La Sección 3 introduce la arquitectura de la librería BRT, explicando su organización modular y los tipos de modelos disponibles para simular fuentes, entornos y oyentes. La Sección 4 describe en detalle cómo la librería puede integrarse en aplicaciones de realidad virtual, particularmente a través de su comunicación con motores gráficos como Unity mediante mensajes del protocolo Open Sound Control (OSC) (Wright et al., 1997). En la Sección 5, se analiza el sistema de configuración basado en ficheros JSON, que permite definir la arquitectura de procesamiento acústico y establecer los parámetros iniciales de la simulación. A continuación, la Sección 6 ilustra un caso de uso completo, centrado en un estudio sobre interacción tridimensional inmersiva, en el que se combina Unity, un visor Meta Quest 3 y el BRT para generar un entorno acústico realista y controlado. Finalmente, la Sección 7 ofrece una discusión de las posibilidades de esta herramienta, tanto desde el punto de vista técnico como metodológico, subrayando su utilidad como plataforma abierta para investigación y su contribución a la construcción de soluciones científicas robustas y replicables.

2. Fundamentos del Audio Espacial

La percepción espacial del sonido permite a las personas localizar fuentes sonoras en el entorno, contribuyendo a una interacción natural y efectiva con el medio ambiente. La localización del sonido en condiciones de campo abierto se basa en varios fenómenos fisiológicos (Blauert, 1997; Vorländer, 2020):

- **Diferencias de Tiempo Interaural (ITD):** el sonido llega con pequeñas diferencias de tiempo a cada oído, dependiendo de la ubicación espacial de la fuente. Estas diferencias son interpretadas por el cerebro como información direccional relativa ala lateralidad del sonido.
- **Diferencias de Nivel Interaural (ILD):** Cuando una fuente sonora está más cerca de un oído que del otro, la cabeza actúa como barrera acústica, reduciendo la intensidad del sonido que llega al oído más alejado, especialmente para altas frecuencias. Al igual que el ITD, el ILD nos proporciona información de la lateralidad del sonido.

- **Indicios Espectrales:** el pabellón auditivo humano filtra el sonido según la dirección desde la cual proviene éste, proporcionando indicios adicionales sobre la localización vertical del sonido.

Aunque estos tres elementos son fundamentales para la localización de fuentes en espacio abierto, la percepción espacial del sonido va mucho más allá. En contextos realistas, las fuentes sonoras no solo se perciben en un punto determinado del espacio, sino también dentro de un entorno acústico específico, ya que éste modifica el sonido que llega al oyente.

Cuando una fuente sonora se encuentra en un recinto cerrado o semirrígido, como una habitación, una sala de conferencias o una nave industrial, su sonido no llega directamente al oyente sin más. Parte de la energía acústica se propaga en línea recta, pero otra parte interactúa con las superficies del entorno: paredes, suelo, techo, objetos. Estas interacciones generan reflexiones y reverberaciones que enriquecen y complican el patrón acústico recibido por el oyente (Välimäki et al, 2012 & 2016). Esta información reverberante contribuye de forma decisiva a la percepción del entorno sonoro. Por ejemplo, permite identificar si estamos en un espacio cerrado o abierto, si se trata de un lugar amplio o estrecho, o incluso si las superficies son duras o absorbentes.

Además, el entorno acústico también influye en aspectos específicos de la localización, como por ejemplo la percepción de la distancia. En general, una fuente que produce muchas reflexiones y tiene un nivel relativo de sonido directo bajo será percibida como más lejana, mientras que una fuente con un componente directo fuerte y poca reverberación parecerá más próxima.

Por tanto, simular correctamente el entorno acústico es un componente esencial en el proceso de espacialización del sonido. Y es precisamente en esta capacidad donde herramientas como el BRT permiten un control detallado y flexible para aplicaciones de realidad virtual, en las que la recreación del entorno sonoro tiene un impacto directo en la sensación de inmersión del usuario.

2.1 ¿Qué es el Audio Binaural?

Una técnica ampliamente utilizada para recrear la percepción espacial del sonido en entornos virtuales es el audio binaural. Esta técnica se basa en la reproducción del sonido a través de auriculares, entregando señales distintas en cada oído, de forma que se simule el modo en que el cerebro recibe y procesa la información auditiva en situaciones reales (Algazi et al., 2021). Para conseguir esta simulación, se utilizan las denominadas funciones de transferencia relativas a la cabeza (HRTF, por sus siglas en inglés), que describen cómo el sonido es filtrado por la anatomía del oyente (especialmente por la cabeza y los pabellones auditivos) dependiendo de la dirección desde la que proviene (Xie, 2013). Aplicar estas funciones a una señal monofónica permite generar una versión binaural del sonido, es decir, una señal estereofónica especialmente procesada que reproduce la impresión de espacialidad cuando se escucha con auriculares.

Además de los indicios generales que permiten la localización del sonido, otro factor determinante en la espacialización binaural es la individualización del oyente. Aunque existen modelos auditivos basados en HRTFs promedio, que funcionan razonablemente bien en muchos casos, lo cierto es que las funciones de transferencia propias de cada individuo reflejan de manera mucho más precisa cómo su anatomía afecta al sonido. Cuando se utilizan HRTFs genéricos, es habitual que la espacialización resulte menos natural, con una localización de las fuentes menos precisa e incluso confusa. Por el contrario, las HRTFs individualizadas permiten una reconstrucción espacial mucho más fiel, mejorando la sensación de inmersión y la credibilidad del entorno virtual.

2.2 Renderizado Binaural y Realidad Virtual

En el contexto de la realidad virtual, el renderizado del sonido espacial plantea una serie de exigencias particulares que no siempre están presentes en otras aplicaciones que manejan sonido. A diferencia de una escena sonora estática o pregrabada, una aplicación de realidad virtual es, por definición, interactiva: el usuario se mueve, gira la cabeza, cambia de posición y desencadena eventos en el mundo virtual que modifican continuamente la escena sonora (Serafin et al., 2018). Además, los propios elementos del entorno virtual, como fuentes sonoras, objetos, superficies, condiciones ambientales, pueden cambiar también en tiempo real. Esto implica que el renderizado espacial debe actualizarse de forma dinámica, procesando el sonido para reflejar todos estos cambios. Técnicamente, esto supone aplicar procesos de convolución con HRTFs y simular la contribución del entorno en un flujo continuo de audio. Si dicho entorno se simula mediante convolución con la respuesta al impulso de una sala, hay que considerar que dichas convoluciones pueden implicar respuestas de hasta cientos de miles de muestras, se requiere el uso de algoritmos eficientes, como la convolución particionada, que permite distribuir el procesamiento en bloques más manejables con baja latencia y optimiza los algoritmos en el dominio de la frecuencia (Wefers, 2015). En paralelo, pueden emplearse modelos acústicos simplificados para reducir la carga computacional, evitando la necesidad de usar respuestas al impulso completas y sustituyéndolas por aproximaciones más ligeras. En cualquier caso, la clave está en encontrar un equilibrio entre realismo acústico y viabilidad computacional, de modo que se mantenga la interactividad fluida que caracteriza a las experiencias en realidad virtual.

Frente a estos desafíos, resulta fundamental contar con herramientas capaces de gestionar en tiempo real toda esta dinámica sonora de forma precisa y eficiente. No se trata únicamente de generar sonidos en distintas posiciones, sino de mantener actualizada, en cada instante, la representación espacial del conjunto de fuentes que componen la escena virtual, considerando también la posición y orientación del oyente. Además, este procesamiento debe ser flexible, permitiendo combinar distintos tipos de modelos acústicos, aplicar transformaciones binaurales y adaptar el flujo de señal según las necesidades específicas de cada aplicación. En este sentido, el BRT ha sido concebido como una solución modular, optimizada y de código abierto para abordar exactamente este tipo de escenarios: una herramienta que permite renderizar en tiempo real la espacialización binaural de fuentes puntuales dinámicas en entornos virtuales, manteniendo un control preciso sobre los modelos de fuente, entorno y oyente. Al ser completamente transparente en sus algoritmos e implementaciones, el BRT garantiza la replicabilidad experimental necesaria en la investigación científica. Proporciona los mecanismos necesarios para simular y actualizar continuamente la escena acústica conforme evoluciona el entorno virtual, lo que lo convierte en una opción particularmente adecuada para aplicaciones interactivas que requieran rigor metodológico y documentación exhaustiva del proceso de auralización. A continuación, se describe en detalle la arquitectura de esta herramienta.

3. Arquitectura de la librería BRT

El BRT es un conjunto de herramientas para la simulación de audio espacial, dentro del cual se incluye una librería *header-only* escrita en C++ y código abierto (*BRTLibrary*, 2025). Esta librería ha sido diseñada con una arquitectura modular que facilita su personalización y extensión según las necesidades específicas de cada proyecto. Su desarrollo se enmarca en el proyecto europeo SONICOM[1], centrado en la investigación sobre comunicación inmersiva mediante tecnologías auditivas personalizadas. La arquitectura de BRT ha sido esbozada en trabajos previos (González-Toledo et al, 2023 & 2025), donde se detallan sus principios de diseño, su organización en bloques funcionales y su orientación hacia aplicaciones interactivas. Además, ofrece una documentación on-line para facilitar su uso[2]. El BRT integra y expande los fundamentos establecidos en el 3D Tune-In Toolkit (Cuevas-Rodríguez et al., 2019), que sirvió como precursor y del cual se han heredado e integrado algunos algoritmos clave de procesado espacial. La librería del BRT representa, por tanto, una evolución directa de estos desarrollos anteriores, reforzada con nuevas funcionalidades, mayor modularidad y un enfoque más claro hacia la investigación científica y la integración con plataformas modernas de realidad virtual.

La arquitectura modular de BRT permite descomponer el proceso de espacialización de audio en distintos componentes especializados (ver Fig. 1). A continuación, se describen los diferentes módulos que conforman la herramienta, cada uno encargado de una etapa específica en la simulación acústica.

Modelos de Fuentes Sonoras

BRT implementa modelos específicos para representar fuentes sonoras en entornos virtuales:

- **Omnidireccionales**: emiten sonido con igual intensidad en todas direcciones.
- **Direccionales**: utilizan archivos SOFA (SOFA, 2025) que almacenan patrones complejos de directividad, permitiendo simular fuentes sonoras realistas.

Modelos del Entorno

BRT ofrece modelos para simular cómo el entorno afecta la propagación del sonido:

- **Modelo Free-Field**: simula el sonido en espacios abiertos, considerando distancia y efecto Doppler.
- **Modelo SDN (Scattering Delay Networks)**: simula reflexiones y reverberaciones en espacios cerrados mediante redes complejas de retardo.

Modelos de Oyente

Estos modelos determinan cómo llega el sonido al usuario hasta el momento, se han implementado estos modelos:

- **Convolución directa con HRTFs**: procesamiento individual por fuente sonora mediante convolución con HRTFs (Xie, 2013). El renderizador permite cargar ficheros de HRTF en formato SOFA (SOFA, 2025), lo que permite usar HRTFs individualizados para cada oyente.
- **Convolución ambisónica con HRTFs**: mezcla múltiples fuentes en un campo ambisónico antes de convolucionar, reduciendo la carga computacional.
- **Uso de Respuestas al Impulso Binaural de Sala (BRIR)**: combinan información del entorno para mayor realismo, con la opción de crear modelos híbridos mediante técnicas de ventana de tiempo.

