

INTERA[•]CIÓN

Revista Digital de **AIPO**

Asociación Interacción Persona-Ordenador

Vol. 7, No 1 (2026)

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: 2026

Editores: Jesús Gallardo
Universidad de Zaragoza (España)

Daniel Guasch
Universitat Politècnica de Catalunya (España)

Raquel Hervás
Universidad Complutense de Madrid (España)

**Editores
invitados:** Valentín Cardeñoso
Universidad de Valladolid (España)

Maria Amelia Eliseo
Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brasil)

Alejandra Martínez
Universidad de Valladolid (España)

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

Diana Arellano, ACM SIGGRAPH Diversity and Inclusion Committee y Mackevision (Alemania)

Sandra Baldassarri, Universidad de Zaragoza (España)

Federico Botella, Universidad Miguel Hernández de Elche (España)

César Collazos, Universidad del Cauca (Colombia)

Rosa Gil, Universitat de Lleida (España)

Toni Granollers, Universitat de Lleida (España)

Francisco Gutiérrez, Universidad de Granada (España)

Luis Leiva, University of Luxembourg (Luxemburgo)

José Antonio Macías, Universidad Autónoma de Madrid (España)

Diego Martínez Plasencia, University College London (Reino Unido)

Gonzalo Méndez, Universidad Complutense de Madrid (España)

Fernando Moreira, Universidade Portucalense (Portugal)

José Ignacio Panach, Universitat de València (España)

Pere Ponsa, Universitat Politècnica de Catalunya (España)

Arcadio Reyes-Lecuona, Universidad de Málaga (España)

Revisores adicionales en este número

Cibelle A. de la Higuera Amato, Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brasil)

Susana Bautista, Universidad Francisco de Vitoria (España)

Rosanna Costaguta, Universidad Nacional de Santiago del Estero (Argentina)

Valéria Farinazzo, Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brasil)

Mariano González, Universidad de Sevilla (España)

Pascual González-López, Universidad de Castilla-La Mancha (España)

André Kawamoto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Brasil)

Begoña Losada, Universidad del País Vasco (España)

Ramón Mas-Sansó, Universitat de les Illes Balears (España)

Ana Morales, Universidad Central de Venezuela (Venezuela)

Ismar Frango Silveira, Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brasil)

Preámbulo

Los sistemas interactivos influyen en todos los aspectos de la vida de las personas, y asistimos a una continua evolución de los paradigmas clásicos de interacción y a nuevas formas de interactuar. En este contexto, es esencial investigar y compartir el conocimiento de estos paradigmas emergentes. Con este espíritu trabaja la Asociación Interacción Persona-Ordenador (AIPO) desde hace más de 25 años.

La revista Interacción, revista digital de la Asociación Interacción Persona-Ordenador (AIPO), nace 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, y 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 publica en acceso abierto, fomentando el avance del conocimiento científico a disposición de todos, y 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 7, Número 1:

En este número se incluyen cinco artículos, que abarcan diferentes campos dentro del ámbito de la Interacción Persona-Ordenador. Para empezar, Molina et al. nos presentan la evaluación de una aplicación para la planificación y estructuración de actividades y rutinas para personas con TEA. La evaluación presenta resultados prometedores que son de utilidad para la comunidad. A continuación, Hitos-García et al. presentan un trabajo sobre los instrumentos de medición de la empatía en agentes computacionales. A partir de un análisis de instrumentos existentes, los autores proponen un nuevo cuestionario, pensado para su uso con personas mayores. El tercer artículo es el de García-Castillo et al., quienes detallan el desarrollo y una primera evaluación de una aplicación móvil de realidad aumentada con fines turísticos y culturales. La aplicación se desarrolló siguiendo un enfoque de diseño centrado en el usuario. También en el ámbito de tecnología interactiva para mejorar la experiencia en visitas de carácter cultural se enmarca el artículo de Lacuesta et al., que presentan una implementación de actividades lúdicas sobre un robot social para fomentar experiencias intergeneracionales en un espacio museístico. La experiencia fue validada con un enfoque que combinaba diferentes técnicas de evaluación. Finalmente, el artículo de Costa-Tébar et al. describe una biblioteca escolar virtual gamificada integrada en un entorno virtual de aprendizaje. Esta tecnología educativa se ha evaluado también, presentándose en el artículo los resultados.

Nuestro agradecimiento a todas las personas que han contribuido en este número, tanto a nivel de autoría como en las diversas labores de edición y revisión que tan importantes son para que la revista alcance los estándares de calidad esperados.

Jesús Gallardo, Daniel Guasch y Raquel Hervás
Editores de Interacción, Revista digital de AIPO

Tabla de contenidos

Evaluación de PlanTEA: una herramienta de apoyo para la planificación y la anticipación para personas con TEA <i>Ana Isabel Molina, Carmen Lacave, Laura Morales, Patricia Hernández y José Lara.....</i>	<i>6</i>
Empatía Percibida en Interacciones Humano-Agente: Comparación de Instrumentos y Desarrollo del Cuestionario CEPRS <i>Alberto Hitos-García, Francisco Luis Gutiérrez-Vela, Patricia Paderewski-Rodríguez y André Satoshi Kawamoto</i>	<i>21</i>
Aplicación Móvil con Realidad Aumentada para el Centro Histórico de Zacatecas <i>Karla M. García-Castillo, Huizilopoztli Luna-García, Roberto Solís-Robles, Hamurabi Gamboa-Rosales, Cristian Barría-Huidobro y Klinge O. Villalba-Condori</i>	<i>38</i>
Robots sociales en museos - Un enfoque centrado en el análisis de las emociones <i>Raquel Lacuesta, Fernando Barrado, Alejandro Guillén, Francesc Xavier Gaya, José María Buades, Francisco Perales y Silvia Hernández</i>	<i>50</i>
LibroTech: Arquitectura y Flujos para una Biblioteca Escolar Virtual Gamificada <i>Felipe Costa-Tébar, Alejandro López-Martínez, Javier Jiménez-Honrado, Belén Luna-Lorente, Llanos Vergara-Picazo, José A. Gallud, Ricardo Tesoriero, María D. Lozano y Gabriel Sebastián-Rivera</i>	<i>61</i>

Evaluación de PlanTEA: una herramienta de apoyo para la planificación y la anticipación para personas con TEA

Evaluation of PlanTEA: a support tool for planning and anticipation for individuals with ASD

Ana Isabel Molina

Escuela Superior de Informática
Universidad de Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España

Analsabel.Molina@uclm.es

Carmen Lacave

Escuela Superior de Informática
Universidad de Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España

Carmen.Lacave@uclm.es

Laura Morales

Escuela Superior de Informática
Universidad de Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España

Laura.Morales@uclm.es

Patricia Hernández

Asociación Regional de Afectados de Autismo y Otros Trastornos
del Desarrollo (AUTRADE)
Ciudad Real, España

direcciontecnica@autismociudadreal.onmicrosoft.com

José Lara

Escuela Superior de Informática
Universidad de Castilla-La Mancha
Ciudad Real, España

Jose.LaraNavarro@uclm.es

Recibido: 30.10.2025 | Aceptado: 21.02.2026

<https://doi.org/10.65234/interaccion.129>

Palabras Clave

Trastorno del Espectro Autista (TEA)
Autonomía personal
Planificación y anticipación
Diseño y evaluación
Usabilidad y Accesibilidad
Aceptación y Adopción

Resumen

En las personas con Trastorno del Espectro del Autismo (TEA), las habilidades relacionadas con la planificación y la flexibilidad mental suelen estar afectadas. Contar con aplicaciones que faciliten la anticipación de situaciones cotidianas o imprevistas puede contribuir significativamente a reducir los niveles de estrés y ansiedad de estas personas. Con este propósito se desarrolló PlanTEA, una aplicación móvil basada en pictogramas que soporta la planificación, anticipación y estructuración de actividades y rutinas. La versión más reciente (PlanTEA 3.0) incorpora funcionalidades orientadas a mejorar la usabilidad, la accesibilidad, la personalización y la adaptación a distintos perfiles de participantes.

En este trabajo se describen dos evaluaciones complementarias, una con participantes con un perfil más técnico y conocimientos en usabilidad y accesibilidad, y otra con profesionales de atención directa a personas con TEA. Los resultados muestran altos niveles de satisfacción en términos de usabilidad, utilidad y aceptación. No obstante, se identificaron áreas de mejora relacionadas con la carga cognitiva, la necesidad de acompañamiento formativo y la accesibilidad práctica para diferentes perfiles de usuarios. En conjunto, los hallazgos consolidan a PlanTEA como una solución tecnológica inclusiva, adaptable y de alto potencial para su aplicación en contextos educativos, clínicos y familiares, y sienta las bases para trabajos futuros en el ámbito de la tecnología asistiva dirigida a personas con TEA.

Keywords

Autism Spectrum Disorder (ASD)
Personal autonomy
Planning and anticipation
Design and evaluation
Usability and Accessibility
Acceptance and Adoption

Abstract

In individuals with Autism Spectrum Disorder (ASD), skills related to planning and mental flexibility are often affected. Having applications that facilitate the anticipation of everyday or unexpected situations can significantly help reduce stress and anxiety levels in these individuals. To address this need, PlanTEA was developed, a mobile application based on pictograms that supports the planning, anticipation, and structuring of activities and routines. The latest version (PlanTEA 3.0) incorporates functionalities aimed at improving usability, accessibility, personalization, and adaptation to different participant profiles.

This work presents two complementary evaluations: one involving participants with a more technical background and knowledge in usability and accessibility, and another involving professionals providing direct support to individuals with ASD. The results show high levels of satisfaction in terms of usability, usefulness, and acceptance. However, areas for improvement were identified, including cognitive load, the need for training support, and practical accessibility for different user profiles. Overall, the findings establish PlanTEA as an inclusive, adaptable, and high-potential technological solution for use in educational, clinical, and family contexts, laying the foundation for future work in the field of assistive technology for people with ASD.

1. Introducción

El autismo es una condición del neurodesarrollo con una fuerte base genética que se manifiesta en la infancia temprana y se caracteriza por déficits o retrasos en la adquisición de habilidades en diversos ámbitos. Las personas con autismo suelen mostrar conductas estereotipadas, rutinas rígidas e intereses restringidos y repetitivos, además de dificultades persistentes en la comunicación y la socialización (Lord et al., 2018). Se trata de uno de los trastornos del neurodesarrollo más prevalentes en la infancia, aunque también afecta significativamente a las personas más allá de la etapa pediátrica, repercutiendo en su calidad de vida y en la de las personas de su entorno (Vernhet et al., 2022).

En las últimas cuatro décadas, la *prevalencia* de los diagnósticos de TEA ha aumentado de forma considerable (Villegas-Lirola, 2023). Según un reciente informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), 1 de cada 127 personas tiene autismo en el mundo¹, aunque las tasas varían según el país y su capacidad diagnóstica (Jima Cuenca et al., 2025). Su *variabilidad*, así como la posible existencia de comorbilidades (Brondino et al., 2019), hace que cada persona con autismo presente unas características y manifestaciones únicas, dando lugar a la existencia de todo un “espectro” (Cruz Puerto & Sandín Vázquez, 2024). Es por ello por lo que se habla de Trastorno del Espectro Autista (TEA).

Dicha variabilidad hace que el *apoyo personalizado y adaptado* a las características de cada individuo resulte esencial (Qin et al., 2024) en distintos contextos (familiar,

educativo, laboral, de ocio, etc.) y situaciones de su día a día (Pérez-Fuster et al., 2019).

Para las personas con TEA, enfrentarse a entornos o situaciones desconocidas pueden ser una fuente habitual de ansiedad. Actividades cotidianas como ir de compras, acudir a citas médicas o viajar pueden resultar especialmente estresantes, tanto para ellas como para sus familias (Afif et al., 2022). En estas situaciones, es habitual recurrir al uso de los llamados “*cuadernos de anticipación*”, que permiten descomponer las actividades o rutinas en pasos secuenciales y representaciones visuales (pictogramas²), facilitando así la anticipación, comprensión y reducción de la ansiedad (Friedman & Miyake, 2017).

En este contexto, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) han demostrado ser un recurso eficaz para mejorar la comunicación, la interacción social y la autonomía de las personas con TEA (Leung et al., 2021; Lorah et al., 2024; Valencia et al., 2019). Sin embargo, aunque ha aumentado el número de aplicaciones dirigidas a este colectivo, son pocas las que soportan la planificación y anticipación de tareas cotidianas (por ejemplo, en el ámbito clínico), y menos aun las que contemplan funcionalidades de personalización y adaptación a las preferencias, limitaciones y características individuales del usuario con TEA (Groba, 2015).

Para cubrir esta necesidad, se desarrolló PlanTEA (Hernández et al., 2022), una aplicación móvil para Android dirigida a personas con TEA, familiares y profesionales, que facilita la planificación y anticipación de actividades, así como la comunicación (principalmente basada en pictogramas),

personas con TEA, se utilizan como apoyo visual para facilitar la comprensión, anticipación y ejecución de actividades, promoviendo la autonomía y reduciendo la carga cognitiva asociada al procesamiento verbal.

¹ <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>

² Los *pictogramas* son representaciones gráficas simplificadas que comunican conceptos, acciones u objetos mediante imágenes icónicas. En el contexto de la educación y la intervención con

actuando como un “cuaderno de anticipación digital” (Trémaud et al., 2021). En sus primeras versiones, PlanTEA se centraba en el ámbito médico, pero las ampliaciones y mejoras que se han realizado en los últimos años han hecho extensible su uso a otros dominios y escenarios (Figura 1).

Por tanto, desde su creación, PlanTEA ha ido evolucionando, dando lugar a distintas versiones. La primera de ellas (PlanTEA 1.0) se diseñó siguiendo pautas específicas de usabilidad y accesibilidad para aplicaciones dirigidas a personas con TEA (AutismGuide) (Aguar et al., 2022). Dicha versión fue evaluada por familiares y cuidadores, así como expertos técnicos (desarrolladores de *software*) y en TEA (Hernández et al., 2022). En dicha evaluación se adaptaron instrumentos que permitieron hacer una primera evaluación de la usabilidad, la aceptación y la adopción de la aplicación, como el cuestionario SUS (*System Usability Scale*) (Brooke, 1996) o el *framework* TAM (*Technology Acceptance Model*) (Davis, 1993). En base a esta evaluación se desarrolló la versión 2.0 de

PlanTEA, que introdujo una serie de mejoras y cambios que permitirían su uso más allá del entorno clínico. Esta versión fue de nuevo sometida a evaluación por parte de terapeutas, expertos en usabilidad y personas con TEA (Valencia et al., 2025) haciendo uso de metodologías e instrumentos de medida específicamente diseñados para evaluar la *Experiencia de Usuario* (UX) en aplicaciones dirigidas a personas con TEA (Valencia et al., 2021, 2022). Los resultados de estas evaluaciones, así como el trabajo conjunto con personal técnico y profesionales de varias asociaciones de personas con TEA de ámbito local, regional y nacional (AUTRADE³, FACLM⁴ and FESPAU⁵), con las que se ha venido colaborando en el diseño y evaluación de esta herramienta, han dado lugar a la versión actual (PlanTEA 3.0) (Morales et al., 2024). PlanTEA 3.0 incorpora mejoras y avances significativos con respecto a las versiones anteriores en aspectos relacionados con la usabilidad, accesibilidad, personalización y adaptación a las necesidades específicas de las personas con TEA.

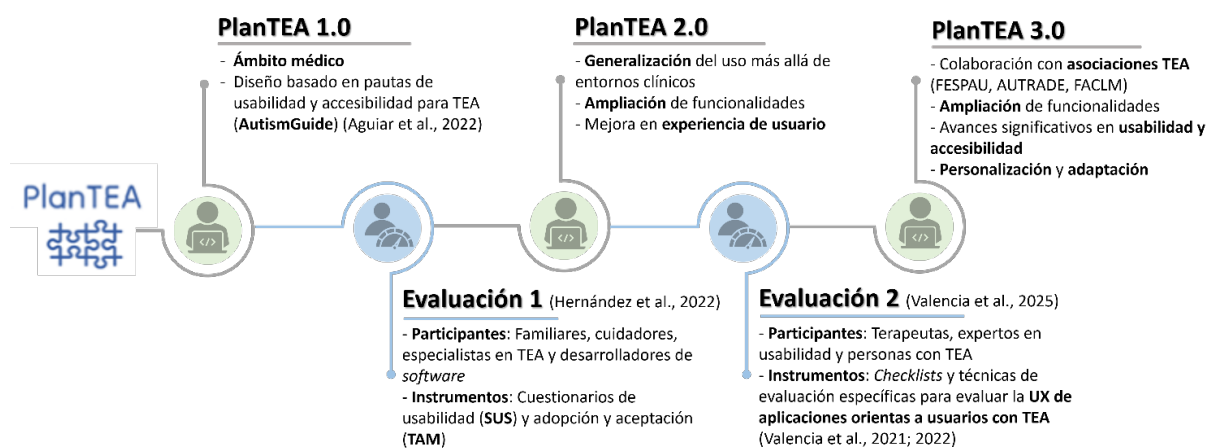


Figura 1: Evolución de PlanTEA: versiones, características y evaluaciones.

1.1. Tecnologías de apoyo para la planificación y anticipación en personas con TEA: estado del arte

En los últimos años se ha observado un creciente interés por el desarrollo de apoyos tecnológicos dirigidos a personas con TEA, motivado tanto por la buena aceptación de las tecnologías digitales por parte de este colectivo como por el potencial de estos sistemas para ofrecer entornos estructurados, predecibles y altamente visuales (Hrabal et al., 2023; Klavina et al., 2024; Valencia et al., 2019). La mayoría de las aplicaciones desarrolladas se orientan a apoyar áreas clave como la comunicación (Almurashi et al., 2022), la socialización (Balderaz, 2020; de Carvalho et al., 2023), la flexibilidad

cognitiva y conductual (Pasqualotto et al., 2021), el reconocimiento emocional (Rashidan et al., 2021), la autogestión (Chia et al., 2018) o la regulación de estados emocionales como la ansiedad y el estrés (Carlier et al., 2020).

La mayor parte de estas aplicaciones se han desarrollado para dispositivos móviles, como smartphones y tabletas (Hong et al., 2018; Leung et al., 2021; Moon et al., 2020), aunque también se han explorado otros paradigmas de interacción y tecnologías emergentes, como el uso de mesas multitáctiles (Chen, 2012; Gal et al., 2016), robots asistenciales (DiPietro et al., 2019) o entornos basados en realidad virtual y aumentada

³ Asociación Regional de Afectados de Autismo y Otros Trastornos del Desarrollo. <https://autrade.info/>

⁴ Federación Autismo Castilla-La Mancha. <https://www.autismocastillalamancha.org/>

⁵ Federación Española de Autismo. <https://fespau.es/>

para la simulación de situaciones sociales o potencialmente estresantes (Almazaydeh et al., 2022).

Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones disponibles se centran en la comunicación aumentativa y alternativa (CAA) o en la enseñanza de habilidades concretas, mientras que solo una parte minoritaria aborda la planificación y anticipación de actividades cotidianas, especialmente en contextos que pueden generar ansiedad (Alabbas & Miller, 2019; Ghanouni et al., 2020). Herramientas ampliamente utilizadas como Boardmaker⁶, Proloquo2Go⁷, Avaz⁸ o LetMeTalk⁹ ofrecen potentes funcionalidades de comunicación, pero no contemplan de forma explícita el soporte a la planificación temporal de actividades ni a la anticipación secuencial de eventos futuros, aspectos clave para reducir la ansiedad asociada a cambios o situaciones no familiares. Por otro lado, existen aplicaciones orientadas a la organización de rutinas y la gestión del tiempo, como Thruday¹⁰, Tiimo¹¹, Structured¹² o Habitica¹³, que permiten crear agendas visuales y secuencias de tareas apoyadas en imágenes y recordatorios. Si bien estas herramientas contribuyen a estructurar el día a día y a fomentar la autonomía, suelen presentar limitaciones en cuanto a la personalización de los contenidos, la adaptación a distintos niveles de apoyo o la gestión de situaciones imprevistas.

La literatura pone de manifiesto varias lagunas que justifican la necesidad de herramientas como PlanTEA. En primer lugar, a pesar de la diversidad de soluciones existentes, son escasas las aplicaciones que integren de forma conjunta la planificación de actividades, la anticipación mediante secuencias visuales y la comunicación basada en pictogramas, permitiendo además una personalización adaptada a las preferencias y características del usuario con TEA, tal y como hace PlanTEA. Esta combinación es poco frecuente en las soluciones existentes, que tienden a cubrir solo una parte del problema (comunicación, rutinas simples o gestión del tiempo), pero no la integración completa de estos elementos en un único entorno. En segundo lugar, son limitadas las aplicaciones que han sido diseñadas con pautas específicas para aplicaciones dirigidas a usuarios con TEA (Hernández et al., 2022). Finalmente, también son escasas las evaluaciones sistemáticas que analicen la usabilidad, accesibilidad, carga cognitiva o aceptación de estas herramientas por parte de profesionales y expertos en usabilidad, lo que dificulta la comparación entre soluciones y la consolidación de buenas prácticas de diseño y evaluación.

1.2. Objetivo y estructura del artículo

El presente trabajo tiene como **objetivo** describir la evaluación de PlanTEA; en concreto los aspectos relacionados con su usabilidad y accesibilidad, la utilidad de las capacidades de personalización y adaptación incorporadas en esta última versión, así como la intención de uso y futura adopción de esta. Para ello se ha contado con participantes con perfil técnico y conocimientos en Interacción Persona-Ordenador (IPO), usabilidad y accesibilidad, así como con profesionales de atención directa a personas con TEA. Mientras que trabajos previos han descrito el diseño y evolución funcional de la aplicación (Morales et al., 2025), el presente estudio se centra específicamente en la evaluación de la versión más reciente de la herramienta (PlanTEA 3.0), con el objetivo de aportar evidencias empíricas que contribuyan a cubrir las lagunas identificadas en la literatura en relación con las tecnologías de apoyo a la planificación y anticipación para personas con TEA.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección 2 se describen las principales características y funcionalidades incorporadas en la última versión de PlanTEA; en la Sección 3 se dan detalles de la evaluación realizada y, por último, la Sección 4 expone las principales conclusiones del trabajo y posibles líneas de trabajo futuro.

2. Principales funcionalidades de PlanTEA 3.0

La versión más reciente de PlanTEA incorpora un conjunto de funcionalidades que se han desarrollado gracias a la colaboración de profesionales pertenecientes a varias asociaciones de personas con TEA (AUTRADE, FACLM y FESPAU) y a los resultados de evaluación de las versiones anteriores de la aplicación (Hernández et al., 2022; Valencia et al., 2025). En PlanTEA 3.0 se conservan la mayor parte de las características y funcionalidades de versiones previas, garantizando así una transición fluida entre las distintas versiones (Morales et al., 2024).

PlanTEA 3.0 contempla dos **roles**: *planificador* y *planificado* (usuario con TEA). El usuario con rol planificador será responsable de crear y gestionar las **planificaciones**, es decir, la secuencia de pictogramas que representan los pasos a seguir en una situación cotidiana (Figura 2). Por su parte, los usuarios con TEA podrán anticipar las situaciones representadas en las planificaciones mediante su visualización, simulación y seguimiento (Figura 3).

⁶ <https://tecnoaccesible.net/catalogo/boardmaker>

⁷ <https://www.assistiveware.com/es/productos/proloquo2go>

⁸ <https://avazapp.com/products/avaz-aac-app/>

⁹ <https://letmetalk.en.aptoide.com/app>

¹⁰ <https://thruday.com/>

¹¹ <https://www.tiimoapp.com/es>

¹² <https://structured.app/>

¹³ <https://habitica.com/static/home>

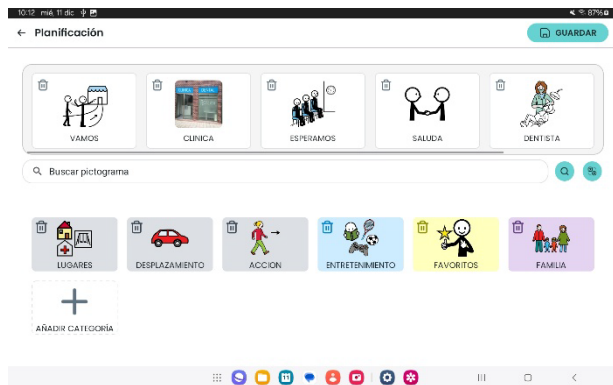


Figura 2: Funcionalidad de edición de planificaciones, disponible para el usuario con rol de planificador.

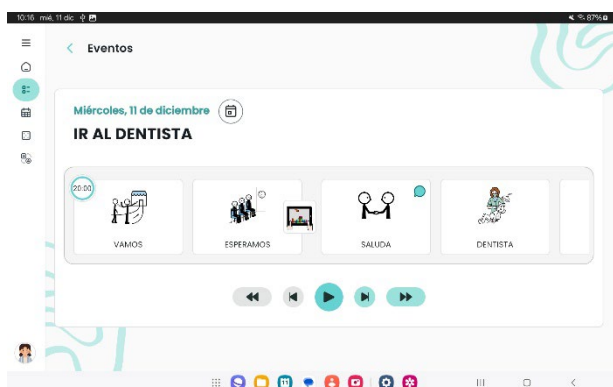


Figura 3: Vista de la planificación en la interfaz disponible para el usuario con TEA (planificado), con opciones de reproducción/simulación.

Las siguientes subsecciones describen en detalle las principales características de PlanTEA 3.0, con especial énfasis en aquellas que mejoran aspectos relacionados con la usabilidad, la accesibilidad, la personalización y la adaptación al usuario.

2.1 Creación y edición flexible y personalizada de planificaciones

PlanTEA 3.0 permite la creación y edición flexible de planificaciones en base a un conjunto de *pictogramas*, organizados en un conjunto de *categorías predeterminadas* (lugares, acciones, entretenimiento, entre otros). Además, la aplicación incorpora un *buscador de pictogramas*, que accede al repositorio de pictogramas estándar de ARASAAC¹⁴, permitiendo también incluir en la planificación *imágenes o fotografías reales* disponibles en la galería del dispositivo (Figura 4). Esta última funcionalidad permite añadir a las planificaciones representaciones visuales de personas, lugares y objetos conocidos por la persona con TEA, facilitando así su reconocimiento (Meadan et al., 2011).

¹⁴ ARASAAC es un proyecto financiado por el Gobierno de Aragón (España) que ofrece un banco gratuito y libre de pictogramas para

La aplicación también permite marcar pictogramas como "*Favoritos*", así como la creación de conjuntos de pictogramas en *categorías personalizadas* (Figura 4). Ambas funcionalidades facilitan la localización y el uso de los pictogramas más frecuentes.

Aunque las versiones anteriores de PlanTEA únicamente soportaban la creación de planificaciones en formato visual, la versión 3.0 permite seleccionar varios *formatos de visualización*: (a) pictogramas; (b) pictogramas y texto; y (c) sólo texto. Estas opciones permiten adaptar el contenido de las planificaciones a las necesidades y preferencias comunicativas del usuario con TEA (Cui et al., 2023).

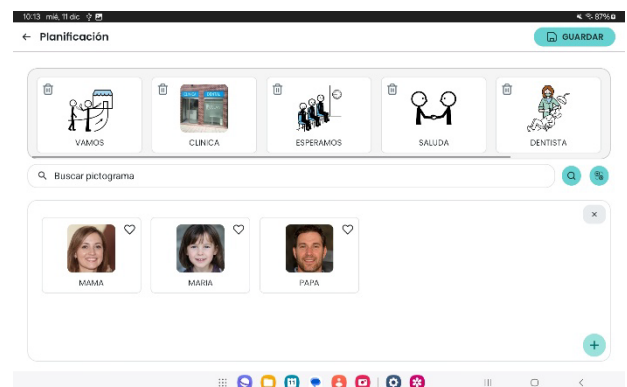


Figura 4: Uso de imágenes reales y personalizadas en las planificaciones y posibilidad de marcar pictogramas como favoritos.

En PlanTEA 3.0, los pasos que componen las planificaciones pueden enriquecerse con elementos adicionales:

- **Información temporal.** Se puede asociar *duración* a los pasos de la planificación, así como añadir *tiempo adicional* al temporizador. También se pueden programar *avisos de finalización* del tiempo planificado (Figura 5.a). Estas posibilidades ayudan a anticipar y prepararse ante la finalización de una actividad, añadiendo control y contingencia a la situación (Girardi et al., 2021).
- **Objeto o actividad tranquilizadora.** Es posible asociar un *recordatorio* para que el usuario con TEA recurra a un objeto o actividad tranquilizadora (Figura 5.b), que le ayude a reducir la ansiedad asociada a la sobreestimulación o espera asociada a dicho paso (DeGuzman et al., 2024).
- **Pautas sociales.** Se puede añadir texto a los pasos de la planificación para incluir *recomendaciones y pautas de carácter social* (Alhwaiti, 2022). Así, por ejemplo, se puede incorporar una indicación que especifique que debe saludar al llegar o esperar al final de una cola (Figura 5.c).

ayudar a personas con dificultades en la comunicación oral.
<https://arasaac.org>

Por último, la aplicación permite la *edición flexible* de las planificaciones, siendo relativamente fácil modificar y eliminar pasos de la secuencia planificada, así como reordenarlos mediante técnicas de manipulación directa (*drag-and-drop*¹⁵).

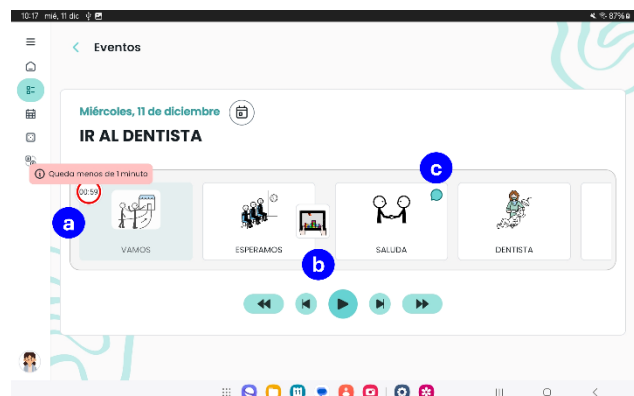


Figura 5: Información adicional en los pasos de la planificación: (a) información temporal; (b) objeto tranquilizador y (c) pauta social.

2.2 Funcionalidades adicionales

La última versión de PlanTEA incluye varias funcionalidades que amplían su potencia operativa y permite su uso en contextos variados. Entre ellas destaca el *traductor de texto-a-pictogramas*, que agiliza el proceso de creación de las planificaciones (Figura 6.a). Esta funcionalidad traduce frases completas en formato textual a secuencias de pictogramas. En el caso de que existan varios pictogramas disponibles para una misma palabra o concepto, la aplicación da al planificador la posibilidad de elegir entre ellos. Una vez que la frase ha sido traducida, podrá exportarse como una nueva planificación o en *formato PDF*, para su compartición o impresión en papel (Figura 6.b).

Otra incorporación es la *gestión de imprevistos*. Siguiendo las recomendaciones de las expertas en TEA que colaboraron en el diseño de esta última versión, se ha incluido la posibilidad de sustituir unos pictogramas por otros en la secuencia planificada, quedando dicho cambio convenientemente resaltado en la planificación (Figura 7).

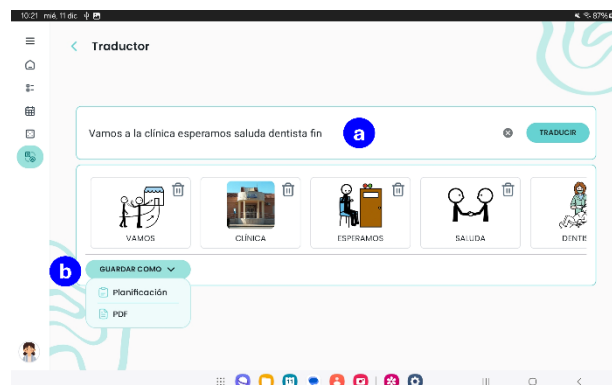


Figura 6: (a) Funcionalidad del traductor texto-a-pictograma. (b) Incluye la posibilidad de exportar la frase traducida como una nueva planificación o a un fichero en formato PDF.

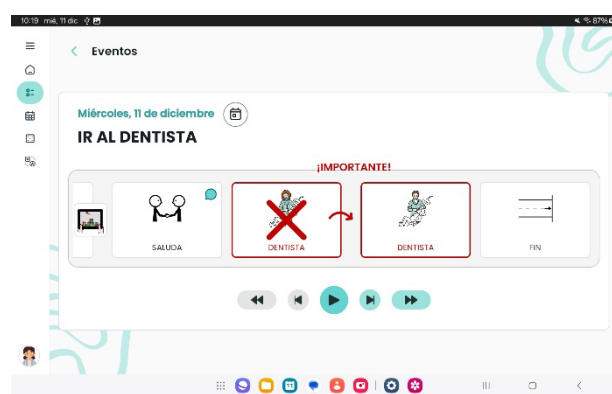


Figura 7: Funcionalidad de gestión de imprevistos. El cambio queda resaltado en color rojo.

Por último, se han añadido nuevos formatos temporales de planificación, para lo cual se incluyeron una *vista mensual* y *semanal*, que permiten consultar los eventos más destacados en días concretos del mes y de la semana.

2.3 Características de accesibilidad

Uno de los principales objetivos que se marcaron a la hora de desarrollar la versión actual de PlanTEA fue el de mejorar los aspectos relacionados con la *accesibilidad*. Para ello se aplicaron estrategias de diseño y evaluación basadas en las *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG) del W3C (W3C - Web Accessibility Initiative (WAI), 2023), así como pautas de diseño específicas para aplicaciones dirigidas a personas con TEA (Aguiar et al., 2022; Valencia et al., 2022). Por tanto, las mejoras incorporadas siguen los *principios de perceptibilidad, operabilidad, comprensibilidad y predictibilidad*, garantizando que la información sea clara, legible y fácil de manejar. Para ello, se han optimizado los contrastes de color, se ha incorporado el modo oscuro, se han ajustado los

¹⁵ El término *drag-and-drop* (arrastrar y soltar) hace referencia a una técnica de interacción directa que permite al usuario mover elementos dentro de una interfaz de forma intuitiva.

tamaños de textos e imágenes (pictogramas), y se han integrado descripciones de contenido compatibles con lectores de pantalla como *TalkBack*¹⁶.

En cuanto a la *operabilidad*, se ha simplificado la navegación, se ha revisado el conjunto de gestos y acciones básicas (borrado, reordenación de pictogramas) y se han estandarizado los elementos táctiles, estableciendo un tamaño mínimo de 48 píxeles. Además, se ha mantenido una estructura visual coherente y un lenguaje claro para favorecer la *comprensibilidad* y *predictibilidad* de las acciones.

PlanTEA 3.0 mejora también la *portabilidad*, al ser completamente compatible con *smartphones* Android, no limitándose a su uso exclusivo en dispositivos tipo *tablet*, como ocurría con versiones previas.

En consecuencia, PlanTEA 3.0 alcanza el nivel AA según las WCAG 2.2, por lo que ofrece una experiencia inclusiva, accesible y centrada en el usuario.

3. Evaluación de PlanTEA 3.0

Con el objetivo de identificar las fortalezas y debilidades de PlanTEA 3.0, así como posibles áreas susceptibles de mejora, se realizó una experiencia de evaluación, en la que se formularon las siguientes preguntas de investigación (RQ):

RQ1. ¿Qué aspectos relacionados con la *usabilidad* y *accesibilidad* son los mejor y peor soportados en la *app* PlanTEA?

RQ2. ¿Son apropiadas y efectivas las *metáforas visuales* empleadas en la interfaz de PlanTEA?

RQ3. ¿Cómo perciben los profesionales y expertos en TEA el soporte a la *flexibilidad* de uso y la *personalización* que ofrece PlanTEA?

RQ4. ¿Cuál es la percepción subjetiva de los profesionales y expertos en TEA respecto a la *aceptación* y *adopción* (utilidad, facilidad de uso e intención de uso) de PlanTEA?

Para dar respuesta a estas preguntas se realizó un diseño cuasiexperimental (Cook et al., 2002) del sistema en dos fases. La primera, para dar respuesta a las preguntas RQ1 y RQ2, relacionadas con el *diseño visual*, la *usabilidad* y la *accesibilidad* de la aplicación. La segunda fase se centró en responder las preguntas RQ3 y RQ4 y así valorar la *utilidad* y la *posible adopción* del sistema.

3.1. Diseño cuasiexperimental

En la Figura 8 se incluyen detalles de las dos experiencias realizadas correspondientes a cada una de las dos fases de evaluación. La primera de ellas (Fase 1) tuvo lugar en noviembre de 2024, en la Escuela Superior de Informática de la UCLM, y contó con la participación presencial de estudiantes de una asignatura de Interacción Persona-Ordenador (IPO) del Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), con perfil técnico y conocimientos en usabilidad y accesibilidad. La participación en el estudio fue de carácter voluntario, y todas las personas participantes fueron informadas previamente del objetivo de la evaluación, del tipo de actividades a realizar y del tratamiento de los datos recogidos, prestando su consentimiento informado antes de iniciar la experiencia.

La segunda (Fase 2) se realizó en marzo de 2025, en formato *online*, en el marco de las jornadas “Nuevas tecnologías y TEA”, organizadas por la asociación AUTRADE, por lo que las personas participantes eran profesionales de atención directa y expertos en TEA. Al igual que en la Fase 1, la participación fue voluntaria y se garantizó el consentimiento informado, así como el carácter anónimo y confidencial de las respuestas recogidas.

En ambas experiencias, los datos se recogieron de forma agregada y anonimizada, sin registrar información personal identificable. Los resultados obtenidos se utilizaron exclusivamente con fines de investigación, asegurando en todo momento la confidencialidad y el respeto a las personas participantes. Cabe destacar que en esta evaluación no participaron directamente personas con TEA, lo que reduce la exposición a posibles situaciones de vulnerabilidad; en caso de futuras evaluaciones con este colectivo, se aplicarán protocolos específicos adaptados a sus necesidades.

En ambas experiencias, las personas encargadas del desarrollo de PlanTEA 3.0 presentaron y describieron en detalle sus características y funcionalidades, mediante demostraciones de su funcionamiento.

3.2. Instrumentos de medida

A continuación, se describen los instrumentos de evaluación empleados, que se desplegaron como formularios *web* en *Microsoft Forms*¹⁷.

- Perfil y Experiencia previa. En esta sección se incluyeron preguntas para conocer el perfil de los participantes en ambas fases. En el caso de la Fase 1, además, se preguntó por la experiencia previa en el diseño e implementación de interfaces de usuario móviles (EP1) y los conocimientos en

¹⁶ <https://support.google.com/accessibility/android/topic/3529932>

¹⁷ <https://forms.office.com/>

usabilidad y accesibilidad (EP2). Los participantes debían valorar estos aspectos en una escala de Likert de 5 puntos.

- Diseño visual, usabilidad y accesibilidad de PlanTEA 3.0. Estos aspectos se valoraron en la Fase 1 con un cuestionario organizado en base a los siguientes apartados e ítems:
 - Aspectos de usabilidad y accesibilidad de PlanTEA 3.0, medidos a través de 12 ítems (HU), basados en las heurísticas de Nielsen (Nielsen, 1994), a valorar en una escala del 1 al 5 (Tabla 1).
 - Evaluación de las metáforas visuales en PlanTEA 3.0 (Figura 9) empleadas en cuatro áreas clave de la aplicación (METAF): (1) el menú de navegación de PlanTEA; (2) en la funcionalidad de definición de un *evento*¹⁸; (3) al asociar elementos adicionales (información temporal, un objeto o actividad tranquilizadora y/o una pauta social) a un paso de la planificación; y (4) al asociar planificaciones a días de la semana en la *vista semanal*. La adecuación de las metáforas visuales o iconos se valoró en una escala del 1 al 5.
- Utilidad, aceptación y adopción de PlanTEA 3.0. En la Fase 2 el cuestionario se organizó en torno a las siguientes dimensiones:
 - Utilidad, generalización y flexibilidad de las funcionalidades principales de PlanTEA 3.0. Los ítems se agruparon en tres subdimensiones que valoran aspectos relacionados con su flexibilidad, capacidad de adaptación y potencia:
 - Generalización (GEN), es decir, el uso de PlanTEA más allá del contexto clínico, su aplicabilidad en distintos dominios (sanitario, educativo, familiar, etc.), su despliegue en múltiples dispositivos (móviles, tabletas, ordenadores) y la posibilidad de gestionar planificaciones para varias personas con TEA.

- Personalización (PERS). Se consideraron las características y funcionalidades que permiten adaptar la herramienta a las necesidades y preferencias individuales de cada participante, como la posibilidad de elegir el formato de visualización de las planificaciones (solo pictogramas, solo texto o combinadas), la de incorporar pictogramas provenientes de la base de datos de ARASAAC y de la galería del dispositivo (imágenes y fotografías reales), la inclusión de objetos o actividades tranquilizadoras y pautas sociales en las planificaciones, así como mejoras relacionadas con el gestión del tiempo (duración de determinadas actividades y la programación de recordatorios o notificaciones).
- Mejora de la potencia y flexibilidad de uso (FUNC) gracias a la traducción automática de texto-a-pictogramas, la gestión de imprevistos, la exportación de planificaciones a PDF, así como la inclusión de vistas de planificación semanal y mensual (que amplían las posibilidades de visualización de las actividades programadas).
- Aceptación y Adopción de PlanTEA. En este caso, se miden las tres dimensiones del *Modelo de Aceptación Tecnológica* (TAM) (Davis, 1993): Facilidad de uso percibida (PEU); Utilidad percibida (PU); e Intención de uso (ITU), es decir, si utilizarían la herramienta y si recomendarían su uso. En cuanto a la facilidad de uso se les pidió que indicaran su percepción con respecto a distintos perfiles de usuarios potenciales (PEU-Perfil): profesionales, familiares y usuarios con TEA.
- Preguntas abiertas. En ambas fases de la evaluación se incluyeron preguntas abiertas que pretendían recopilar comentarios sobre las fortalezas y debilidades de la aplicación, así como sugerencias de ampliación y mejora.

¹⁸ En el contexto de PlanTEA un *evento* se define como la asignación de una planificación a un día y hora concretos.

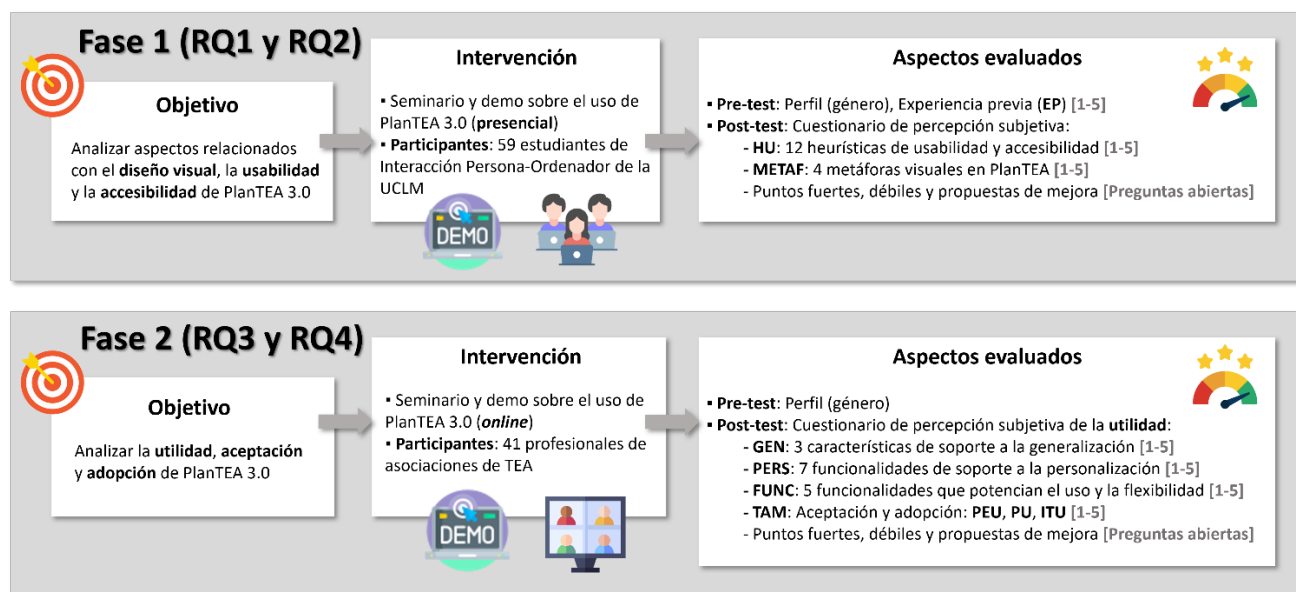


Figura 8: Detalles de la evaluación en dos fases de PlanTEA 3.0 para dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas. Se dan detalles del objetivo, formato de realización, participantes e instrumentos de evaluación empleados en cada fase.



Figura 9: Metáforas visuales en PlanTEA sometidas a evaluación en la Fase 1 de la evaluación.

3.3. Resultados

Esta sección presenta el análisis de los datos recopilados durante este estudio. En la Fase 1 de la evaluación participaron un total de 59 personas, en su mayoría hombres (85%). En cuanto a su experiencia previa en el diseño e implementación de interfaces móviles (PE1) se obtuvo una media de 2,83, lo que sugiere un nivel moderado de experiencia. En cuanto a los conocimientos previos de los participantes sobre los principios de usabilidad y accesibilidad (PE2), se pueden considerar elevados, ya que se obtuvo una puntuación media de 3,51. En la Fase 2 participaron 41 profesionales de atención directa, mayoritariamente mujeres (90,2 %), lo que confirma la feminización existente en el ámbito asistencial vinculado al TEA (Herrero et al., 2024).

A continuación, se describen los resultados obtenidos en los cuestionarios de evaluación y que permiten dar respuesta a las cuatro preguntas de investigación planteadas.

RQ1. ¿Qué aspectos relacionados con la usabilidad y accesibilidad son los mejor y peor soportados en la app PlanTEA?

El análisis de los aspectos de usabilidad y accesibilidad de PlanTEA (Tabla 1) muestra que la aplicación destaca en la adecuación a las tareas (HU1, media $4,44 \pm 0,62$), la personalización/adaptación al perfil del usuario con TEA (HU10, $4,44 \pm 0,68$), el diseño visual (HU6, $4,42 \pm 0,77$), la accesibilidad (HU9, $4,37 \pm 0,74$) y la flexibilidad y eficiencia de uso (HU5, $4,34 \pm 0,80$). Estos resultados indican que la

aplicación se percibe como efectiva, atractiva y adaptable a las necesidades de los usuarios, a la vez que permite una edición y gestión efectiva de las planificaciones.

Otros aspectos recibieron puntuaciones moderadas, como la consistencia y estandarización (HU4, $4,25 \pm 0,76$), la facilidad de aprendizaje (HU2, $4,15 \pm 0,76$), la retroalimentación sobre el estado del sistema (HU3, $4,12 \pm 0,70$) y la portabilidad (HU8, $4,12 \pm 0,89$).

Por su parte, los aspectos peor valorados fueron la carga cognitiva o necesidad de memorización (HU12, $3,36 \pm 1,06$), seguida del control y prevención de errores (HU7, $3,75 \pm 0,78$) y la ayuda disponible durante las tareas (HU11, $3,95 \pm 0,84$), lo que sugiere que algunas funciones requieren de un esfuerzo mental considerable y que la aplicación podría mejorar en ofrecer orientación contextual y mecanismos que eviten errores.

Tabla 1: Estadísticos descriptivos relacionados con la usabilidad y accesibilidad de PlanTEA.
Participantes: Perfil técnico y conocimientos en usabilidad y accesibilidad (n=59)

Variable	Aspecto de usabilidad	Media	Desviación Estándar	Mediana	Moda
HU1	Adecuación a las tareas (diseño de planificaciones)	4,44	0,62	5,0	5
HU2	Facilidad de aprendizaje	4,15	0,76	4,0	4
HU3	Retroalimentación. Visibilidad del estado del sistema	4,12	0,70	4,0	4
HU4	Consistencia y estandarización	4,25	0,76	4,0	4
HU5	Flexibilidad y eficiencia de uso (edición y eliminación de pictogramas, drag&drop, etc.)	4,34	0,80	5,0	5
HU6	Diseño visual. Estética de la app	4,42	0,77	5,0	5
HU7	Control y prevención de errores	3,75	0,78	4,0	4
HU8	Portabilidad	4,12	0,89	4,0	5
HU9	Accesibilidad	4,37	0,74	5,0	5
HU10	Personalización/Adaptación al perfil del usuario con autismo	4,44	0,68	5,0	5
HU11	Ayuda o guía del usuario durante las tareas	3,95	0,84	4,0	4
HU12	Carga cognitiva o necesidad de memorización	3,36	1,06	3,0	4

Tabla 2: Estadísticos descriptivos relacionados con utilidad de las funcionalidades de soporte a la generalización (GEN), personalización (PERS) y mejora de la potencia operativa y la flexibilidad de uso (FUNC) de PlanTEA.
Participantes: Profesionales de atención directa a personas con TEA (n=41).

Variable	Funcionalidades de soporte a la personalización	Media	Desviación Estándar	Mediana	Moda
GEN1	Uso de la aplicación en múltiples dominios (sanitario, educativo, etc.)	4,76	0,49	5,00	5,00
GEN2	Posibilidad de usar PlanTEA en distintos dispositivos (móviles, tablets, etc.)	4,90	0,30	5,00	5,00
GEN3	Posibilidad de planificar a varias personas con TEA	4,78	0,52	5,00	5,00
PERS1	Posibilidad de personalizar el formato de visualización de las planificaciones: solo con pictogramas, solo con texto o ambas cosas	4,80	0,46	5,00	5,00
PERS2	Integración con la base de datos de pictogramas de ARASAAC	4,78	0,52	5,00	5,00
PERS3	Posibilidad de incluir imágenes/fotografías reales (y no sólo pictogramas en las planificaciones	4,85	0,42	5,00	5,00
PERS4	Incluir referencias a una actividad de entretenimiento u objeto tranquilizador en los pasos de la planificación	4,66	0,62	5,00	5,00
PERS5	Incluir texto asociado a los pasos de la planificación ("pautas sociales")	4,71	0,56	5,00	5,00
PERS6	Indicar duración de ciertos pasos de la planeación	4,46	0,81	5,00	5,00
PERS7	Programar un recordatorio o notificación cuando quede poco tiempo para que termine un paso en una planificación	4,61	0,63	5,00	5,00
FUNC1	Traducción de texto-a-pictogramas para ayudar a generar planificaciones	4,78	0,47	5,00	5,00
FUNC2	Gestión de imprevistos (modificación de la planificación y retrasos)	4,73	0,55	5,00	5,00
FUNC3	Exportar la planificación a PDF para su posterior impresión en papel o inclusión en otro documento	4,76	0,54	5,00	5,00
FUNC4	Vista de planificación semanal	4,78	0,47	5,00	5,00
FUNC5	Vista de planificación mensual	4,63	0,62	5,00	5,00

Tabla 3: Estadísticos descriptivos relacionadas con la percepción subjetiva de la aceptación y adopción de PlanTEA en términos de facilidad de uso (PEU), utilidad (PU) e intención de uso (ITU).

Participantes: Profesionales de atención directa a personas con TEA (n=41).

Variable	Formulación del ítem	Media	Desviación Estándar	Mediana	Moda
PEU1	Creo que PlanTEA es fácil de usar	4,37	0,66	4,00	5,00
PEU2	Considero que usar PlanTEA permite planificar, de forma cómoda y sencilla, la secuencia de pasos a seguir en tareas cotidianas	4,46	0,71	5,00	5,00
PEU-Perfil1	Creo que el sistema sería fácil de usar por los profesionales	4,68	0,57	5,00	5,00
PEU-Perfil2	Creo que el sistema sería fácil de usar por las familias con miembros con TEA	4,32	0,65	4,00	4,00
PEU-Perfil3	Creo que el sistema sería fácil de usar por las personas con TEA	3,95	0,80	4,00	4,00
PU1	Me parece que PlanTEA es útil para planificar y anticipar actividades cotidianas a personas con TEA	4,71	0,46	5,00	5,00
PU2	Creo que PlanTEA ayuda a planificar y anticipar las actividades cotidianas a las personas con TEA	4,71	0,51	5,00	5,00
ITU1	Si estuviera a mi disposición, utilizaría esta aplicación para planificar y anticipar tareas	4,66	0,66	5,00	5,00
ITU2	Recomendaría a otros profesionales utilizar PlanTEA	4,61	0,63	5,00	5,00

RQ2. ¿Son apropiadas y efectivas las metáforas visuales empleadas en la interfaz de PlanTEA?

Los resultados obtenidos para las cuatro variables METAF indican un alto nivel de adecuación en las metáforas utilizadas (Figura 9). Las variables METAF2, METAF3 y METAF4 destacan con valores de mediana y moda iguales a 5, lo cual refleja un elevado nivel de satisfacción con las metáforas empleadas en estas funcionalidades. Estos aspectos fueron valorados de forma consistentemente alta por la mayoría de los participantes, lo que sugiere la efectividad de las metáforas para mejorar la comprensión y la interacción en la interfaz.

Sin embargo, METAF1 presenta una media ligeramente inferior (4,02) y la desviación estándar más alta (0,94), lo que indica una mayor variabilidad en las respuestas. Aunque la valoración general fue positiva, esto sugiere que algunos participantes mostraron menor satisfacción con este aspecto en comparación con los demás. Esta variabilidad podría señalar áreas susceptibles de mejora para reforzar la consistencia de la experiencia de uso.

RQ3. ¿Cómo perciben los profesionales y expertos en TEA el soporte a la flexibilidad de uso y la personalización que ofrece PlanTEA?

El análisis de las funcionalidades incorporadas en PlanTEA 3.0 (Tabla 2) muestra una valoración global muy positiva por parte de los profesionales. En general, las puntuaciones obtenidas (todas superiores a 4,4 sobre 5) reflejan una alta percepción de *utilidad, flexibilidad y capacidad de adaptación de la aplicación* en distintos contextos y perfiles de usuario.

En relación con la capacidad de generalización (GEN), los resultados indican una alta satisfacción con la posibilidad de utilizar PlanTEA 3.0 en distintos dominios de aplicación (GEN1,

4,76 ± 0,49) y dispositivos (GEN2, 4,90 ± 0,30), así como la posibilidad de planificar a varias personas con TEA (GEN3, 4,78 ± 0,52), lo que confirman la *versatilidad y escalabilidad* de PlanTEA de cara a su integración en contextos educativos, sanitarios y familiares.

Respecto a la personalización (PERS), los valores medios también fueron muy elevados, con una media general superior a 4,6 en la mayoría de los ítems. Las funcionalidades más valoradas fueron la inclusión de imágenes o fotografías reales (PERS3, 4,85 ± 0,42), la personalización del formato de visualización (PERS1, 4,80 ± 0,46) y la integración con la base de datos de ARASAAC (PERS2, 4,78 ± 0,52), lo que evidencia la importancia de disponer de *recursos visuales adaptados a las preferencias y necesidades* de cada usuario.

De igual forma, aspectos como la posibilidad de incluir objetos o actividades tranquilizadoras (PERS4, 4,66 ± 0,62) y la incorporación de pautas sociales o texto asociado a los pasos (PERS5, 4,71 ± 0,56) fueron valorados muy positivamente, confirmando el valor añadido de estas opciones para ayudar a *controlar la inquietud o ansiedad*, principalmente en situaciones de espera, así como mejorar el desenvolvimiento de la persona con TEA en *contextos sociales*. Aunque ligeramente inferiores, las funcionalidades relacionadas con la *gestión del tiempo* (PERS6 y PERS7) también alcanzaron puntuaciones altas (≥ 4,46), lo que sugiere su utilidad práctica.

Por último, las funcionalidades orientadas a mejorar la flexibilidad y potencia de uso de PlanTEA (FUNC) también obtuvieron valoraciones elevadas. Destacan la traducción automática de texto-a-pictogramas (FUNC1, 4,78 ± 0,47), las vistas de planificación semanal (FUNC4, 4,78 ± 0,47) y la gestión de imprevistos (FUNC2, 4,73 ± 0,55). Esta última funcionalidad es especialmente útil para facilitar la

adaptación dinámica de las planificaciones a cambios o necesidades emergentes.

La exportación de planificaciones a PDF (FUNC3, $4,76 \pm 0,54$) y la visualización mensual (FUNC5, $4,63 \pm 0,62$) también fueron bien valoradas, especialmente por su utilidad para compartir información con otros profesionales o familias, y para tener una visión global de las actividades programadas.

RQ4. *¿Cuál es la percepción subjetiva de los profesionales y expertos en TEA respecto a la aceptación y adopción (utilidad, facilidad de uso e intención de uso) de PlanTEA?*

Los resultados relativos a la aceptación y adopción de PlanTEA, evaluados a partir de las tres dimensiones del *framework* TAM (Tabla 3) muestran una valoración general muy positiva por parte de los profesionales de atención directa a personas con TEA.

En cuanto a la facilidad de uso percibida (PEU), las puntuaciones reflejan una elevada facilidad de uso (PEU1, $4,37 \pm 0,66$) y comodidad a la hora de usar PlanTEA para planificar y anticipar actividades (PEU2, $4,46 \pm 0,71$). Cuando se analiza la *facilidad de uso según distintos perfiles de potenciales participantes*, se considera que el sistema sería fácil de utilizar por parte de *profesionales del ámbito educativo o terapéutico* (PEU-Perfil1, $4,68 \pm 0,57$), seguido de las *familias* (PEU-Perfil2, $4,32 \pm 0,65$). La valoración más baja, aunque aún positiva, fue para las *personas con TEA* (PEU-Perfil3, $3,95 \pm 0,80$), lo que sugiere que, si bien la interfaz es considerada accesible, aún existen oportunidades de mejora para favorecer una mayor autonomía directa en este colectivo.

Respecto a la utilidad percibida (PU), los profesionales valoraron de forma muy positiva el potencial de PlanTEA para planificar y anticipar actividades cotidianas (PU1 y PU2, ambas con medias de 4,71 y desviaciones bajas), lo que confirma su reconocimiento como una herramienta útil y eficaz para la estructuración, anticipación y la gestión de rutinas. La alta consistencia entre los dos ítems de esta dimensión refuerza la robustez de esta percepción.

Los indicadores de intención de uso (ITU) también obtuvieron resultados muy positivos, con medias superiores a 4,6, indicando una buena disposición para utilizar la aplicación (ITU1, $4,66 \pm 0,66$) y para recomendar su uso a otros profesionales (ITU2, $4,61 \pm 0,63$). Estas puntuaciones reflejan un alto nivel de aceptación y predisposición hacia la adopción de PlanTEA como herramienta de apoyo en la planificación y anticipación de actividades con personas con TEA.

Puntos fuertes, débiles y propuestas de mejora

Las respuestas abiertas en ambas evaluaciones aportaron información valiosa sobre los puntos fuertes, débiles y propuestas de mejora de PlanTEA.

Las personas que participaron en la Fase 1 (perfil técnico con conocimientos en usabilidad y accesibilidad), destacaron como *aspectos positivos* la simplicidad y facilidad de uso, señalando que la aplicación resulta intuitiva y accesible. También valoraron positivamente la integración con bases de datos externas y la traducción automática de texto-a-pictogramas, así como la estética y diseño visual de la aplicación. En cuanto a los *aspectos mejorables*, algunos participantes mencionaron la posible curva de aprendizaje para quienes no estén familiarizados con la tecnología y la sobrecarga visual derivada del uso de numerosos iconos. Entre las *propuestas de mejora*, se planteó la posibilidad de incorporar soporte auditivo en la interacción.

Los participantes en la Fase 2 (profesionales de atención directa a personas con TEA) destacaron la facilidad de uso, accesibilidad y adaptabilidad de la herramienta. Además, valoraron especialmente su claridad visual, la rapidez para crear y modificar planificaciones y la integración con la base de datos de ARASAAC, así como la posibilidad de usar pictogramas, fotografías reales y texto asociado. La versatilidad, personalización y apoyo visual fueron otros aspectos muy bien considerados, junto con la capacidad de uso multiplataforma y su utilidad en distintos entornos (educativo, clínico, familiar). En cuanto a los *puntos débiles*, algunos profesionales señalaron la posible complejidad inicial de la herramienta para ciertos perfiles, especialmente personas con TEA con menor autonomía o familiares con baja competencia digital. También se mencionó la necesidad de formación previa para un uso eficaz. Por último, entre las *propuestas de mejora*, se sugirió la posibilidad de incluir salida de voz para apoyar la comunicación, y la simplificación de la interfaz cuando se use con niños más pequeños. También se propuso ampliar la funcionalidad de planificación colaborativa, permitiendo que padres, madres y profesionales puedan coordinar planificaciones compartidas. Algunos profesionales insistieron en la importancia de mantener la sencillez y evitar sobrecargar la interfaz, así como en seguir potenciando la flexibilidad y personalización.

En conjunto, los resultados de ambas evaluaciones reflejan que PlanTEA es una herramienta muy bien valorada por su usabilidad, utilidad y enfoque inclusivo, con un gran potencial para favorecer la autonomía, organización y comunicación de las personas con TEA. Tanto los estudiantes con conocimientos en usabilidad y accesibilidad como los profesionales de atención directa destacaron su simplicidad, claridad visual y capacidad de personalización, así como la

pertinencia de sus funcionalidades en distintos contextos de aplicación. No obstante, subrayan la necesidad de optimizar la accesibilidad práctica para distintos perfiles de usuarios, reforzar el acompañamiento formativo para facilitar su adopción y seguir evolucionando hacia una herramienta más adaptativa, inclusiva y colaborativa, capaz de responder con flexibilidad a la diversidad de necesidades presentes en el espectro autista.

4. Conclusiones y Trabajo Futuro

La aplicación PlanTEA surge como respuesta a la necesidad de ofrecer herramientas tecnológicas que faciliten la planificación y anticipación de las personas con TEA ante actividades y entornos cambiantes. A lo largo de su desarrollo, la aplicación ha ido evolucionando hasta alcanzar su versión actual (PlanTEA 3.0), que refuerza su usabilidad, accesibilidad, personalización de contenidos y adaptabilidad a distintos perfiles de participantes y contextos de uso. Los resultados de su evaluación muestran que PlanTEA es una herramienta tecnológicamente sólida y bien valorada, tanto desde una perspectiva técnica como profesional. En el primer caso, destacan la adecuación a las tareas, la personalización, el diseño visual y la accesibilidad, valorando especialmente su simplicidad, estructura intuitiva y atractivo visual. Los profesionales valoraron especialmente la integración con ARASAAC, la inclusión de fotografías reales y la capacidad de adaptación a diferentes contextos y perfiles de usuario. Sin embargo, también se han identificado áreas de mejora relacionadas con la carga cognitiva y el control de errores, lo que sugiere la conveniencia de seguir optimizando la interfaz para reducir el esfuerzo mental y facilitar la navegación.

Como líneas de trabajo futuro, se propone seguir evaluando la aplicación, involucrando a personas con TEA y sus familias, a fin de obtener evidencias directas sobre su impacto en la

mejora de la autonomía funcional y la reducción de la ansiedad ante cambios y situaciones desconocidas. También se está trabajando en ampliar las opciones de personalización (incorporando soporte auditivo, multilingüe o sensorial), así como en desarrollar mecanismos adaptativos de acompañamiento y retroalimentación que faciliten la autogestión y el aprendizaje progresivo del uso de la herramienta.

En definitiva, los resultados de este trabajo sugieren que PlanTEA es una solución tecnológica inclusiva, funcional y adaptable, capaz de responder a la diversidad de necesidades de las personas con TEA. Su uso potenciará la participación y el bienestar de las personas con TEA y su desempeño en tareas cotidianas en distintos contextos (educativos, clínicos y familiares).

Por último, este trabajo abre nuevas líneas de investigación en el campo del diseño y evaluación de interfaces accesibles y adaptativas dentro del ámbito de la tecnología asistiva, en general, y de la dirigida a las personas con TEA, en particular.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el contexto de los proyectos de investigación APTEA (Ref. TED2021-131956B-I00), financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR, de los proyectos PlanTEAAF y TEAcompañio (Refs. 2022-GRIN-34175 and Ref. 2025-GRIN-38489, respectivamente), financiados por la Universidad de Castilla-La Mancha y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER); 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); y de la Cátedra UCLM-Telefónica "Sistemas Avanzados de Interacción para Educación Digital e Inclusiva".