[1] SONICOM: Transforming auditory-based social interaction and communication in VR/AR. https://www.sonicom.eu

[2] https://grupodiana.github.io/BRT-Documentation/library/

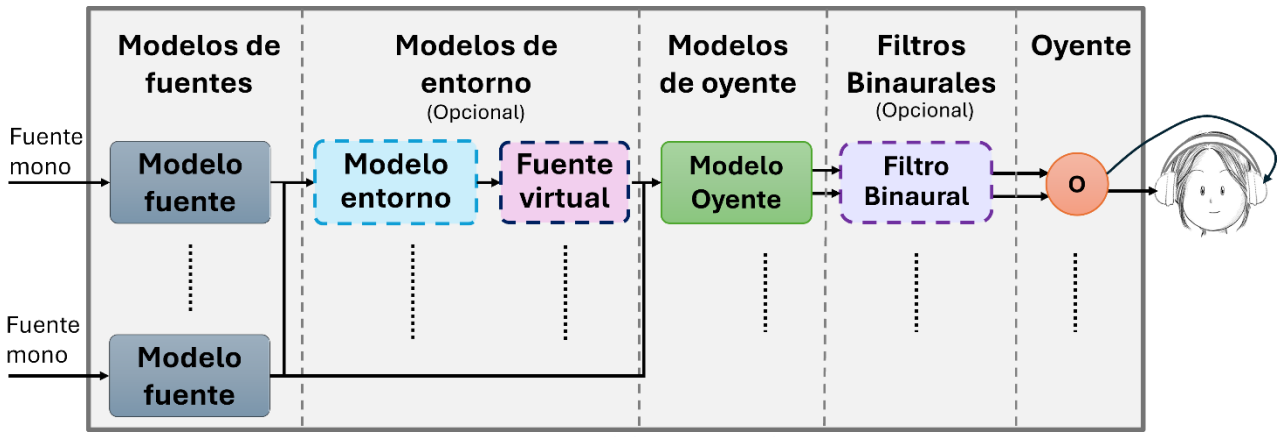


Figura 1: Diagrama de la arquitectura de BRT

Filtros Binaurales

Por último, los filtros binaurales añaden un procesamiento adicional, tras la espacialización binaural, tales como compensación de auriculares específicos, simulación de dispositivos protectores auditivos. En el futuro, estos filtros podrían incluir procesos no lineales avanzados, como la simulación de pérdida auditiva.

4. Integración de BRT en entornos de RV

La integración de una librería de procesamiento de audio en tiempo real, como la del BRT, en aplicaciones de realidad virtual presenta desafíos técnicos relacionados con la arquitectura de software y la interoperabilidad entre plataformas. Escrita en C++, el diseño modular de esta librería está enfocado en lograr un renderizado binaural eficiente en tiempo real. Por ello, su uso en entornos como Unity o Unreal Engine, motores ampliamente empleados en el desarrollo de aplicaciones de RV, requiere de un mecanismo robusto y flexible para la comunicación entre ambos sistemas.

Una opción habitual sería compilar BRT en forma de una biblioteca compartida (por ejemplo, como una DLL en Windows) e integrarla directamente dentro del motor gráfico. Esta vía permitiría una comunicación directa entre la lógica del entorno virtual y los procesos de renderizado sonoro. Sin embargo, este enfoque presenta ciertas limitaciones prácticas. En primer lugar, se trata de una integración que habría que hacer para cada plataforma. Es más, requeriría un mantenimiento continuo para mantener la compatibilidad con las futuras actualizaciones de los entornos de desarrollo. Por esta razón, aunque esta integración directa se contempla como una posibilidad futura, no ha sido la vía adoptada en la implementación inicial.

En su lugar, la estrategia seguida en el desarrollo del BRT se basa en una arquitectura más flexible y desacoplada. Se ha creado una aplicación autónoma, que encapsula la funcionalidad completa de la librería del BRT, y que se encarga de realizar todo el renderizado en tiempo real de las escenas sonoras. Esta aplicación, llamada Binaural Rendering Toolbox Renderer Application (en breve BeRTA Renderer), se ejecuta en segundo plano y se comunica con la aplicación de realidad virtual mediante el protocolo OSC, un protocolo ampliamente utilizado en entornos de audio profesional, que funciona sobre UDP y permite el envío de mensajes estructurados entre procesos o máquinas.

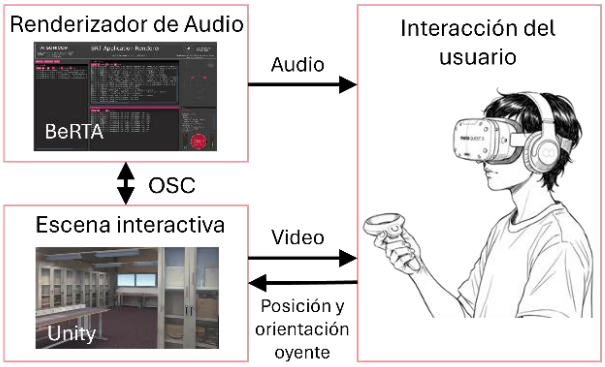


Figura 2: Ejemplo de configuración de BeRTA controlado por OSC

La Figura 2 muestra esta configuración, donde la aplicación de realidad virtual —por ejemplo, una escena interactiva desarrollada en Unity— se encarga de calcular continuamente la posición y orientación del oyente, así como de las fuentes sonoras presentes en la escena. Toda esa información se transmite en forma de mensajes OSC a la instancia de BRT, que está ejecutándose como proceso independiente. Los mensajes incluyen, entre otros, comandos de inicialización de fuentes, configuración de modelos, activación y detención de sonidos, y actualización de parámetros dinámicos. Esto permite que BeRTA reciba en tiempo real toda la información necesaria para mantener actualizada la representación acústica del entorno.

Una ventaja adicional de esta arquitectura distribuida es que permite, si se desea, ejecutar la aplicación BeRTA Renderer en

una máquina distinta a la del motor gráfico. De este modo, se puede distribuir la carga computacional entre varios sistemas, optimizando el rendimiento global, lo cual resulta especialmente útil en simulaciones complejas o con múltiples fuentes sonoras dinámicas. En la siguiente sección, se proporcionan más detalles de esta aplicación, y sus posibilidades.

5. El renderizador de audio BeRTA

BeRTA Renderer, que se ofrece tanto para Windows x64 (Windows 10 y 11) como para macOS Universal, ofrece un alto grado de configurabilidad para el renderizado de audio espacial en tiempo real. Su control se basa exclusivamente en OSC[1] por lo que su interfaz gráfica se centra en la monitorización del sistema más que en la manipulación directa de parámetros. La interfaz, la cual se muestra en la Fig. 3 presenta la información en formato de terminal, incluyendo el estado de la renderización, la configuración de fuentes y oyentes, así como registros detallados de los comandos OSC enviados y recibidos, acciones ejecutadas y mensajes del sistema de diagnóstico.

Entre sus características clave, BeRTA Renderer permite el renderizado en tiempo real con control dinámico de las posiciones de las fuentes sonoras y los oyentes mediante OSC. Soporta múltiples fuentes de sonido, intercambio de HRTF y BRIR en tiempo real, configuración de escenarios virtuales y exportación de datos de simulación.

Una de las características fundamentales de la arquitectura de la librería BRT es su modularidad. Esto significa que funcionalidades como la directividad de las fuentes sonoras, la propagación del sonido en el entorno o la percepción del oyente están implementadas como módulos independientes, permitiendo su combinación según las necesidades de cada aplicación.

BeRTA Renderer aprovecha esto para facilitar la configuración de escenarios virtuales adaptados a distintos requisitos. Por ejemplo, en aplicaciones donde las fuentes de sonido representan emisores direccionales (como altavoces, bocinas o la voz humana), es posible activar y conectar un módulo de directividad. Para simulaciones acústicas avanzadas, se puede integrar un módulo de convolución con la respuesta al impulso completa de un recinto. Alternativamente, si se requiere un equilibrio entre realismo y eficiencia computacional, es posible emplear un modelo híbrido, en el que el sonido directo de cada fuente se procesa individualmente mientras que la reverberación global se maneja con una representación ambisónica de primer orden (Zotter, 2019), optimizando el rendimiento en entornos con múltiples fuentes. En escenarios donde la carga computacional es una limitación, se puede optar por modelos simplificados que omiten la reverberación compleja.

La flexibilidad de BeRTA Renderer requiere una configuración inicial explícita que defina la arquitectura del sistema y los parámetros por defecto. A diferencia de los comandos OSC, que permiten modificar la escena en tiempo real, esta configuración se establece mediante un archivo en formato JSON. Este archivo describe los módulos activos, sus interconexiones y sus parámetros operativos, incluyendo los modelos de fuentes, entorno y oyente, así como ajustes técnicos esenciales como la frecuencia de muestreo, el tamaño del frame de procesamiento y el número de buffers de seguridad para garantizar una reproducción estable.

Además de la estructura del sistema, el archivo de configuración permite definir una escena inicial, especificando elementos como las posiciones de las fuentes y del oyente, los archivos de audio disponibles al inicio y los parámetros predeterminados de volumen y reproducción. Esto asegura que BeRTA Renderer arranque con una configuración coherente y lista para recibir comandos OSC que actualicen la escena de manera dinámica.

Secciones del archivo de configuración

El archivo JSON está estructurado en cinco secciones principales, cada una con un propósito específico dentro del proceso de renderizado binaural:

- **Ajustes generales**: Contiene parámetros globales de la aplicación, como la frecuencia de muestreo y la gestión de buffers, que afectan al rendimiento y estabilidad del sistema.
- **Arquitectura del modelo**: Define los modelos empleados para la representación del sonido, incluyendo los modelos de oyente y entorno, así como su interconexión. Esta es la sección central del archivo, ya que determina la estructura del renderizado y cómo se procesan las señales de audio espacial.
- **Recursos**: Lista los archivos de datos necesarios para el renderizado, como HRTFs, BRIRs, filtros de campo cercano y funciones de directividad. Estos recursos se cargan al inicio y pueden ser modificados dinámicamente mediante comandos OSC.

[1] Para facilitar su integración en distintos entornos, el BRT incluye varias soluciones de control para BeRTA Renderer, desde ejemplos en PureData, Unity y Matlab hasta una aplicación dedicada llamada BeRTA GUI.

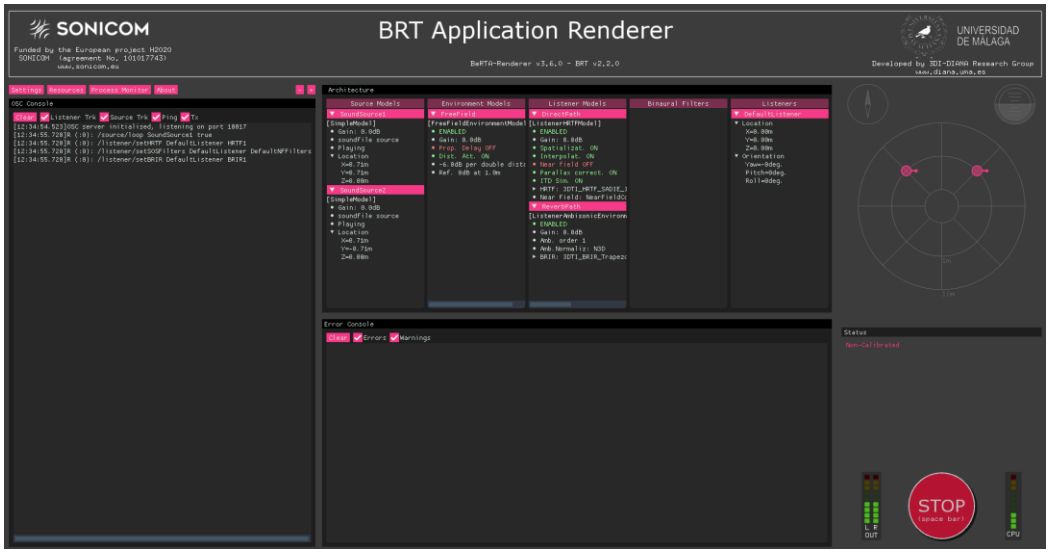


Figura 3: Interfaz de BeRTA, la cual es puramente informativa. BeRTA muestra los comandos OSC enviados y recibidos (consola de la izquierda), la configuración de la aplicación y posiciones de las fuentes y los oyentes (consola central arriba), los errores producidos en el renderizado y la comunicación OSC (consola central abajo) y un radar donde se ve gráficamente las fuentes que se están renderizando y su posición en el espacio (derecha).