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*, 9(4), 157. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9040157>
- Aguiar, Y. P. C., Galy, E., Godde, A., Trémaud, M., & Tardif, C. (2022). AutismGuide: a usability guidelines to design software solutions for users with autism spectrum disorder. *Behaviour & Information Technology*, 41(6), 1132–1150. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2020.1856927>
- Alabbas, N. A., & Miller, D. E. (2019). Challenges and assistive technology during typical routines: Perspectives of caregivers of children with autism spectrum disorders and other disabilities. *International Journal of Disability, Development and Education*, 66(3), 273–283.
- Alhwaiti, M. (2022). Does social stories intervention improve social skills among children with ASD?: A Systematic Review of the Literature. *Revista Amazonia Investiga*, 11(51), 197–202. <https://doi.org/10.34069/AI/2022.51.03.18>
- 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 and Computer Engineering (IJECE)*, 12(4), 4111. <https://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*, 22(3), 1250. <https://doi.org/10.3390/s22031250>
- 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. *Usability Evaluation in Industry*, 189(3).
- Carlier, S., Van der Paelt, S., Ongenaes, 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 (Switzerland)*, 20(4). <https://doi.org/10.3390/s20040966>
- Chen, W. (2012). Multitouch tabletop technology for people with autism spectrum disorder: A review of the literature. *Procedia Computer Science*, 14(1877), 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>
- Cook, T. D., Campbell, D. T., & Shadish, W. (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Houghton Mifflin Boston, MA.
- Cruz Puerto, M., & Sandín Vázquez, M. (2024). Understanding heterogeneity within autism spectrum disorder: a scoping review. *Advances in Autism*, 10(4), 314–322. <https://doi.org/10.1108/AIA-12-2023-0072>
- Cui, M., Ni, Q., & Wang, Q. (2023). Review of intervention methods for language and communication disorders in children with autism spectrum disorders. *PeerJ*, 11, e15735. <https://doi.org/10.7717/peerj.15735>
- Davis, F. D. (1993). User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. In *International Journal of Man-Machine Studies* (Vol. 38, Issue 3, pp. 475–487). <https://doi.org/10.1006/imms.1993.1022>
- de Carvalho, A. P., Braz, C. S., dos Santos, S. M., Ferreira, R. A. C., & Prates, R. O. (2023). Serious Games for Children with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Literature Review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 1–28.
- DeGuzman, P. B., Aboali, S., Sadatsafavi, H., Bohac, G., & Sochor, M. (2024). Back to basics: Practical strategies to reduce sensory overstimulation in the emergency department identified by adults and caregivers of children with autism spectrum disorder. *International Emergency Nursing*, 72, 101384. <https://doi.org/10.1016/j.ienj.2023.101384>
- 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 (Lithuania)*, 55(8), 1–18. <https://doi.org/10.3390/medicina55080440>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 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 and Occupational Therapy in Pediatrics*, 36(1), 46–58. <https://doi.org/10.3109/01942638.2015.1040572>
- Ghanouni, P., Jarus, T., Zwicker, J. G., & Lucyshyn, J. (2020). The use of technologies among individuals with autism spectrum disorders: Barriers and challenges. *Journal of Special Education Technology*, 35(4), 286–294.
- Girardi, G., Fernandez, L. G., Leboyer, M., Latimier, A., Chokron, S., & Zalla, T. (2021). Temporal preparation in adults with autistic spectrum disorder: The variable foreperiod effect. *Autism Research*, 14(11), 2393–2404. <https://doi.org/10.1002/aur.2573>
- 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* [Universidade da Coruña]. <http://ruc.udc.es/dspace/handle/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>
- Herrero, R., Díaz, A., & Zueco, J. (2024). The Burden and Psychological Distress of Family Caregivers of Individuals with Autism Spectrum Disorder: A Gender Approach. *Journal of Clinical Medicine*, 13(10), 2861. <https://doi.org/10.3390/jcm13102861>
- Hong, E. R., Kawaminami, S., Neely, L., Morin, K., Davis, J. L., & Gong, L. yuan. (2018). Tablet-based interventions for individuals with ASD: Evidence of generalization and maintenance effects. *Research in Developmental Disabilities*, 79(January), 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.01.014>
- Hrabal, J. M., Davis, T. N., & Wicker, M. K. R. (2023). The Use of Technology to Teach Daily Living Skills for Adults with Autism: a Systematic Review. *Advances in Neurodevelopmental Disorders*, 7(3), 443–458. <https://doi.org/10.1007/S41252-022-00255-9/TABLES/1>
- Jima Cuenca, J. T., Castro Villalobos, S., & Ramírez, A. (2025). Prevalencia del Trastorno del Espectro Autista (TEA) en infantes: revisión sistemática y metaanálisis. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v6i2.3689>
- Klavina, A., Pérez-Fuster, P., Daems, J., Lyhne, C. N., Dervishi, E., Pajalic, Z., Øderud, T., Fuglerud, K. S., Markovska-Simoska, S., Przybyla, T., Klichowski, M., Stiglic, G., Laganovska, E., Alarcão, S. M., Tkaczyk, A. H., & Sousa, C. (2024). The use of assistive technology to promote practical skills in persons with autism spectrum disorder and intellectual disabilities: A systematic review. *DIGITAL HEALTH*, 10. <https://doi.org/10.1177/20552076241281260>
- 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), 1–16. <https://doi.org/10.2196/20892>
- Lorah, E. R., Holyfield, C., Griffen, B., & Caldwell, N. (2024). A Systematic Review of Evidence-based Instruction for Individuals with Autism Using Mobile Augmentative and Alternative Communication Technology. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 11(1), 210–224. <https://doi.org/10.1007/s40489-022-00334-6>
- Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-Vanderweele, J. (2018). Autism spectrum disorder. *The Lancet*, 392(10146), 508–520. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31129-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31129-2)
- Meadan, H., Ostrosky, M. M., Triplett, B., Michna, A., & Fetting, A. (2011). Using Visual Supports with Young Children with Autism Spectrum Disorder. *TEACHING Exceptional Children*, 43(6), 28–35. <https://doi.org/10.1177/004005991104300603>
- Moon, S. J., Hwang, J., Hill, H. S., Kervin, R., Birtwell, K. B., Torous, J., McDougale, 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, L., Lacave, C., & Molina, A. I. (2024). PlanTEA 3.0: Una aplicación para la planificación, anticipación y comunicación para personas con TEA. *Proceedings of the XXIV International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACCIÓN 2024)*, 77–84.
- Morales, L., Molina, A. I., & Lacave, C. (2025). PlanTEA 3.0 : Una Aplicación para la Planificación , Anticipación y Comunicación para Personas con TEA. *Revista Digital de AIPO*, 6(1), 23–36. <https://revista.aiipo.es/index.php/INTERACCION/article/view/122/122>
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Elsevier.
- Pasqualotto, A., Mazzoni, N., Benteuto, 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). <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(December 2017), 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2018.08.006>
- Qin, L., Wang, H., Ning, W., Cui, M., & Wang, Q. (2024). New advances in the diagnosis and treatment of autism spectrum disorders. *European Journal of Medical Research*, 29(1), 322. <https://doi.org/10.1186/s40001-024-01916-2>
- Rashidan, M. A., Sidek, S. N. I., Yusof, H. M., Khalid, M., Dzulkarnain, A. A. A., Ghazali, A. S., Zabidi, S. A. M., & 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>
- Trémaud, M., Aguiar, Y. P., Pavani, J.-B., Gepner, B., & Tardif, C. (2021). What do digital tools add to classical tools for sociocommunicative and adaptive skills in children with Autism Spectrum Disorder? *L'Année Psychologique*, Vol. 121(4), 361–392. <https://doi.org/10.3917/anpsy1.214.0361>
- Valencia, K., Botella, F., & Rusu, C. (2022). A Property Checklist to Evaluate the User Experience for People with Autism Spectrum Disorder. In *HCI/2022: Social Computing and Social Media: Design, User Experience and Impact* (Vol. 13315, Issue Lecture Notes in Computer Science, pp. 205–216). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05061-9_15
- Valencia, K., del Mazo, P. H., Molina, A. I. A. I., Lacave, C., Rusu, C., Botella, F., Hernández del Mazo, P., Molina, A. I. A. I., Lacave, C., Rusu, C., & Botella, F. (2025). Evaluating PlanTEA: the practice of a UX evaluation methodology for people with ASD. *Universal Access in the Information Society*, 24(2), 1719–1746. <https://doi.org/10.1007/s10209-024-01175-2>
- Valencia, K., Rusu, C., & Botella, F. (2021). A Preliminary Methodology to Evaluate the User Experience for People with Autism Spectrum Disorder. In *International Conference on Human-Computer Interaction: Vol. 12774 LNCS* (Issue 1). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77626-8_37
- Valencia, K., Rusu, C., Quiñones, D., & Jamet, E. (2019). The Impact of Technology on People with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Literature Review. *Sensors*, 19(20), 4485. <https://doi.org/10.3390/s19204485>
- Vernhet, C., Michelon, C., Dellapiazza, F., Rattaz, C., Geoffray, M.-M., Roeyers, H., Picot, M.-C., Baghdadli, A., Baghdadli, A., Chabaux, C., Chatel, C., Cohen, D., Damville, E., Geoffray, M.-M., Gicquel, L., Jardri, R., Maffre, T., Novo, A., Roxane, R., ... Vespérini, S. (2022). Perceptions of parents of the impact of autism spectrum disorder on their quality of life and correlates: comparison between mothers and fathers. *Quality of Life Research*, 31(5), 1499–1508. <https://doi.org/10.1007/s11136-021-03045-3>
- Villegas-Lirola, F. (2023). Prevalence of Autism Spectrum Disorder in Children in Andalusia (Spain). *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 53(11), 4438–4456. <https://doi.org/10.1007/s10803-022-05728-3>
- W3C - Web Accessibility Initiative (WAI). (2023). *Accessibility Guidelines Working Group. WCAG 2 Overview*. <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/>

Empatía Percibida en Interacciones Humano-Agente: Comparación de Instrumentos y Desarrollo del Cuestionario CEPRS

Perceived Empathy in Human-Agent Interactions: Comparison of Instruments and Development of the CEPRS Questionnaire

Alberto Hitos-García

Dpto. Lenguajes y Sistemas
Informáticos
Universidad de Granada
Granada, España
albertohitos@ugr.es

Francisco Luis Gutiérrez-Vela

Dpto. Lenguajes y Sistemas
Informáticos
Universidad de Granada
Granada, España
fgutierr@ugr.es

Patricia Paderewski-Rodríguez

Dpto. Lenguajes y Sistemas
Informáticos
Universidad de Granada
Granada, España
patricia@ugr.es

André Satoshi Kawamoto

Dpto. Acadêmico de
Computação
Universidade Tecnológica
Federal de Paraná
Campo Mourão-PR, Brasil
kawamoto@utfpr.edu.br

Recibido: 12.11.2025 | Aceptado: 2.12.2025

DOI: <https://doi.org/10.65234/interaccion.132>

Palabras Clave

Empatía Percibida
Interacción Persona-
Ordenador (IPO)
Instrumentos de Medición
Análisis Comparativo

Resumen

La empatía percibida en las interacciones con agentes computacionales es un tema emergente y de gran importancia en la Interacción Persona-Ordenador (IPO). Este estudio presenta un análisis comparativo de los instrumentos existentes para medir la empatía percibida en agentes computacionales y, a partir de las limitaciones detectadas, propone un nuevo cuestionario adaptado a la interacción con adultos mayores. Al evaluar los fundamentos teóricos, la adaptabilidad y los procesos de validación de las herramientas revisadas, el artículo identifica fortalezas y debilidades clave, especialmente en relación con la evaluación de señales multimodales y la naturaleza dinámica de la interacción. Además, se destaca la necesidad de instrumentos accesibles y sensibles al contexto emocional y comunicativo de distintos grupos de usuarios, especialmente los adultos mayores. Los hallazgos respaldan el desarrollo de enfoques de medición más inclusivos y específicos, con el fin de fomentar interacciones Humano-Agente más efectivas, significativas y confiables.

Keywords

Perceived Empathy
Human-Computer Interaction
(HCI)
Assessment Instruments
Comparative Analysis

Abstract

Perceived empathy in interactions with computational agents is a significant and emerging topic in Human-Computer Interaction (HCI). This study provides a comparative analysis of existing instruments for evaluating perceived empathy in computational agents and based on the identified limitations, introduces a new questionnaire specifically adapted for interactions with older adults. By examining each instrument's theoretical foundations, adaptability, and validation processes, the paper identifies key strengths and weaknesses, particularly regarding multimodal and dynamic interaction contexts. Furthermore, it highlights the need for accessible and context-sensitive assessment tools tailored to diverse user groups, especially older adults. The findings support the development of more inclusive, domain-relevant approaches to empathy assessment, fostering the design of more meaningful, trustworthy, and engaging Human-Agent Interactions.

1. Introducción

En los últimos años, la presencia de agentes computacionales en la vida diaria ha aumentado significativamente. Los agentes basados en Inteligencia Artificial (IA) son habituales

en diversos sectores: en la atención médica, interactúan con pacientes ofreciendo apoyo emocional y asistiendo en decisiones médicas; en la educación, sirven como asistentes de enseñanza y monitorizan el progreso de los estudiantes; y

en las tareas cotidianas, agentes como Alexa se han vuelto omnipresentes (Lugrin et al., 2022).

Aunque estos agentes están diseñados para asistir e interactuar con los usuarios, la forma en que los usuarios perciben estas interacciones juega un papel importante en la satisfacción, confianza y efectividad del usuario (Birmingham et al., 2022; Yalçın et al., 2024; Y. Yang et al., 2017).

La empatía (entender y compartir las emociones de otra persona) es vital para el éxito de las interacciones sociales. Para los agentes computacionales, es esencial que los usuarios perciban empatía para construir confianza, promover el compromiso y asegurar experiencias positivas (Charrier et al., 2019; Chaves & Gerosa, 2021; Cuadra et al., 2024; Paiva et al., 2017; B. Yang et al., 2023).

Sin embargo, es necesaria una adaptación de la empatía al contexto específico de las Interacciones Humano-Agente, ya que los agentes computacionales, al ser sistemas artificiales, no pueden experimentar emociones como lo hacen los humanos (Birmingham et al., 2022; Cuadra et al., 2024; Paiva et al., 2017; Park & Whang, 2022). En este contexto, la empatía es una simulación diseñada para mejorar la experiencia del usuario y hacer la interacción más natural y satisfactoria (Birmingham et al., 2022; Cuadra et al., 2024; James et al., 2018; Paiva et al., 2017; Park & Whang, 2022).

Sin embargo, esta simulación de empatía plantea preguntas sobre la autenticidad de las respuestas del agente y el riesgo de crear expectativas poco realistas al usuario. Si un agente expresa empatía a través del lenguaje, el tono de voz o las expresiones faciales, los usuarios podrían interpretar estas expresiones como evidencia de sentimientos genuinos, lo que lleva a una comprensión distorsionada de las capacidades del agente (Concannon & Tomalin, 2024; Cuadra et al., 2024).

Desde un punto de vista práctico, los desarrolladores se enfrentan al desafío de equilibrar respuestas empáticas y realistas con la necesidad de gestionar las expectativas del usuario. Los agentes deben reconocer y responder apropiadamente a las emociones de los usuarios, al tiempo que evitan crear la ilusión de que el agente posee una comprensión emocional profunda (Birmingham et al., 2022; Concannon & Tomalin, 2024; Roshanaei et al., 2024).

Para mitigar estos desafíos, los usuarios deben ser conscientes de que están interactuando con un sistema artificial que simula la empatía y no con un humano capaz de experimentar emociones genuinas. Educar a los usuarios sobre las limitaciones de la empatía computacional puede ayudar a

gestionar las expectativas y prevenir malentendidos (Birmingham et al., 2022; Cuadra et al., 2024).

En la actualidad, existe una variedad de herramientas para medir la empatía en las interacciones humanas, como la Escala de Empatía de Hogan (*Hogan Empathy Scale*, HES) (Hogan, 1969), el Índice de Reactividad Interpersonal (*Interpersonal Reactivity Index*, IRI) (Davis & others, 1980), la Escala de Empatía del Terapeuta (*Therapist Empathy Scale*, TES) (Decker et al., 2014) y la Escala de Empatía del Médico de Jefferson (*Jefferson Scale of Physician Empathy*, JSPE) (Hojat et al., 2018).

La mayoría de estas herramientas son cuestionarios basados en afirmaciones que permiten a los participantes u observadores independientes evaluar subjetivamente una interacción basada en la conversación.

Si bien instrumentos como el IRI se utilizan ampliamente en las interacciones humanas, su aplicación directa a agentes artificiales es limitada. Además, a pesar de que las métricas de empatía humana están bien establecidas en la psicología, la psiquiatría y la neurociencia, la traducción directa de estas métricas al dominio de la IA no es trivial y requiere adaptaciones cuidadosas considerando las diferencias fundamentales entre humanos y agentes computacionales (Concannon & Tomalin, 2024; Yalçın et al., 2024).

Por tanto, a pesar de su reconocida importancia, la investigación sobre la empatía en sistemas interactivos aún necesita instrumentos de medición estandarizados y validados que capturen la complejidad de la empatía humana y se adapten a las particularidades de la IPO (Concannon & Tomalin, 2024; Putta et al., 2022; Roshanaei et al., 2024; Schmidmaier et al., 2024; Yalçın et al., 2024). Esta falta de instrumentos fiables dificulta la comparación de diferentes sistemas y el desarrollo de otros nuevos que incorporen la empatía en sus características.

Dada la complejidad de medir la empatía en las interacciones entre humanos y agentes computacionales, este artículo tiene como objetivo ofrecer una revisión y comparación detallada entre los diferentes instrumentos existentes para medir la empatía percibida en agentes computacionales, destacando los desafíos de adaptar las herramientas tradicionales a interacciones no humanas y enfatizando cómo abordar las lagunas actuales, explorando oportunidades futuras para expandir esta área de investigación.

Adicionalmente, a partir del estudio comparativo, se propone un nuevo cuestionario específicamente diseñado para evaluar la empatía percibida por adultos mayores en su interacción

con agentes interactivos sociales. Esta propuesta surge de la necesidad de contar con instrumentos que no solo consideren las particularidades de la empatía en Interacciones Humano-Agente, sino también las características cognitivas, emocionales y comunicativas propias de esta población (Kawamoto et al., 2014).

Con ello, este trabajo pretende responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué limitaciones presentan los instrumentos actuales de medición de empatía en agentes artificiales y cómo deben adaptarse para evaluar eficazmente la interacción con adultos mayores?

2. Búsqueda de instrumentos de evaluación de la empatía y criterios de comparación

Se realizó una búsqueda bibliográfica temática para identificar instrumentos de evaluación de la empatía percibida en las Interacciones Humano-Agente. Siguiendo los principios de (Braun & Clarke, 2006), este método permitió una exploración iterativa y flexible, priorizando la relevancia conceptual y la diversidad metodológica sobre la exhaustividad estadística de otras metodologías de búsqueda.

La búsqueda se realizó en las bases de datos IEEE Xplore, ACM Digital Library, PubMed, SpringerLink y arXiv, acotando los resultados a la última década, para garantizar su vigencia tecnológica. Se seleccionaron palabras clave propias de los temas identificados y se combinaron utilizando operadores booleanos para equilibrar la amplitud y la especificidad en los resultados de la búsqueda. La búsqueda incluyó términos como "*empathy measurement*", "*perceived empathy assessment tools*" o "*adapted empathy scales for computational agents*", entre otros. El proceso de refinamiento no fue lineal, sino guiado por temas esenciales identificados preliminarmente.

Este enfoque temático priorizó la inclusión, permitiendo examinar herramientas de diversos contextos y modalidades. Se incluyeron artículos y preprints basados en su relevancia y su enfoque en instrumentos adaptados para la Interacción Humano-Agente. Por el contrario, se excluyeron los estudios estrictamente limitados a la empatía de humano a humano (o interpersonal) o que carecían de suficientes detalles metodológicos.

Esta metodología destacó la riqueza teórica y la diversidad de los instrumentos de evaluación de la empatía, al tiempo que identificó lagunas que justifican una exploración futura.

La muestra final de instrumentos se sometió a un análisis comparativo estructurado en base a nueve criterios definidos

para evaluar su idoneidad en contextos de Interacción Humano-Agente y que proporcionan una base para que los posibles investigadores interesados en adoptar un instrumento puedan seleccionar el más adecuado a su objetivo:

1. **Adaptación de una Métrica Existente:** verifica si el instrumento es una adaptación de métricas encontradas en la literatura. Este criterio es esencial para comprender la base teórica del instrumento y su validez previa, ya que los instrumentos adaptados pueden tener un historial de uso y validación, lo que contribuye a su fiabilidad y aplicabilidad.
2. **Tipo de Sistema Evaluado:** identifica el tipo de sistema interactivo computacional (diálogo, interactivo, robot social u otro) al que se dirige el instrumento. Los diferentes sistemas pueden influir en la percepción de la empatía, y la comprensión de estas particularidades ayuda a contextualizar las interacciones y adaptar los instrumentos para diversas tecnologías.
3. **Dimensiones/Ítems:** evalúa las dimensiones e ítems medidos por el instrumento, así como el número de ítems en cada dimensión. Este criterio garantiza un análisis exhaustivo de la empatía percibida, comprendiendo qué aspectos específicos de la empatía aborda el instrumento. El número de dimensiones e ítems también indica si el instrumento se aplica a audiencias específicas, como los adultos mayores, que pueden sufrir una carga cognitiva en cuestionarios extensos.
4. **Punto de Vista:** el punto de vista adoptado para medir la empatía puede ser desde el usuario, desde un observador externo o desde un experto. El punto de vista puede influir en los resultados y la interpretación de los datos, proporcionando información variada sobre la interacción y la empatía percibida.
5. **Tipo de Cuestionario:** como por ejemplo la escala Likert o las preguntas exploratorias. El tipo de cuestionario influye en cómo se recopilan y analizan los datos, con cuestionarios estructurados en escalas conocidas que facilitan la comparación y la interpretación de los resultados.
6. **Validación:** verifica si el instrumento se sometió a una validación empírica, como el análisis factorial, de fiabilidad (Alfa de Cronbach u Omega de McDonald) y de validez convergente/divergente. La validación empírica es fundamental para garantizar la fiabilidad y la solidez científica del instrumento.

7. **Limitaciones:** identifica posibles restricciones en el método de aplicación, el tipo de sistema evaluado o el tipo de interacción estudiada. Comprender las limitaciones del instrumento es esencial para identificar áreas de mejora y restricciones.
8. **Enfoque en el Lenguaje:** analiza si el instrumento se centra solo en el lenguaje o considera otras señales (como expresiones faciales y gestos). Este criterio es significativo para situaciones en las que solo se utilizan agentes conversacionales con una fuerte dependencia de la comunicación verbal (hablada o escrita), como los *chatbots* que utilizan el Procesamiento del Lenguaje Natural.
9. **Modalidades de Interacción:** que evalúa las modalidades utilizadas por el instrumento (texto, voz, multimodal). Considerar las modalidades de interacción ayuda a comprender la flexibilidad y la aplicabilidad del instrumento en diferentes contextos de uso, ya que las diferentes modalidades pueden afectar de forma única la percepción de la empatía.

Los criterios se organizaron en tres grupos temáticos para resumir la comparación y facilitar la presentación y el análisis comparativo de los instrumentos. Esta comparación puede consultarse en los anexos, en forma de tablas.

La primera tabla presenta los criterios generales relacionados con las características contextuales de los instrumentos, como el tipo de sistema evaluado, las modalidades de interacción que admite, el año de publicación y si adapta o no métricas preexistentes en la interacción interpersonal.

La segunda tabla incluye información sobre la estructura y el contenido de los instrumentos, incluido el número de dimensiones e ítems, el enfoque en el lenguaje u otras señales, y la perspectiva adoptada (usuario, observador externo o experto).

Finalmente, la tercera tabla describe los aspectos metodológicos como el tipo de cuestionario utilizado, los procesos de validación empírica llevados a cabo y las limitaciones identificadas.

Esta división tiene como objetivo organizar la información de manera clara y objetiva, optimizando la comprensión y la comparación entre los instrumentos.

La siguiente sección proporciona una descripción completa de estos instrumentos, destacando sus características únicas, dimensiones y posibles contribuciones a la evaluación de la empatía en sistemas computacionales.

3. Herramientas para medir la empatía

3.1. Modelo Basado en QEAE para Evaluar la Empatía en las Interacciones Humano-Robot

Tisseron *et al.* tuvieron como objetivo explorar y validar un modelo de empatía aplicado a las interacciones entre humanos y robots, utilizando un Cuestionario de Empatía y Auto-empatía (*Questionnaire of Empathy and Auto-Empathy*, QEAE) (Tisseron et al., 2015). Su principal propuesta es comprender cómo se percibe la empatía en las interacciones con robots y avatares, contribuyendo a la aceptación y efectividad de los robots de asistencia, particularmente en contextos de tratamiento y rehabilitación.

Según los autores, el QEAE mide las diferentes dimensiones de la empatía durante las interacciones y puede utilizarse en dos contextos experimentales: un estudio psicológico con una población no clínica y una iniciativa de investigación interdisciplinaria centrada en la interacción entre adultos mayores y robots humanoides.

Los resultados esperados de este proyecto incluyeron una comprensión más profunda de las relaciones empáticas que los humanos pueden desarrollar con los robots, lo que puede tener implicaciones significativas para el diseño y la implementación de robots de asistencia. La investigación buscó validar el QEAE e identificar qué aspectos de las interacciones y características del robot influyen en la experiencia empática humana.

El QEAE se desarrolló como una herramienta adaptable para medir la empatía en las interacciones con robots y avatares, lo que indica una adaptación métrica para diferentes contextos de interacción. Al abordar tanto robots como avatares, este modelo proporciona información sobre los matices de la empatía en diferentes tipos de entidades artificiales, haciéndolo versátil y completo. Esta adaptabilidad es clave, ya que permite que el instrumento sea aplicable en varios escenarios que involucren interacciones Humano-Robot o Humano-Avatar.

El QEAE consta de cuatro dimensiones: **auto-empatía**, **empatía directa**, **empatía recíproca** y **empatía intersubjetiva**. Cada dimensión contiene cuatro componentes (acción, emoción, cognición y asistencia) que suman un total de 16 ítems. Esta estructura detallada asegura la captura de múltiples facetas de la empatía, proporcionando un marco robusto para la evaluación.

El QEAE está diseñado para captar la perspectiva del usuario, lo que permite una evaluación directa de los procesos

emocionales y cognitivos involucrados en estas interacciones, mejorando la relevancia de los hallazgos.

Los autores no especifican explícitamente la escala adoptada por el instrumento, pero señalan que el QEAЕ aún está en proceso de validación, con estudios experimentales planificados para confirmar su efectividad y relevancia en las interacciones Humano-Robot. Esta validación en curso refuerza la credibilidad científica del instrumento y garantiza su fiabilidad en diversos contextos.

El instrumento se aplica a interacciones multimodales, incluyendo texto, voz y otras señales no verbales. Esta aplicabilidad multimodal refleja cómo los humanos interactúan con robots y avatares, evaluando de manera integral la empatía en estos contextos.

Los autores admiten que el QEAЕ aún está en proceso de validación y reconocen algunas limitaciones. Este proceso puede dificultar la generalización de los resultados hasta que se complete la validación. Además, las interacciones con robots pueden presentar desafíos únicos que el modelo podría no abordar completamente, destacando áreas para un futuro refinamiento.

3.2. RoPE (Robot's Perceived Empathy)

Charrier *et al.* desarrollaron la escala de Empatía Percibida del Robot (*Robot's Perceived Empathy*, RoPE) para medir las percepciones humanas de la empatía en las interacciones con robots, abordando una brecha en la investigación de la empatía robótica (Charrier et al., 2019). Una ventaja clave de la escala RoPE es su estandarización, que evita la aplicación directa de métricas de empatía humana al reconocer las diferencias en las capacidades emocionales entre humanos y robots.

La escala adapta las métricas utilizadas para medir la empatía humana al contexto de la interacción Humano-Robot, evitando formulaciones que se basen en habilidades de las que los robots carecen.

La escala RoPE consta de dos dimensiones: **Comprensión Empática y Respuesta Empática**, con 18 ítems distribuidos en estas dimensiones y cuatro ítems extra. Esta estructura permite una evaluación integral de la empatía, capturando tanto los componentes cognitivos como los emocionales a través de un formato de cuestionario tipo Likert. Este formato es ideal para obtener respuestas matizadas y proporciona un enfoque estandarizado para medir la empatía en diferentes estudios y contextos.

Expertos en ciencia cognitiva y robótica han llevado a cabo una validación preliminar. Este proceso de validación en curso es importante para establecer la credibilidad científica de la escala y garantizar su efectividad en diversas aplicaciones. Los autores afirman que hay planes para probar la fiabilidad y validez de la versión francesa de la escala en un experimento futuro, utilizando un robot Cozmo para interacciones grabadas que varían entre reacciones empáticas y neutrales.

De cierta manera, la necesidad de una mayor validación para garantizar la fiabilidad y sensibilidad de la escala representa una limitación. Además, la aplicación de la escala puede estar influenciada por sesgos relacionados con las capacidades emocionales de los robots, lo que debe considerarse al interpretar los resultados.

Aunque el artículo original de la escala RoPE no proporciona criterios de evaluación detallados, (Daher et al., 2020) utilizaron RoPE para medir la empatía percibida en las interacciones con un *chatbot* de asistencia médica. Sus resultados demostraron la efectividad de la escala para capturar diferencias en la percepción de la empatía basadas en variaciones en las respuestas del *chatbot*.

El estudio concluyó que RoPE es una herramienta válida y valiosa para evaluar la interacción Humano-*Chatbot*, particularmente en escenarios de atención médica. Destacó la sensibilidad de la escala a los ajustes en las respuestas del *chatbot* con respecto a la empatía percibida. Sin embargo, los autores recomendaron estudios futuros en diversos contextos con muestras más grandes para validar estos hallazgos y abordar posibles limitaciones y la generalización de la herramienta.

3.3. Modelo de Evaluación de la Empatía en Sistemas Autónomos

El modelo de evaluación de la empatía propuesto por Urakami *et al.* proporciona un marco integral para comprender cómo los usuarios perciben las expresiones empáticas en las interacciones con sistemas autónomos (Urakami et al., 2019). El modelo consta de ocho dimensiones que capturan aspectos clave de la empatía, lo que permite un análisis detallado de las respuestas de los usuarios: **expresión de sentimientos propios** (la capacidad del sistema para comunicar sus emociones), **expresión de saber lo que siente el otro** (reconocer y articular las emociones del usuario), **ayuda** (la voluntad del sistema de ofrecer asistencia), **mostrar interés** (demostrar atención y preocupación por las necesidades del usuario), **tomar la perspectiva del otro** (comprender la situación del usuario desde su punto de vista), **mostrar consideración** (reconocer y respetar las emociones del usuario), **comprensión situacional** (empatía cognitiva,

evaluar la situación emocional del usuario) y **acuerdo** (alinearse con las emociones u opiniones del usuario).

La empatía se evalúa mediante una encuesta con 72 ítems. Aunque los autores no especifican el número de ítems por dimensión, la estructura integral permite una evaluación detallada, capturando aspectos clave de la Interacción Persona-Ordenador.

Esta herramienta adapta las definiciones e instrumentos existentes para medir la empatía, centrándose en elementos relevantes para las interacciones con sistemas autónomos, asegurando su idoneidad para evaluar la empatía en diálogos. La evaluación se lleva a cabo desde la perspectiva del usuario. En un estudio realizado por los autores, los participantes evaluaron las expresiones empáticas de un sistema autónomo basándose en sus experiencias, asegurando que los hallazgos reflejen interacciones reales de los usuarios.

La validación del modelo implicó la comparación de las evaluaciones de cuatro investigadores, los cuales llegaron a las mismas conclusiones. Los resultados mostraron que las dimensiones de empatía cognitiva y asistencia, como "ayuda" y "mostrar interés", fueron calificadas más positivamente que las dimensiones afectivas como "expresión de sentimientos propios". Esto sugiere que los usuarios valoran la comprensión y el apoyo práctico por encima de las expresiones emocionales en las interacciones con sistemas autónomos.

El cuestionario utiliza una escala tipo Likert, donde los participantes califican las afirmaciones de 0 a 10, indicando su grado de acuerdo. Este formato captura la intensidad de la respuesta y proporciona un método estandarizado para medir la empatía.

El instrumento se centra en el lenguaje, específicamente el texto, ya que el estudio se realizó a través de una encuesta *online* que evaluaba afirmaciones escritas. No se mencionan las señales no verbales, lo que sugiere un área potencial de expansión para incluir señales de comunicación multimodal, con el instrumento diseñado principalmente para diálogos textuales.

La consistencia interna se confirmó mediante el alfa de Cronbach, arrojando valores satisfactorios, lo que indica dimensiones fiables y consistentes. Además, se utilizó ANOVA para comparar las evaluaciones entre dimensiones, revelando diferencias significativas en las percepciones de los participantes.

Este modelo mejora la comprensión de las interacciones entre humanos y sistemas autónomos y proporciona un marco

valioso para la investigación de la empatía en IA. Las dimensiones identificadas y la metodología de evaluación pueden guiar el desarrollo de sistemas más efectivos y empáticos, mejorando potencialmente la aceptación y efectividad del usuario en aplicaciones del mundo real.

Los autores reconocen limitaciones, como que los participantes evalúan la empatía mediante escenarios hipotéticos, lo que puede no reflejar interacciones reales, y la falta de exploración de las diferencias individuales en las respuestas a las expresiones empáticas.

3.4. Social Service Robot Interaction Trust (SSRIT)

La Confianza en la Interacción con Robots de Servicio Social (*Social Service Robot Interaction Trust*, SSRIT) mide la confianza de los consumidores en las interacciones con robots sociales de inteligencia artificial en contextos de prestación de servicios (Chi et al., 2021). Aunque desarrollada con un enfoque en la confianza, la escala presenta dimensiones directamente relacionadas con la percepción de la empatía.

La confianza a menudo se reconoce como una condición facilitadora de la empatía, permitiendo a los usuarios involucrarse más profundamente en las interacciones y atribuir intenciones positivas al agente social. Por lo tanto, el SSRIT contribuye indirectamente a comprender cómo se percibe la empatía en los escenarios de Interacción Humano-Robot.

La estructura multidimensional del SSRIT captura características clave para analizar la empatía en las interacciones computacionales. La dimensión "**propensión a confiar**" incluye factores como la familiaridad y la autoeficacia, que influyen en la voluntad de los usuarios de interpretar los comportamientos del agente como empáticos. Por ejemplo, las personas con mayor familiaridad tecnológica tienden a reducir las barreras cognitivas, mejorando su recepción de comportamientos empáticos.

La dimensión "**función y diseño de robot confiable**" incluye atributos como el antropomorfismo y el rendimiento, cruciales para demostrar empatía, ya que las características similares a las humanas y la funcionalidad constante son claves para evaluar las respuestas emocionales simuladas. Finalmente, la dimensión "**tarea y contexto de servicio confiable**" considera factores situacionales como el riesgo percibido y el ajuste entre el robot y el servicio, que influyen en la receptividad emocional y empática de los usuarios.

Además, la solidez metodológica del SSRIT, que combina indicadores formativos y reflexivos, ofrece una perspectiva

integral que puede facilitar futuras adaptaciones o expansiones de escalas centradas en la empatía percibida. En este sentido, la integración de SSRIT en el alcance de este estudio permite una comprensión teórica y operativa más profunda de la relación entre la confianza y la empatía en las interacciones Humano-Robot.

3.5. Uso de Instrumentos Existentes para Medir la Empatía Humana

La utilización del TEQ en su forma original, desarrollado para interacciones humanas, subraya una limitación significativa en su aplicación a entornos virtuales (Kroes et al., 2022).

Kroes *et al.* exploraron la empatía hacia los agentes virtuales, centrándose en la influencia de las historias de personificación y las características individuales del usuario. Utilizaron el Cuestionario de Empatía de Toronto (*Toronto Empathy Questionnaire*, TEQ), una escala Likert que mide la empatía como un constructo multidimensional, enfatizando los componentes afectivos y emocionales. Los participantes también completaron una encuesta posterior al experimento evaluando sus reacciones emocionales al agente virtual basándose en los componentes del TEQ.

El TEQ es una métrica no adaptada diseñada originalmente para interacciones humanas y no se ha modificado específicamente para evaluar la empatía hacia los agentes virtuales. Su uso en su forma original destaca una limitación significativa para la aplicación en entornos virtuales.