Figura 2: Caso de uso donde se simula una sala real de la cual se ha capturado su respuesta al impulso.

- **Fuentes de sonido**: Define las fuentes de audio que estarán disponibles al iniciar el sistema. Cada fuente debe especificar el archivo de sonido asociado y el modelo de renderizado a utilizar, como *SimpleModel* o *DirectivityModel*.
- **Configuración de la escena**: Permite establecer una escena inicial mediante comandos en formato OSC. Esto incluye configuraciones como la activación de fuentes en bucle, la selección de HRTFs y la definición de propiedades ambientales, como el tamaño y la absorción acústica de la sala.

6. Caso de uso: Auralización de un entorno de interacción tridimensional en Realidad Virtual

Uno de los contextos más relevantes para la aplicación del BRT es la investigación en interacción tridimensional en entornos de Realidad Virtual. En esta sección se presenta un caso de uso que actúa como prueba de concepto, con el propósito de demostrar la viabilidad técnica de una investigación sobre cómo las características del entorno acústico afectan a la percepción espacial y a la calidad de la interacción inmersiva. Para ello, sería necesario no solo simular la geometría visual de la sala, sino también auralizar la experiencia de forma que el sonido percibido sea coherente con la posición del oyente y las fuentes dentro del entorno virtual. La *Figura 2* muestra una implementación de este caso de uso, donde se simula la geometría visual de una sala través de unas gafas Meta Quest. El renderizado de audio se lleva a cabo mediante BeRTA Renderer la cual simula la reverberación de la sala donde se encuentra el usuario, gracias a la captura previa del BRIR en esa misma sala.

En este escenario, un motor de Realidad Virtual, como por ejemplo Unity, se encarga de gestionar la visualización del mundo tridimensional (*Figura 2*, imagen derecha) y de rastrear en tiempo real la posición y orientación de la cabeza del

usuario y de las fuentes sonoras virtuales asociadas a objetos, interlocutores simulados o elementos interactivos. La escena puede incluir, por ejemplo, una conversación entre varios avatares, la manipulación de objetos con respuesta sonora y/o señales acústicas emitidas por elementos móviles en la sala.

Como se señaló en la sección anterior para incorporar el renderizado sonoro espacializado, se lanza en segundo plano la aplicación *standalone* BeRTA renderer, que encapsula la librería BRT y se encarga del procesamiento en tiempo real de toda la escena acústica.

En la *Figura 3* se muestra un ejemplo de configuración de BeRTA Renderer para este caso de uso. En esta configuración se declaran dos fuentes de sonido, ambas fuentes alimentarán dos rutas de audio distintas: una ruta de sonido directo ("DirectPath"), basada en convolución con HRTFs, y una ruta de reverberación ("ReverbPath"), basada en la convolución de una respuesta al impulso ambisónica de sala. En el caso del camino directo, antes de aplicar el modelo del oyente, se simula un modelo de entorno "FreeField", encargado de simular la propagación directa en espacio abierto. Esto permite una configuración híbrida donde las distintas componentes acústicas se procesan por caminos separados. Finalmente, ambos modelos de oyente se conectan al mismo oyente ("Default Listener"), que mezclará todos los canales para ofrecer una señal para canal derecho y otra para el canal izquierdo de los auriculares. El fichero JSON a utilizar para esta configuración se muestra en la Figura *4*.

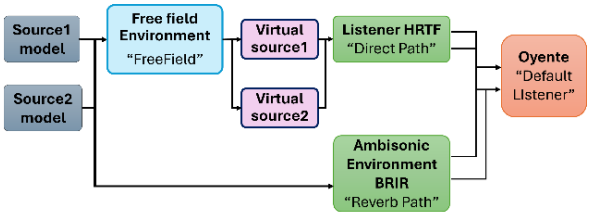


Figura 3: Diagrama de configuración de BeRTA

6.1 Configuración de BeRTA

Es importante señalar que, en el ejemplo anterior, las fuentes se conectan al modelo de entorno FreeField únicamente en la ruta que lleva al modelo de oyente DirectPath. En cambio, la conexión hacia el modelo ReverbPath se realiza directamente, sin pasar por un modelo de entorno intermedio. Esto se debe a que el modelo ReverbPath no representa únicamente al oyente, sino que encapsula tanto al oyente como al entorno acústico en una única respuesta al impulso. Al tratarse de una BRIR (Binaural Room Impulse Response), la señal ya incluye tanto el filtrado asociado a la posición del oyente como la respuesta reverberante de la sala. En otras palabras, la sala y el oyente forman parte inseparable del mismo modelo. Por esta razón, no es necesario anteponer un modelo de entorno como FreeField en esa rama de la arquitectura.

```
"GeneralSettings": {
    "SampleRate": 48000,
    "BufferSize": 512,
    "BufferFrames": 4,
    "OSCListenPort": 10017,
},

"ModelsArchitecture": {
    "Listeners":["DefaultListener"],
    "ListenerModels":[
    {"ID":"DirectPath","Model":ListenerHRTFModel"},
    {"ID":"ReverbPath","Model":
"ListenerAmbisonicEnvironmentBRIRModel"}],
    "EnvironmentModels":[
    {"ID":"FreeField", "Model":
"FreeFieldEnvironmentModel"}],
    "BinauralFilters":[],
```

. *Figura 4: Fichero JSON de configuración para un caso de uso específico, donde se declaran un modelo de entorno de tipo FreeField y dos modelos de oyente: uno que realiza la convolución directa con HRTFs y otro que realiza convolución en el dominio Ambisónico con el BRIR de la sala*

Esta arquitectura híbrida permite mantener el detalle direccional de las fuentes cercanas, mientras que se optimiza el procesamiento de la parte reverberante, que puede compartirse entre múltiples fuentes. Además, al ser una arquitectura flexible y declarativa, permite adaptar fácilmente el sistema a diferentes casos de uso, desde simulaciones ligeras hasta configuraciones acústicamente detalladas.

6.2 Comunicación de BeRTA con Unity

La integración de Unity con BeRTA Renderer se realiza mediante un paquete específico de control OSC desarrollado para facilitar la comunicación entre ambos sistemas. Este paquete, disponible junto a BeRTA Renderer, permite enviar comandos para gestionar la escena sonora directamente desde Unity, sin necesidad de integrar la librería de audio en el motor gráfico. El diagrama de secuencia de la Figura 5 muestra el flujo de trabajo entre el paquete de Unity y BeRTA Renderer.

Para establecer la comunicación, el paquete de Unity envía un comando OSC inicial, el mensaje `/control/connect`. Este mensaje indica la dirección IP y el puerto en el que Unity espera recibir respuestas. BeRTA Renderer responde con el mismo comando, proporcionando su propia dirección IP y el puerto de escucha. Una vez completado este intercambio, Unity

queda suscrito a BeRTA Renderer y puede recibir tanto respuestas a sus solicitudes como actualizaciones de la simulación, incluidas aquellas generadas por terceras aplicaciones.

Una vez establecido el canal de comunicación, Unity debe enviar actualizar de forma continua la posición y orientación del oyente, es decir, del usuario que lleva el visor de realidad virtual. Estos datos se extraen, habitualmente, del objeto cámara principal en Unity, que sigue el movimiento del usuario en la escena.

El paquete OSC incluye scripts que, en cada frame, generan y envían los mensajes necesarios para actualizar la posición del oyente. Para ello, utilizan los comandos `/listener/location` y `/listener/orientation`, proporcionando como argumentos el identificador del oyente, sus coordenadas tridimensionales y los ángulos de rotación.

Del mismo modo, para cada fuente sonora virtual presente en la escena, Unity debe mantener actualizada su posición y orientación enviando mensajes OSC como `/source/location` y `/source/orientation`, usando como argumentos el identificador de la fuente y la posición y orientación en coordenadas tridimensionales, respectivamente.

Además, Unity puede enviar comandos adicionales para gestionar las fuentes de sonido en tiempo real. Algunos ejemplos son: `/source/loadSource`, para cargar una nueva fuente; `/source/play`, para iniciar la reproducción; y `/source/gain`, para ajustar su volumen. También se pueden gestionar detalles del renderizado como la activación o no de la simulación del ITD con el comando `/listener/enableITD`.

Muchos de los comandos OSC tienen implementada una respuesta de BeRTA Renderer, a través del comando `control/actionResult`. Con este comando se informa sobre el resultado de la acción ejecutada por parte del renderizador, si se ha llevado a cabo correctamente o si se ha producido un error, incluyendo una descripción del mismo.

BeRTA Renderer ofrece muchos otros comandos OSC, todos ellos operables en tiempo real. Estos permiten modificar parámetros de configuración de los modelos, así como cargar o eliminar distintos recursos. Todos los comandos OSC y su descripción están disponibles on-line en la documentación de la herramienta[1].

[1] https://grupodiana.github.io/BRT-Documentation/osc/

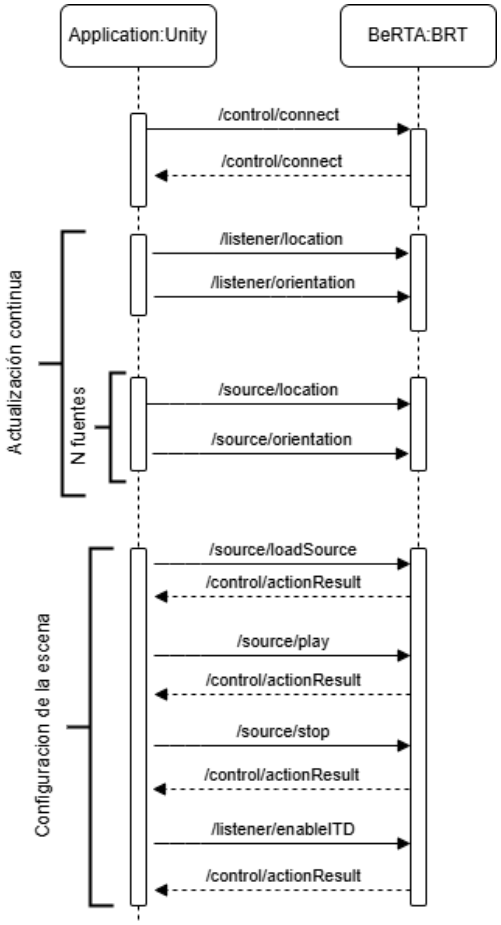


Figura 5: Diagrama de actividad del flujo de trabajo usando el paquete de Unity

El paquete OSC facilita la construcción de estos mensajes y ofrece funciones auxiliares para adaptar el sistema de coordenadas de Unity al que utiliza BRT, en caso de que sea necesario. Gracias a este enfoque, el motor gráfico Unity se mantiene completamente independiente del motor de renderizado acústico, lo que permite una arquitectura modular y escalable. Además, esta separación habilita configuraciones distribuidas en las que BeRTA Renderer puede ejecutarse en un ordenador distinto al que ejecuta la simulación visual, una ventaja especialmente útil en entornos exigentes o de investigación colaborativa.