El instrumento incluye seis dimensiones: **Contagio Emocional** (*EmCon*), **Comprensión Emocional** (*EmUnd*), **Sensibilidad** (*Sens*), **Activación Fisiológica Simpática** (*SympPhy*), **Altruismo** (*AltEmp*) y **Comportamiento Empático de Orden Superior**. Aunque conceptualizadas inicialmente para interacciones de Humano-Humano, estas dimensiones proporcionan un marco integral para evaluar diversas facetas de la empatía. El instrumento utiliza una escala Likert de 5 puntos para capturar la intensidad de los sentimientos y actitudes de los participantes hacia el agente virtual.

El estudio evaluó un entorno inmersivo de realidad virtual (RV) donde los participantes observaron a un agente virtual mostrando emociones. Este entorno inmersivo es clave para comprender la empatía en un entorno más realista, proporcionando información sobre la dinámica de la Interacción Persona-Ordenador.

La interacción ocurrió en un entorno multimodal, con participantes observando al agente expresar emociones en RV. A pesar de la falta de interacción directa (por ejemplo,

diálogo o voz), la configuración permitió examinar la empatía en entornos virtuales.

El estudio concluyó que la empatía hacia los agentes virtuales está influenciada por las características individuales, pero la personificación por sí sola puede no aumentar la empatía. Los autores enfatizan la necesidad de considerar las diferencias individuales en el desarrollo de Interacciones Humano-Agente efectivas, sugiriendo que se requiere más investigación para adaptar las medidas de empatía como el TEQ a contextos de agentes computacionales.

El TEQ se utilizó desde la perspectiva del usuario, capturando percepciones subjetivas de empatía basadas en sus experiencias y sentimientos hacia el agente. Este enfoque centrado en el usuario es vital para evaluar la efectividad de los agentes virtuales en la evocación de respuestas empáticas. El TEQ incorpora componentes emocionales y conductuales, midiendo la empatía en un contexto más amplio. Sin embargo, es posible que no tenga completamente en cuenta las señales de comunicación no verbal, que son clave en las interacciones cara a cara.

Si bien el TEQ está validado en interacciones humanas, su aplicabilidad a agentes virtuales sigue sin abordarse, lo que presenta una notable laguna. Las limitaciones incluyen su diseño original para interacciones humanas, el tamaño de muestra pequeño y los posibles sesgos de los participantes que se centran en la apariencia del agente en lugar de en sus emociones.

3.6. Marco Multidimensional para la Empatía en Diálogos Interactivos

(Xu & Jiang, 2024) propusieron un marco de evaluación de la empatía diseñado para capturar la complejidad de la empatía en los diálogos interactivos, enfatizando su naturaleza colaborativa entre el hablante y el oyente. El marco consta de dos dimensiones principales: **Empatía Expresada** y **Empatía Percibida**.

La Empatía Expresada se refiere a las intenciones comunicativas del hablante, evaluadas mediante la identificación de actos de habla que transmiten empatía.

La Empatía Percibida adapta las definiciones psicológicas recientes a los diálogos orientados a tareas, evaluando la empatía desde la perspectiva del oyente. Esta dimensión incluye cuatro aspectos: **Compromiso**, que mide la percepción del oyente de la participación del hablante; **Comprensión**, que evalúa qué tan bien siente el oyente que se entienden sus emociones y su situación; **Simpática**, que evalúa la visión del oyente de la empatía y la respuesta

adecuada del hablante; y **Utilidad**, que evalúa si la comunicación del hablante aborda los problemas centrales de la conversación.

Estos aspectos interconectados forman un marco integral que refleja la naturaleza multifacética de la empatía en las interacciones sociales. La aplicación de este marco a los diálogos de servicio al cliente reveló correlaciones significativas entre la empatía percibida y la satisfacción del diálogo.

Este enfoque mejora la comprensión de la empatía en la comunicación y ofrece un método robusto para evaluar automáticamente la empatía, contribuyendo al desarrollo de sistemas de diálogo más efectivos y satisfactorios.

El instrumento adapta las métricas existentes para medir la empatía en los diálogos, considerando tanto las intenciones expresadas como la empatía percibida. Es muy adecuado para analizar las interacciones de servicio al cliente, lo que lo hace muy relevante en este contexto.

El marco fue validado utilizando un conjunto de datos interno de 2.000 diálogos de servicio al cliente anotados. Evaluadores humanos identificaron 16 intenciones comunicativas expresadas y cuatro aspectos de la empatía percibida, calificándolos en una escala Likert-5. El análisis mostró que la empatía expresada y percibida están interconectadas, y la empatía percibida influye directamente en la satisfacción de la conversación.

El estudio también encontró que los clasificadores basados en modelos de lenguaje ajustados por instrucciones superaron a los métodos de *prompting* y a otros enfoques competitivos. Estos resultados demuestran la efectividad del marco para medir la empatía en los diálogos, respaldando su aplicación en contextos de comunicación del mundo real.

La empatía percibida se evaluó desde la perspectiva del oyente, mientras que las intenciones expresadas se evaluaron desde la perspectiva del hablante.

Si bien el instrumento se centra en las características lingüísticas, también tiene en cuenta la dinámica social entre los participantes del diálogo, reconociendo la empatía como un proceso colaborativo. La evaluación se basa en texto, específicamente en diálogos de servicio al cliente. Sin embargo, el enfoque es adaptable a otras modalidades, ofreciendo un marco flexible para evaluar la empatía en diversos contextos de comunicación. Esta visión más amplia garantiza la inclusión de múltiples dimensiones de la empatía, extendiéndose más allá de la comunicación verbal.

Como limitaciones, los autores destacan los desafíos en la medición de la empatía debido a su naturaleza implícita, los estilos de expresión que pueden ser específicos del dominio y la sutil distinción entre la empatía expresada y percibida. Además, la efectividad del modelo puede variar según el contexto de interacción, lo que indica áreas que requieren un mayor refinamiento.

3.7. Heurísticas de Diseño Empático y Emocional en Tecnologías Sanitarias

Las heurísticas de diseño empático y emocional desarrolladas por (Borycki et al., 2024) ofrecen un conjunto de pautas destinadas a mejorar las interacciones usuario-sistema, particularmente dentro de las tecnologías sanitarias. Estas heurísticas se derivaron de una revisión exhaustiva de la literatura que identificó las mejores prácticas y principios que conducen a la creación de experiencias de usuario más positivas y emocionalmente satisfactorias.

El proceso de desarrollo implicó un análisis cualitativo de los datos recopilados, seguido de una revisión y validación por parte de un panel de expertos en información sanitaria y factores humanos, asegurando que las heurísticas sean tanto basadas en evidencia como contextualmente relevantes.

Las heurísticas se organizan en categorías que abordan elementos críticos del diseño empático, incluida la **Personalización**, la **Mensajería**, la **Participación** y la **Usabilidad**. Por ejemplo, se enfatiza la personalización como un factor clave para mejorar la percepción de empatía de los usuarios al adaptar la presentación de la información a las necesidades individuales. Además, se recomienda el uso de comunicación sencilla, junto con imágenes y visualizaciones, para aumentar la participación y la satisfacción del usuario. Estas pautas forman el diseño de la interfaz y sirven como herramientas de evaluación para medir la efectividad de las interacciones en términos de empatía y participación del usuario.

Estas heurísticas se aplican a diversas modalidades de interacción, como interfaces gráficas, textuales y multimodales, así como a robots sociales y asistentes virtuales. Su versatilidad les permite ser utilizadas en diversos contextos, que van desde aplicaciones de atención médica hasta plataformas de *e-learning*, donde la empatía y la experiencia del usuario juegan un papel crítico para las interacciones exitosas. Si bien el artículo no menciona una validación empírica formal de las heurísticas, el proceso de desarrollo, basado en una revisión de la literatura y la validación de expertos, proporciona una base sólida para su

uso práctico y efectividad en la promoción de interacciones empáticas.

El instrumento está diseñado para sistemas interactivos e interfaces de usuario, particularmente en tecnologías sanitarias. Si bien no se limita a un tipo de sistema específico, la herramienta es aplicable en contextos que involucran diálogos e interacciones con el usuario, lo que la hace adecuada para una amplia gama de aplicaciones. Esta adaptabilidad es vital para evaluar interfaces que tienen como objetivo fomentar interacciones más empáticas y emocionalmente atractivas.

Desde el punto de vista de la evaluación, el instrumento se desarrolla desde la perspectiva del usuario, centrándose en cómo las interacciones son percibidas y experimentadas por los usuarios finales. Además, los observadores externos y los expertos pueden participar en la evaluación durante el proceso de validación, mejorando el análisis y ofreciendo una comprensión más completa de la efectividad de las heurísticas.

El enfoque del instrumento se extiende más allá del lenguaje para incluir una variedad de señales y componentes de diseño, como mensajes, imágenes y participación, que trascienden la comunicación verbal.

Aunque la validación empírica no se aborda explícitamente en el documento, un panel de expertos revisó y validó las heurísticas, lo que indica cierto grado de validación a pesar de la falta de un proceso empírico formal en estudios de campo. Si bien el documento no analiza directamente las limitaciones, es razonable suponer que puede haber desafíos para generalizar las heurísticas a diferentes contextos de interacción. Podría ser necesaria una mayor validación en diversos escenarios. Además, la efectividad de las heurísticas puede depender del tipo de sistema y la complejidad de las interacciones, lo que debe considerarse al aplicarlas en contextos futuros.

3.8. Empathy Scale for Human-Computer Communication (ESHCC)

La Escala de Empatía para la Comunicación Humano-Ordenador (*Empathy Scale for Human-Computer Communication*, ESHCC) (Concannon & Tomalin, 2024) representa una adaptación de una métrica existente, la Escala de Empatía del Terapeuta (*Therapist Empathy Scale*, TES), desarrollada originalmente para medir la empatía en las interacciones Humano-Humano, especialmente en contextos terapéuticos. Esta adaptación es importante para evaluar la empatía en los sistemas de diálogo (SD), como los asistentes virtuales y los *chatbots*.

El marco ESHCC considera los aspectos matizados que definen la empatía en los contextos digitales, incluyendo: **Relevancia**, la capacidad del sistema para responder adecuadamente a las emociones y necesidades del usuario, asegurando que la interacción siga siendo significativa; **Fluidez**, la naturalidad y la suavidad de las respuestas del sistema, incluso si ocasionalmente sacrifica la expresividad emocional en aras de la coherencia; **Conciencia Emocional**, la capacidad del sistema para reconocer y responder apropiadamente a las emociones expresadas por el usuario, lo que refleja su sensibilidad a las señales emocionales; **Conexión Interpersonal**, la sensación de cercanía y comprensión que el usuario percibe durante la interacción, que es clave para fomentar la buena relación.

La evaluación se realiza desde la perspectiva de un observador externo, lo que permite un análisis imparcial de la empatía demostrada por el sistema a lo largo del diálogo. Para este propósito, el ESHCC utiliza una escala tipo Likert, donde los evaluadores califican cada ítem en una escala del 1 al 7, proporcionando una medida cuantitativa de la empatía percibida.

Los autores validaron la herramienta a través de un estudio empírico que implicó la aplicación del instrumento en diversas interacciones con sistemas de diálogo. Los resultados indicaron que el ESHCC posee propiedades psicométricas sólidas, incluida una alta fiabilidad y validez convergente. El análisis factorial confirmatorio reveló que las dimensiones del ESHCC se agrupan coherentemente, lo que respalda la estructura teórica propuesta.

Según los autores, este instrumento puede servir como una herramienta valiosa para desarrolladores e investigadores que buscan mejorar la Interacción Persona-Ordenador, permitiendo la identificación de áreas de mejora en las respuestas del sistema.

Como limitaciones, el ESHCC puede capturar solo parcialmente la empatía en las interacciones basadas en texto. Enfatiza el lenguaje como medio principal de evaluación, centrándose en las características léxicas, textuales y sintácticas en lugar de las señales no verbales o paralingüísticas que son más relevantes en las interacciones cara a cara.

El instrumento se aplica tanto a interacciones textuales como a transcripciones de interacciones de voz, aunque el énfasis principal está en la comunicación textual. Este enfoque permite un análisis más profundo de la empatía en contextos

de comunicación mediados por tecnología, lo que contribuye a la comprensión de la interacción Humano-Máquina.

3.9. Perceived Empathy of Technology Scale (PETS)

La Escala de Empatía Percibida de la Tecnología (*Perceived Empathy Technology Scale*, PETS) (Schmidmaier et al., 2024) mide la empatía percibida de los sistemas interactivos, con el objetivo de cerrar la brecha en la evaluación de la empatía tecnológica. PETS se desarrolló a través de un proceso estructurado que incluyó contribuciones de expertos y pruebas con usuarios, asegurando su relevancia para los sistemas interactivos.

El instrumento consta de 10 ítems, divididos en dos dimensiones principales: **Sensibilidad Emocional** (PETS-ER) y **Comprensión y Confianza** (PETS-UT), cada una de las cuales contiene cinco ítems que evalúan diferentes facetas de la empatía percibida. La recopilación de datos se facilita a través de una escala Likert, lo que respalda el análisis estadístico.

PETS se creó utilizando un enfoque de abajo hacia arriba (*bottom-up*), incorporando comentarios de expertos y pruebas con usuarios, lo que lo hace altamente específico para los sistemas interactivos. Se aplica a tecnologías que demuestran empatía, como asistentes virtuales y robots sociales, en una variedad de aplicaciones. Los participantes califican la empatía del sistema desde su propia perspectiva en varios escenarios.

La validación empírica de PETS se llevó a cabo a través de análisis factoriales exploratorios y confirmatorios, asegurando la solidez y fiabilidad del instrumento. El marco considera tanto el lenguaje como la respuesta emocional y la comprensión del usuario, abarcando aspectos tanto afectivos como cognitivos. PETS es versátil, aplicable a interacciones de texto, voz y multimodales, lo que amplía su aplicabilidad a diversos escenarios de interacción.

A pesar de la validación estadística, los autores reconocen la complejidad de la empatía en las interacciones humanas y la posible variación en la interpretación de las dimensiones de la empatía en diferentes contextos.

4. Desafíos, limitaciones e implicaciones éticas

4.1. Limitaciones de los Instrumentos Existentes y Adaptados

Si bien ha habido avances en el desarrollo y la adaptación de herramientas de medición de la empatía para agentes computacionales, persisten varias limitaciones. Muchos

instrumentos adaptados todavía arrastran suposiciones de las interacciones interpersonales (Humano-Humano), que pueden no alinearse completamente con la dinámica de las relaciones Humano-Agente, lo que lleva a posibles sesgos.

Por ejemplo, las nociones preconcebidas de los usuarios sobre la tecnología pueden influir en su percepción de la empatía, lo que a menudo resulta en una proyección poco realista de las capacidades emocionales en el agente. Además, las capacidades emocionales y cognitivas limitadas de los sistemas de IA actuales restringen la precisión de las evaluaciones de empatía, ya que estos agentes solo pueden simular emociones en lugar de experimentarlas. Estos desafíos complican la medición y la interpretación de la empatía percibida, a menudo comprometiendo la validez de los resultados en diversos contextos.

4.2. Implicaciones Éticas y Sociales

La simulación de la empatía por parte de los sistemas de IA introduce importantes preocupaciones éticas. ¿Es ético crear sistemas que parecen empatizar sin experimentar realmente emociones? Si bien estas simulaciones pueden ofrecer beneficios potenciales, también podrían inducir a error a los usuarios al hacerles pensar que el agente tiene una comprensión similar a la humana, lo que lleva a expectativas poco realistas. Esto es particularmente problemático en áreas sensibles como la atención médica y el apoyo a la salud mental, donde los usuarios podrían formar apegos emocionales o depender del agente para obtener apoyo emocional. Estas dinámicas exigen una cuidadosa consideración de la transparencia en el diseño de los sistemas de IA, asegurando que los usuarios sean conscientes de las limitaciones de la empatía de la IA. Además, el potencial de que la IA empática se utilice indebidamente con fines manipuladores, como influir en el comportamiento del consumidor, subraya la necesidad de directrices éticas con respecto a la simulación de la empatía en los sistemas de IA.

4.3. Lagunas y Oportunidades de Investigación

Los instrumentos de empatía revisados en este estudio tratan predominantemente la empatía como una característica estática evaluada después de la interacción. Si bien tales enfoques proporcionan información valiosa, a menudo no tienen en cuenta la naturaleza dinámica y evolutiva de la empatía durante las Interacciones Humano-Agente en tiempo real.

A pesar de que herramientas como el QEAE y el RoPE exhiben metodologías estructuradas, sus diseños se centran en escenarios predefinidos, lo que limita su capacidad para capturar la sensibilidad emocional momento a momento, particularmente crítica en dominios como la atención médica

o el servicio al cliente. La evaluación en tiempo real permitiría una comprensión más profunda de cómo se desarrolla la empatía en las diferentes etapas de la interacción.

Además, si bien a menudo se discute la generalización en diversos dominios, los hallazgos de instrumentos como el ESHCC sugieren que la precisión dentro de dominios específicos tiene mayor importancia que la aplicabilidad universal. Por ejemplo, los sistemas de atención médica pueden requerir herramientas altamente especializadas para abordar los matices emocionales de las interacciones paciente-médico, mientras que las tecnologías educativas pueden beneficiarse de medidas adaptadas al apoyo motivacional. Los instrumentos deben centrarse en la adaptabilidad dentro de contextos definidos, asegurando su sensibilidad a las demandas únicas de cada dominio.

Otra oportunidad clave radica en la integración de la variabilidad cultural e individual en el diseño de instrumentos. Los estudios sobre marcos como el SSRIT demuestran que la familiaridad de los usuarios con la tecnología y los antecedentes culturales influyen significativamente en la percepción de la empatía. La incorporación de tales factores en las herramientas de evaluación podría mejorar su inclusividad y relevancia, particularmente para las aplicaciones globales. Además, las dimensiones de la empatía, como la expresividad emocional frente a la comprensión cognitiva, pueden variar en importancia dependiendo del contexto cultural del usuario, lo que subraya la necesidad de diseños flexibles que se adapten a diversas interpretaciones.

La investigación futura puede desarrollar instrumentos capaces de medir la empatía de forma dinámica al tiempo que garantiza la precisión específica del dominio y la adaptabilidad cultural. Estos avances respaldarán la creación de sistemas Humano-Agente que sean empáticos en el diseño y sensibles a la naturaleza multifacética de las interacciones con los usuarios, lo que contribuirá a mejorar la confianza, la satisfacción y el compromiso.

5. Propuesta del cuestionario CEPRS para adultos mayores

La revisión comparativa realizada en las secciones anteriores pone de manifiesto que, si bien los instrumentos existentes ofrecen contribuciones valiosas para la medición de la empatía percibida, presentan limitaciones importantes cuando se aplican en contextos que involucran a adultos mayores y robots sociales.

En particular, se observó que varios cuestionarios adaptan constructos de la empatía humana sin considerar las particularidades de la interacción con agentes

computacionales, lo que puede derivar en interpretaciones sesgadas sobre la capacidad emocional del agente. Este fenómeno es especialmente relevante en usuarios con escasa experiencia en el uso de la tecnología, como suele ser el caso de los adultos mayores.

Además, algunos instrumentos presentan una carga cognitiva elevada (por ejemplo, escalas con hasta 72 ítems o formulaciones abstractas), lo cual dificulta su aplicación al colectivo de adultos mayores, donde es imprescindible evitar la sobrecarga cognitiva.

Por último, se identificó una falta de herramientas que integren explícitamente dimensiones asociadas a la compañía social y la sensación de seguridad, aspectos especialmente relevantes en la interacción con adultos mayores.

La mayoría de los instrumentos revisados se centran en validar las competencias emocionales o cognitivas del agente, pero descuidan la evaluación del vínculo afectivo y la fiabilidad. Estas dimensiones resultan determinantes en la interacción con adultos mayores, un colectivo donde la aceptación tecnológica no depende tanto de la complejidad del diálogo, sino de la capacidad del robot para mitigar la sensación de soledad (compañía) y ofrecer un entorno de interacción predecible y libre de riesgos (seguridad).

En respuesta a estas limitaciones, se propone el **Cuestionario de Empatía Percibida en Robots Sociales (CEPRS)**, diseñado para evaluar la experiencia empática desde la perspectiva del adulto mayor en interacciones con robots sociales. Esta propuesta no solo selecciona las dimensiones más relevantes de la literatura revisada, sino que las adapta a las características cognitivas y emocionales del adulto mayor (Kawamoto et al., 2014), priorizando la claridad conceptual y la simplicidad en la redacción de las afirmaciones sobre la abstracción técnica.

Este cuestionario se basa en 4 dimensiones extraídas del estudio comparativo:

1. **Resonancia emocional** (Concannon & Tomalin, 2024; Schmidmaier et al., 2024; Tisseron et al., 2015; Urakami et al., 2019): Evalúa en qué medida el usuario percibe que el robot expresa emociones de forma coherente y adecuada durante la interacción, generando una sensación de cercanía afectiva. Incluye la percepción de naturalidad, calidez y credibilidad en las expresiones emocionales del agente.
2. **Comprensión empática** (Charrier et al., 2019; Concannon & Tomalin, 2024; Schmidmaier et al., 2024; Urakami et al., 2019; Xu & Jiang, 2024): Mide la

capacidad atribuida al robot para entender las necesidades, intenciones y mensajes del usuario, ofreciendo respuestas apropiadas y ajustadas al contexto de la conversación.

- 3. **Confianza y seguridad** (Chi et al., 2021; Schmidmaier et al., 2024): Evalúa el grado de seguridad y fiabilidad que el robot transmite durante la interacción, tanto en la consistencia de sus respuestas como en sus movimientos (si corresponde).
- 4. **Socialización y compañía** (Chi et al., 2021; Tisseron et al., 2015; Xu & Jiang, 2024): Mide la percepción del usuario sobre el robot como agente social que facilita el vínculo, el acompañamiento y la interacción significativa. Considera el disfrute de la conversación, la sensación de presencia social y el potencial del robot para fomentar la conexión con otras personas.

Para garantizar su adecuación metodológica al grupo objetivo, el CEPRS reduce drásticamente la carga cognitiva respecto a propuestas anteriores. Para ello, su diseño prioriza ítems breves, formulados en lenguaje claro, sin tecnicismos y con ejemplos integrados cuando es relevante. La estructura final, compuesta por cuatro ítems por dimensión, se detalla en la Tabla 1.

Se utiliza una escala Likert de cinco puntos, complementada con un pequeño bloque de preguntas de sí o no que permiten matizar aspectos expresivos y contextuales del robot.

Esta combinación reduce la carga cognitiva, facilita la aplicación en contextos naturales (por ejemplo, sesiones grupales o talleres en residencias) y favorece respuestas más fiables.

Asimismo, su diseño permite ser aplicado tras una única sesión de interacción o a lo largo de experiencias repetidas, lo que lo convierte en una herramienta flexible para estudios longitudinales sobre aceptación, adaptación y relación con agentes sociales.

El cuestionario completo puede consultarse en los anexos.

Tabla 1. Dimensiones e ítems del cuestionario CEPRS

ID	Resonancia emocional
RE1	El robot me pareció cercano y amable.
RE2	Pensé que el robot se preocupaba por cómo me siento.
RE3	Las emociones del robot me parecieron creíbles y naturales.
RE4	La cara del robot mostraba emociones apropiadas con lo que decía (por ejemplo, si decía algo triste no tuviera una cara alegre).
ID	Comprensión empática
CE1	El robot entendió bien lo que le pedía.
CE2	Sentí que el robot prestaba atención a lo que le decía.
CE3	Las respuestas del robot tenían sentido para mí.
CE4	El robot me ayudó cuando lo necesité.
ID	Confianza y seguridad
CS1	Sentí que podía confiar en el robot.
CS2	Me sentí seguro hablando con el robot.
CS3	Sentí que el robot se preocupaba por la seguridad de los demás, especialmente al moverse.
CS4	Me sentí tranquilo respecto a cómo se comportaba el robot.
ID	Socialización y compañía
SC1	Disfruté de la conversación con el robot.
SC2	El robot me ayudó a socializar con otras personas.
SC3	Sentí que el robot era un buen compañero.
SC4	Me sentí acompañado mientras hablaba con el robot.

6. Conclusiones y trabajo futuro

La empatía es un elemento fundamental en el diseño de sistemas de IA que sean efectivos, atractivos y capaces de fomentar la confianza y la aceptación del usuario. La medición precisa de la empatía juega un papel fundamental en la creación de interacciones más parecidas a las humanas, especialmente a medida que la IA se integra cada vez más en dominios sensibles como la atención médica, la educación y la asistencia social. Esta revisión es un recurso valioso para aquellos que buscan seleccionar herramientas de evaluación de la empatía adecuadas para su trabajo.

Este artículo ha examinado el panorama de los instrumentos para medir la empatía percibida en la IPO, abordando sus fundamentos teóricos, marcos metodológicos y aplicaciones prácticas.

A través de un análisis comparativo de las herramientas existentes y adaptadas, se han destacado sus fortalezas, relevancia específica del dominio y limitaciones. Si bien es

exhaustiva, esta revisión temática reconoce la posible influencia de los sesgos de selección subjetivos, que pueden afectar la reproducibilidad de sus hallazgos.

Este estudio enfatiza la necesidad de desarrollar herramientas de medición de la empatía sensibles al contexto para abordar mejor los desafíos que plantean los agentes computacionales. Sin embargo, durante el estudio se ha observado una falta de herramientas adaptadas a la interacción con adultos mayores, un contexto de gran relevancia para los agentes computacionales, ya que estos pueden contribuir a afrontar desafíos sociales cada vez más urgentes, como el envejecimiento de la población, la soledad no deseada y la necesidad de apoyar la autonomía en ámbitos de salud y vida diaria.

Como respuesta a esta carencia, este trabajo propone el Cuestionario de Empatía Percibida en Robots Sociales (CEPRS), que ofrece un enfoque específico para evaluar la interacción de robots sociales con adultos mayores, integrando dimensiones críticas como la compañía y la seguridad que habían sido olvidadas en la literatura previa.

En trabajos futuros, se llevará a cabo la validación empírica del cuestionario CEPRS con adultos mayores en contextos de interacción real con robots en entornos sociales.

Esta validación incluirá un análisis de fiabilidad interna (por ejemplo, el coeficiente alfa de Cronbach) y un análisis factorial confirmatorio (CFA) para evaluar la coherencia estructural de las dimensiones propuestas.

Además, se realizarán estudios longitudinales que permitan observar cómo evolucionan las percepciones de empatía a medida que aumenta la familiaridad del usuario con el agente.

Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo en el contexto del proyecto PID2022-1367790B-C33 (PLEISAR-SOCIAL) con fondos del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICIU/AEI/10.13039/501100011033) y FEDER/EU y del proyecto C-ING-179-UGR23 financiado por la Consejería de Universidades, Investigación e Innovación y por el programa FEDER Andalucía 2021-2027.

Referencias

- Birmingham, C., Perez, A., & Mataric, M. (2022). Perceptions of Cognitive and Affective Empathetic Statements by Socially Assistive Robots. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2022-March*, 323–331. <https://doi.org/10.1109/HRI53351.2022.9889386>
- Borycki, E. M., Kletke, R., le Nobel, C., McWilliams, G., Whitehouse, S., & Kushniruk, A. W. (2024). Empathetic and Emotive Design Heuristics. In *pHealth 2024* (pp. 80–84). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/SHTI240062>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Charrier, L., Rieger, A., Galdeano, A., Cordier, A., Lefort, M., & Hassas, S. (2019). The RoPE Scale: a Measure of How Empathic a Robot is Perceived. *Proceedings of the 14th ACM/IEEE International Conference on Human -Robot Interaction*, 656–657. <https://doi.org/10.1109/HRI.2019.8673082>
- Chaves, A. P., & Gerosa, M. A. (2021). How Should My Chatbot Interact? A Survey on Social Characteristics in Human-Chatbot Interaction Design. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 37(8), 729–758. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1841438>
- Chi, O. H., Jia, S., Li, Y., & Gursoy, D. (2021). Developing a formative scale to measure consumers' trust toward interaction with artificially intelligent (AI) social robots in service delivery. *Computers in Human Behavior*, 118, 106700. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106700>
- Concannon, S., & Tomalin, M. (2024). Measuring perceived empathy in dialogue systems. *AI & SOCIETY*, 39(5), 2233–2247. <https://doi.org/10.1007/s00146-023-01715-z>
- Cuadra, A., Wang, M., Stein, L. A., Jung, M. F., Dell, N., Estrin, D., & Landay, J. A. (2024). The Illusion of Empathy? Notes on Displays of Emotion in Human-Computer Interaction. *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–18. <https://doi.org/10.1145/3613904.3642336>
- Daher, K., Casas, J., Khaled, O. A., & Mugellini, E. (2020). Empathic Chatbot Response for Medical Assistance. *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents*, 1–3. <https://doi.org/10.1145/3383652.3423864>
- Davis, M. H., & others. (1980). A multidimensional approach to individual differences in empathy. *JSAS Catalog of Selected Documents in Psychology*, 10, 85. https://www.uv.es/friasnav/Davis_1980.pdf
- Decker, S. E., Nich, C., Carroll, K. M., & Martino, S. (2014). Development of the therapist empathy scale. *Behavioural and Cognitive Psychotherapy*, 42(3), 339–354. <https://doi.org/10.1017/S1352465813000039>
- Hogan, R. (1969). Development of an empathy scale. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 33(3), 307–316. <https://doi.org/10.1037/h0027580>
- Hojat, M., DeSantis, J., Shannon, S. C., Mortensen, L. H., Speicher, M. R., Bragan, L., LaNoüe, M., & Calabrese, L. H. (2018). The Jefferson Scale of Empathy: a nationwide study of measurement properties, underlying components, latent variable structure, and national norms in medical students. *Advances in Health Sciences Education*, 23, 899–920. <https://doi.org/10.1007/s10459-018-9839-9>

- James, J., Watson, C. I., & MacDonald, B. (2018). Artificial Empathy in Social Robots: An analysis of Emotions in Speech. *Proceedings of the 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 632–637. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2018.8525652>
- Kroes, K., Saccardi, I., & Masthoff, J. (2022). Empathizing with virtual agents: the effect of personification and general empathic tendencies. *Proceedings of the IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality*, 73–81. <https://doi.org/10.1109/AIVR56993.2022.00017>
- Lugrin, B., Pelachaud, C., & Traum, D. (Eds.). (2022). *The Handbook on Socially Interactive Agents: 20 years of Research on Embodied Conversational Agents, Intelligent Virtual Agents, and Social Robotics Volume 2: Interactivity, Platforms, Application* (1st ed., Vol. 48). Association for Computing Machinery.
- Paiva, A., Leite, I., Boukricha, H., & Wachsmuth, I. (2017). Empathy in Virtual Agents and Robots: A Survey. *ACM Trans. Interact. Intell. Syst.*, 7(3), 11:1–11:40. <https://doi.org/10.1145/2912150>
- Park, S., & Whang, M. (2022). Empathy in Human–Robot Interaction: Designing for Social Robots. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1889. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031889>
- Putta, H., Daher, K., Kamali, M. El, Khaled, O. A., Lalanne, D., & Mugellini, E. (2022). Empathy scale adaptation for artificial agents: a review with a new subscale proposal. *Proceedings of the 8th International Conference on Control, Decision and Information Technologies*, 1, 699–704. <https://doi.org/10.1109/CoDIT55151.2022.9803993>
- Roshanaei, M., Rezapour, R., & El-Nasr, M. S. (2024). *Talk, Listen, Connect: Navigating Empathy in Human-AI Interactions*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.15550>
- Schmidmaier, M., Rupp, J., Cvetanova, D., & Mayer, S. (2024). Perceived Empathy of Technology Scale (PETS): Measuring Empathy of Systems Toward the User. *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–18. <https://doi.org/10.1145/3613904.3642035>
- Tisseron, S., Tordo, F., & Baddoura, R. (2015). Testing Empathy with Robots: A Model in Four Dimensions and Sixteen Items. *International Journal of Social Robotics*, 7(1), 97–102. <https://doi.org/10.1007/s12369-014-0268-5>
- Urakami, J., Moore, B. A., Sutthithatip, S., & Park, S. (2019). Users' Perception of Empathic Expressions by an Advanced Intelligent System. *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, 11–18. <https://doi.org/10.1145/3349537.3351895>
- Xu, Z., & Jiang, J. (2024). *Multi-dimensional Evaluation of Empathetic Dialog Responses*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.11409>
- Yalçın, Ö. N., Utz, V., & DiPaola, S. (2024). Empathy through Aesthetics: Using AI Stylization for Visual Anonymization of Interview Videos. *Proceedings of the 3rd Empathy-Centric Design Workshop: Scrutinizing Empathy Beyond the Individual*, 63–68. <https://doi.org/10.1145/3661790.3661803>
- Yang, B., Sun, Y., & Shen, X.-L. (2023). Understanding AI-based customer service resistance: A perspective of defective AI features and tri-dimensional distrusting beliefs. *Information Processing & Management*, 60(3), 103257. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103257>
- Yang, Y., Ma, X., & Fung, P. (2017). Perceived Emotional Intelligence in Virtual Agents. *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2255–2262. <https://doi.org/10.1145/3027063.3053163>

Anexos

Anexo 1. Comparación de Instrumentos

Tabla 2. Características Generales

Instrumento	Año de Publicación	¿Adapta una Métrica Existente?	Tipo de Sistema Evaluado	Modalidades de Interacción
Tisseron <i>et al.</i> (QEAE)	2015	No se indica explícitamente	Robots Sociales y Avatares	Multimodal
Charrier <i>et al.</i> (RoPE)	2019	Adapta escalas de empatía utilizadas en ciencia cognitiva	Robots Sociales	Multimodal
Urakami <i>et al.</i> (Empathy Assessment Model)	2019	Ítems adaptados de marcos de empatía cognitiva	Sistemas interactivos	Texto
Chi <i>et al.</i> (SSRIT)	2021	No	Robots Sociales	Multimodal
Kroes <i>et al.</i> (TEQ)	2022	No (utiliza TEQ sin adaptación)	Sistemas de Realidad Virtual	Multimodal
Concannon y Tomalin (ESHCC)	2023	Adaptación de TES	Sistemas de Diálogo	Texto
Borycki <i>et al.</i> (Design Heuristics)	2024	No	Sistemas de Salud	Multimodal
Schmidmaier <i>et al.</i> (PETS)	2024	No	Sistemas Interactivos	Multimodal
Xu y Jiang	2024	Adapta definiciones de empatía psicológica	Sistemas de Diálogo de Servicio al Cliente	Texto

Tabla 3. Estructura y Contenido

Instrumento	Dimensiones/Ítems	Enfoque en el Lenguaje	Punto de Vista del Evaluador
Tisseron <i>et al.</i> (QEAE)	4 dimensiones / 16 ítems	No	Perspectiva del Usuario
Charrier <i>et al.</i> (RoPE)	2 dimensiones / 18 ítems	No	Perspectiva del Usuario
Urakami <i>et al.</i> (Empathy Assessment Model)	8 dimensiones / 72 ítems	Sí	Perspectiva del Usuario
Chi <i>et al.</i> (SSRIT)	3 dimensiones / No indicado	No	Perspectiva del Usuario
Kroes <i>et al.</i> (TEQ)	6 dimensiones del TEQ	No	Perspectiva del Usuario
Concannon y Tomalin (ESHCC)	4 dimensiones / No indicado	Sí	Observador Externo
Borycki <i>et al.</i> (Design Heuristics)	No applicable	No	Perspectiva del Usuario y Expertos
Schmidmaier <i>et al.</i> (PETS)	2 dimensiones / 10 ítems	No	Perspectiva del Usuario
Xu y Jiang	2 dimensiones / 16 intenciones / 4 aspectos	Sí	Perspectiva Dual (Usuario y Externo)

Tabla 4. Características Metodológicas

Instrumento	Tipo de Cuestionario	Validación	Limitaciones
Tisseron <i>et al.</i> (QEAE)	No especificado	En proceso	Validación limitada, conjunto de ítems pequeño
Charrier <i>et al.</i> (RoPE)	Escala Likert	Preliminar	Limitado a robots, necesita pruebas más amplias
Urakami <i>et al.</i> (Empathy Assessment Model)	Escala Likert	Alfa de Cronbach, ANOVA	Escenarios hipotéticos
Chi <i>et al.</i> (SSRIT)	Reflexivo y Formativo	Validación empírica	Enfoque indirecto en la empatía
Kroes <i>et al.</i> (TEQ)	Escala Likert	Validación empírica	No adaptado para agentes
Concannon y Tomalin (ESHCC)	Escala Likert	Análisis Factorial Confirmatorio	Limitado a la interacción textual
Borycki <i>et al.</i> (Design Heuristics)	No aplicable	Revisión de expertos	Sin validación empírica formal
Schmidmaier <i>et al.</i> (PETS)	Escala Likert	Análisis Factorial Exploratorio y Confirmatorio	Aplicabilidad específica al contexto
Xu y Jiang	Escala Likert	Validación empírica en conjunto de datos anotado	Enfoque específico del dominio en diálogos

Anexo 2. Propuesta de Cuestionario

Cuestionario para evaluar la Empatía Percibida en Robot Sociales (CEPRS)

A continuación, encontrará una serie de afirmaciones. Por favor, lea cada una con atención y marque con una X el número que mejor refleje su grado de acuerdo con la afirmación.

Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	2	3	4	5

Afirmaciones	Grado de acuerdo				
	1	2	3	4	5
<i>El robot me pareció cercano y amable.</i>					
<i>Pensé que el robot se preocupaba por cómo me siento.</i>					
<i>Las emociones del robot me parecieron creíbles y naturales.</i>					
<i>El robot entendió bien lo que le pedía.</i>					
<i>Sentí que el robot prestaba atención a lo que le decía.</i>					
<i>Las respuestas del robot tenían sentido para mí.</i>					
<i>Sentí que podía confiar en el robot.</i>					
<i>Me sentí seguro hablando con el robot.</i>					
<i>Sentí que el robot se preocupaba por la seguridad de los demás, especialmente al moverse.</i>					
<i>Disfruté de la conversación con el robot.</i>					
<i>El robot me ayudó a socializar con otras personas.</i>					
<i>Sentí que el robot era un buen compañero.</i>					

Lea atentamente cada afirmación y marque con una X en función de si está de acuerdo o no. También puede elegir la opción NS/NC (No sabe / No contesta) en caso de no estar seguro o no querer responder.

Afirmaciones	Sí	No	NS/NC
<i>La cara del robot mostraba emociones apropiadas con lo que decía (por ejemplo, si decía algo triste no tuviera una cara alegre).</i>			
<i>El robot me ayudó cuando lo necesité.</i>			
<i>Me sentí tranquilo respecto a cómo se comportaba el robot.</i>			
<i>Me sentí acompañado mientras hablaba con el robot.</i>			

Aplicación Móvil con Realidad Aumentada para el Centro Histórico de Zacatecas

Development of an Augmented Reality Mobile App for the Historic Center of Zacatecas

Karla M. García-Castillo

Lab. de Tecnologías Interactivas y
Experiencia de Usuario (LITUX)
Universidad Autónoma de
Zacatecas
Zacatecas, México
karla.garcia.castillo@uaz.edu.mx

Huizilopoztli Luna-García

Lab. de Tecnologías Interactivas y
Experiencia de Usuario (LITUX)
Universidad Autónoma de
Zacatecas
Zacatecas, México
hlugar@uaz.edu.mx

Roberto Solís-Robles

Lab. de Tecnologías Interactivas y
Experiencia de Usuario (LITUX)
Universidad Autónoma de
Zacatecas
Zacatecas, México
rsolis@uaz.edu.mx

Hamurabi Gamboa-Rosales

Lab. de Tecnologías
Interactivas y Experiencia de
Usuario (LITUX)
Universidad Autónoma de
Zacatecas
Zacatecas, México
hamurabigr@uaz.edu.mx

Cristian Barría-Huidobro

Centro de Investigación en
Ciberseguridad
Universidad Mayor de Chile
Providencia, Chile
cristian.barría@umayor.cl

Klinge O. Villalba-Condori

Vicerrectorado de Investigación
Universidad Católica de Santa
María
Yahuara, Perú
kvillalba@ucsm.edu.pe

Recibido: 12.11.2025 | Aceptado: 24.1.2026

DOI: <https://doi.org/10.65234/interaccion.134>

Palabras Clave

Prototipo
Aplicación Móvil
Realidad Aumentada
Turismo
Diseño Centrado en el Usuario

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo y la evaluación inicial de un prototipo de aplicación móvil basada en Realidad Aumentada (RA) para la visualización de información sobre edificios históricos en el centro de la ciudad de Zacatecas, México, siguiendo un enfoque de Diseño Centrado en el Usuario (DCU). El objetivo fue diseñar una herramienta interactiva que enriqueciera la experiencia cultural mediante la superposición de información contextual sobre monumentos y el acceso a una agenda de eventos culturales cercanos. El perfil del usuario potencial se definió mediante entrevistas, lo que permitió adaptar el diseño del prototipo a sus necesidades y expectativas. La propuesta fue evaluada mediante pruebas de usabilidad con usuarios reales usando el Sistema de Escalas de Usabilidad (SUS), obteniendo una calificación de 71.5 puntos, correspondiente a una usabilidad aceptable. Además, se recopiló retroalimentación cualitativa que permitió identificar mejoras clave para la evolución del prototipo hacia una aplicación funcional. Pese a que los resultados son promisorios, se reconocen las limitaciones derivadas del uso de un entorno simulado y el alcance de la evaluación, por lo que los hallazgos deben interpretarse como una validación formativa inicial. El prototipo demuestra potencial para fortalecer el turismo cultural y fomentar la valoración del patrimonio local.

Keywords

Prototipe
Mobile App
Augmented Reality
Tourism
User-Centered Design

Abstract

This article presents the development and initial evaluation of a mobile application prototype based on Augmented Reality (AR) for displaying information about historical buildings in downtown, Zacatecas, Mexico, following a User-Centered Design (UCD) approach. The objective was to design an interactive tool that enhances the cultural experience by overlaying contextual information on monuments and providing access to a schedule of nearby cultural events. The potential user profile was defined through exploratory surveys applied to local residents and visitors, allowing the prototype's design to be tailored to users' needs and expectations. The proposal was evaluated through usability testing with real users using the System Usability Scale (SUS), obtaining an average score of 71.5 points, corresponding to an acceptable level of usability. Additionally, qualitative feedback was collected, enabling the identification of key improvements for evolving

the prototype towards a fully functional application. Despite promising results, limitations related to the use of a simulated environment and the scope of the evaluation are acknowledged, and the findings should be interpreted as an initial formative validation. The prototype demonstrates potential to support cultural tourism and promote appreciation of local heritage.

1. Introducción

Los avances tecnológicos han transformado múltiples actividades humanas, entre ellas el turismo, el cual ha integrado progresivamente las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para mejorar la experiencia del turista, desde la planificación de su viaje hasta la interacción con el entorno que visita. Entre las tecnologías emergentes destaca la Realidad Aumentada (RA), un concepto que comenzó a desarrollarse de manera sistemática a lo largo del siglo XX y que adquirió especial relevancia a partir de la década de 1990, consolidándose con el auge de la era digital y la proliferación de dispositivos móviles.

Una de las definiciones más influyentes en la literatura es la propuesta por Azuma (1997), quien describe la RA como una variante de los entornos virtuales caracterizada por su capacidad de presentar información digital en tiempo real sobre el entorno físico del usuario, enriqueciendo su experiencia sin reemplazar la realidad que percibe. De acuerdo con este autor, un sistema de RA, desde una perspectiva funcional, debe cumplir con tres características fundamentales: combinar elementos reales y virtuales, permitir la interacción en tiempo real y presentar la información en un entorno tridimensional.

Desde una perspectiva técnica, la implementación de un sistema de RA implica la integración de herramientas de generación de imágenes, dispositivos de visualización, así como mecanismos de rastreo y sensores (Billinghurst et al., 2015). Estos componentes, en conjunto, permiten crear, visualizar y anclar el contenido digital al entorno físico de manera coherente y contextualizada, favoreciendo una experiencia de interacción fluida para el usuario. La evolución progresiva de la tecnología implicada en estos componentes ha permitido superar las limitaciones presentes en sus primeras implementaciones, tales como la distorsión óptica, las imprecisiones en los sistemas de rastreo y problemas de alineación espacial entre los elementos virtuales y reales (Azuma, 1997; Billinghurst et al., 2015).

Gracias a estos avances, la RA se ha incorporado de manera creciente en aplicaciones móviles como mapas con indicaciones visuales, videojuegos y herramientas de diseño de interiores. En términos de implementación, su funcionamiento puede clasificarse en dos tipos principales: la RA basada en marcadores, que utiliza códigos de respuesta rápida (QR, Quick Response) o imágenes específicas para

activar contenido digital, y la RA sin marcadores, que emplea sensores como el sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System), acelerómetros y otros sensores para mapear el entorno y posicionar el contenido digital de manera automática (IBM, 2024).

El espacio de estudio de este trabajo, el centro histórico de Zacatecas, se caracteriza por su riqueza arquitectónica, conformada por plazas, jardines y monumentos de diversos estilos y épocas. Esta zona representa un importante atractivo turístico y componente económico para el estado. De acuerdo con el tercer informe de gobierno 2024, la zona conurbada Guadalupe-Zacatecas registró una ocupación hotelera de 624,928 personas, de las cuales 113,582 tenían como objetivo de visita museos y edificios históricos. Asimismo, se realizaron nueve festivales y más de 400 eventos artístico-culturales en el centro histórico con una audiencia de 416,300 asistentes (Gobierno del Estado de Zacatecas, 2024). Estas cifras ilustran la relevancia de la zona como eje cultural y turístico.

A pesar de la evidente afluencia turística y la riqueza cultural del centro histórico, la información histórica disponible in situ (mediante placas, folletos o guías tradicionales) es estática e insuficiente para el visitante que prioriza la eficiencia e interactividad. Podemos reconocer la existencia de una brecha en la Experiencia del Usuario (UX) entre la riqueza del patrimonio de Zacatecas y la accesibilidad en tiempo real a la información cultural. Este proyecto aborda directamente esta deficiencia.

En respuesta a esta problemática, este trabajo propone el desarrollo de un prototipo de aplicación móvil que integra RA basada en marcadores, diseñada bajo un enfoque de Diseño Centrado en el Usuario (DCU). La elección de esta tecnología responde a criterios de simplicidad y control durante las fases iniciales de diseño y evaluación, no obstante, se contempla la incorporación de la RA sin marcadores en versiones futuras, lo que permitiría posicionar automáticamente el contenido digital sin depender de elementos visuales específicos.

El objetivo del prototipo es ofrecer una herramienta interactiva que permita visualizar información relevante sobre edificios históricos en el centro de Zacatecas, así como consultar una agenda de eventos culturales cercanos, enriqueciendo la experiencia del visitante y fomentando el interés del público local por su patrimonio cultural.

2. Estado del arte

La RA ha sido explorada en una amplia variedad de dominios desde sus primeras conceptualizaciones, incluyendo campos como la medicina, la manufactura, la educación y el entretenimiento (Azuma, 1997). Esta diversidad de aplicaciones evidencia su potencial como una herramienta flexible en el ámbito de la Interacción Humano – Computadora (HCI), particularmente en contextos donde la información necesita ser integrada al entorno del usuario de manera no invasiva.

Durante la última década, la investigación dedicada a la RA muestra tendencias orientadas a la reconstrucción tridimensional, el patrimonio digital, los museos virtuales, la experiencia del usuario, el turismo, la gamificación y la preservación del patrimonio cultural intangible (Salleh & Bushroa, 2022). Estas líneas de investigación evidencian un interés creciente en la adopción de esta tecnología no solo como un método de representación visual, sino como un medio de transferencia y preservación del conocimiento.

En particular, en el sector turístico, diversos estudios han señalado que las herramientas digitales interactivas permiten superar las limitaciones de la información estática, facilitando el acceso a la información histórica y cultural a un público más extenso (Bekele et al., 2018). En este sentido, la RA ha demostrado ser eficiente al permitir la superposición de información, además de contribuir a la generación de registros digitales de gran valor para futuras intervenciones, restauraciones o reconstrucciones de elementos patrimoniales que pudieran ser afectados por causas naturales o humanas (Boboc et al., 2022).

Adicionalmente, la literatura señala que este tipo de tecnologías puede contribuir a reducir las barreras de acceso asociadas al idioma, al permitir la presentación de contenidos multilenguaje adaptados al perfil del visitante (Rane et al., 2023; Shukla et al., 2024). Este aspecto resulta especialmente relevante en destinos turísticos con alta afluencia de visitantes nacionales e internacionales, pues es otra forma de divulgar su patrimonio a mayor escala.

Tras la pandemia de COVID-19, el interés por soluciones digitales adquirió mayor relevancia al ofrecer experiencias culturales sin la necesidad de contacto físico directo, reduciendo la dependencia de guías presenciales y la concentración de grandes grupos de visitantes en espacios reducidos (Vlachos et al., 2024).

Diversas investigaciones reportan el desarrollo de aplicaciones móviles orientadas a la visualización

arquitectónica y realización de recorridos en museos, integrando contenidos interactivos que enriquecen la experiencia del visitante (Salleh & Bushroa, 2022; Trunfio et al., 2022). Estos sistemas suelen combinar modelos tridimensionales, información contextual y mecanismos de interacción diseñados para ser utilizados directamente en el sitio de visita.

Un ejemplo de aplicación práctica es el proyecto KAISAREIA-AR, que permite visualizar la evolución arquitectónica del emblemático castillo de Kayseri en Turquía, mediante reconstrucciones digitales, integradas en una experiencia de RA a través de dispositivos móviles (Dogan Turkoglu & Kacici Alp, 2025).

En cuanto a aplicaciones orientadas al entorno urbano, destacan los proyectos de reconstrucción histórica de ciudades como *Florenxia Oculta*¹ e *History City*², que emplean RA a través de dispositivos móviles para explorar cómo lucían áreas de distintas ciudades durante el periodo renacentista (Nevola et al., 2022).

Entre los países que concentran un mayor número de contribuciones en este ámbito se encuentran Italia, Grecia y España (Boboc et al., 2022), lo que pone de manifiesto la limitada presencia de investigaciones y desarrollo de propuestas de este tipo en el contexto mexicano.

En conjunto, esos trabajos muestran la versatilidad de la RA y su capacidad de aplicarse a diferentes contextos, culturales, educativos y para interés de este proyecto, turísticos. Sin embargo, la simple integración de la RA no garantiza la usabilidad ni la satisfacción del usuario, por lo que el presente trabajo propone el desarrollo del prototipo para una aplicación que combina componentes informativos, culturales y de asistencia. Para asegurar que esta combinación se traduzca en una UX eficaz e intuitiva y se integra el enfoque de Diseño Centrado en el Usuario (DCU). Este marco metodológico nos permitirá construir una herramienta orientada a satisfacer las necesidades del usuario final, mejorando la experiencia de visitantes y habitantes locales en el centro histórico de Zacatecas.

3. Metodología: Diseño Centrado en el Usuario

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo siguiendo el enfoque de DCU, el cual prioriza identificar y atender las características, necesidades y expectativas de éste a lo largo de todo el proceso de diseño. Este enfoque promueve la participación activa de los usuarios desde las etapas iniciales,

¹ *Florenxia oculta*: <https://hiddenflorence.org/>

² *History city*: <https://publicrenaissance.eu/>

permitiendo realizar ajustes iterativos basados en sus retroalimentaciones.

Si bien no existe una guía definitiva que dicte el proceso completo del DCU, es posible apoyarse en lineamientos y normas internacionales ampliamente aceptadas. En este trabajo, se adoptan los principios establecidos en el estándar ISO 9241-210:2010 (International Organization for Standardization, 2010), el cual establece un marco para diseñar sistemas interactivos usables y accesibles.

De acuerdo al modelo propuesto por Maguire et al. (1998), el DCU se puede dividir en cuatro etapas fundamentales:

1. Especificación del contexto de uso.
2. Especificación de los requisitos.
3. Producción de soluciones de diseño.
4. Evaluación del diseño.

Estas etapas se aplican de forma cíclica permitiendo iteraciones continuas para afinar el prototipo conforme se obtiene nueva información (Figura 1).

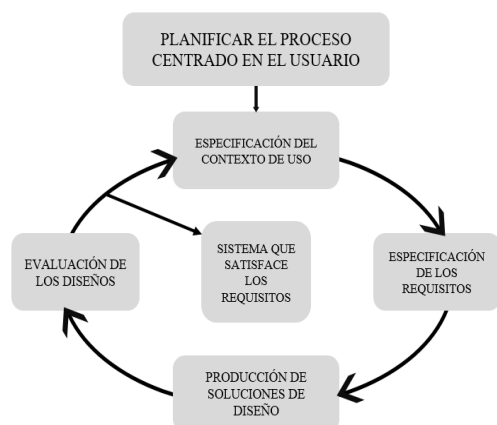


Figura 1: Etapas del Diseño Centrado en el Usuario (International Organization for Standardization, 2010)

A continuación, se describen las actividades realizadas en cada una de las etapas mencionadas con base en la aplicación práctica de la metodología.

3.1 Especificación del contexto de uso

En esta etapa se busca identificar y analizar los usuarios potenciales del sistema, así como de las condiciones en las que interactuarían con la aplicación. El objetivo fue comprender el perfil, necesidades, intereses y hábitos de los usuarios prospecto. Como punto de partida, el enfoque del proyecto se centró en un muestreo por conveniencia y bola de nieve, en entorno presencial y redes sociales para

conseguir llegar al público objetivo en un periodo de tiempo reducido.

La recolección de datos se llevó a cabo mediante la aplicación de encuestas en línea a través de la plataforma *Google Forms*³. Se diseñaron dos formatos de cuestionario distintos, uno dirigido a la población local y otro al público foráneo, con el fin de capturar las diferencias en motivación, patrones de visita y comportamientos entre ambos grupos.

Los cuestionarios consisten en siete apartados en común que abordaron aspectos demográficos, motivaciones y objetivos de la visita, comportamiento y preferencias de uso, tecnología y usabilidad, preferencias de contenido y expectativas de la aplicación. El cuestionario de contexto local incluye preguntas adicionales acerca de experiencias personales cotidianas en el centro histórico de Zacatecas.

Cabe señalar que estos cuestionarios fueron diseñados únicamente como instrumentos de apoyo al proceso de diseño, con un enfoque exploratorio y cualitativo. Por lo tanto, no constituyen estudios estadísticos representativos sino insumos orientados a la comprensión del contexto de uso y a la definición de requisitos del prototipo.

Con la información recopilada, se implementó la “técnica persona”, un método propuesto por Alan Cooper en 1983, (Design Thinking en Español, 2025). Esta técnica consiste en crear perfiles ficticios representativos basados en el análisis cualitativo de los datos obtenidos. El uso de estos perfiles permite establecer referencias empáticas en el proceso del diseño, identificando elementos como frustraciones comunes, necesidades y expectativas, que se convertirán en los requisitos funcionales clave del prototipo, asegurando que el resultado vaya orientado hacia las necesidades y expectativas de “un usuario tipo” específico que sea una representación fiel del público real.

3.2 Especificación de los requisitos

Una vez definido el contexto de uso y comprendido el perfil de los usuarios objetivo (Sección 3.1), se procedió a identificar los Requerimientos Funcionales (RF) y Requerimientos No Funcionales (RNF) del prototipo. Estos requerimientos, se refieren a las capacidades esenciales que el sistema debe ofrecer para que el usuario pueda cumplir sus objetivos. Para determinarlos, se tomaron como referencia los patrones detectados en las encuestas y se documentaron formalmente bajo el estándar IEEE830 (IEEE, 1998) redactado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

La clasificación detallada de los requisitos fue la siguiente:

³ Google Forms® es una marca registrada de Google LLC.

- A. Requerimientos Funcionales (RF): Enfocados directamente en la interacción inicial con el prototipo: visualización de información mediante la RA, la integración de un mapa interactivo para ubicación en tiempo real y la gestión de la consulta de la agenda de eventos cercanos.
- B. Requerimientos No Funcionales (RNF): Críticos para asegurar la calidad de la UX en el entorno móvil y la RA, se definieron en función de las frustraciones comunes y preferencias tecnológicas, buscando conseguir compatibilidad al maximizar la adopción de la aplicación, eficiencia contrarrestando la frustración del usuario y usabilidad de forma intuitiva, asegurando que el prototipo sea de fácil uso con principios de navegación intuitiva, utilizando iconografía familiar, inspirada en aplicaciones de uso común.

3.3 Producción de soluciones de diseño

Con los requisitos definidos, se procedió a crear propuestas de diseño orientadas a materializar las funcionalidades del sistema. En una primera etapa, se implementó la técnica de Paper Prototyping, una metodología de baja fidelidad que permite representar visualmente la estructura, navegación y funcionalidad propuesta de la aplicación sin necesidad de recursos técnicos complejos (Sefelin et al., 2003).

Posteriormente, se desarrolló un prototipo de alta fidelidad utilizando la herramienta *Justinmind*⁴ (Justinmind, 2025), seleccionada por su capacidad para simular de forma dinámica las interacciones del sistema, incluyendo transiciones de pantallas, respuestas táctiles y flujos de navegación realistas. Esta etapa es resultado de la primera iteración del ciclo continuo de mejora propuesto por el DCU.

Dado que el objetivo principal del estudio se centra en el diseño de la experiencia del usuario, el prototipo se implementó en un entorno simulado, lo que permitió evaluar aspectos de usabilidad y comprensión funcional sin depender aún de la implementación técnica completa de la RA en condiciones reales.

3.4 Evaluación del diseño

Una vez desarrollado el prototipo de alta fidelidad, se llevó a cabo una evaluación formativa de usabilidad con el objetivo de identificar problemas tempranos de interacción y obtener una primera aproximación a la percepción del sistema por parte de los usuarios.

La evaluación se realizó con cinco participantes ($n = 5$), siguiendo las recomendaciones de Nielsen para pruebas de usabilidad en etapas iniciales del diseño, donde muestras pequeñas permiten detectar la mayoría de los problemas de usabilidad más relevantes (Nielsen, 2000).

Como instrumento de evaluación, se aplicó el Sistema de Escalas de Usabilidad, SUS (por sus siglas en inglés), una herramienta estandarizada que permite obtener una puntuación cuantitativa sobre la percepción del sistema en términos de eficacia, eficiencia y satisfacción (Brooke, 1995). Además, se recopiló retroalimentación individual de los usuarios sobre su experiencia visual y funcional de navegación del prototipo.

Es importante señalar que esta evaluación corresponde a una fase exploratoria temprana, centrada en validar el diseño de la interacción y comprensión funcional del prototipo, no en evaluar el desempeño técnico de la RA en condiciones reales. En consecuencia, los resultados obtenidos deben interpretarse como indicativos del potencial de usabilidad del diseño y no una validación generalizable del sistema final.

4. Resultados

La implementación del DCU, permitió estructurar el proceso de diseño a partir de evidencia empírica, identificando al público objetivo, conocer sus necesidades y expectativas, definir los requerimientos del prototipo y desarrollar un producto. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las etapas del proceso.

4.1 Definición del contexto de uso

La encuesta aplicada a través de la plataforma *Google Forms* contó con la participación de 83 participantes: 63 locales y 20 visitantes foráneos, la muestra incluyó estudiantes, trabajadores y otros perfiles ocupacionales, permitiendo capturar una diversidad de perspectivas sobre las visitas al centro de la ciudad.

Los participantes con patrones de visita más frecuentes se encuentran en el rango de edades de entre 25 y 34 años, en su mayoría de ocupación laboral activa y conocimientos intermedios o avanzados en el uso de dispositivos móviles y aplicaciones de tecnología similar a la propuesta en el prototipo.

Entre los usuarios foráneos, la mayoría visitaba el centro histórico con fines recreativos y culturales, pasando más de 2 horas de recorrido al día. Ambos grupos señalaron los aspectos más apreciados del centro histórico como arquitectura, historia y arte, seguidos de gastronomía y

⁴ Justinmind® es una marca registrada de Justinmind S.L.

tradiciones locales. En cuanto al estilo de visita, manifiestan preferencia por recorridos a pie, valoran el aprendizaje cultural y muestran interés por herramientas que les permitan optimizar el tiempo durante sus visitas

Las principales barreras identificadas fueron la limitación del tiempo y la complejidad para acceder a rutas e información.

La elección del segmento etario, adultos jóvenes, como público objetivo se justifica por su alta representatividad en la muestra al ser el sector con mayor disposición a participar y demostrar un interés genuino en las propuestas tecnológicas vinculadas al patrimonio cultural. Su familiaridad con interfaces digitales y apertura hacia nuevas experiencias, permiten prever una interacción eficaz con el prototipo sin requerir una curva de aprendizaje pronunciada.

Si bien los datos obtenidos no constituyen una muestra estadísticamente representativa, los resultados fueron suficientes para delimitar un perfil de usuario objetivo, orientando las decisiones del diseño del prototipo en sus etapas tempranas, manteniendo congruencia con el enfoque del DCU.

4.1.1 Perfil de usuario

Con los patrones detectados en las encuestas, se construyó un perfil persona: Carlos Rivas León (Figura 2), que representa las características y contexto del público objetivo. Este perfil describe a un usuario joven-adulto, interesado en explorar nuevos lugares, con apreciación por la arquitectura y cultura local, que busca soluciones tecnológicas que se integren de forma sencilla y efectiva a su experiencia turística. Para Carlos, el tiempo libre es valioso y limitado debido sus responsabilidades laborales, lo cual refuerza la necesidad de diseñar un producto eficiente, intuitivo y de fácil acceso.



Figura 2: Perfil persona, Carlos Rivas León

Este perfil permitió identificar las necesidades clave, facilitando la toma de decisiones de diseño desde una perspectiva empática centrada en el usuario.

4.2 Especificación de requerimientos

El análisis de los apartados correspondientes a tecnología, usabilidad, contenido y expectativas, permitió delimitar las características técnicas y funcionales que del prototipo.

Los resultados mostraron una preferencia clara hacia el sistema operativo *Android*, y por aplicaciones de navegación ampliamente utilizadas como *Google Maps*⁵, lo que orientó el diseño hacia interfaces familiares para el usuario. Esta información orientó el desarrollo inicial hacia diseños de entornos con los que el usuario esté familiarizado (Figuras 3 y 4).

Por otra parte, una porción significativa de los participantes manifiesta haber usado previamente aplicaciones con herramientas de RA, principalmente a través de filtros interactivos en redes sociales (Figura 5). Esto sugiere un panorama favorable para la adopción de esta tecnología en el prototipo.

Respecto al tipo de información que los usuarios desean recibir, los resultados indicaron mayor interés por datos prácticos como: información básica sobre el edificio o monumento, sus horarios de apertura y cierre, así como acontecimientos históricos relevantes (Figura 6). Esta preferencia fundamentó el incluir fichas informativas dentro de la experiencia de RA.

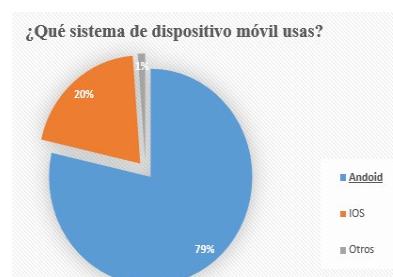


Figura 3: Tecnología y usabilidad, preferencias de sistema móvil

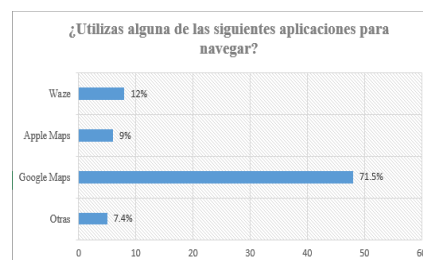


Figura 4: Tecnología y usabilidad, preferencias de navegación

⁵ Android® y Google Maps® son marcas registradas de Google LLC.

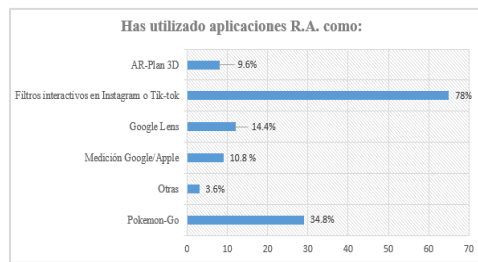


Figura 5: Tecnología y usabilidad, experiencias previas con RA

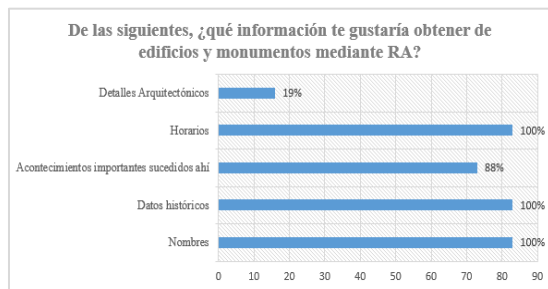


Figura 6: Preferencias de contenido RA

En cuanto a la experiencia de uso, se obtuvieron respuestas positivas hacia el incentivo mediante premios o recompensas y se mostró interés en funciones adicionales como notificación de eventos locales (Figuras 7 y 8).

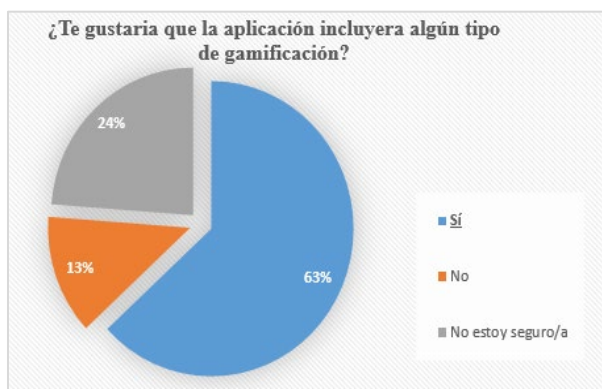


Figura 7: Expectativas del prototipo

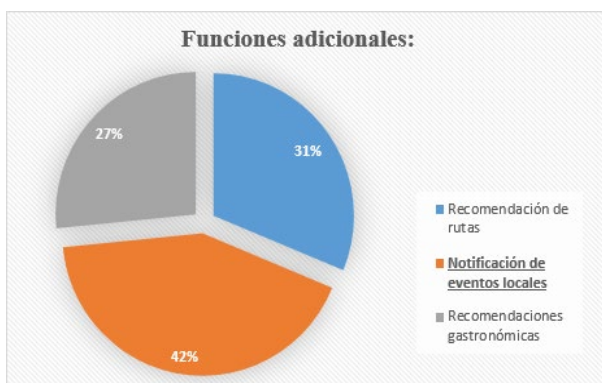


Figura 8: Funciones adicionales

Con la información recolectada, se elaboró un documento de especificación de requisitos siguiendo un formato respaldado en el estándar IEEE-830 (IEEE, 1998). En él se definieron tanto los Requerimientos Funcionales, como la visualización de en RA, integración de mapas y alertas, además de los Requisitos No funcionales, como compatibilidad, eficiencia y facilidad de uso.

4.2.1 Requerimientos Funcionales

La estructura funcional se basa en un menú principal que se ramifica en dos módulos: interacción con edificios mediante RA y gestión de eventos culturales.