7. Discusión y conclusión

La propuesta presentada en este trabajo combina un motor de renderizado acústico en tiempo real con una arquitectura modular y desacoplada del entorno gráfico, permitiendo su integración fluida en plataformas de realidad virtual como Unity. Esta separación entre el sistema de visualización y el de auralización no solo facilita la implementación técnica en distintos escenarios, sino que aporta una ventaja metodológica clara: la posibilidad de mantener el procesamiento sonoro

como un componente independiente, intercambiable y controlable, lo cual puede resultar útil en contextos de experimentación interactiva.

Aunque los motores de desarrollo como Unity y Unreal Engine incluyen soporte para audio espacial mediante integraciones con librerías como Steam Audio[1], Resonance Audio[2] o el Oculus Audio SDK[3], estas soluciones están orientadas principalmente a la creación de experiencias comerciales. Priorizan el rendimiento y la portabilidad, pero ofrecen escasa flexibilidad para modificar sus modelos, no están pensadas para experimentación científica y algunas han sido discontinuadas o carecen de soporte activo. Para los investigadores en psicoacústica, estas herramientas presentan importantes limitaciones: no permiten un control detallado de los modelos acústicos o binaurales, ni facilitan la reproducibilidad o la integración de nuevas simulaciones auditivas.

Existen algunas plataformas abiertas más comparables desde el ámbito científico, como Virtual Acoustics[4], que ofrece una potente infraestructura para la simulación acústica con salida binaural. Sin embargo, su enfoque está más centrado en el modelado físico del entorno, mientras que nuestra propuesta, BRT, prioriza una arquitectura modular ligera orientada al renderizado perceptual de bajo nivel, con baja latencia y a la experimentación con modelos auditivos. Esta modularidad permite construir diferentes cadenas de procesamiento acústico según el caso de uso, combinando distintos modelos de fuente, entorno y oyente. Esto resulta especialmente valioso en estudios donde se desee analizar el impacto perceptual de cada componente o personalizar la calidad de la interacción sonora. Además, gracias a su diseño como librería de cabeceras y su integración mediante OSC con motores gráficos como Unity, BRT facilita el uso en entornos de realidad virtual sin instalaciones complejas.

Otro aspecto fundamental es que BRT ha sido concebido desde el inicio como una herramienta abierta, documentada y trazable, orientada a la comunidad científica. A diferencia de muchas soluciones comerciales, que no detallan sus procedimientos internos, BRT permite conocer con precisión qué transformaciones se aplican a cada señal en cada etapa del proceso. Esta transparencia es esencial en el contexto de la investigación en acústica espacial e interacción sonora, donde la reproducibilidad exige que los métodos sean verificables y bien definidos. El uso de formatos estándar como SOFA, la documentación detallada y la estructura modular refuerzan este compromiso con la ciencia abierta y replicable.

Además, el hecho de que BRT sea una herramienta extensible ofrece una vía directa para la innovación. Los usuarios pueden modificar los modelos existentes o implementar otros nuevos, adaptando el sistema a objetivos de investigación específicos, ya sea en simulación física del entorno, en nuevos algoritmos de filtrado, o en estudios perceptuales. Esta apertura convierte a BRT no solo en una herramienta de aplicación, sino también en una plataforma para la investigación experimental en auralización y renderizado espacial.

En conclusión, la librería BRT ofrece un enfoque robusto, flexible y científicamente transparente para incorporar audio espacializado de alta calidad en entornos de realidad virtual. Su diseño modular, su arquitectura desacoplada del renderizado gráfico y su orientación hacia la ciencia reproducible lo hacen especialmente valioso para la comunidad investigadora en interacción, percepción e inmersión. Frente a soluciones cerradas o genéricas, BRT se posiciona como una herramienta que no solo permite usar audio espacializado, sino también entenderlo, controlarlo y explorarlo activamente en contextos de investigación y desarrollo.

Más allá del desarrollo técnico, el futuro de BRT también pasa por su uso como plataforma para la investigación empírica en psicoacústica. Las distintas funcionalidades que ofrece se basan en algoritmos que modelan fenómenos acústicos con implicaciones perceptuales concretas. La validación empírica de estos modelos, en términos de su eficacia para reproducir los indicios espaciales que emplea el sistema auditivo humano, constituye no solo una fase futura del desarrollo de la herramienta, sino también una línea de investigación en sí misma. En este sentido, BRT no se concibe únicamente como un motor de renderizado, sino como un laboratorio virtual para la exploración sistemática de los mecanismos de percepción espacial, abriendo así nuevas posibilidades en el estudio científico del oído humano en condiciones ecológicamente válidas y controladas.

Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo en el contexto del proyecto SONICOM (www.sonicom.eu), acuerdo de subvención nº 101017743 dentro del programa Horizonte 2020 de la Unión Europea; y del proyecto nacional español SONIX (PID2023-152547NB-I00).

[1] https://valvesoftware.github.io/steam-audio/doc/capi/index.html

[2] https://developers.google.com/resonance-audio/develop/overview

[3] https://developer.oculus.com/documentation/native/audio-spatializer-features//

[4] https://www.virtualacoustics.org

Referencias

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

Bergstrom, I., Azevedo, S., Papiotis, P., Saldanha, N., & Slater, M. (2017). The Plausibility of a String Quartet Performance in Virtual Reality. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 23(4), 1352–1359. https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2657138.

Blauert, J. (1997). Spatial hearing - the psychophysics of human sound localization. MIT Press. https://mitpress.mit.edu/books/spatial-hearing.

BRTLibrary. 2025. Grupo Diana. GitHub repository. https://github.com/GrupoDiana/BRTLibrary. Accessed March 24, 2025

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.

González-Toledo, D., Molina-Tanco, L., Cuevas-Rodríguez, M., Majdak, P., & Reyes-Lecuona, A. (2023). "The Binaural Rendering Toolbox. A virtual laboratory for reproducible research in psychoacoustics". In Proc. of Forum Acusticum 2023. Turin (Italy).

González-Toledo, D., Cuevas-Rodríguez, M., Molina-Tanco, L., Picinali, L., Reyes-Lecuona, A. "New Release of the Binaural Rendering Toolbox: Introducing Version 2.0". In Proc. of Forum Acusticum Euronoise 2025. Malaga (Spain).

Reyes-Lecuona, A., Bouchara, T., & Picinali, L. (2022). Immersive sound for XR. In M. Alcañiz, M. Sacco, & J. G. Tromp (Eds.), Roadmapping extended reality: Fundamentals and applications (pp. 75-102). Springer.

Serafin, S., Geronazzo, M., Erkut, C., Nilsson, N. C., & Nordahl, R. (2018). Sonic Interactions in Virtual Reality: State of the Art, Current Challenges, and Future Directions. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 38(2), 31–43. https://doi.org/10.1109/MCG.2018.193142628

Serafin, S. "Audio in Multisensory Interactions: From Experiments to Experiences," in Sonic Interactions in Virtual Environments (M. Geronazzo and S. Serafin, eds.), ch. 10, pp. 305–318, Cham: Springer International Publishing, 2023.

Serafin, S., Geronazzo, M., Erkut, C., Nilsson, N. C., & Nordahl, R. (2018). Sonic Interactions in Virtual Reality: State of the Art, Current Challenges, and Future Directions. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 38(2), 31–43. https://doi.org/10.1109/MCG.2018.193142628

"SOFA (Spatially Oriented Format for Acoustics) - Sofaconventions." [Online]. Available: https://www.sofaconventions.org/mediawiki/index.php/Main_Page. [Accessed: 01/04/2025].

Välimäki, V., Parker, J. D., Savioja, L., Smith, J. O., & Abel, J. S. (2012). Fifty Years of Artificial Reverberation. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 20(5), 1421–1448. https://doi.org/10.1109/TASL.2012.2189567.

Vorländer, M. (2020). Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality (RWTH Aachen University, Ed.; second). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51202-6

Wefers, F. (2015). Partitioned convolution algorithms for real-time auralization. In RWTH Aachen University (Vol. 20, Issue August). http://publications.rwth-aachen.de/record/466561

Wright, M., Freed, A., "Open Sound Control: A New Protocol for Communicating with Sound Synthesizers", International Computer Music Conference, Thessaloniki, Greece, 1997.Xie, B. (2013). "Head-Related Transfer Function and Virtual Auditory Display (Second Edi)". www.jrosspub.com.

Zotter, F., & Frank, M. (2019). Ambisonics. A Practical 3D Audio Theory for Recording, Studio Production, Sound Reinforcement, and Virtual Reality. Springer. http://www.springer.com/series/8109

.

INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 6, No 1 (2025)
ISSN 2695-6578

Comprendiendo la Perspectiva del Autismo en la IPO a través de la Experiencia: Lecciones y Reflexiones Valiosas

Understanding the Autism Perspective in HCI through Experience: Valuable Lessons and Insights

Yussy Chinchay
Departamento de Ingeniería Informática
Universidad Autónoma de Madrid
Madrid, España
yussy.chinchay@uam.es

Javier Gómez
Departamento de Ingeniería Informática
Universidad Autónoma de Madrid
Madrid, España
jg.escribano@uam.es

Germán Montoro
Departamento de Ingeniería Informática
Universidad Autónoma de Madrid
Madrid, España
german.montoro@uam.es

Recibido: 06.04.2025 | Aceptado: 05.06.2025
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.126

Palabras Clave

Autismo
Tecnologías de aprendizaje
Sistemas interactivos
Diseño Centrado en las Personas
Estudios empíricos en IPO

Resumen

La IPO tiene el potencial de mejorar significativamente el aprendizaje digital inclusivo de los niños con condición autista. Sin embargo, cuando sus perfiles cognitivos no se consideran cuidadosamente en el diseño de sistemas interactivos, existe el riesgo de marginar aún más a esta población. A pesar de las innovaciones tecnológicas, las prácticas actuales de la IPO a menudo enfrentan dificultades debido a una aplicabilidad limitada en el mundo real, la escasez de investigación empírica y, lo más crítico, la ausencia de una reflexión profunda sobre los desafíos prácticos de investigar con niños en el espectro, lo que limita las contribuciones del campo. Para abordar esta brecha, hemos desarrollado un proyecto de IPO a gran escala con el objetivo de diseñar un ecosistema de aprendizaje digital que involucre activamente a los niños en el espectro y su entorno en los procesos de diseño y evaluación a través de diversos estudios de caso. Las lecciones valiosas extraídas de este proceso empírico permiten a los investigadores comprender mejor la perspectiva del autismo en la IPO, promoviendo el desarrollo efectivo de sistemas interactivos adaptados a estos usuarios y ampliando el compromiso de la IPO con comunidades diversas.

Keywords

Autism
Learning technologies
Interactive systems
Human-Centered Design
Empirical studies in HCI

Abstract

HCI has the potential to greatly improve inclusive digital learning for children with autism conditions. However, when their cognitive profiles are not carefully considered in interactive system design, there is a risk of further marginalizing this population. Despite technological innovations, current HCI practices often struggle with limited real-world applicability, a shortage of empirical research, and, most critically, an absence of critical reflection on the practical challenges of researching with children with autism, ultimately limiting the field's contributions. To address this gap, we launched a large-scale HCI project aimed at designing a digital learning ecosystem that actively engages children with autism and their environment in both the design and evaluation processes across various case studies. The valuable lessons derived from this empirical process enable researchers to better understand the autism perspective in HCI, fostering the effective development of interactive systems tailored to these users and expanding HCI's engagement with diverse communities.

1. Introducción

La búsqueda de una educación inclusiva, que aboga por la igualdad de oportunidades para todos los estudiantes mientras se reconoce sus diversas necesidades, sigue enfrentando múltiples desafíos. Estas dificultades se hacen particularmente evidentes al abordar las necesidades de los niños con condición autista (CEA), una condición del neurodesarrollo que afecta a los individuos en distintos grados en áreas como la comunicación, la interacción social y los patrones de comportamiento repetitivos (Wing y Gould, 1979). Los niños en el espectro suelen requerir instrucción y apoyo adaptados para fomentar su independencia. Sin embargo, muchos entornos educativos tienen dificultades para alinearse eficazmente con sus necesidades de aprendizaje específicas.

En este contexto, la investigación en Interacción Persona-Ordenador (IPO), especialmente en el ámbito del empoderamiento educativo (Schneider, Eiband, Ullrich y Butz, 2018), tiene el potencial de desempeñar un papel transformador al ofrecer enfoques sistemáticos diseñados para ajustarse a los perfiles cognitivos de los estudiantes. No obstante, también puede contribuir a la marginación de los niños en el espectro si la optimización de las interacciones con el software no considera su modelo cognitivo (Dalton, 2013).

A pesar del crecimiento acelerado del software interactivo en las últimas dos décadas, las prácticas de IPO siguen enfrentando dificultades para atender adecuadamente a la comunidad del autismo. Las soluciones tecnológicas existentes, como dispositivos wearables, realidad aumentada, realidad virtual y robótica, ofrecen nuevas oportunidades para los niños en el espectro (Boyd et al., 2018; Mazzei et al., 2012; Saleh, Hanapiah y Hashim, 2021; Simm et al., 2016; Washington et al., 2016). Sin embargo, los elevados costos, la necesidad de soporte técnico especializado y la limitada aplicabilidad en entornos reales constituyen barreras significativas para su adopción generalizada. La pandemia de COVID-19 subrayó estas limitaciones, ya que muchos sistemas interactivos no lograron facilitar una educación remota efectiva ni ofrecer apoyo adecuado a los niños en el espectro durante ese periodo.

En la literatura actual de IPO, una preocupación central es que muchos estudios continúan siguiendo un modelo médico centrado en la rehabilitación (Mankoff, Hayes y Kasnitz, 2010), el cual enfatiza los déficits individuales y busca que los niños se adapten a normas neurotípicas (Chistol, Turcu y Danubianu, 2023; Mobahi y Karahalios, 2005), en lugar de reconocer y valorar sus fortalezas y habilidades únicas. Además, aunque el autismo se reconoce como un espectro diverso con distintos niveles de impacto, los investigadores en IPO a menudo agrupan a los participantes bajo la etiqueta genérica de "niños con autismo" (Cecil et al., 2021; Chistol et al., 2023; Washington et al., 2016), sin prestar suficiente atención a sus perfiles específicos y centrándose principalmente en individuos con CEA nivel 1 nivel 1[1].. Esta simplificación reduce el alcance de los hallazgos de investigación y dificulta el diseño de sistemas interactivos verdaderamente inclusivos para niños a lo largo del espectro.

Asimismo, la falta de investigación empírica sigue siendo una limitación significativa, ya que muchos estudios de IPO no incluyen usuarios con autismo en sus evaluaciones, sino que se basan en modelos teóricos, revisiones de literatura o datos de terceros (Darejeh y Singh, 2013; Putnam y Chong, 2008).

No obstante, la omisión más evidente en la investigación actual de IPO es la ausencia de una reflexión crítica sobre las experiencias y desafíos que enfrentan los investigadores al trabajar directamente con niños en el espectro, así como con los profesionales y familias involucrados en su apoyo. Son pocos los estudios que proporcionan evidencia empírica de primera mano sobre los aprendizajes obtenidos, y esta carencia dificulta la evolución del campo.

1.2 Fundamentos de este Proyecto

Durante la pandemia de COVID-19, gran parte de la literatura existente se centró en el impacto de la crisis en la salud física, clínica y mental de las personas con autismo (Dahiya, DeLucia, McDonnell y Scarpa, 2021; Doenyas y Shohieb, 2021; Rosli, Amin, Suryanto e Ilias, 2022). Sin embargo, hubo una notable ausencia de investigaciones que abordaran cómo la Interacción Persona-Ordenador (IPO) podría haber asistido a esta población durante ese período.

En respuesta a esta brecha y reconociendo las importantes barreras que enfrentaban los niños en el espectro para acceder a apoyo remoto—lo que resultó en la exclusión total de muchos de ellos de la asistencia educativa (Chinchay, Torrado, Gómez y Montoro, 2023)—iniciamos un proyecto de investigación en IPO a gran escala. Nuestro objetivo fue

[1] El Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5) clasifica el autismo en tres niveles de gravedad según el grado de apoyo requerido, siendo el nivel 1 el de menor apoyo.

diseñar un ecosistema digital adaptado para mejorar el proceso de aprendizaje, la autoconciencia y la independencia de los niños en el espectro, utilizando plataformas web y móviles. En lugar de tratar de modificar o corregir sus necesidades, buscamos crear tecnologías interactivas que se adapten a ellos. Este enfoque implicó considerar sus perfiles específicos e involucrar activamente tanto a los niños como a sus entornos de apoyo en los procesos de diseño y evaluación.

Nuestra investigación se desarrolló en varias fases a través de diversos estudios de caso, facilitados por una colaboración multidisciplinaria entre ingenieros, psicólogos, educadores y expertos en autismo.

En este artículo, adoptamos un enfoque crítico necesario, reflexionando sobre los desafíos y experiencias del trabajo en IPO con niños en el espectro a lo largo del proceso de diseño de un ecosistema digital de aprendizaje interactivo. Confiamos en que las valiosas lecciones y perspectivas obtenidas al comprender la perspectiva del autismo contribuirán al avance de la práctica en IPO, permitiendo una mayor inclusión de comunidades diversas y generando beneficios más amplios.

2. Ecosistema de Aprendizaje Digital

Nuestro principio de diseño para explorar los requisitos clave del ecosistema digital de aprendizaje propuesto se fundamentó en una comprensión más profunda de la perspectiva del autismo dentro de IPO. Este enfoque requería situar a los niños en el espectro en el centro del proceso de desarrollo, destacando la importancia de moldear el sistema interactivo en función de sus necesidades y fortalezas únicas, en lugar de imponer marcos convencionales (Wobbrock, 2017). Al adoptar un enfoque de Diseño Centrado en las Personas (DCP) (ISO, 2010), ampliamos este enfoque para incluir no solo a los niños, sino también a sus familias y a los profesionales involucrados en su apoyo educativo.

El proceso de DCP para este proyecto a gran escala se estructuró en torno a tres estudios de caso (Fig. 1), cada uno abordando una fase diferente completada hasta el momento: identificación y definición del contexto y los requisitos del ecosistema, diseño y desarrollo del sistema interactivo con una evaluación piloto que involucró a niños en el espectro, y validación con profesionales en autismo. Este enfoque iterativo e incremental permitió una retroalimentación continua y la orientación de expertos multidisciplinarios, lo que facilitó la adaptación y refinamiento del sistema para responder mejor a las necesidades específicas de la comunidad del autismo.

Si bien los métodos y resultados de cada estudio de caso se esbozarán brevemente para proporcionar contexto, nuestro enfoque principal se centra en analizar las valiosas lecciones y conocimientos adquiridos a lo largo de toda la experiencia.

2.1 Metodología

2.1.1 Recopilación de datos

Se llevó a cabo un estudio transversal durante la pandemia de COVID-19 como un primer acercamiento para comprender las experiencias de aprendizaje de niños con autismo con sistemas interactivos. Para ello, distribuimos una encuesta en línea dirigida a profesionales del autismo y familiares de niños con autismo con el fin de recopilar información relevante.

Entre los encuestados (n = 295), 147 (50%) eran docentes, 75 (25%) familiares de niños con autismo, 47 (16%) personal clínico especializado en autismo y 26 (9%) expertos en autismo ajenos al ámbito educativo.



Figura 1: Enfoque de Diseño Centrado en las Personas (DCP) estructurado en tres estudios de caso. Los métodos incluyeron análisis temático, evaluación heurística, estudios con usuarios que involucraron tanto a niños con autismo como a expertos en autismo, además de grupos focales

2.1.1 Análisis de datos

Los resultados de la encuesta proporcionaron perspectivas valiosas de expertos y fueron analizados mediante los siguientes métodos:

1. Análisis temático. Se utilizó un enfoque cualitativo para mapear los distintos sistemas interactivos multiplataforma involucrados, examinando sus características, las áreas cognitivas que abordan, sus fortalezas, debilidades, limitaciones y su impacto general en el proceso de aprendizaje de los niños con autismo.
2. Evaluación heurística. Se evaluó la calidad y efectividad del software interactivo identificado a partir de la recopilación de datos primarios, realizando un análisis detallado para examinar sus funcionalidades y restricciones.

2.2 Resumen de resultados clave

El análisis temático reveló las preocupaciones y expectativas de los profesionales de autismo y familiares en relación con las experiencias de aprendizaje digital de los niños. Los resultados de este conjunto de datos único, obtenido de primera mano, proporcionaron una representación auténtica del software interactivo utilizado como apoyo educativo, detallando especificaciones como plataformas, dispositivos, disponibilidad y las áreas cognitivas abordadas (cita anónima). Se identificaron desafíos significativos en el uso de estas tecnologías de aprendizaje interactivo, incluyendo la brecha digital, las limitadas opciones de interacción y personalización, y mecanismos inadecuados para el apoyo a la atención y concentración (cita anónima).

La evaluación heurística complementó estos resultados al proporcionar una clasificación cualitativa de los sistemas de aprendizaje interactivo más utilizados y destacar problemas críticos adicionales. Entre ellos, se identificó el uso limitado de sistemas de comunicación diversos, la escasa adaptación de la visualización de resultados para la comprensión de los niños con autismo, la baja usabilidad de aplicaciones de asistencia —es decir, aquellas diseñadas específicamente para potenciar la autonomía de personas con necesidades especiales (Suhaila y Nordin, 2022)—y la reducida accesibilidad de aplicaciones convencionales (cita anónima).

Los resultados de este estudio de caso sirvieron como una introducción a la perspectiva del autismo a través de los conocimientos de expertos y proporcionaron una base sólida para contextualizar los requisitos necesarios para abordar las barreras identificadas. Como respuesta, propusimos un ecosistema digital de aprendizaje en el que toda la red de apoyo (profesionales del autismo y familiares) contribuye al proceso educativo del niño, fomentando a la vez una mayor autonomía. Para ello, adoptamos un enfoque modular, organizando los componentes y requisitos según las necesidades específicas de cada grupo de usuarios (cita anónima).