Las funciones principales identificadas fueron:

Módulo de Navegación y Ubicación (RF1, RF3, RF5):

- Mostrar un mapa interactivo con la ubicación actual del usuario y los puntos de interés cercanos (edificios interactivos y eventos).
- Permitir la visualización de una lista de edificios interactivos, ordenada por proximidad a la ubicación actual.
- Integración con *Google Maps* al seleccionar un punto de interés, el sistema debe enlazar la ubicación con *Google Maps* para generar una ruta guiada.

Módulo de Realidad Aumentada (RF6, RF7):

- Escaneo de espacio: utilizar la cámara del dispositivo en conjunto con la ubicación para escanear el edificio interactivo y desplegar los íconos de RA.
- Acceso a información: al interactuar con el icono de RA, el sistema debe mostrar una ventana con la información básica (nombre, dirección, datos históricos y acontecimientos relevantes), de acuerdo a la preferencia de estos datos por parte de los usuarios (Figura 6).

Módulo de eventos culturales (RF8, RF9):

- Mostrar un mapa o lista de eventos próximos a desarrollarse en un lapso de 72 horas cerca de la ubicación del usuario, en respuesta a las preferencias de los participantes (Figura 8).

4.2.2 Requerimientos No Funcionales y sus restricciones

Se establecieron para garantizar la calidad y adopción del prototipo, considerando las limitaciones de la primera iteración.

- Restricciones de alcance: la primera versión del prototipo limitaría la interacción a un conjunto selecto de edificios y se concentraría en la visualización de la información, sin permitir edición de la misma por parte de los usuarios generales.
- Restricciones de Hardware / software: se asumió una dependencia de la plataforma a versión de Android 10 o posterior, con al menos 4GB de RAM en el dispositivo, siguiendo las preferencias de los usuarios (Figura 3).
- Requisitos de interfaz: fue diseñada para utilizar menús desplegables, botones e iconografía con la que el usuario esté familiarizado, evitando la saturación visual del campo de cámara, priorizando la usabilidad.

4.2.3 Requisitos Futuros

Las encuestas revelaron funciones complementarias para futuras iteraciones del desarrollo, derivadas de sugerencias de los entrevistados, que incluyen:

- Sistema de gamificación para incentivar la exploración (Figura 7).
- Ampliar el catálogo de edificios interactivos disponibles.
- Integrar información de asistencia crítica como ubicación de módulos de seguridad, estaciones de transporte urbano y zonas de descanso.
- Desarrollo de un asistente virtual y sistema de recomendaciones personalizadas
- Inclusión de información en tiempo real sobre la concurrencia o aforo de espacios visitados.

4.3 Producción de soluciones de diseño

Con los requerimientos definidos se procedió a la elaboración de propuestas de diseño, enfocadas en representar de manera visual la funcionalidad y estructura del sistema. Esta etapa fue ejecutada bajo el principio iterativo del DCU, permitiendo validar ideas tempranas y realizar ajustes progresivos con iteraciones subsecuentes.

Durante la primera iteración, se implementó la técnica Paper Prototyping, en la cual se presentaron las propuestas de una pantalla principal, ubicación de logotipos, ventana de vista mapa, pantalla de escaneo mediante cámara para buscar elementos RA y la disposición de fichas informativas. Este prototipo fue acompañado de un esquema ilustrativo con la descripción de las funciones propuestas, permitiendo identificar las áreas a mejorar (Figuras 9 y 10).

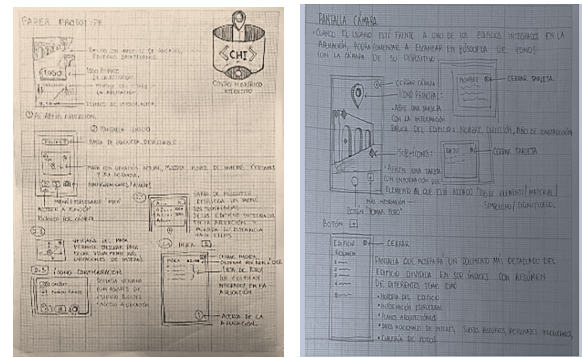


Figura 9: Esquema ilustrativo de funciones propuestas

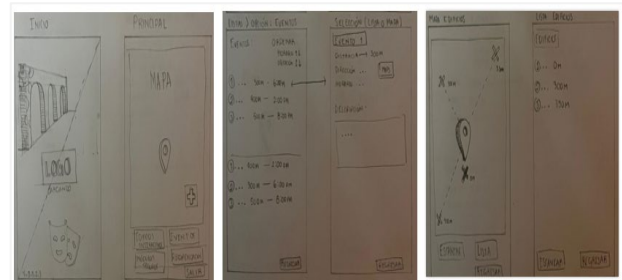


Figura 10: Paper Prototype

Posteriormente, se desarrolló un prototipo de alta fidelidad utilizando la herramienta *Justinmind* (Figura 11). Esta versión integró elementos visuales más precisos además de una simulación de navegación visual y táctil. El diseño se elaboró conservando los principios de:

- Simplicidad: priorizando una navegación clara y accesible desde la pantalla principal.
- Intuición: utilizando íconos y etiquetas familiares para los usuarios, inspirados en aplicaciones de navegación más utilizadas.
- Accesibilidad al contenido: propuesta de información clave sobre los edificios, presentada de forma concisa evitando la saturación visual.

Gracias al enfoque iterativo del DCU, la transición del prototipo en papel al de alta fidelidad permitió validar elementos visuales y funcionales. Esta etapa resultó fundamental para consolidar la propuesta alineada a las necesidades del público objetivo.

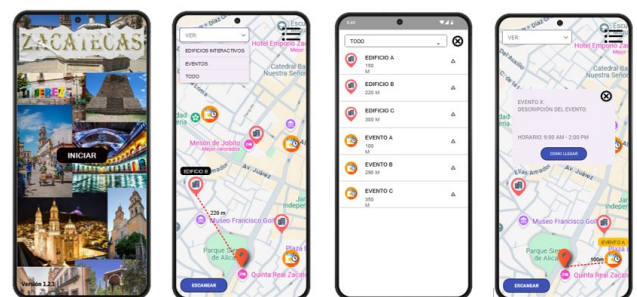


Figura 11: Prototipo de alta fidelidad

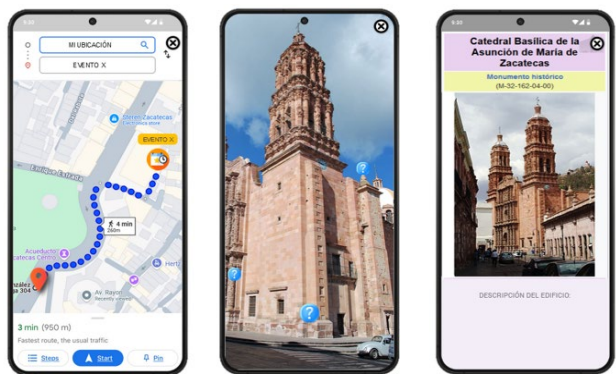


Figura 12: Prototipo de alta fidelidad

4.3.1 Flujo de interacción del prototipo

La experiencia de interacción comienza con una pantalla de bienvenida, seguida por el mapa principal. En esta vista, el usuario visualiza su ubicación actual, íconos de eventos y monumentos interactivos cercanos, junto con una barra de búsqueda y filtros. La información se puede ordenar alfabéticamente o por distancia.

Al seleccionar un elemento, se muestra una ventana con información básica (nombre, distancia, breve descripción) y la opción de crear una ruta hacia el punto de interés. Al encontrarse frente a un monumento interactivo, se activaría la función de escaneo, mediante la cámara del dispositivo, el usuario inspecciona el espacio y el sistema superpone los elementos de RA que, al ser seleccionados, despliegan la ficha informativa correspondiente (Figuras 11 y 12). La validación de este flujo fue el objetivo de la siguiente etapa.

4.4 Evaluación de los diseños

Siguiendo el enfoque iterativo del DCU y la teoría de saturación de usabilidad propuesta por Nielsen (2000), se seleccionaron cinco usuarios (n = 5) con características acordes al perfil persona definido previamente para la primera prueba del prototipo (Figura 13).

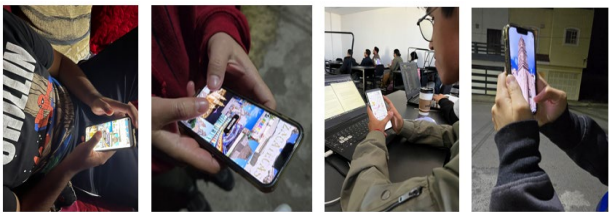


Figura 13: Evaluación de prototipo con usuarios

Es importante destacar que el prototipo se implementó en un entorno simulado mediante la herramienta Justinmind, lo que permitió analizar aspectos de usabilidad y experiencia del usuario a través del flujo de interacción y comprensión funcional del sistema sin depender de una implementación técnica completa de la RA en condiciones reales. Esta

modalidad facilitó la identificación temprana de problemas de navegación, organización y presentación de contenidos. Sin embargo, no reproduce variables críticas propias de una prueba en campo, tales como iluminación ambiental, latencia del hardware, estabilidad del seguimiento de la cámara ni precisión del GPS. Por lo tanto, los resultados obtenidos deben ser interpretados como una validación formativa del diseño de interacción y no como una medición del desempeño técnico del sistema de RA.

A los participantes se les solicitó descargar la aplicación móvil de Justinmind en sus dispositivos personales. Se les proporcionó una breve descripción del propósito del prototipo de alta fidelidad y se permitió la interacción libre con el mismo. Durante la sesión, se ofreció apoyo mínimo con el objetivo de observar la naturalidad de la interacción del usuario, reduciendo la influencia del evaluador.

Tras la experiencia, se aplicó la evaluación SUS, esta se compone por diez enunciados evaluados mediante una escala Likert de cinco puntos, donde 1 corresponde a “totalmente en desacuerdo” y 5 a “totalmente de acuerdo” (Brooke, 1995). Los ítems impares (SUS1, SUS3, SUS5, SUS7 y SUS9) representan afirmaciones positivas, mientras que los ítems pares (SUS2, SUS4, SUS6, SUS8 y SUS10) evalúan aspectos negativos del sistema.

La Tabla 1 presenta los valores promedio obtenidos para cada ítem del cuestionario. Con el fin de profundizar en el análisis de usabilidad, se hizo una revisión ítem por ítem de la evaluación, para identificar los puntos fuertes y deficiencias de la propuesta.

Tabla 1: Resultados promedio por ítem del cuestionario SUS

Ítem	Concepto del enunciado	Calificación media
SUS1	Uso frecuente	4.4
SUS2	Complejidad del sistema	3.0
SUS3	Facilidad de uso	3.6
SUS4	Dependencia de soporte técnico	2.6
SUS5	Integración de funciones	3.6
SUS6	Inconsistencia	2.6
SUS7	Aprendizaje rápido	4.2
SUS8	Dificultad de uso	1.8
SUS9	Confianza en el uso	4.2
SUS10	Necesidad de información previa	1.4

Los resultados muestran una valoración positiva del prototipo, particularmente en los ítems relacionados con la frecuencia de uso potencial (SUS1), la facilidad de aprendizaje (SUS7) y la confianza durante la interacción (SUS9), todos con

valores mayores a 4.0 puntos. Estos hallazgos sugieren que los usuarios perciben la aplicación como intuitiva y accesible desde las primeras interacciones.

Los bajos puntajes obtenidos en los enunciados de dependencia de soporte técnico (SUS4), dificultad de uso (SUS8), inconsistencia (SUS6) y necesidad de información previa (SUS10) reflejan que los usuarios no percibieron la aplicación como difícil o dependiente de explicaciones extensas, lo cual es consistente con los principios de usabilidad planteados en el diseño.

En contraste, las puntuaciones intermedias obtenidas en los ítems negativos como la percepción de complejidad del sistema (SUS2) y la integración de funciones (SUS5), sugieren que algunos usuarios percibieron una integración parcial entre los módulos de navegación y escaneo, así como una ligera sobrecarga estructural en la organización de las funciones. En consecuencia, se recomienda priorizar en la siguiente iteración la simplificación de los flujos de navegación y la agrupación visual de botones con sus funciones, con el objetivo de reducir la carga cognitiva para el usuario.

Finalmente, el enunciado relativo a la facilidad de uso (SUS3), obtuvo una puntuación aceptable, coherente con una primera iteración del prototipo.

El puntaje global promedio del SUS fue de 71.5 (Tabla 2), que en nomenclatura del sistema, clasifica el prototipo como aceptable dentro de la escala de usabilidad.

Tabla 2: resultados de la evaluación de usabilidad (SUS)

Usuario	Puntaje SUS (0-100)	Calificación interpretativa
U1	75	Aceptable
U2	82.5	Aceptable
U3	67.5	Marginal
U4	72.5	Aceptable
U5	60	Marginal
Promedio	71.5	Aceptable

Además de la puntuación cuantitativa, se recopiló retroalimentación individual sobre la experiencia visual y funcional, la cual será crucial para la mejora continua del prototipo. Los comentarios de los participantes se agruparon en dos categorías que identifican las siguientes áreas de mejora:

- Aspectos visuales: Estilización de los íconos, uso de fuentes de texto más atractivas y aumento de transparencia en los menús desplegables.

- Aspectos funcionales: Mostrar el botón de escanear solo frente a edificios interactivos, mejorar la organización de la información en listas, y permitir la interacción tanto en el mapa como en la vista de cámara.

Finalmente, los participantes expresaron interés en funciones complementarias de asistencia como el acceso a información de módulos de seguridad y recomendación de eventos de acuerdo a sus preferencias.

5. Discusión

La aplicación del enfoque de Diseño Centrado en el Usuario (DCU) en este proyecto no solo funcionó como una metodología de desarrollo, sino como un marco de validación que permitió alinear las expectativas de un público joven-adulto con las capacidades de la Realidad Aumentada (RA) en un contexto patrimonial específico. La obtención de un puntaje global de 71.5 puntos en el SUS es consistente con lo que la literatura define como un sistema aceptable en sus etapas iniciales (Brooke, 1995), lo cual valida la arquitectura de información y flujo de interacción propuestos para el centro histórico de Zacatecas.

Un hallazgo crítico derivado del análisis ítem por ítem del SUS es la alta calificación en los aspectos de aprendizaje rápido (SUS7) y confianza en el uso (SUS9), esto sugiere que el uso de elementos visuales familiares, inspirados en aplicaciones ampliamente utilizadas como Google Maps e iconografía estándar del sistema Android, redujo significativamente la curva de aprendizaje. En contraste, la puntuación intermedia en la percepción de complejidad (SUS2) y la integración de funciones (SUS5), evidencian oportunidades de mejora que coinciden con la retroalimentación cualitativa, particularmente, sobre la visualización del botón de escaneo. Esto indica que la transición entre la vista de mapa y la vista de cámara RA requiere un ajuste en la interfaz para minimizar la carga cognitiva.

En comparación con investigaciones previas como la de Boboc et al. (2022), quienes destacan que la RA es una tecnología con alto potencial para la preservación del patrimonio, los resultados de este trabajo confirman que existe una disposición positiva del usuario hacia esta tecnología cuando le ofrece datos prácticos como horarios, rutas y eventos, no solo elementos visuales, reforzando la importancia de equilibrar innovación tecnológica con funcionalidad informativa.

Respecto a la proyección hacia una implementación de RA sin marcadores en entornos históricos, su adopción plantea desafíos técnicos y operativos significativos. Su funcionamiento estaría condicionado por la precisión del sistema GPS y por fenómenos asociados al entorno urbano,

como interferencias de señal y el efecto cañón en calles estrechas, además de la oclusión visual causada por peatones, vehículos o mobiliario urbano, que podrían comprometer la correcta superposición del contenido digital y la estabilidad del anclaje virtual. Estos factores demandan estrategias híbridas que combinen geolocalización, visión computacional y sensores inerciales para robustecer el seguimiento (tracking) en futuras versiones del sistema.

Finalmente, es imperativo reconocer las limitaciones de este estudio. La muestra de cinco usuarios, aunque metodológicamente justificada por Nielsen (2000) para evaluaciones formativas tempranas, limita la generalización de los datos. De igual manera, la evaluación en un entorno simulado no permite medir el impacto de variables ambientales reales, conectividad y desempeño del hardware, factores que serán abordados en la siguiente fase de desarrollo.

6. Conclusiones

Este trabajo demuestra que el desarrollo de herramientas digitales para el turismo cultural debe priorizar la Experiencia del Usuario (UX) por encima del despliegue tecnológico. La metodología DCU permitió traducir efectivamente las necesidades de los visitantes del centro histórico en un prototipo funcional que logró una calificación de usabilidad aceptable.

Las conclusiones derivadas de esta investigación son:

Efectividad del DCU: La participación activa del usuario desde la etapa de requerimientos permitió identificar que la información práctica es tan valorada como la experiencia visual.

Intuición del diseño: El análisis detallado de la evaluación SUS confirma que el sistema es fácil de aprender, minimizando la necesidad de soporte técnico externo.

Viabilidad tecnológica: la RA basada en marcadores constituye una solución robusta y de bajo costo para las fases iniciales de digitalización del patrimonio cultural.

6.1 Proyecciones y trabajo futuro

Como respuesta a las áreas de mejora identificadas, el trabajo futuro se dividirá en dos líneas:

Optimización de la interfaz: Implementar menús con transparencias dinámicas y un sistema de activación de escaneo contextual, mejorando la integración de funciones (SUS5).

Validación de campo: Realizar pruebas in situ con una muestra poblacional más amplia ($n > 30$) para evaluar el desempeño de la aplicación bajo condiciones de red y luz reales, explorando la transición hacia la RA sin marcadores mediante el uso de sensores inerciales y geolocalización.

Referencias

- Azuma, R. T. (1997). *A Survey of Augmented Reality*.
- Bekele, M. K., Pierdicca, R., Frontoni, E., Malinverni, E. S., & Gain, J. (2018). A Survey of Augmented, Virtual, and Mixed Reality for Cultural Heritage. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 11(2), 1-36. <https://doi.org/10.1145/3145534>
- Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends® in Human—Computer Interaction*, 8(2-3), 73-272. <https://doi.org/10.1561/1100000049>
- Boboc, R. G., Băutu, E., Gîrbacia, F., Popovici, N., & Popovici, D.-M. (2022). Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications. *Applied Sciences*, 12(19), 9859. <https://doi.org/10.3390/app12199859>
- Brooke, J. (1995). SUS: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval. Ind.*, 189.
- Design Thinking en Español. (2025). *¿Qué es la técnica «personas»? Design Thinking*. <https://designthinking.es/personas/>
- Dogan Turkoglu, H., & Cakici Alp, N. (2025). Evaluating Cultural Heritage Preservation Through Augmented Reality: Insights from the Kaisareia-AR Application. *Architecture*, 5(3), 59. <https://doi.org/10.3390/architecture5030059>
- Gobierno del Estado de Zacatecas. (2024). *3er Informe de Gobierno David Monreal* (No. 3; pp. 199-205). <https://3erinformedavidmonreal.zacatecas.gob.mx/archivos/3ERINFORME2024.pdf>
- IBM. (2024, abril 3). *¿Qué es la realidad aumentada?* / IBM. <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/augmented-reality>
- IEEE. (1998). *IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1998.88286>
- International Organization for Standardization. (2010). *ISO 9241-210:2010(en), Ergonomics of human-system interaction—Part 210: Human-centred design for interactive systems*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-1:v1:en>
- Justinmind. (2025). *Justinmind prototyping tool [Software de simulación interactiva]*. <https://www.justinmind.com/>
- Martin Maguire, J. Kirakowski, & N. Vereker. (1998). *RESPECT: User centred requirements handbook* [Dataset]. https://repository.lboro.ac.uk/articles/report/RESPECT_User_centred_requirements_handbook/9354023

- Nevola, F., Coles, T., & Mosconi, C. (2022). Hidden Florence revealed? Critical insights from the operation of an augmented reality app in a World Heritage City. *Journal of Heritage Tourism*, 17(4), 371-390. <https://doi.org/10.1080/1743873X.2022.2036165>
- Nielsen, J. (2000). *Why You Only Need to Test with 5 Users*. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>
- Rane, N., Choudhary, S., & Rane, J. (2023). Sustainable tourism development using leading-edge Artificial Intelligence (AI), Blockchain, Internet of Things (IoT), Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) technologies. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4642605>
- Salleh, S. Z., & Bushroa, A. R. (2022). Bibliometric and content analysis on publications in digitization technology implementation in cultural heritage for recent five years (2016–2021). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 25, e00225. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2022.e00225>
- Sefelin, R., Tscheligi, M., & Giller, V. (2003). Paper prototyping—What is it good for?: A comparison of paper- and computer-based low-fidelity prototyping. *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI '03*, 778. <https://doi.org/10.1145/765891.765986>
- Shukla, V., Rana, S., & Prashar, S. (2024). Examining the potential of virtual and augmented reality in enhancing tourism experiences. *The Bottom Line*. <https://doi.org/10.1108/BL-05-2023-0139>
- Trunfio, M., Jung, T., & Campana, S. (2022). Mixed reality experiences in museums: Exploring the impact of functional elements of the devices on visitors' immersive experiences and post-experience behaviours. *Information & Management*, 59(8), 103698. <https://doi.org/10.1016/j.im.2022.103698>
- Vlachos, A., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2024). A review of ontologies for augmented reality cultural heritage applications. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 14(2), 160-174. <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-06-2021-0110>

Robots sociales en museos - Un enfoque centrado en el análisis de las emociones

Social robots in museums – An approach focused on emotion analysis

Raquel Lacuesta

Informática e Ingeniería de
Sistemas
Universidad de Zaragoza I3A
Teruel, Aragón, España
lacuesta@unizar.es

Fernando Barrado

Informática e Ingeniería de
Sistemas
Universidad de Zaragoza
Teruel, Aragón, España
717264@unizar.com

Alejandro Guillén

Informática e Ingeniería de
Sistemas
Universidad de Zaragoza
Zaragoza, Teruel, Aragón,
España
801585@unizar.es

Francesc Xavier Gaya

Ciencias Matemáticas e
Informática
Universitat de les Illes Balears
Palma, Illes Balears, España
francesc-xavier-
gaya@uib.com

José María Buades

Ciencias Matemáticas e
Informática
Universitat de les Illes Balears
Palma, Illes Balears, España
josemaria.buades@uib.es

Francisco Perales

Ciencias Matemáticas e
Informática
Universitat de les Illes Balears
Palma, Illes Balears, España
paco.perales@uib.es

Silvia Hernández

UP de Bellas Artes
Universidad de Zaragoza
Teruel, Aragón, España
silviahm@unizar.es

Recibido: 12.11.2025 | Aceptado: 2.12.2025

DOI: <https://doi.org/10.65234/interaccion.138>

Palabras Clave

Robótica social
Interacción persona-robot
Experiencia de usuario
Museos
Interacción lúdica
Análisis emocional
Reconocimiento facial
Mediación tecnológica
Aprendizaje intergeneracional
Experiencia museística
Agentes sociales
Emociones en HCI

Resumen

Este trabajo presenta un estudio sobre el uso de robots sociales humanoides en museos, enfocado específicamente en enriquecer las visitas familiares. Desarrollado en colaboración con la Fundación Amantes de Teruel, el proyecto implementó un robot con aplicaciones lúdicas diseñadas para fomentar la participación activa y compartida entre niños y adultos. Para evaluar el impacto de esta interacción, se emplearon dos métodos: el análisis de expresiones faciales durante las actividades y encuestas de percepción subjetiva al finalizar. Los resultados fueron contundentemente positivos. El análisis facial detectó un predominio de emociones como la felicidad y la sorpresa. Paralelamente, las encuestas reflejaron altos niveles de satisfacción, motivación, relajación e interés por la tecnología en los participantes, junto con una ausencia de frustración. El estudio concluye que los robots sociales son una herramienta viable y muy eficaz para mejorar la experiencia museística familiar. No solo fomentan el aprendizaje conjunto y la curiosidad, sino que también demuestran la importancia de diseñar estas interacciones teniendo en cuenta su impacto emocional, para optimizar así la visita cultural.

Keywords

Social robots
Human-robot interaction
User experience
Museums
Playful interaction
Emotional analysis
Facial emotion recognition
Technology-mediated

Abstract

This work presents a study on the use of humanoid social robots in museums, specifically focused on enriching family visits. Developed in collaboration with the Amantes de Teruel Foundation, the project implemented a robot with playful applications designed to encourage active and shared participation between children and adults. To evaluate the impact of this interaction, two methods were used: facial expression analysis during the activities and subjective perception surveys afterward. The results were overwhelmingly positive. Facial analysis detected a predominance of emotions like happiness and surprise. Concurrently, the surveys reflected high levels of satisfaction, motivation, relaxation, and interest in technology among participants, along with an absence of frustration. The study concludes that social robots are a viable and highly effective tool for

Intergenerational learning
Museum experience
Social agents
Emotions in HCI

enhancing the family museum experience. They not only promote joint learning and curiosity but also demonstrate the importance of designing these interactions considering their emotional impact, in order to optimize the cultural visit.

1. Introducción

En los últimos años, muchos museos han empezado a incorporar distintas tecnologías interactivas con el propósito de hacer las visitas más dinámicas y atractivas para el público (Castellano et al., 2020). Dentro de esta tendencia, cada vez se habla más del uso de robots sociales como posibles guías o acompañantes durante los recorridos. Estos robots, diseñados para interactuar de forma cercana y comprensible, pueden adaptar sus explicaciones dependiendo de quien tengan delante. Por ejemplo, un robot humanoide podría reconocer si está hablando con un niño o con un adulto y ajustar el contenido para que resulte interesante para todos. Sin embargo, existe una brecha en cuanto al análisis del impacto emocional real de estas interacciones en grupos familiares.

A partir de esta base, el artículo que se presenta recoge una experiencia piloto realizada junto con la Fundación Amantes de Teruel, en el Museo del Mausoleo de los Amantes. En esta experiencia, un robot humanoide acompañó a las familias durante su visita con el objetivo de enriquecerla y fomentar que niños y adultos participaran juntos. En las siguientes secciones, se describe el estado del arte, el proceso seguido para el diseño e implementación del robot, y los principales resultados obtenidos de su evaluación, tanto cuantitativos como cualitativos, prestando especial atención al impacto emocional de la interacción.

2. Estado del arte

2.1 Interacciones generacionales mediadas por tecnología

En los últimos años, varios estudios han analizado el uso de actividades intergeneracionales con el objetivo de acercar a personas de diferentes generaciones. Un ejemplo es el trabajo de Al Mahmud et al. (2010), donde se crearon juegos pensados para que niños y adultos mayores pudieran divertirse juntos. Los resultados mostraron que, con algunos ajustes en el diseño, es posible lograr actividades que enganchen a ambos grupos al mismo tiempo. En esta misma línea, en Japón, Seaborn et al. (2019) diseñaron juegos específicos para jóvenes y personas mayores, confirmando que estas dinámicas mejoran la empatía y el entendimiento mutuo.

Algo parecido ocurrió con el proyecto Age Invaders (Khoo et al., 2008), que mezclaba realidad mixta con ejercicio físico. La idea era que abuelos y nietos compartieran un espacio de juego, y lo interesante es que muchos participantes destacaron que esta dinámica ayudaba a reducir la distancia tecnológica entre generaciones, ya que resultaba sencilla e intuitiva.

También se han estudiado experiencias en las que jóvenes y mayores juegan en equipo. Rice et al. (2012) analizaron cómo cambiaba la interacción entre ellos cuando jugaban a videojuegos de forma cooperativa, observando un aumento en la comunicación y la colaboración. Este beneficio se refuerza con estudios como el de Coyne et al. (2011), quienes observaron que compartir tiempo de juego reduce conductas agresivas y fomenta actitudes positivas dentro de la familia. Estos trabajos dejaron una idea bastante clara: si se cuidan aspectos como la interfaz, el nivel de reto o la temática, es posible diseñar actividades digitales que sean atractivas para edades muy distintas. Incluso se han adaptado juegos de toda la vida al formato digital. Por ejemplo, Vetere et al. (2006) propusieron una versión del escondite para que padres e hijos pudieran jugar a distancia mediante tecnología ubicua. Lo curioso es que no solo funcionó, sino que además reforzó la comunicación y el vínculo familiar.

En cuanto a cómo los robots influyen en las emociones familiares, el trabajo de Heljakka & Ihamäki (2019) con un perro robótico demostró que estos dispositivos generan momentos de juego y recuerdos afectivos entre niños y adultos mayores. Más específicamente en robótica social, Joshi y Šabanović (2019) estudiaron el uso de robots en contextos comunitarios, viendo que ayudaban a la comunicación y el trabajo en equipo. Aravamuthan et al. (2022) obtuvo un hallazgo similar al analizar el papel del robot Pepper durante un juego Tangram entre abuelos y nietos; la presencia del robot no solo mejoró la colaboración, sino que generó interés por repetir la experiencia. Finalmente, Cagiltay et al. (2020) dieron un paso más y analizaron este tema teniendo en cuenta a la familia como un conjunto y no solo a cada persona por separado. Diseñaron interacciones entre niños y robots siguiendo esta idea y concluyeron que, cuando se adopta un enfoque centrado en la familia, la integración del robot en casa resulta más natural y las interacciones suelen ser más significativas para los niños.

2.2 Robots sociales en contextos educativos y lúdicos

Los robots sociales han ido apareciendo poco a poco en varios contextos educativos, tanto con niños como con personas mayores. Un curioso ejemplo es el estudio de Kanero et al. (2018) y Konjin et al. (2021), donde se vio que niños pequeños podían “enseñar” nuevas palabras a un robot que hacía de alumno. Lo interesante es que, al tener que explicarle las palabras al robot, los mismos niños aprendían mejor, como si el hecho de hacer de profesores reforzara su aprendizaje.

En el caso de los adultos, muchos estudios se han centrado en entender hasta qué punto se sienten cómodos usando este tipo de robots. Broadbent et al. (2019) analizaron cómo reaccionaban las personas mayores ante robots diseñados para ayudar en el día a día y se destacó que, para que los acepten, es fundamental que las interacciones sean fáciles, útiles y, sobre todo, que tengan una parte emocional adecuada. Si el robot resulta cercano y fácil de entender, es mucho más probable que lo incorporen a su rutina.

Un aspecto que se repite en la historia es que tanto la utilidad como la facilidad de uso son elementos claves para que niños y mayores quieran interactuar con un robot. Podría pensarse que los niños, por estar más acostumbrados a la tecnología, no tendrían problemas, pero no siempre es así. Aunque están familiarizados con móviles, tabletas o consolas, un robot humanoide es algo diferente y, al principio, les puede generar dudas sobre cómo hablarle o cómo relacionarse con él. Por eso, se insiste tanto en el diseño centrado en el usuario. Esto quiere decir que hay que tener en cuenta las capacidades, limitaciones y experiencias previas de cada persona, ya sea un niño pequeño, un adulto o alguien mayor. Cuando se diseña con esa perspectiva, es mucho más fácil crear interacciones que resulten naturales, cómodas y satisfactorias para todos.

2.3 Robots sociales en museos

En los últimos años, distintos museos han comenzado a experimentar con la incorporación de robots sociales como apoyo a las visitas culturales. Algunos trabajos (Castellano et al., 2020) enseñan el uso del robot humanoide Pepper en un museo de arte, donde se le dio visión por computador para reconocer qué obra observaba el visitante y estimar ciertos rasgos demográficos, como la edad o el género, con el fin de ofrecer recomendaciones personalizadas durante el recorrido. Según estos autores, este tipo de interacción persona-robot puede aumentar el grado de implicación del público, ya que proporciona una mediación más cercana y flexible que otros dispositivos tradicionales. Algo similar se ha visto en iniciativas a mayor escala, como la de Smithsonian Institution (2018), que probó robots en varias de sus sedes para analizar

de qué manera podían enriquecer la experiencia de los visitantes y, además, servir de apoyo al personal de sala.

En general, los robots en museos suelen asumir un papel que combina la función de guía con la de facilitador social, donde pueden narrar historias, responder preguntas frecuentes e incluso adaptar su forma de comunicarse en función del estado emocional del público. De hecho, hay investigaciones que muestran cómo robots que tienen visión artificial pueden ajustar el contenido que presentan según la reacción de los visitantes (Baraka et al., 2021; Chao & Thomaz, 2012; Heljakka & Ihamaäki, 2019). Sin embargo, la mayoría de estas experiencias se han centrado sobre todo en visitantes individuales o en grupos relativamente parecidos. Apenas se ha profundizado en qué ocurre cuando quienes visitan el museo son familias, ni en cómo influyen las actividades lúdicas que el robot propone en sus emociones o en la interacción entre sus miembros.

La literatura que hay hoy en día apunta a que los robots pueden desempeñar un papel importante a la hora de fomentar interacciones entre generaciones. Por ejemplo, estudios como el de Baraka et al. (2021) muestran que, en contextos de juego o aprendizaje intergeneracional, los robots pueden contribuir a que niños y adultos colaboren y aprendan juntos. Sin embargo, son escasos los trabajos que analizan en detalle la dimensión emocional de estas experiencias dentro de un museo real, especialmente cuando se introducen dinámicas de juego que buscan estimular el aprendizaje compartido.