3. Estudio piloto

En nuestro segundo estudio de caso, nos centramos en el diseño del módulo principal de nuestro ecosistema digital de aprendizaje, el dedicado al perfil del estudiante. El objetivo fue desarrollar actividades de aprendizaje para niños con autismo que abordaran los desafíos identificados en nuestro trabajo previo, en particular, la dificultad de la gestión del enfoque atencional dentro del sistema y la necesidad de personalización para adaptarse a cada niño.

3.1. Metodología

3.1.1 Diseño del prototipo

El diseño del prototipo con estrategias de atención se desarrolló siguiendo las directrices de profesionales del autismo y en función de los requisitos y conocimientos obtenidos en nuestro estudio de caso previo.

Para garantizar un alto nivel de personalización, creamos un panel de configuración (Fig. 2) dirigido a profesionales del autismo y familiares, permitiéndoles adaptar las estrategias de atención a las necesidades específicas de cada niño. Los parámetros personalizables se agruparon en cuatro categorías: 1) Opciones de comunicación, que permitían presentar la información combinando texto, audio y pictogramas (símbolos visuales simples que representan objetos o acciones); 2)opciones de temporización; 3) opciones de notificación, que ofrecían señales auditivas o visuales para marcar momentos clave; y 4) opciones de recordatorio, diseñadas para ayudar a reorientar la atención del niño durante períodos de inactividad mediante estímulos visuales (como ventanas emergentes o animaciones, mostradas en la Fig. 2) y/o señales auditivas. Además, se podían ajustar configuraciones globales como la duración de la actividad, el nivel de dificultad y el tiempo de detección de inactividad.



Figura 2: Estudio piloto: Panel de configuración para estrategias personalizadas de atención (izquierda), animación para la restauración de la atención y el enfoque (centro), y niño realizando actividades de atención durante una sesión de línea base (derecha).

Para evaluar estas estrategias, también desarrollamos tres actividades basadas en juegos (Pares, Contar objetos y Secuencias de series), seleccionadas específicamente por su potencial para estimular la memoria a corto plazo, la atención y la secuenciación lógica. Cada actividad incluía un tutorial inicial para guiar al niño y minimizar errores.

3.1.2 Participantes

A diferencia de la mayoría de las investigaciones sobre autismo, centrados principalmente en países desarrollados (Sharmin et al., 2018), tuvimos la oportunidad de llevar a cabo nuestro estudio piloto en el Sur Global. Colaboramos con la Fundación CENIDI en Colombia, un centro dedicado al desarrollo integral e inclusión social de jóvenes con discapacidades cognitivas. Seleccionamos un grupo de niños (n=5) que representaban una diversidad de habilidades cognitivas, estilos de aprendizaje y niveles de autismo. Estos niveles incluyeron 1 ("requiere apoyo"), 2 ("requiere apoyo sustancial") y 3 ("requiere apoyo muy sustancial") (American Psychiatric Association, Association, et al., 2013). Los perfiles detallados de los niños participantes se presentan en la Tabla 1.

3.1.3 Diseño experimental y procedimientos

Se realizaron sesiones individuales en las que el sistema recopiló automáticamente datos sobre diversas variables relacionadas con la actividad, incluyendo configuraciones personalizadas, duración de la actividad, frecuencia de interacción, intervalos de tiempo entre interacciones y resultados de las tareas. Simultáneamente, se realizó una grabación en video de las sesiones mientras un investigador tomaba notas sobre el nivel de compromiso, la atención y el comportamiento general de los niños durante las tareas.

Tabla 1: Perfiles de los niños con CEA participantes en el estudio piloto

Niño	Sexo	Edad	Diagnóstico	Nivel CEA	Otras características
A	Hombre	16	CEA, Trastorno del Desarrollo Intelectual, Lenguaje deteriorado	1	Buen nivel cognitivo y excelente memoria
B	Hombre	13	CEA, Trastorno de Comportamiento	2	Comportamiento ansioso
C	Hombre	14	CEA, Discapacidad Intelectual Leve, Trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TADH)	1	Comunicador efectivo y altamente curioso
D	Mujer	12	CEA	3	Cognición y comunicación limitada
E	Mujer	15	CEA, Discapacidad Intelectual, Trastorno generalizado del desarrollo	3	Cognición limitada y problemas de comunicación severos

El estudio empleó un método de investigación de caso único con una línea base múltiple, un enfoque que ha demostrado ser eficaz para abordar las necesidades de poblaciones reducidas (Horner et al. 2005). El análisis incluyó una fase de línea base sin estrategias de atención activadas, seguida de fases de intervención y post-intervención en las que se implementaron dichas estrategias. Esta configuración permitió evaluar de manera comparativa el desempeño atencional en diferentes condiciones.

3.2 Resumen de resultados clave

Este estudio proporcionó información sobre las experiencias de interacción de los niños durante las actividades de aprendizaje y evaluó el impacto de estrategias de atención personalizadas según el perfil de cada niño. Nuestros resultados preliminares (cita anónima) resaltaron los posibles beneficios de estas estrategias. Algunos niños demostraron una mayor capacidad para participar en actividades digitales con menor intervención de los terapeutas, a pesar de no estar acostumbrados a trabajar de forma independiente y, en algunos casos, requerir más tiempo o interacciones para completar las tareas. Además, los perfiles únicos y detallados de nuestros participantes sugieren que ciertas consideraciones adicionales, como un entrenamiento previo en papel, podrían ser beneficiosas para niños con autismo de nivel 3 o en casos donde los factores contextuales influyen en su alfabetización digital.

A través de este estudio piloto, también identificamos principios clave de diseño para la creación de sistemas interactivos dirigidos a niños con autismo. Parte de estas directrices incluyen la importancia de considerar cómo las instrucciones auditivas pueden ayudar a regular comportamientos relacionados con la ansiedad, el uso de estímulos sonoros para recuperar la atención, la incorporación de señales visuales para dirigir el enfoque y la gestión de desafíos asociados a interacciones hiper-táctiles, las cuales pueden generar respuestas no deseadas, como hacer zoom o salir involuntariamente del sistema.

4. Validación por parte de Expertos en Autismo

El ecosistema digital de aprendizaje propuesto fue diseñado no solo para adaptarse y apoyar las necesidades y fortalezas de los niños con condición autista, sino también para asistir a los profesionales y familiares que los acompañan. Este ecosistema les permite crear y personalizar actividades de aprendizaje adaptadas a las preferencias de cada niño, además de realizar un seguimiento eficaz de su progreso. En este sentido, nuestro tercer y más reciente estudio de caso se centró en evaluar el módulo de creación de actividades del ecosistema; la herramienta de autor. Asimismo, buscamos aprovechar la experiencia de profesionales en autismo para validar el ecosistema digital de aprendizaje, en particular su capacidad de atender las diversas necesidades de los niños con autismo tras incorporar las lecciones obtenidas en el estudio anterior.

4.1 Metodología

4.1.1 Diseño del prototipo

A partir del primer estudio de caso, recopilamos información sobre cómo los profesionales en autismo se adaptaron al cambio hacia el aprendizaje digital durante la pandemia por COVID-19. En ese periodo, utilizaron diversos sistemas interactivos multiplataforma para crear recursos que apoyaran el aprendizaje de los niños con condición autista, dado que no existía una solución única que integrara todas sus necesidades. Basándonos en el contexto y los requerimientos identificados, diseñamos un prototipo usando tecnologías web para el módulo de creación de actividades del ecosistema. Este módulo permite crear actividades digitales en formato privado o público, posibilitando que dichas actividades se compartan entre profesionales y puedan ser reutilizadas por los familiares.

El proceso de creación está estructurado en una serie de pasos, donde los profesionales pueden optar por generar una actividad a partir de una plantilla predefinida, un archivo PDF existente (para digitalizarlo y hacerlo interactivo), o una fuente externa. Las plantillas predefinidas se basan en los tipos de actividades más utilizados según el feedback profesional, e incluyen: asociación de conceptos, categorización, asociación de pares, secuenciación y cuestionarios. Todas las actividades pueden personalizarse según el perfil del niño mediante un panel de configuración.

Durante esta nueva fase de prototipado, también incorporamos las pautas derivadas del estudio anterior (cita anónima) al ecosistema completo con el fin de validar una versión mejorada del sistema interactivo.

4.1.2 Participantes

En este estudio colaboramos con AUCAVI, un centro de educación especial en España que acompaña a estudiantes con condición autista desde la educación infantil hasta su

transición a la vida adulta. El centro cuenta con un equipo multidisciplinar compuesto por psicólogos, docentes y logopedas. La edad de los profesionales en autismo que participaron en el estudio (n = 12) osciló entre los 20 y los 59 años ($\bar{x}$ = 37, σ = 10), con 8 mujeres y 2 hombres. De los participantes, el 60 % tenía un nivel de usuario en tecnologías, el 30 % un nivel avanzado y el 10 % poca o ninguna experiencia.

4.1.3 Prueba de usabilidad

Para evaluar el proceso de creación de actividades de aprendizaje, se seleccionaron dos tipos de actividades (asociación de conceptos y categorización), a crear mediante una plantilla predefinida o un archivo PDF. Los participantes se dividieron en dos grupos según el tipo de actividad y el método asignado para la creación.

Las pruebas se realizaron de forma individual con cada profesional en autismo, comenzando con una breve introducción al ecosistema. Durante la sesión, se grabó la pantalla de los participantes para analizar su interacción con el sistema. La evaluación se centró en los siguientes parámetros: efectividad (porcentaje de éxito en la finalización de tareas dentro del tiempo asignado), eficiencia (tiempo total requerido para completar las tareas), errores y satisfacción. Para medir este último aspecto, se aplicó un cuestionario SUS posterior a la prueba, con el fin de valorar la usabilidad percibida e identificar posibles problemas del módulo de creación.

4.1.4 Grupo focal

Este método tiene como objetivo explorar el ecosistema digital de aprendizaje en su conjunto. Busca validar, a partir de la opinión de expertos, si el diseño satisface efectivamente las necesidades de los niños con condición autista, así como descubrir nuevas consideraciones aún no contempladas.

Se siguió una agenda semiestructurada que comenzó con la obtención del consentimiento informado de los participantes. El moderador, uno de los autores del estudio, explicó el propósito del ecosistema digital de aprendizaje, realizó una demostración y planteó preguntas semiestructuradas para facilitar una discusión moderada. Toda la sesión fue grabada en audio y video. Para el análisis de los datos, se transcribió la discusión y se aplicó un análisis temático.

4.2 Resumen de resultados clave

Aunque los resultados aún son preliminares, la evaluación del ecosistema de aprendizaje ha sido bastante positiva. La prueba de usabilidad demostró que todos los participantes lograron completar las tareas, con un tiempo promedio de finalización de 5 minutos. Además, se observó que los recursos creados a partir de archivos PDF se completaron más rápidamente en todos los casos, independientemente del tipo de actividad. Este resultado fue bien recibido por los profesionales, ya que les permite digitalizar y hacer interactivos de forma sencilla los recursos en formato papel que ya utilizan. En cuanto a la satisfacción, se obtuvo una puntuación de 85 en el cuestionario SUS, lo que indica un nivel aceptable de usabilidad del módulo de creación de actividades. Asimismo, se identificaron solo algunos errores, los cuales se categorizaron como problemas de comprensión e interfaz, y serán abordados en futuras iteraciones de desarrollo.

En lo relativo a la validación del sistema, se verificó que el ecosistema abordó eficazmente todos los temas emergentes identificados en el grupo focal. Estos temas incluyeron la personalización de la aplicación, enfoques de comunicación, diseño de interfaz sencilla, mecanismos de atención y aprendizaje sin errores. La única consideración adicional nueva fue la posibilidad de personalizar el estímulo auditivo para recuperar la atención. Estos temas se desarrollarán en la siguiente sección, ya que no solo validan los requisitos del sistema, sino que también enriquecen la comprensión de la perspectiva autista en IPO.

5. Lecciones y Reflexiones Valiosas

Diseñar sistemas interactivos para niños con condición autista es un proceso complejo que requiere comprender y abordar la diversidad de sus características. En esta sección se presenta una recopilación de lecciones y reflexiones valiosas obtenidas a lo largo del proceso empírico de diseño de un ecosistema digital de aprendizaje para niños con condición autista, fundamentado en un enfoque metodológico y científico. Estas reflexiones ofrecen consideraciones críticas para abordar eficazmente las necesidades únicas de los niños dentro del espectro y avanzar en la práctica de la IPO hacia el desarrollo de tecnologías de aprendizaje significativas.

5.1 La inspección fallida de IPO

5.1.1 Explorar el mundo real

La investigación en autismo requiere un enfoque práctico que conecte el conocimiento teórico con aplicaciones reales. Sin embargo, muchos estudios en IPO no incluyen a usuarios con condición autista en sus evaluaciones, y se basan en exceso en modelos teóricos, revisiones bibliográficas o datos de fuentes

secundarias (Darejeh y Singh, 2013; Putnam y Chong, 2008). Estos enfoques a menudo pasan por alto las realidades que enfrentan los niños con autismo, sus familias y educadores. La representación auténtica es esencial para capturar sus necesidades, preferencias y desafíos específicos al interactuar con tecnologías de aprendizaje.

5.1.2 Más allá de las tecnologías de asistencia

Una limitación frecuente en la investigación en IPO sobre autismo es asumir que las tecnologías de asistencia constituyen el único o principal medio de apoyo para esta comunidad (Kraleva y Kralev, 2018; Larco et al., 2018). Esta investigación resalta las posibilidades que ofrecen las tecnologías convencionales, lo que no solo amplía el espectro de recursos disponibles, sino que también reduce la dependencia de herramientas especializadas, que pueden ser costosas o de difícil acceso (Lang et al., 2014). Superar este enfoque requiere un cambio de paradigma en el diseño IPO de tecnologías, promoviendo una integración que combine las fortalezas de tecnologías de asistencia y convencionales para fomentar la inclusión.

5.1.3 Sin mantenimiento, sin impacto

Nuestros estudios identificaron una limitación significativa en la investigación en IPO: su corto ciclo de vida. Muchos trabajos se enfocan en el desarrollo de prototipos o en evaluaciones en entornos controlados, pero descuidan la viabilidad a largo plazo de estas herramientas. Para lograr un impacto sostenido, los investigadores en IPO deben considerar el mantenimiento y el soporte continuo como elementos esenciales del diseño tecnológico. La aplicación de asistencia #SoyVisual, en su versión móvil, ilustra esta problemática. A pesar de haber sido altamente valorada por profesionales y familias, dejó de estar disponible en versiones recientes de los sistemas operativos debido a la falta de mantenimiento.

5.1.4 Limitar ads en CEA

Las compras integradas en las aplicaciones y la publicidad intrusiva generan barreras de accesibilidad para los niños con condición autista. Si se requiere recurrir a estos modelos de ingreso, se recomienda que la publicidad esté cuidadosamente diseñada: restringida a perfiles de educadores o cuidadores en sistemas multiusuario, o bien presentada como banners estáticos y no intrusivos, fuera del área principal de aprendizaje, para asegurar una interacción fluida y enfocada.

5.2 El espectro y su contexto

5.2.1 Niveles CEA, una guía básica

La clasificación del DSM-V del autismo en tres niveles de apoyo (American Psychiatric Association et al., 2013) ofrece a los investigadores en IPO un marco inicial para adaptar los diseños a distintas necesidades de los usuarios. No obstante, estos niveles son solo un punto de partida, ya que el autismo se manifiesta de forma única en cada individuo. A pesar de esta complejidad, muchos estudios abordan el autismo de manera general (Cecil et al., 2021; Chistol et al., 2023; Washington et al., 2016) sin considerar los niveles o necesidades específicas, lo que limita la profundidad y aplicabilidad de los hallazgos. Para obtener resultados significativos, la investigación en IPO debe contextualizar los diseños en función de perfiles concretos dentro del espectro, evitando generalizaciones.

5.2.2 El contexto amplía el espectro

La complejidad del autismo se ve profundamente influida por factores como el género, la edad, condiciones asociadas y el contexto socioeconómico (Martínez-González et al., 2023). En nuestro estudio piloto en el Sur Global, los niños enfrentaron un impacto exacerbado del autismo debido a diagnósticos tardíos, estigmas culturales, atención médica limitada y baja alfabetización digital. Abordar estas desigualdades exige que la IPO supere los modelos tradicionales basados en contextos del primer mundo (Sharmin et al., 2018) e integre perspectivas de regiones subrepresentadas.

5.3 Potenciar la comunicación

5.3.1 Pensamiento abstracto

El nivel de abstracción que un niño con autismo puede procesar es un aspecto fundamental en el diseño de sistemas de aprendizaje. Si bien los pictogramas son de uso común, la comunidad de IPO debe evitar tratarlos como una solución universal. Como comentó una profesional del autismo:

> *"Las imágenes reales son las más fundamentales porque son más fáciles de comprender para los niños. Con algo más de abstracción, los niños pasan a los pictogramas. Luego están los dibujos, aunque los usamos con menos frecuencia. El último nivel sería la palabra escrita."*

A continuación, se presenta un análisis descriptivo e inferencial de los resultados obtenidos en la búsqueda realizada sobre la evolución, tendencias, artículos, documentos y demás trabajos relacionados con la usabilidad y accesibilidad a lo largo del tiempo. Como se mencionó antes, el estudio se enfocó en identificar a los autores más relevantes, los artículos con mayor número de citas, las revistas más frecuentemente utilizadas, la producción científica por país y las afiliaciones de los investigadores, así como las conexiones existentes dentro del dominio. Este enfoque permitió evaluar el estado actual de la investigación en el área y detectar las tendencias, desafíos y oportunidades para futuras investigaciones.

5.3.2 Enfoques comunicativos

Dada la diversidad en los niveles de abstracción, los sistemas de aprendizaje deben incorporar una combinación de audio, texto y pictogramas en su diseño, personalizada según las necesidades individuales. Esta personalización y combinación de distintos enfoques comunicativos —rara vez observada en tecnologías existentes acorde a los resultados del caso de estudio 1— puede empoderar la participación y expresión de los niños dentro de los entornos de aprendizaje.

5.3.3 Auto-instrucción

Fomentar la autonomía en los niños con condición autista es un objetivo central en el diseño de sistemas digitales de aprendizaje eficaces. Un enfoque prometedor consiste en presentar las instrucciones en primera persona, transformándolas en enunciados autodirigidos (por ejemplo, “Yo observo y emparejo las cartas”). Para maximizar su impacto, estas instrucciones deben ser claras, concisas y adaptadas a las diferentes capacidades cognitivas.

5.4 El ecosistema de apoyo

5.4.1 Entorno colaborativo

Diseñar para niños con autismo requiere un enfoque holístico que involucre a su entorno de apoyo, incluidos los profesionales del autismo (docentes, terapeutas, psicólogos) y los familiares. Involucrarlos activamente proporciona una visión invaluable de las necesidades de los niños. Además, la participación de la familia ha demostrado mejorar significativamente el proceso de aprendizaje, como se evidenció en nuestros resultados del estudio de caso 1.

5.5 Esenciales de la interfaz

5.5.1 Diseño simple para fomentar autonomía

Promover un uso independiente requiere interfaces simples e intuitivas que minimicen la sobrecarga de contenido y aseguren una navegación amigable dentro de un espacio de trabajo estructurado y organizado. Los elementos clave deben posicionarse de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha en la interfaz. Además, probar los diseños con niños con condición autista es esencial para garantizar la accesibilidad y mitigar posibles factores estresantes. Esta pauta cobra especial importancia en aplicaciones de uso general o comerciales, que suelen ser más complejas y pueden requerir apoyo externo de padres o educadores para su uso apropiado.

5.5.2 Mejorar la experiencia de usuario

Nuestra investigación evidenció que muchas tecnologías de asistencia presentan interfaces desactualizadas que no siguen pautas de usabilidad. Si bien la simplicidad es clave, la experiencia de usuario debe mantenerse atractiva y motivadora. Diseñar interfaces eficaces requiere equilibrar la simplicidad con elementos interactivos y dinámicos que capten la atención y fomenten la interacción.

5.5.3 Cuidar la claridad de diseño

Un diseño claro y sin ambigüedades es esencial en sistemas de aprendizaje dirigidos a niños con autismo. Botones, íconos y otros elementos deben corresponder al nivel de abstracción de los niños e incluir apoyos visuales. Por ejemplo, un botón de cierre de ventana sin etiqueta (“x”) puede no ser comprensible; en su lugar, es preferible usar botones con mensajes claros o pictogramas que indiquen su función.

5.5.4 Gestión de estereotipias

Los niños con condición autista pueden manifestar estereotipias —movimientos repetitivos e involuntarios— que interfieren con las interacciones táctiles, produciendo acciones no intencionadas. Según nuestra experiencia en el caso de estudio 2, estrategias como bloquear la pantalla para evitar salidas accidentales o desactivar el zoom pueden reducir estas interrupciones. Además, los sistemas deben distinguir entre interacciones intencionales y no intencionales, especialmente en mecanismos de monitoreo de inactividad o atención. Detectar patrones como múltiples toques rápidos o simultáneos permite identificar acciones no intencionadas y adaptar las respuestas del sistema en consecuencia.

5.5.5 'Arrastrar y soltar' configurable

Se recomienda mantener configurable la interacción de 'arrastrar y soltar' (drag and drop). Aunque muchos profesionales sugieren evitar esta funcionalidad debido a posibles dificultades en la motricidad fina de los niños con autismo, nuestra experiencia en el caso de estudio 2 muestra que muchos niños encuentran esta interacción más natural, incluso aquellos con bajo conocimiento digital. Por ello, abogamos por hacerla configurable, permitiendo activarla o no según las necesidades y preferencias individuales.

5.6 Personalización como clave del éxito

5.6.1 Panel de personalización

> *"Al final, no habrá una configuración que funcione para todos. Cada niño es diferente, y la actividad debe adaptarse a sus necesidades individuales." – Profesional de autismo*

Las tecnologías de aprendizaje deben incluir un panel de configuración robusto que permita a educadores y familiares adaptar el sistema a los requerimientos específicos de cada niño. Con base en esta investigación, se recomiendan opciones de personalización que incluyan estrategias de atención (por ejemplo, temporizadores, notificaciones, estímulos auditivos/visuales, detección de inactividad y señales para recuperar la atención), funcionalidad de arrastrar y soltar, niveles de dificultad de las actividades, duración, recompensas personalizadas y enfoques de comunicación. Además, opciones simplificadas y visualmente accesibles pueden empoderar a los niños para tomar decisiones, como establecer la duración de la actividad o elegir el tipo de recompensa.