En este campo, los llamados robots afectivos abren una línea interesante, ya que permiten estimar emociones en tiempo real a partir de expresiones faciales o señales fisiológicas (Ramis et al., 2020). Estos sistemas suelen validarse comparando sus resultados con la evaluación de expertos humanos, con el objetivo de garantizar una fiabilidad adecuada en entornos reales. Esta capacidad podría ayudar a adaptar el comportamiento del robot durante la visita, ajustando el tono o el tipo de actividad según la reacción de las personas.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el trabajo que se presenta aporta una perspectiva distinta. El estudio se centra en el potencial de los robots sociales como mediadores intergeneracionales dentro de un museo, promoviendo que niños y adultos participen juntos y se relacionen tanto con el robot como con los contenidos culturales. Más allá de describir la implementación, se ofrece un análisis empírico del impacto emocional de distintas actividades educativas guiadas por el robot. El uso del reconocimiento facial permitió observar cómo cambiaban las emociones de los participantes

en función de la dinámica propuesta, aportando datos que pueden resultar útiles para el diseño de futuras experiencias interactivas en museos. De acuerdo a la literatura consultada, no existen estudios que analicen con alto nivel de detalle el aspecto emocional de la interacción humano-robot en actividades familiares dentro de un museo, lo cual contribuye a enriquecer la comprensión de estas experiencias y abre nuevas posibilidades de diseño.

2.4. Tendencias Futuras: El Impacto de la IA Generativa

Las recientes innovaciones en modelos de lenguaje grande (LLMs) y la Inteligencia Artificial Generativa están redefiniendo el futuro de la Interacción Persona-Robot (HRI) y la museología. Estas tecnologías ofrecen la capacidad de crear diálogos que van más allá de las respuestas preprogramadas (rule-based), permitiendo al robot generar contenido y narrativas que se adaptan en tiempo real a los intereses y al contexto del visitante (Kim et al., 2024).

Este potencial es significativo para los museos, ya que la IA generativa puede utilizarse para crear recorridos narrativos altamente personalizados que se ajustan al estilo de aprendizaje de una familia o a las preguntas inesperadas de un niño, algo que los sistemas de guías tradicionales no pueden ofrecer (Ferrato et al., 2025).

En el contexto específico de la robótica social, la integración de LLMs puede mejorar drásticamente la coherencia conversacional y la autonomía de los agentes sociales. Si bien el sistema de 'Erox' de este estudio opera con una lógica reactiva y basada en reglas y se apoya en módulos específicos de visión artificial (Barrado Lucia, 2024), es fundamental reconocer que la capacidad de análisis emocional del presente trabajo es un paso esencial para informar la futura integración de la IA generativa, creando experiencias robóticas que sean más humanas y personalizadas.

3. Diseño de la aplicación

La experiencia se llevó a cabo en el Conjunto Museo de los Amantes de Teruel, un espacio cultural que narra la conocida leyenda de los Amantes.

3.1 Principios de diseño de la interacción

El diseño de las actividades interactivas para el robot Erox se guió por principios clave de la Interacción Humano-Computadora (HCI) y la educación museística, buscando optimizar la experiencia familiar y el compromiso emocional. Nos enfocamos en:

- **Colaboración intergeneracional.** Las actividades fomentaron la participación conjunta de niños y adultos, asegurando que los desafíos e interacciones fueran relevantes y accesibles para ambos grupos, incluyendo pausas y adaptación de ritmos.
- **Interactividad lúdica y afectiva.** Se priorizó el juego como vehículo de aprendizaje, integrando retroalimentación afectiva del robot (expresiones y movimientos) para una experiencia más empática y motivadora, incluso ante errores o frustraciones.
- **Claridad y consistencia.** Se diseñó una interfaz intuitiva con interacción multimodal (voz y táctil) para facilitar la familiarización del usuario. La comunicación del robot se adaptó para ser fluida, natural y humanizada.
- **Integración educativa.** Las actividades se alinearon con los objetivos del museo, reforzando conceptos clave de la leyenda a través de diversos formatos (diálogo, preguntas, ordenación de imágenes).
- **Reducción de la frustración.** Se implementaron mecanismos en el diseño del robot (respuestas afectivas, ayudas) para gestionar y reducir la aparición de emociones negativas en actividades con reto, transformándolas en oportunidades de aprendizaje y superación.

3.2 El robot Erox y sus capacidades tecnológicas

Se utilizó un robot social humanoide, modelo Sanbot Elf, apodado "Erox" para su implementación en el museo. Este robot es de tamaño mediano (aprox. 1 metro), equipado con movilidad sobre ruedas, brazos articulados, pantalla táctil frontal y un rostro digital con expresiones básicas para una comunicación humanizada. Sus sensores clave incluyen micrófonos y altavoces para reconocimiento y síntesis de voz, y una cámara frontal de alta definición, esencial para la interacción visual y el análisis de emociones.

El sistema de Erox opera bajo una arquitectura cliente-servidor y una lógica de interacción reactiva basada en reglas (rule-based), y no está conectado a un modelo de Inteligencia Artificial Generativa (IA Generativa). El modo de interacción lo decide el usuario (a través de la pantalla táctil o comandos de voz predefinidos). Para el análisis emocional, la cámara captura las imágenes, que son enviadas al servidor. El sistema integra un módulo de reconocimiento de emociones faciales (Gaya Morey et al., 2024) capaz de categorizar en tiempo real seis emociones básicas (alegría, sorpresa, tristeza, miedo, disgusto y enojo). Erox no manifiesta emociones propias, sino que utiliza la voz, junto con otros canales, para transmitir su retroalimentación (feedback) al usuario, complementada con el movimiento de los brazos y el cambio de colores en su

iluminación. Cabe destacar que el módulo de visión está diseñado para el procesamiento de expresiones faciales en tiempo real. Con el fin de garantizar la privacidad de los usuarios y cumplir con los protocolos éticos de interacción en entornos públicos, el sistema no almacena imágenes ni grabaciones de los rostros, procesando la información de manera efímera para generar la respuesta inmediata del robot. Por este motivo, los datos biométricos brutos no están disponibles para análisis posteriores disgregados por rasgos demográficos como la edad exacta.

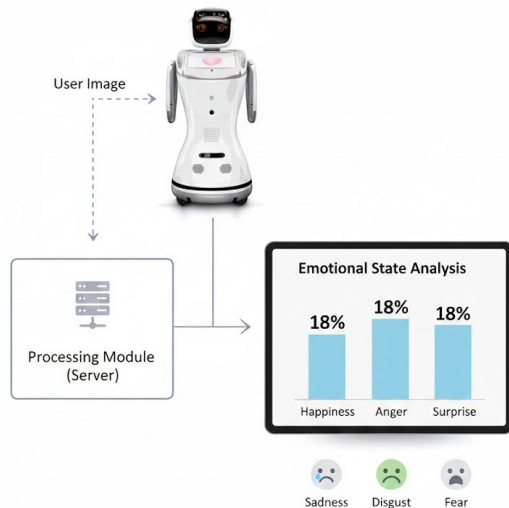


Figura 1. Diagrama de flujo del sistema de interacción y análisis emocional del robot Erox.

En la Figura 1 se detalla visualmente este ciclo de operación. Como se observa en el flujo, el sistema realiza un pre-procesamiento de los frames capturados para el análisis y procesamiento emocional

3.3 Descripción de las actividades interactivas

Las actividades interactivas, diseñadas por los responsables del Museo de los Amantes, se centraron en la leyenda local para reforzar la experiencia educativa y promover la interacción familiar con el robot, generando emociones positivas. La estructura de estas actividades es de contenido fijo (las mismas tareas y orden para todos los grupos), pero la interacción es dinámicamente adaptativa: Erox modula su respuesta verbal y gestual en tiempo real según el estado emocional detectado en los participantes (tal como se detalla en el 3.2), asegurando un soporte personalizado. Se integraron en Erox diversas actividades lúdicas para involucrar simultáneamente a niños y adultos (véase Figura 2).



Figura 2: Robot social 'Erox' en el Mausoleo de los Amantes de Teruel

Actividad 1: "Diálogo con Erox" (véase Figura 3). Permite a los usuarios familiarizarse con Erox a través de preguntas sobre la leyenda o peticiones de música. El usuario puede dirigirse al robot tanto a través de la pantalla táctil como mediante comandos de voz. Dado que Erox opera con un sistema rule-based (descrito en 3.2), el reconocimiento de voz y las interacciones están limitados a un conjunto predefinido de frases clave que aparecen como opciones en la pantalla. Erox responde por voz, con expresiones faciales y movimientos, humanizando la interacción, que también es táctil. Esta actividad busca tanto la diversión como el aprendizaje de interacción con el robot.



Figura 3: Actividad del diálogo con el robot sobre los Amantes de Teruel

Actividad 2: "Explicación ampliada" (véase Figura 4). Las familias acceden a contenidos multimedia sobre la leyenda

(videos, audios) mediante interfaz táctil o comandos de voz, complementando las explicaciones orales y facilitando la comprensión de la historia de forma envolvente. Además, las familias pueden interaccionar con el Robot para pedirle que les explique aspectos concretos de la leyenda. Mediante un botón en la interfaz o por comandos de voz, los usuarios pueden acceder a estos contenidos multimedia que complementan las explicaciones orales. Esta opción mejora la experiencia al incorporar estímulos visuales y auditivos simultáneos, y facilita la comprensión de la historia mediante un formato narrativo más envolvente.

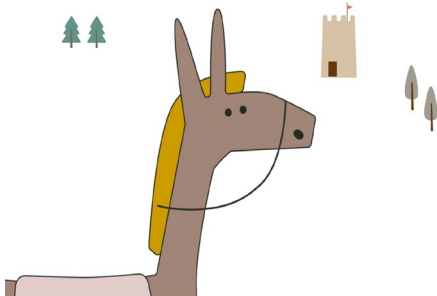


Figura 4: Uno de los videos que proyecta Erox en su pantalla para comprender la historia

Una vez completada la visita del museo, Erox propone 3 juegos interactivos a las familias para asegurarnos que “han aprendido” durante la visita. El primer juego es el Juego del ahorcado (véase Figura 5), actividad diseñada como un juego educativo, el Ahorcado permite a los niños adivinar palabras relacionadas con la leyenda de los Amantes de Teruel. Cada fallo o acierto genera reacciones emocionales visibles en el robot (movimiento, expresiones faciales), lo que añade un componente afectivo a la interacción. Este juego sirve para reforzar los aspectos principales de la visita y mantener la atención de los usuarios a través del reto y la diversión.



Figura 5: Juego del ahorcado

El segundo juego es el Juego de las preguntas (véase Figura 6) que consiste en preguntas de opción múltiple sobre la visita, evaluando la comprensión y memoria del visitante.

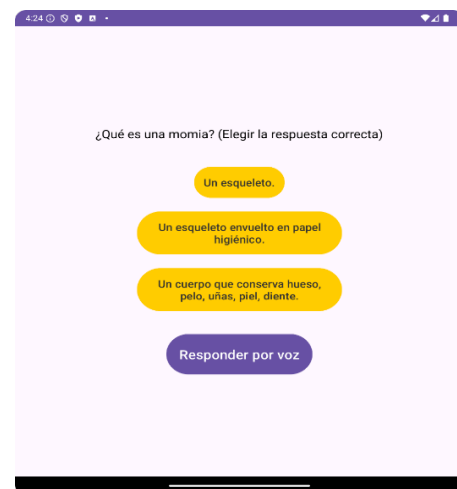


Figura 6: Juego de preguntas

El tercero es el juego de Ordenar imágenes según la Historia (véase Figura 7), el cual, reta al usuario a secuenciar imágenes clave de la leyenda.

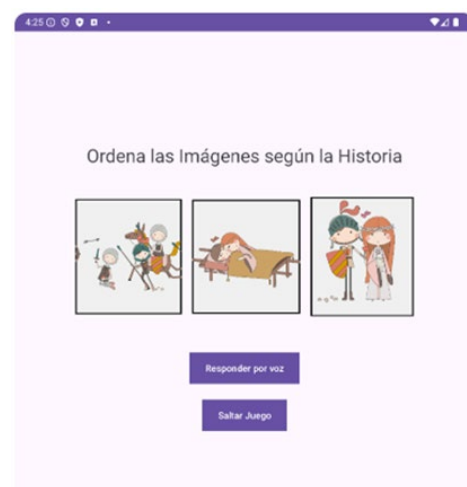


Figura 7: Interfaz del juego “Ordena las Imágenes según la Historia”

3.4 Participantes y procedimiento

Para evaluar la intervención, se realizaron sesiones piloto con un total de 14 participantes, principalmente niños (8-14 años) acompañados por sus padres. De estos, 9 participantes dieron consentimiento para el estudio de emociones. Los participantes, siendo en su mayoría residentes locales de Teruel, no requirieron una visita guiada previa y pudieron interactuar directamente con el robot Erox en las actividades propuestas.

Para efectos de este estudio y estandarizar la terminología, las categorías de edad utilizadas se definieron de la siguiente manera: Niños/Participantes jóvenes (entre 6 y 17 años) y Adultos/Familiares (mayores de 18 años). Utilizamos el término intergeneracional para referirnos a la coparticipación de al menos un individuo de la categoría "Niños/Participantes jóvenes" y uno de la categoría "Adultos/Familiares" en la misma sesión.

Al inicio de cada sesión, un investigador explicó el objetivo de la actividad (mejorar la experiencia museística con nuevas tecnologías). Las familias iniciaron con la "Actividad de Diálogo" y luego procedieron con los juegos, interactuando con Erox mediante voz o pantalla táctil. Las Figuras 7 y 8 muestran ejemplos de usuarios interactuando con Erox durante las actividades.



Figura 8: Familia 1 interactuando con el robot



Figura 9: Familia 2 interactuando con el robot

Además, para comprobar el estado emocional de los usuarios post-experiencia, los usuarios contestaron a las preguntas de la Tabla 1.

Tabla 1: Preguntas test Estado Emocional (Barrado Lucia, 2024, p. 56)

Cuestionario	Preguntas
Estado emocional. Post experiencia	Me siento contento/a después de interactuar con el robot Erox
	Me siento relajado/a después de la interacción con el robot Erox
	Me siento motivado/a después de usar el robot Erox
	Me siento frustrado/a después de interactuar con el robot Erox
	Me siento satisfecho/a con la interacción con el robot Erox
	Me siento enojado/a después de usar el robot Erox
	Me siento confundido/a durante la interacción con el robot Erox
	Me siento valorado/a por el robot Erox
	Me siento seguro/a mientras uso el robot Erox
	Me siento más interesado/a en la tecnología después de usar el robot Erox

3.5 Consideraciones éticas y privacidad de datos

Se obtuvo consentimiento informado explícito y por escrito de todos los participantes mayores de edad y de los tutores legales de los menores, explicando el propósito de la evaluación y el uso del reconocimiento facial. Se garantizó la voluntariedad de la participación y el derecho a retirarse en cualquier momento.

4. Resultados

4.1 Datos iniciales

En la evaluación final del robot Erox participaron 14 personas (9 para el análisis emocional). La composición de la muestra fue: 57,1% menores de 18 años, el resto adultos (menos del 10% mayores de 65 años), con un 64,3% hombres y 35.7% mujeres. Dada la naturaleza de este trabajo como estudio piloto, y a pesar de la profundidad del análisis de datos cualitativos y cuantitativos empleado, los resultados que se presentan a continuación sirven como indicadores iniciales para futuras investigaciones a gran escala. deben interpretarse como tendencias preliminares. El objetivo de este nivel de detalle es explorar y documentar con rigor las tendencias de interacción y el impacto emocional inicial, lo cual resulta esencial para informar el diseño de futuras experiencias a mayor escala, tal como se detalla en las limitaciones del estudio.

4.2 Resultados emocionales por actividad

Los resultados emocionales variaron según la actividad, reflejando sus dinámicas específicas:

Diálogo con Erox (Figura 10). La felicidad predominó (47%), seguida de sorpresa (12%). Las emociones negativas (tristeza 10%, miedo 9%, disgusto 8%, enojo 14%) fueron mínimas. Esto sugiere una conexión emocional positiva inicial, favorecida por un diseño sin retos y la guía del personal.

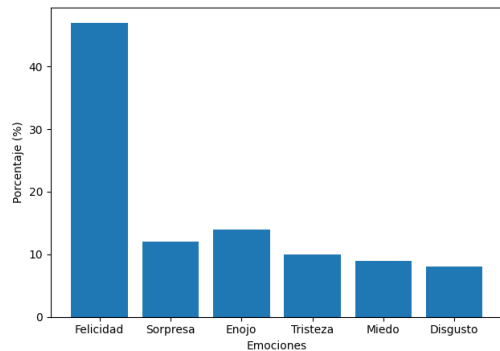


Figura 10: Gráfico de barras que detalla la distribución porcentual de diversas emociones en el juego 'Diálogo'

Juego del ahorcado (Figura 11). La felicidad se mantuvo principal (37%), con aumento de sorpresa (18%), tristeza (14%), enojo (13%), disgusto (8%) y miedo (10%). La introducción del error generó momentos de frustración, pero el enfoque afectivo del robot y la sorpresa (interés) mantuvieron la experiencia positiva.

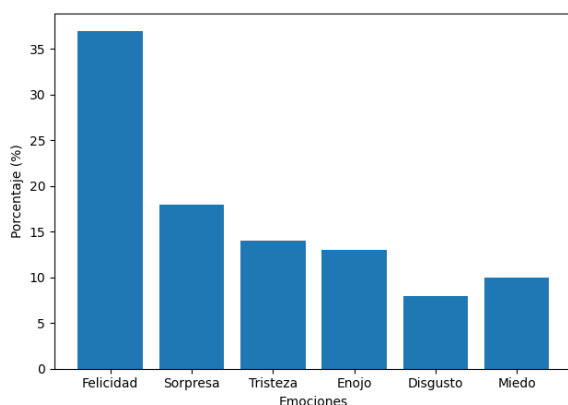


Figura 11: Gráfico de barras que detalla la distribución porcentual de diversas emociones en el juego 'Ahorcado'

Juego de preguntas (véase Figura 12). La felicidad predominó (29%), con notable aumento del enojo (26%) y sorpresa (20%). Tristeza (12%), disgusto (8%) y miedo (7%) fueron menores. La mayor exigencia cognitiva explica el incremento de emociones negativas por errores, aunque la retroalimentación del robot mantuvo la experiencia desafiante pero positiva.

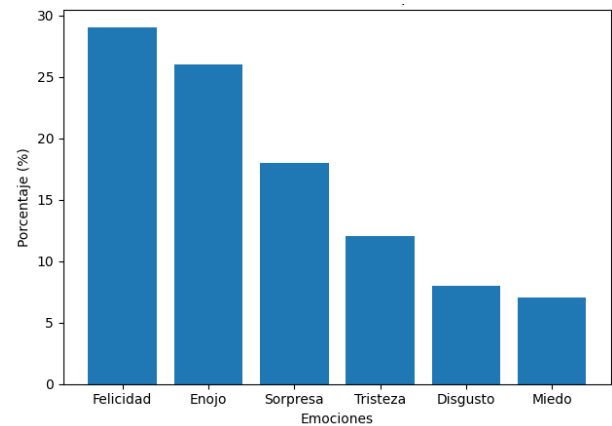


Figura 12: Gráfico de barras que detalla la distribución porcentual de diversas emociones en el juego 'Juegos de preguntas'

Juego Ordena la historia (Figura 13). Felicidad (29%) y sorpresa (20%) prevalecieron, pero con mayor equidad en disgusto (13%), enojo (15%), tristeza (11%) y miedo (12%). La alta carga cognitiva y lógica secuencial explica la distribución emocional dispersa (necesidad de apoyo textual). No obstante, el reto fue motivador y el feedback afectivo del robot mantuvo la experiencia general positiva.

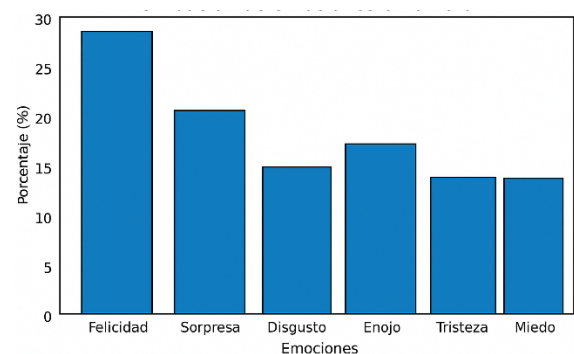


Figura 13: Gráfico de barras que detalla la distribución porcentual de diversas emociones en el juego 'Ordenar historia'

4.3 Estado emocional. Post experiencia

En cuanto a la evaluación del estado emocional tras la interacción con el robot social, los datos muestran una percepción claramente positiva por parte de los participantes. Como se observa en la Figura 14, ante la pregunta "Me siento contento/a después de interactuar con el robot Sanbot", un 78,6% de los encuestados eligió la puntuación máxima (5), mientras que un 21,4% seleccionó el valor 4. No se registraron respuestas negativas (valores 1 o 2) ni neutras (3). Este resultado pone de manifiesto el efecto emocional favorable que la experiencia tuvo sobre la mayoría de los usuarios.

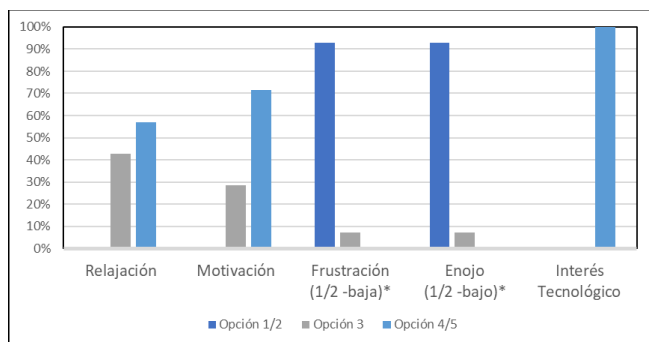


Figura 14: Análisis de datos de las encuestas.

Los resultados del análisis del estado emocional (Figura 14) de los participantes tras la interacción con el robot revelan una tendencia general hacia sentimientos positivos, específicamente hacia la relajación. La mayoría de los participantes reportó sentirse relajado después de la interacción, con el 50% de los participantes eligiendo la opción 4 y el 42,9% eligiendo la opción 3. Esto indica que una gran mayoría experimentó una sensación de calma o tranquilidad. Solo el 7,1%, expresó un alto grado de relajación (opción 5), mientras que ningún participante reportó sentirse no relajado (opciones 1 y 2). Este resultado sugiere que la interacción con el robot no solo mantiene, sino que también fomenta un estado emocional positivo en los usuarios.

Una mayoría significativa, representando el 71,5% de los encuestados (42,9% en la opción 4 y 28,6% en la opción 5), reportó sentirse motivada después de usar el robot. Mientras que un 28,6% se mantuvo neutral, es importante destacar que ninguno de los participantes expresó sentirse desmotivado. Esto sugiere que el robot tiene la capacidad de inspirar a los usuarios, lo cual es un aspecto positivo de la interacción.

La gran mayoría de los participantes no experimentaron frustración. Específicamente, un 57,1% seleccionó la opción 1, indicando un fuerte desacuerdo con la afirmación 'Me siento frustrado/a después de interactuar con el robot Sanbot', y un 35,7% eligió la opción 2, mostrando también desacuerdo. Solo un participante (7,1%) se mostró neutral, y ninguno expresó acuerdo con la afirmación. Esto sugiere que la interacción con el robot no generó sentimientos de frustración en la gran mayoría de los usuarios.

En cuanto a la emoción de enojo tras la interacción con el robot, los resultados demuestran una clara ausencia de esta sensación. Una abrumadora mayoría (78,6%) expresó un fuerte desacuerdo con la afirmación 'Me siento enojado/a después de usar el robot Sanbot'. Adicionalmente, el 14,3% mostró cierto desacuerdo y solo un participante se mantuvo neutral. Ninguno de los encuestados reportó haber

experimentado enojo, lo cual es un hallazgo positivo para la experiencia general que sugiere que la interacción no provocó rechazo.

Se revela el impacto positivo del robot social en el interés tecnológico. Una mayoría significativa expresó estar de acuerdo o muy de acuerdo con sentirse más interesado/a en la tecnología tras la interacción (64,3% en la opción 4 y 35,7% en la opción 5). La ausencia total de respuestas en las opciones de desacuerdo y neutralidad subraya la capacidad del robot para despertar la curiosidad y fomentar un mayor interés tecnológico en los participantes.

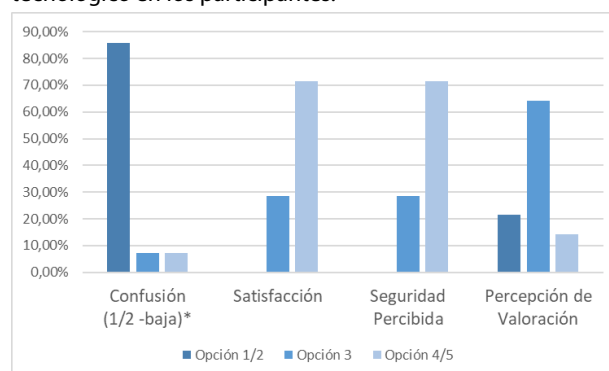


Figura 15: Análisis de datos de las encuestas 2.

Respecto al resto de datos de la encuesta (Figura 15) podemos observar que en lo que respecta a la claridad-confusión en la interacción, los resultados indican una baja incidencia de confusión. Un 64,3% expresó un fuerte desacuerdo con la afirmación 'Me siento confundido/a durante la interacción', mientras que el 21,4% mostró cierto grado de desacuerdo. Solo un 7,1% se mantuvo neutral y otro 7,1% reportó estar de acuerdo, sin que nadie manifestara un alto grado de confusión. En resumen, los datos apuntan a una experiencia caracterizada por la claridad y la facilidad de comprensión.

La satisfacción con la interacción también muestra una tendencia positiva: el 57,1% expresó satisfacción (opción 4) y el 14,3% una alta satisfacción (opción 5), mientras que el 28,6% se mostró neutral. El hecho de que ningún participante expresara insatisfacción permite concluir que la experiencia fue predominantemente positiva.

Con relación a la seguridad percibida durante la interacción con el robot "Erox", los datos muestran que un 35,7% tanto en la opción 4 como en la opción 5 expresó explícitamente sentirse seguro, con un 28,6% en postura neutral. Es crucial subrayar que ningún participante manifestó sentirse inseguro, lo que sugiere que el robot social contribuye a generar un entorno de confianza y seguridad para los individuos.

Finalmente, la percepción de ser valorado por el robot mostró una tendencia mayoritariamente neutral (64,3% en la opción 3). Un 21,4% expresó cierto desacuerdo y un 14,3% mostró estar de acuerdo. Estos datos indican que, en términos generales, la mayoría de los usuarios no tuvo una fuerte sensación ni de ser valorado ni de no ser valorado por el robot.

Como conclusión del apartado, los resultados del análisis del estado emocional post-interacción indican una experiencia emocional positiva. Se observó una tendencia hacia la relajación, la ausencia de frustración y enojo, y un incremento en la motivación y el interés por la tecnología. Los usuarios se sintieron seguros y satisfechos, lo que sugiere que la interacción con el robot tiende a mantener o mejorar el estado emocional positivo de los usuarios.

5. Conclusiones y trabajo futuro

El estudio desarrollado con la Fundación Amantes de Teruel demuestra el valor de los robots sociales como mediadores activos en experiencias culturales y educativas. Los resultados reflejan que la interacción con el robot "Erox" genera emociones predominantemente positivas, promoviendo la motivación, la relajación y el disfrute durante las actividades. Además, la ausencia de frustración y enojo, junto con la percepción de seguridad, evidencia que el entorno robótico fue acogido de forma natural y positiva por los usuarios.

El análisis comparativo entre actividades mostró que las dinámicas lúdicas favorecen la felicidad y la sorpresa, mientras que los retos cognitivos introducen emociones más variadas (como el enojo o la tristeza), sin afectar negativamente la experiencia global. Esta diversidad emocional sugiere que los desafíos moderados son beneficiosos desde una perspectiva pedagógica, al estimular la reflexión y la superación.

El módulo de reconocimiento facial resultó ser una herramienta eficaz para identificar matices emocionales que complementan los datos subjetivos de las encuestas, permitiendo una comprensión más completa del impacto emocional. En conjunto, los resultados confirman que la robótica social no solo es viable en entornos museísticos, sino que contribuye significativamente al fortalecimiento de la experiencia familiar y al acercamiento a la tecnología desde una perspectiva positiva y afectiva.

Como trabajo futuro, se propone ampliar la muestra de participantes y diversificar los contextos museísticos para validar los hallazgos en otros entornos culturales. Asimismo,

sería pertinente incorporar análisis longitudinales que evalúen la persistencia del impacto emocional y cognitivo en los visitantes, así como explorar estrategias de personalización adaptativa del comportamiento del robot según las respuestas emocionales en tiempo real.

5.1 Limitaciones del estudio y sesgos

A pesar de los hallazgos, este estudio presenta limitaciones metodológicas. La muestra reducida ($N=14$; $N=9$ para análisis emocional) limita la generalización, y los resultados deben interpretarse como tendencias preliminares. El reclutamiento de participantes familiarizados con el museo pudo introducir sesgos. Aunque el módulo de reconocimiento emocional ha sido validado, su precisión en entornos reales y con distintos rangos de edad (especialmente en niños) requiere validación adicional, y las diferencias en expresiones faciales podrían afectar el rendimiento del algoritmo. Asimismo, una limitación técnica relevante es la imposibilidad de disgregar el análisis emocional automático por perfiles demográficos (niños vs. adultos). Debido a que el módulo de visión procesaba las expresiones en tiempo real y de forma local para garantizar la privacidad y cumplir con protocolos éticos —especialmente al tratar con menores—, el sistema no almacenó imágenes ni registros biométricos. Por tanto, no se dispone de material gráfico para una clasificación posterior por edad en este apartado.

Este estudio demuestra la viabilidad de integrar un robot social como 'Erox' en museos para facilitar interacciones lúdicas y educativas intergeneracionales, evidenciando un impacto emocional positivo (felicidad, sorpresa). Aporta al campo de la HCI y la museología mediante el diseño de interacciones afectivas y experiencias culturales innovadoras, y subraya el valor pedagógico de las emociones (positivas y de desafío) en experiencias museísticas significativas.

Futuros estudios buscarán ampliar la muestra y su diversidad geográfica para mejorar la robustez y generalización de los resultados. Se validará más rigurosamente el sistema de reconocimiento facial, incluyendo comparaciones con codificación manual o autoevaluaciones. Además, se profundizará en el análisis del valor educativo de la emoción compleja, incorporando variables como aceptación, usabilidad y jugabilidad, con el fin de establecer un marco metodológico replicable para el diseño de experiencias culturales con robótica social.