5.6.2 Herramientas de autor

Fortalecer el entorno de apoyo al autismo con herramientas de autor permite la creación de contenido personalizado que enriquezca el aprendizaje digital. Muchos sistemas existentes se centran en dominios cognitivos específicos, lo que obliga a educadores y familiares a gestionar múltiples aplicaciones o crear recursos complementarios. Para resolver esta limitación, los sistemas deben incluir herramientas que simplifiquen la creación de recursos orientados a una gama más amplia de habilidades y objetivos de aprendizaje. En nuestro caso de estudio 3, validamos que el uso de una selección de plantillas predefinidas, basadas en los tipos de actividades más utilizadas, facilitaba la creación de un amplio rango de actividades que abarcaban tanto diferentes áreas cognitivas como diversas edades de los usuarios.

5.7 Replantear el aprendizaje digital

5.7.1 Brechas en el aprendizaje

Nuestra investigación identificó desigualdades en el enfoque de los sistemas de aprendizaje para niños con condición autista, revelando oportunidades para el desarrollo. En particular, en nuestro caso de estudio 1 se identificaron brechas en las habilidades cognitivas abordadas, así como un desbalance en la cantidad y calidad del apoyo ofrecido, y en la disponibilidad de recursos adaptados a distintas lenguas y grupos etarios. Las tecnologías de aprendizaje deben ajustarse tanto a las etapas del desarrollo como a las necesidades diversas de sus usuarios.

5.7.2 (Auto)percepción de aprendizaje

Algunos sistemas de aprendizaje interactivo carecen de opciones adecuadas para el seguimiento de actividades, o bien presentan esta información de manera compleja, a través de gráficos o estadísticas diseñadas exclusivamente para profesionales y familiares. Para fomentar la conciencia del progreso en los propios niños, se deben integrar representaciones visuales simplificadas, alineadas con sus capacidades cognitivas y de abstracción.

5.7.3 Estrategias de atención

Mantener la concentración durante las actividades digitales es un desafío crítico para los niños con autismo. Los mecanismos eficaces identificados en esta investigación incluyen temporizadores, estímulos auditivos, notificaciones y animaciones. Por ejemplo, los estímulos auditivos resultan especialmente útiles para recuperar la atención, mientras que las animaciones resaltan información clave que favorece el reenfoque. Estas herramientas deben ser personalizables para adaptarse a los distintos perfiles, permitiendo estrategias de atención ajustadas a cada caso.

5.7.4 Audio para regular conducta y concentración

Los estímulos de audio cumplen una doble función en los sistemas interactivos, como se evidenció en nuestro estudio piloto. Pueden reducir la ansiedad, generar una sensación de calma y facilitar el inicio de las actividades de aprendizaje. Asimismo, la incorporación de audio en los elementos interactivos de la interfaz contribuye a marcar un ritmo de aprendizaje y a fomentar la repetición oral, un recurso clave

para estimular el desarrollo del lenguaje. Esta estrategia resultó especialmente efectiva en nuestro caso de estudio 2, con niños con autismo en niveles 2 y 3 de apoyo.

5.7.5 Ampliar opciones de interacción

Las tecnologías de aprendizaje actuales suelen ofrecer métodos de interacción limitados. Introducir un avatar que guíe al niño durante las actividades podría aumentar su motivación y compromiso. Los avatares también pueden aliviar la presión social de la interacción cara a cara, promoviendo una comunicación y participación más cómodas.

5.7.6 Más allá de un enfoque infantil

La mayoría de los sistemas de aprendizaje actuales están concebidos principalmente para niños pequeños, empleando contenidos que, en muchos casos, resultan excesivamente infantiles y poco adecuados para adolescentes o personas adultas. Es fundamental avanzar hacia el desarrollo de sistemas personalizables que respondan a los intereses, etapas de desarrollo y necesidades específicas de diferentes rangos etarios, evitando la infantilización y garantizando el respeto por su proceso de crecimiento.

6. Conclusiones

Diseñar sistemas interactivos para niños con autismo implica abordar la complejidad de sus características diversas, un desafío que persiste en la práctica actual en IPO. A través de nuestros tres estudios de caso centrados en el diseño de un ecosistema digital de aprendizaje, reflexionamos críticamente sobre la perspectiva del autismo en IPO a partir de nuestra experiencia, y presentamos lecciones y reflexiones valiosas que pueden ayudar a futuros investigadores a contribuir de manera significativa a la comunidad autista y avanzar en el campo. Estas reflexiones se organizan en los siguientes temas: la inspección fallida en IPO, el espectro y su contexto, potenciar la comunicación, el ecosistema de apoyo, esenciales de la interfaz, la personalización como clave del éxito y la necesidad de replantear el aprendizaje digital. En la próxima fase de nuestro proyecto a gran escala, nuestro objetivo es ampliar el ecosistema con nuevos módulos y extender la evaluación para incluir a más niños con condición autista, así como a sus familiares.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a las Fundaciones CENIDI y AUCAVI, así como a los niños con autismo y a sus familias que participaron en nuestro estudio. Sus aportaciones han sido invaluables para nuestra investigación.

Referencias

American Psychiatric Association, A., Association, A. P., et al. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders: Dsm-5. Washington, DC: American psychiatric association.

Boyd, L. E., Gupta, S., Vikmani, S. B., Gutierrez, C. M., Yang, J., Linstead, E., & Hayes, G. R. (2018). Vrsocial: Toward immersive therapeutic vr systems for children with autism. In Proceedings of the 2018 chi conference on human factors in computing systems (pp. 1–12).

Cecil, J., Kauffman, S., Cecil-Xavier, A., Gupta, A., McKinney, V., & Sweet-Darter, M. (2021). Exploring human-computer interaction (hci) criteria in the design and assessment of next generation vr based education and training environments. In 2021 ieee conference on virtual reality and 3d user interfaces abstracts and workshops (vrw) (pp. 524–525).

Chinchay, Y., Torrado, J. C., Gomez, J., & Montoro, G. (2023). Towards more supportive ict for children with autism spectrum disorders: lessons learned from covid-19 pandemic. Behaviour & Information Technology, 1–20.

Chistol, M., Turcu, C., & Danubianu, M. (2023). Autism assistant: A platform for autism home-based therapeutic intervention. IEEE Access.

Dahiya, A. V., DeLucia, E., McDonnell, C. G., & Scarpa, A. (2021). A systematic review of technological approaches for autism spectrum disorder assessment in children: Implications for the covid-19 pandemic. Research in Developmental Disabilities, 109, 103852.

Dalton, N. S. (2013). Neurodiversity & hci. In Chi '13 extended abstracts on human factors in computing systems (p. 2295–2304). New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.

Darejeh, A., & Singh, D. (2013). A review on user interface design principles to increase software usability for users with less computer literacy. Journal of computer science, 9 (11), 1443.

Doenyas, C., & Shohieb, S. M. (2021). Leveraging technology for the wellbeing of individuals with autism spectrum disorder and their families during covid-19. Frontiers in Psychiatry, 12 , 566809.

Horner, R. H., Carr, E. G., Halle, J., McGee, G., Odom, S., & Wolery, M. (2005). The use of single-subject research to identify evidence-based practice in special education. Exceptional children, 71 (2), 165–179.

ISO, I. f. S. (2010). Ergonomics of human-system interaction: Part 210: Human-centred design for interactive systems. ISO.

Kraleva, R., & Kralev, V. (2018). An evaluation of the mobile apps for children with special education needs based on the utility function metrics. International Journal on Advance Science Engineering Information Technology, 8(6), 2269-2277.

Lang, R., Ramdoss, S., Raulston, T., Carnet, A., Sigafoos, J., Didden, R., Moore, D., & O'Reilly, M. F. (2014). Assistive technology for people with autism spectrum disorders. In Assistive Technologies for People with Diverse Abilities (pp. 157–190). Springer.

Larco, A., Yanez, C., Almendáriz, V., & Luján-Mora, S. (2018, April). Thinking about inclusion: Assessment of multiplatform apps for people with disability. In 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) (pp. 350-354). IEEE.

Mankoff, J., Hayes, G. R., & Kasnitz, D. (2010). Disability studies as a source of critical inquiry for the field of assistive technology. In Proceedings of the 12th international acm sigaccess conference on computers and accessibility (pp. 3–10).

Martínez-González, A. E., Rodríguez-Jiménez, T., Riaño-Hernández, D., Alexandra-Atehortúa, P., Ramírez-Conde, A., & Ramírez-García, L. (2023). Cross-cultural differences in autistic characteristics: a comparison between spain and colombia [Article]. International Journal of Developmental Disabilities.

Mazzei, D., Greco, A., Lazzeri, N., Zaraki, A., Lanata, A., Igliozzi, R., . . . others (2012). Robotic social therapy on children with autism: preliminary evaluation through multi-parametric analysis. In 2012 international conference on privacy, security, risk and trust and 2012 international confernece on social computing (pp. 766–771).

Mobahi, H., & Karahalios, K. G. (2005). Hci applications for aiding children with mental disorders. XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students, 12 (2), 3–3.

Putnam, C., & Chong, L. (2008). Software and technologies designed for people with autism: what do users want? In Proceedings of the 10th international acm sigaccess conference on computers and accessibility (pp. 3–10).

Rodrigo, J., & Corral, D. (2013). Arasaac: portal aragonés de la comunicación aumentativa y alternativa. software, herramientas y materiales para la comunicación e inclusión. Informática na Educação: teoria & prática, 16 (2).

Rosli, S., Amin, N. A., Suryanto, S., & Ilias, K. (2022). Roles of digital technology in sustaining mental health among parent of children with autism spectrum disorders (asd) during pandemic covid-19. Environment-Behaviour Proceedings Journal, 7 (19), 173–179.

Saleh, M. A., Hanapiah, F. A., & Hashim, H. (2021). Robot applications for autism: a comprehensive review. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, 16 (6), 580–602.

Schneider, H., Eiband, M., Ullrich, D., & Butz, A. (2018). Empowerment in hci-a survey and framework. In Proceedings of the 2018 chi conference on human factors in computing systems (pp. 1–14).

Sharmin, M., Hossain, M. M., Saha, A., Das, M., Maxwell, M., & Ahmed, S. (2018). From research to practice: Informing the design of autism support smart technology. In Proceedings of the 2018 chi conference on human factors in computing systems (pp. 1–16).

Simm, W., Ferrario, M. A., Gradinar, A., Tavares Smith, M., Forshaw, S., Smith, I., & Whittle, J. (2016). Anxiety and autism: towards personalized digital health. In Proceedings of the 2016 chi conference on human factors in computing systems (pp. 1270–1281).

Suhaila, N. A., & Nordin, N. M. (2022). Assistive technology for autism spectrum disorder: systematic literature review. International Journal of Advanced Research in Education and Society, 4 (2), 25–39.

Washington, P., Voss, C., Haber, N., Tanaka, S., Daniels, J., Feinstein, C., . . . Wall, D. (2016). A wearable social interaction aid for children with autism. In Proceedings of the 2016 chi conference extended abstracts on human factors in computing systems (pp. 2348–2354).

Wing, L., & Gould, J. (1979). Severe impairments of social interaction and associated abnormalities in children: Epidemiology and classification. Journal of autism and developmental disorders, 9 (1), 11–29.

Wobbrock, J. O. (2017). Sigchi social impact award talk–ability-based design: Elevating ability over disability in accessible computing. In Proceedings of the 2017 chi conference extended abstracts on human factors in computing systems (pp. 5–7)