Referencias

- Al Mahmud, A., Mubin, O., Shahid, S., & Martens, J. B. (2010). Designing social games for children and older adults: Two related case studies. *Entertainment Computing*, 1(3-4), 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2010.08.001>
- Aravamuthan, A. K., Šćepanović, D., Poveda, F., Chathuranga, K.S., & Obaid, M. (2022). Exploring the role of social robots in intergenerational gameplay. En RESNA 2022 Conference.
- Baraka, K., Paetzel, M., & Mutlu, B. (2021). Designing Interactions with Social Robots: Insights and Recommendations from a Study on Pepper. *Journal of Human-Robot Interaction*, 10(1), 1-33. DOI: 10.1145/3414260
- Barrado Lucia, F. (2024). *Diseño de una aplicación lúdica en el contexto de robots sociales* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Zaragoza]. Repositorio Institucional.
- Broadbent, E., Stafford, R., & MacDonald, B. (2009). Acceptance of healthcare robots for the older population: Review and future directions. *International journal of social robotics*, 1(4), 319-330. <https://doi.org/10.1007/s12369-009-0030-6>
- Cagiltay, B., Ho, H. R., Michaelis, J. E., & Mutlu, B. (2020, June). Investigating family perceptions and design preferences for an in-home robot. In *Proceedings of the interaction design and children conference* (pp. 229-242). <https://doi.org/10.1145/3392063.3394411>
- Castellano, G., De Carolis, B., Macchiarulo, N., & Vessio, G. (2020). Pepper4Museum: towards a human-like museum guide. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 2687, pp. 1-5). CEUR Workshop Proceedings.
- Chao, C., & Thomaz, A. L. (2012). Controlling social dynamics with a parametrized model of floor regulation. *Journal of Human-Robot Interaction*, 1(1), 78-95. <https://doi.org/10.5898/JHRI.1.1.Chao>
- Coyne, S. M., Padilla-Walker, L. M., Stockdale, L., & Day, R. D. (2011). Game on... girls: Associations between co-playing video games and adolescent behavioral and family outcomes. *Journal of Adolescent Health*, 49(2), 160-165. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2010.11.249>
- Ferrato, A., Gena, C., Limongelli, C., & Sansonetti, G. (2025, June). Multimodal LLM Question Generation for Children's Art Engagement via Museum Social Robots. In *Adjunct Proceedings of the 33rd ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization* (pp. 144-150). <https://doi.org/10.1145/3708319.3733663>
- Gaya Morey, F. X., Manresa-Yee, C., & Buades Rubio, J. M. (2024). An AI-powered computer vision module for social interactive agents. In *Proceedings of the XXIV International Conference on Human Computer Interaction* (Interacción 2024).
- Heljakka, K., & Ihmäki, P. (2019). Robot dogs, interaction and ludic literacy: Exploring smart toy engagements in transgenerational play. *Revista Lusófona de Educação*, 46, 153-169. <https://doi.org/10.24140/issn.1645-7250.rle46.10>
- Joshi, S., & Šabanović, S. (2019, March). Robots for inter-generational interactions: implications for nonfamilial community settings. In *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (pp. 478-486). IEEE.
- Kanero, J., Geckin, V., Geckin, V., Oranç, C., Mamus, E., Küntay, A., & Göksun, T. (2018). Social Robots for Early Language Learning: Current Evidence and Future Directions. *Child Development Perspectives*, 12, 146-151. <https://doi.org/10.1111/cdep.12277>.
- Khoo, E. T., Cheok, A. D., Nguyen, T. H. D., & Pan, Z. (2008). Age invaders: social and physical inter-generational mixed reality family entertainment. *Virtual Reality*, 12(1), 3-16. <https://doi.org/10.1007/s10055-008-0083-0>
- Kim, C. Y., Lee, C. P., & Mutlu, B. (2024). Understanding Large-Language Model (LLM)-powered Human-Robot Interaction. *Proceedings of the 2024 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI '24)*, 371-380. <https://doi.org/10.1145/3610977.3634966>
- Konijn, E., Jansen, B., Bustos, V., Hobbelen, V., & Vanegas, D. (2021). Social Robots for (Second) Language Learning in (Migrant) Primary School Children. *International Journal of Social Robotics*, 14, 827 - 843. <https://doi.org/10.1007/s12369-021-00824-3>.
- Ramis, S., Rubio, J., & López, F. (2020). Using a Social Robot to Evaluate Facial Expressions in the Wild. *Sensors* (Basel, Switzerland), 20. <https://doi.org/10.3390/s20236716>.
- Rice, M., Yau, L. J., Ong, J., Wan, M., & Ng, J. (2012). Intergenerational gameplay: evaluating social interaction between younger and older players. In *CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2333-2338).
- Seaborn, K., Lee, N., Narazani, M., & Hiyama, A. (2019, September). Intergenerational shared action games for promoting empathy between Japanese youth and elders. In *2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)* (pp. 1-7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ACII.2019.8925514>
- Smithsonian Institution. (2018). Smithsonian launches pilot program with Pepper robots. <https://www.si.edu/newsdesk/releases/smithsonian-launches-pilot-program-pepper-robots>. Accedido el 06/11/2024.
- Vetere, F., Nolan, M., & Raman, R. A. (2006). Distributed hide-and-seek. In *Proceedings of the 18th Australia conference on computer-human interaction: design: activities, artefacts and environments* (pp. 325-328). <https://doi.org/10.1145/1228175.1228235>

LibroTech: Arquitectura y Flujos para una Biblioteca Escolar Virtual Gamificada

LibroTech: Architecture and Flows for a Gamified Virtual School Library

Felipe Costa-Tebar

Instituto de Investigación en
Informática de Albacete,
Universidad de Castilla-La
Mancha,
02071 Albacete (España)
Felipe.Costa@uclm.es

Llanos Vergara-Picazo

Escuela Superior de Ingeniería
Informática de Albacete,
Universidad de Castilla-La
Mancha,
02071 Albacete (España)
llanos.vergara@uclm.es

Gabriel Sebastián-Rivera

Facultad de Ciencias Sociales y
Tecnologías de la Información,
Universidad de Castilla-La
Mancha, Talavera de la Reina,
45600, Castilla-La Mancha,
(España)
Gabriel.Sebastian@uclm.es

Alejandro Lopez-Martinez

Escuela Superior de Ingeniería
Informática de Albacete,
Universidad de Castilla-La
Mancha,
02071 Albacete (España)
alejandro.lopez39@alu.uclm.es

Jose A. Gallud

Escuela Superior de Ingeniería
Informática de Albacete,
Universidad de Castilla-La
Mancha,
02071 Albacete (España)
jose.gallud@uclm.es

Javier Jimenez-Honrado

Instituto de Investigación en
Informática de Albacete,
Universidad de Castilla-La
Mancha,
02071 Albacete (España)
Javier.jhonrado@uclm.es

Ricardo Tesoriero

Escuela Superior de Ingeniería
Informática de Albacete,
Universidad de Castilla-La
Mancha,
02071 Albacete (España)
ricardo.tesoriero@uclm.es

Belen Luna-Lorente

Instituto de Investigación en
Informática de Albacete,
Universidad de Castilla-La
Mancha,
02071 Albacete (España)
Belen.lunalorente@uclm.es

María D. Lozano

Escuela Superior de Ingeniería
Informática de Albacete,
Universidad de Castilla-La
Mancha,
02071 Albacete (España)
Maria.lozano@uclm.es

Recibido: 15.11.2025 | Aceptado: 4.12.2025

DOI: <https://doi.org/10.65234/interaccion.142>

Palabras Clave

Biblioteca escolar virtual
Entorno virtual de aprendizaje
Gamificación educativa
Motivación lectora
Tecnología educativa
Usabilidad en educación

Resumen

La motivación lectora en primaria es baja y las bibliotecas escolares están infrautilizadas, especialmente cuando no están integradas en los entornos virtuales de aprendizaje (VLE) y además se sufre una conectividad irregular, como ocurre en entornos rurales. Este artículo presenta LibroTech, una biblioteca escolar virtual gamificada integrada en MundoCRA que vincula artefactos propios de las bibliotecas, con reglas de juego para alinear objetivos de lectura con progreso y reconocimiento. Para ello se presenta el diseño de una arquitectura cliente-servidor con procesamiento asíncrono que permite gestionar analíticas y recompensas, flujos diferenciados por rol e integración visual optimizada. El trabajo incluye una evaluación exploratoria de usabilidad en aula ($n = 9$; con 6 estudiantes y 3 docentes) midiendo eficacia, eficiencia y satisfacción, junto a observación de latencia. Los resultados muestran una alta finalización de tareas, y una satisfacción de 84.5 en estudiantes y 86.67 en docentes. Del cuestionario se puede inferir también que la aprendibilidad es del 91.67%. En cuanto al impacto, esta investigación evidencia que la aceptabilidad y viabilidad en contextos rurales es satisfactoria y ha servido para delinear mejoras prioritarias (analítica ampliada, personalización y accesibilidad), con potencial para impulsar hábitos lectores entre los estudiantes.

Keywords

Virtual School Library
Virtual Learning Environment

Abstract

Reading motivation in Primary School is low and school libraries are underused, especially when they are not integrated into Virtual Learning Environments (VLEs) and there is also irregular connectivity, as occurs in rural

Educational Gamification
Reading Motivation
Technology-Enhanced
Learning
Educational Usability

environments. This article presents LibroTech, a gamified virtual school library integrated into MundoCRA that links libraries' own artifacts with game rules to align reading objectives with progress and recognition. To this end, the design of a client-server architecture with asynchronous processing that allows managing analytics and rewards, flows differentiated by role and optimized visual integration is presented. The work includes an exploratory evaluation of usability in the classroom ($n = 9$; with 6 students and 3 teachers) measuring effectiveness, efficiency and satisfaction, together with latency observation. The results show a high completion of tasks, and a satisfaction of 84.5 in students and 86.67 in teachers. From the questionnaire it can also be inferred that the learnability is 91.67%, without critical flaws and mostly acceptable latency with peaks linked to the unstable school network. In terms of impact, this research shows that acceptability and viability in rural contexts is satisfactory and has served to outline priority improvements (expanded analytics, personalization and accessibility), with the potential to boost reading habits among students.

1. Introducción

Fomentar hábitos de lectura en educación primaria exige experiencias que reduzcan la fricción de uso y conecten los objetivos del aula con un seguimiento claro del progreso. Cuando la biblioteca escolar permanece desligada del entorno virtual de aprendizaje (VLE), su contribución al aprendizaje se limita y los estudiantes encuentran menos incentivos para explorar el catálogo o participar en actividades asociadas. La Tecnología Educativa (TEL), bien alineada con criterios pedagógicos y de diseño, puede revertir este patrón al mejorar el acceso a los recursos y articular tareas con sentido (Bond et al., 2020).

La gamificación, entendida como la incorporación de elementos de juego a contextos educativos (Deterding et al., 2011), permite introducir metas, retroalimentación y reconocimiento de logros sin desplazar el foco de la lectura. Desde la Teoría de la Autodeterminación (SDT), sostener autonomía, competencia y relación se asocia con motivación duradera (Deci & Ryan, 2004, 2008; Ryan & Deci, 2000). Integrar un subsistema de biblioteca virtual en el VLE con mecánicas de juego y flujos simples ofrece una vía para activar estas necesidades psicológicas y facilitar el arranque.

Este trabajo presenta *LibroTech*, una biblioteca escolar virtual gamificada embebida en el VLE *MundoCRA*. La propuesta alinea un modelo de dominio bibliotecario (libros, lecturas programadas, actividades) con reglas de juego (*GamiCRA*) y se materializa en una arquitectura cliente-servicio con procesos asíncronos para analíticas y recompensas. El diseño prioriza baja fricción y accesibilidad para alumnado y profesorado, y contempla despliegues en centros con conectividad heterogénea.

Objetivos. Perseguimos: (1) describir una arquitectura y un modelo de dominio que integren biblioteca y gamificación en el VLE; (2) definir interfaces y flujos coherentes con principios de usabilidad y accesibilidad; y (3) reportar una evaluación de

usabilidad en aula que aporte señales sobre aceptabilidad y áreas de mejora.

Contribuciones. En síntesis, aportamos un diseño operativo que conecta artefactos de biblioteca con mecánicas de juego en *MundoCRA*; flujos por rol con patrones de baja fricción y accesibilidad; la operacionalización de *GamiCRA* al dominio de lectura escolar; y una evaluación exploratoria que muestra alta satisfacción y aprendibilidad, junto con recomendaciones de mejora.

Para guiar el trabajo, se definieron tres preguntas de investigación bajo el enfoque metodológico *PICOC* (Page et al., 2021; Schardt et al., 2007), el cual permite estructurar con precisión la población, la intervención, la comparación, los resultados esperados y el contexto de aplicación:

- RQ 1. En estudiantes de educación primaria, ¿qué principios de diseño centrado en el alumnado, en comparación con enfoques de diseño convencionales, disminuyen la fricción percibida y favorecen la motivación lectora en un VLE?
- RQ 2. En colegios rurales agrupados, ¿qué decisiones arquitectónicas, frente a las ya empleadas, favorecen la escalabilidad, la mantenibilidad y los tiempos de respuesta durante el uso de VLE por un centro completo?
- RQ 3. En estudiantes y docentes de educación primaria de entornos rurales, ¿la interacción de un VLE con una biblioteca virtual gamificada, en comparación con recursos digitales no gamificados, presenta mayor usabilidad, satisfacción y aprendizaje percibida durante su uso en el aula?

Estas preguntas orientan el diseño técnico y de experiencia de la sección 3 y se abordan empíricamente mediante una evaluación de usabilidad en contexto real.

Estructura. La Sección 2 resume antecedentes (TEL/VLE, gamificación y marco propio). La Sección 3 presenta el diseño y la arquitectura. La Sección 4 describe interfaces y flujos. La

Sección 5 recoge evaluación y resultados. La Sección 6 discute implicaciones y limitaciones. La Sección 7 cierra con conclusiones y trabajo futuro.

2. Antecedentes y estado del arte

Las bibliotecas escolares desempeñan un papel central en el fomento de la lectura y en la alfabetización informacional del alumnado de primaria. No obstante, diversos trabajos señalan que su uso suele permanecer anclado en funciones administrativas y de custodia del fondo, desaprovechando su potencial pedagógico para dinamizar prácticas lectoras y apoyar procesos de aprendizaje (Mahendra et al., 2024; Pakistyaningsih et al., 2019). En este contexto, la virtualización de bibliotecas y su integración con tecnologías educativas ha emergido como una vía para mejorar el acceso a recursos (físicos y digitales), visibilizar el catálogo y articular experiencias de aprendizaje más motivadoras (Bond et al., 2020; Hasibuan et al., 2023; Konlan et al., 2025; Sandars, 2012).

2.1. TEL y VLE en bibliotecas escolares

La literatura en Tecnología Educativa (TEL) subraya que la incorporación estratégica de tecnología puede mejorar la experiencia de aprendizaje si se acompaña de criterios pedagógicos y de diseño adecuados (Bond et al., 2020; Sandars, 2012). En el ámbito de las bibliotecas escolares, las contribuciones recientes abordan: (i) el desarrollo de colecciones y servicios digitales con evaluación continua (Hasibuan et al., 2023); (ii) el impacto de la integración tecnológica en los servicios bibliotecarios y en el aprendizaje del alumnado (Konlan et al., 2025); y (iii) la necesidad de alinear infraestructura, formación docente y objetivos curriculares (Bond et al., 2020). En primaria, los VLE constituyen la infraestructura donde orquestar recursos, actividades y analíticas; cuando las experiencias están bien diseñadas para el perfil cognitivo y motivacional del alumnado, se observan altos niveles de aceptación y disfrute (Sebastián-Rivera et al., 2025). Integrar un subsistema de biblioteca virtual en el VLE (como *MundoCRA*) conecta gestión bibliotecaria con flujos de aprendizaje y evaluación, reduciendo fricciones de uso, algo especialmente valioso en centros rurales con recursos limitados.

2.2. Gamificación, lectura y marco propio

La gamificación, entendida como el uso de elementos de diseño de juego en contextos no lúdicos (Deterding et al., 2011), se ha empleado para impulsar motivación y participación en tareas educativas. En general, mecánicas (puntos, niveles, insignias, retos) y dinámicas sociales (competencia/colaboración) muestran efectos positivos sobre el compromiso y, a veces, sobre el rendimiento (Bozkurt & Durak, 2018; Buckley & Doyle, 2016; Werbach & Hunter,

2020; Zichermann & Cunningham, 2011). En dominios afines, los juegos serios identifican patrones de diseño transferibles al fomento de hábitos (incluida la lectura) (Bazid et al., 2024); en primaria, la lectura guiada y experiencias blended reportan mejoras en resultados y en implicación del alumnado (Khaliq et al., 2022; Prescott et al., 2018; Sinaga & Ananda, 2024).

Desde la teoría, la Autodeterminación (SDT) propone que apoyar autonomía, competencia y relación es clave para una motivación sostenida (Deci & Ryan, 2004, 2008; Ryan & Deci, 2000; Ryan & Deci, 2006). *LibroTech* traslada estos principios mediante *GamiCRA* (Costa-Tebar et al., 2024): (i) articulando artefactos de biblioteca (libro, lectura programada, actividad) con mecánicas de juego; (ii) definiendo flujos diferenciados para docentes y estudiantes; y (iii) habilitando analítica básica para mejorar la experiencia y seguir el progreso lector. Para una descripción previa y resultados iniciales, ver (Costa-Tebar et al., 2025).

En suma, el estado del arte sugiere que la virtualización de bibliotecas escolares, combinada con estrategias de gamificación alineadas con principios motivacionales (SDT) y desplegadas dentro de VLE adaptados a primaria, constituye una vía prometedora para incrementar la motivación lectora y el aprovechamiento de recursos en contextos escolares, particularmente en entornos rurales. *LibroTech* se posiciona en esta intersección, aportando un diseño operativo y evaluado que puede servir de base para estudios controlados y despliegues a mayor escala.

Como síntesis y aportación, proponemos formalizar este enfoque como un Virtual Gamified Library Learning Environment (VGLLE): un entorno de aprendizaje integrado en el VLE que virtualiza la biblioteca escolar y articula sus artefactos (catálogo, préstamos, lecturas guiadas, actividades) con mecánicas y bucles de juego diseñados para primaria. Un VGLLE conecta gestión bibliotecaria, flujos instruccionales y analítica ligera para apoyar autonomía, competencia y relación (SDT), favoreciendo hábitos lectores sostenidos y un uso más eficiente de los recursos, con especial pertinencia en escuelas rurales con conectividad y medios limitados (Costa-Tebar et al., 2025).

Fundamentamos el diseño en: (i) TEL y lectura, que recomiendan integrar recursos y analíticas en VLE para mejorar acceso y motivación (Furenes et al., 2021; Major et al., 2021; Taboada Barber & Lutz Klauda, 2020; Timotheou et al., 2022); (ii) gamificación basada en principios de diseño y SDT para sostener autonomía, competencia y relación (Krath et al., 2021; Laine & Lindberg, 2020; Oliveira et al., 2022; Sailer & Sailer, 2020; Smiderle et al., 2020); (iii) VLE y alfabetización digital para orquestar actividades y seguimiento (Adarkwah,

2020; Bizami et al., 2022; Rojas-Sánchez et al., 2022; Tinmaz et al., 2022); (iv) adopción/uso sostenido para reducir fricciones y mantener el compromiso (Antonietti et al., 2022; Granić, 2022; Tsay et al., 2020); y (v) ética y accesibilidad como criterios transversales (Tsay et al., 2020; Zhai et al., 2024). Esto guía la selección de mecánicas (progresión, objetivos, feedback), los flujos por rol y las métricas de evaluación (usabilidad, aprendizaje y motivación).

3. Diseño y arquitectura del sistema

En esta sección sintetizamos el diseño técnico de *LibroTech* como parte de *MundoCRA* (Sebastián-Rivera et al., 2025), destacando el modelo de dominio y su acoplamiento con el marco de gamificación *GamiCRA* (Costa-Tebar et al., 2024). El objetivo es disponer de una base sostenible y centrada en el alumnado que conecte funciones de biblioteca (búsqueda, lectura y actividades) con mecánicas de juego que apoyen la motivación lectora (Costa-Tebar et al., 2025).

3.1. Visión general de la arquitectura

Elegimos un estilo cliente-servicio desacoplado, cercano a SaaS, para separar la evolución de la experiencia de usuario de la lógica de negocio. El cliente web se integra en *MundoCRA* y consume una API de biblioteca y gamificación. Los datos se almacenan en una base documental, y las tareas intensivas o diferibles (analíticas, cálculo de recompensas) se procesan de forma asíncrona para no bloquear la interacción. La Figura 1 resume los componentes.

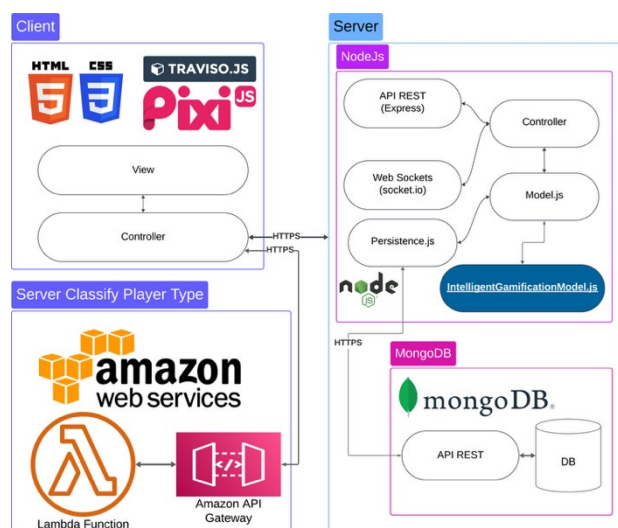


Figura 1: Arquitectura cliente-servidor de MundoCRA/LibroTech: cliente web desacoplado, API de servicios (biblioteca y gamificación), y persistencia.

En cuanto a responsabilidades: (i) la interfaz implementa los flujos de biblioteca y actividades; (ii) la API valida entradas y orquesta casos de uso; (iii) los servicios de dominio encapsulan reglas (lecturas programadas, préstamos,

recompensas); y (iv) la capa de datos expone repositorios con índices y paginación. La instrumentación recoge latencia, errores y eventos de uso.

3.2. Modelo de dominio e integración con GamiCRA

El modelo de dominio articula entidades bibliotecarias con elementos de gamificación establecidos por *GamiCRA*. La Figura 2 reúne las entidades nucleares y sus relaciones; el diseño se apoya en el modelo de actividades (*ExerciseModel*) para construir tareas de comprensión y retos de lectura (Figura 3).

Operativamente:

- Lectura Programada - relaciona un libro con un horizonte temporal/objetivo y un grupo.
- Actividad - define tareas asociadas (p. ej., cuestionarios) y genera evidencias de progreso.
- Registro Lectura - recoge hitos (tiempo, páginas, finalización) como base de analítica.
- Evento Gamificado - registra la activación de acciones/reglas/recompensas de *GamiCRA* (Costa-Tebar et al., 2024).

Las mecánicas del modelo *GamiCRA*, el cual está basado en Dinámicas, Mecánicas y Componentes (DMC) con el cual se utilizan los componentes (puntos, niveles, insignias y retos) asociándolos a los artefactos de biblioteca y actividades, habilitando progresión y reconocimiento; este acoplamiento permite alinear objetivos pedagógicos y motivación (véase Figura 4) (Costa-Tebar et al., 2024; Costa-Tebar et al., 2025).

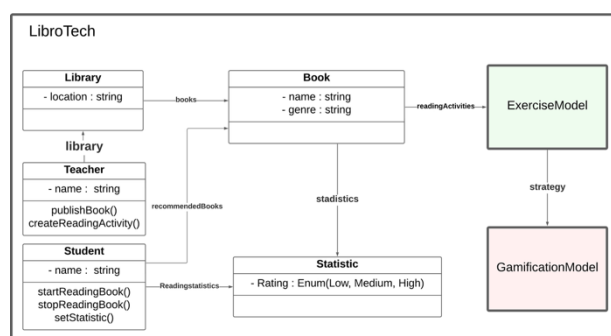


Figura 2: Diagrama de clases de LibroTech: entidades nucleares (Biblioteca, Libro, Usuario/ Rol) y su relación con LecturaProgramada, Actividad y recompensas (insignias, puntos).

Aplicación de *GamiCRA* en *LibroTech*. De forma explícita, se incluyen los siguientes elementos:

- Puntos por finalización de lecturas y tareas.
- Niveles por progresión.
- Retos periódicos configurables.
- *Feedback* inmediato (gif animados, progreso y mensajes).

3.3. Aspectos técnicos de la propuesta

Un primer aspecto técnico consiste en explicar la integración gráfica en el VLE.

La representación visual en *MundoCRA* emplea librerías web 2D y empaquetado de recursos. El mundo y las zonas interactivas se diseñan con Tiled (capas de suelos/objetos) y se empaquetan con TexturePacker para reducir latencia de carga. Las Figuras 5, 6 y 7 ilustran el proceso (Sebastián-Rivera et al., 2025).

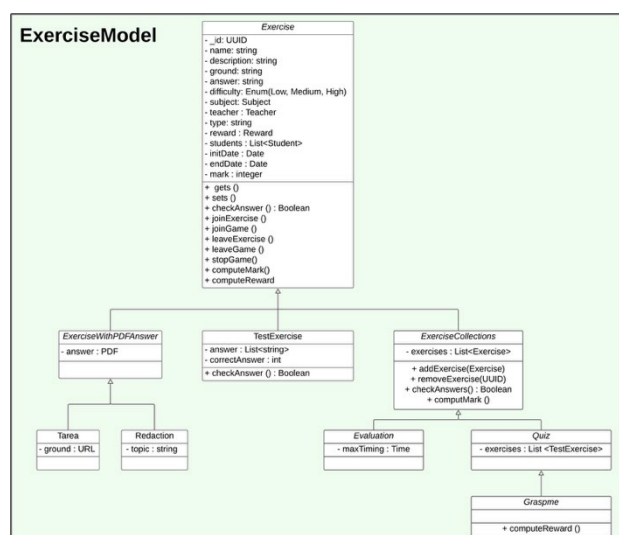


Figura 3: Modelo de ejercicios (ExerciseModel) para actividades de lectura: desde tareas simples hasta cuestionarios interactivos.

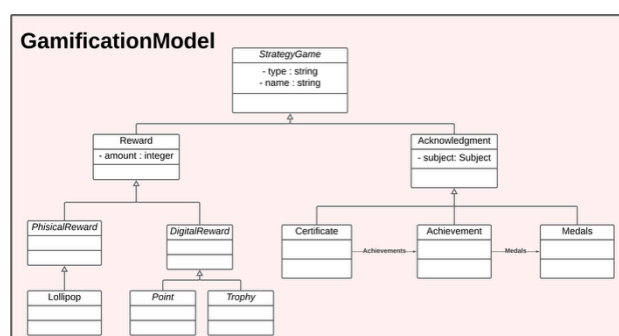


Figura 4: Diagrama de clases del modelo de gamificación, que define la estrategia de juego y la gestión de recompensas y reconocimientos para articular progresión y logros.

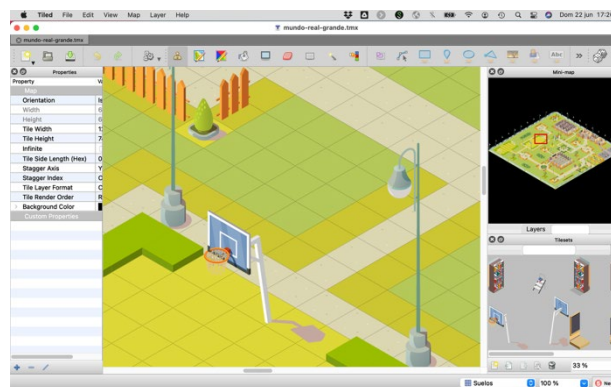


Figura 5: Composición del mapa del mundo con Tiled.

Un segundo aspecto técnico tiene que ver con las consecuencias de la arquitectura elegida, en particular los beneficios obtenidos en cuanto a escalabilidad y transferencia.

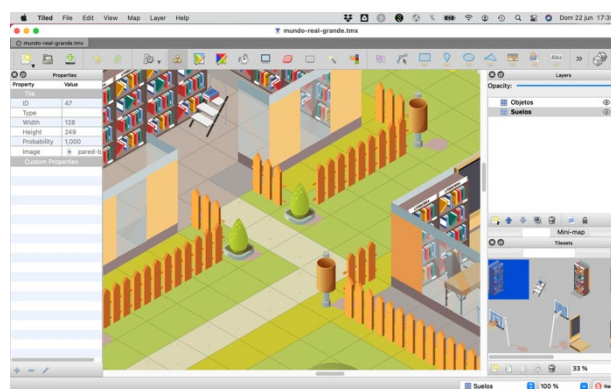


Figura 6: Capas de suelos y objetos interactivos en Tiled.

Para facilitar la reutilización en otros contextos educativos (transferencia) se prioriza: (i) separación de dominio y presentación; (ii) reglas de gamificación parametrizables por curso/grupo; (iii) API REST con contratos estables; (iv) despliegue por entornos y configuración externa; y (v) multi-institución con espacios de datos aislados.

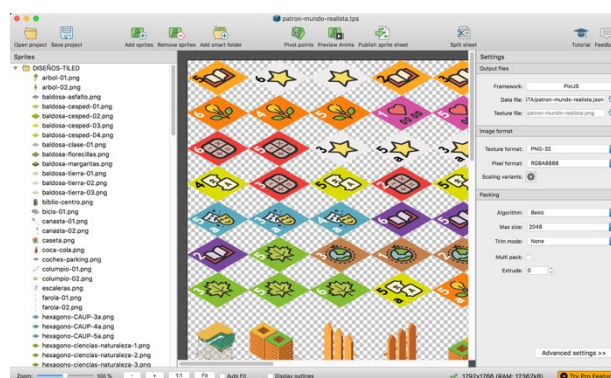


Figura 7: Empaquetado de sprites y atlas con TexturePacker.

3.4. Síntesis de principios de diseño y arquitectura del sistema

Esta sección integra los fundamentos teóricos, los criterios de diseño centrados en el alumnado y las decisiones arquitectónicas que estructuran *LibroTech*, articulando los ejes pedagógicos, de usabilidad y técnicos que sustentan su implementación y su posterior evaluación empírica.

Desde el punto de vista del *diseño*, el sistema se fundamenta en la Teoría de la Autodeterminación (SDT), promoviendo *autonomía*, *competencia* y *relación* mediante flujos previsibles de lectura y actividades, retroalimentación inmediata y progresión visible. La experiencia de uso se ha simplificado para minimizar pasos y errores, garantizando coherencia visual, consistencia funcional y baja carga cognitiva. Asimismo, se ha priorizado la *accesibilidad*, cuidando aspectos como el contraste adecuado, el foco visible, la navegación por teclado y la presencia de descripciones alternativas en los elementos interactivos.

Desde la perspectiva *arquitectónica*, se adopta un modelo desacoplado basado en una API REST que separa claramente las responsabilidades de interfaz (UI), servicios de dominio, lógica de negocio y persistencia. Esta separación favorece la mantenibilidad, la escalabilidad y la evolución del sistema.

El **modelo de dominio** (véase Figura 4) explicita las entidades clave (*Libro*, *LecturaProgramada*, *Actividad*, *Insignia/Recompensa*, *Usuario*, *Rol*, *RegistroLectura* y *EventoGamificado*) que conectan los artefactos bibliotecarios con las mecánicas del marco *GamiCRA*.

La **gestión de activos gráficos** mediante atlas y formatos WEBP, junto con la carga progresiva, optimiza el rendimiento visual. Finalmente, se incluyen pruebas de dominio, contrato de API, integración y extremo a extremo (E2E), además de despliegue por entornos con gestión segura de configuración y secretos.

3.5. Justificación y evidencia

El enfoque de diseño orientado a la autonomía, competencia y relación se fundamenta en la **Teoría de la Autodeterminación**, que asocia el soporte de estas necesidades con motivación sostenida y mejores resultados de aprendizaje (Deci & Ryan, 2004, 2008; Richard & Edward, 2020; Ryan & Deci, 2000; Ryan & Deci, 2006). La literatura sobre gamificación y TEL respalda que metas claras, retroalimentación inmediata y reconocimiento social fortalecen el compromiso y la participación (Bozkurt & Durak, 2018; Buckley & Doyle, 2016; Deterding et al., 2011; Krath et al.,

2021; Oliveira et al., 2022; Sailer & Sailer, 2020; Smiderle et al., 2020).

En el contexto escolar, la integración tecnológica alineada con criterios pedagógicos se asocia con mejoras en la motivación, la accesibilidad y el rendimiento (Bond et al., 2020; Furenes et al., 2021; Major et al., 2021).

La **simplicidad estructural y la consistencia de flujos** reducen la carga cognitiva y los errores (Nielsen & Landauer, 1993), facilitando la adopción sostenida de tecnologías educativas (Antonietti et al., 2022; Granić, 2022; Tsay et al., 2020).

La **retroalimentación inmediata y accionable** promueve el aprendizaje autorregulado y la mejora continua (Deterding et al., 2011; Sailer & Sailer, 2020; Werbach & Hunter, 2020).

En cuanto a **accesibilidad e inclusión**, las experiencias inmersivas bien diseñadas aumentan la participación y reducen barreras de entrada (Adarkwah, 2020; Rojas-Sánchez et al., 2022; Tinmaz et al., 2022).

La **privacidad y transparencia** se abordan desde una perspectiva ética, aplicando consentimiento informado, minimización y control de datos (Yan et al., 2023; Zhai et al., 2024).

Desde el plano técnico, el modularidad y la API REST favorecen la mantenibilidad y la evolución del VLE (Goeser & Williams, 2021; Xu & Wang, 2006).

El modelo de dominio conecta los artefactos bibliotecarios con las mecánicas de *GamiCRA* (Costa-Tebar et al., 2024), posibilitando la traslación pedagógica que fundamenta *LibroTech* (Costa-Tebar et al., 2025).

El procesamiento asíncrono y la gestión de analíticas diferidas optimizan el rendimiento y reducen la latencia en redes inestables (Jimenez-Honrado et al., 2025; Jimenez-Honrado et al., 2024).

La **observabilidad** (Sebastián-Rivera et al., 2025) y la optimización de activos gráficos (Molina et al., 2020) refuerzan la evaluación continua del sistema y su capacidad de mejora.

Relación con las preguntas de investigación

Los principios de diseño y las decisiones arquitectónicas sintetizados en esta sección operativizan las tres preguntas planteadas en la Introducción:

- RQ 1. Las decisiones de diseño centradas en el alumnado reducen la fricción percibida y fortalecen la motivación lectora mediante experiencias coherentes, accesibles y con retroalimentación inmediata.
- RQ 2. Las decisiones arquitectónicas garantizan escalabilidad, mantenibilidad y tiempos de respuesta adecuados en entornos escolares con conectividad limitada, validando la viabilidad técnica del enfoque.
- RQ 3. La integración de una biblioteca virtual gamificada en el VLE, frente a recursos digitales no gamificados, se traduce en mayor usabilidad, satisfacción y aceptación tecnológica.

En conjunto, esta síntesis consolida el vínculo entre teoría motivacional, principios de diseño y arquitectura técnica, y establece la base para la evaluación empírica de *LibroTech* en contexto real.

4. Interfaces y flujo de uso

Esta sección presenta las interfaces principales y los flujos de interacción para docentes y estudiantes en *LibroTech*, integradas en el VLE *MundoCRA*. El flujo se ha diseñado para minimizar pasos, ofrecer retroalimentación inmediata y mantener consistencia, en línea con los principios definidos en la Sección 3.

4.1. Interfaces principales

LibroTech cuenta con diferentes interfaces enumeradas a continuación:

Exploración de catálogo y gestión de lecturas. La vista de listado permite buscar y filtrar por título, autor, nivel y etiquetas, como puede verse en la Figura 8: Vista de listado de libros con búsqueda y filtros.. Desde aquí se accede a la ficha de cada libro, con acciones según rol (docente/estudiante).

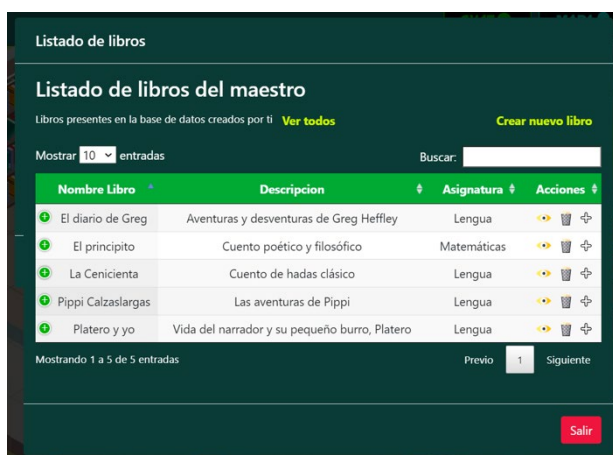


Figura 8: Vista de listado de libros con búsqueda y filtros.

Lectura guiada y actividades. La vista de lectura para el alumnado integra progreso, objetivos y acceso a actividades de comprensión asociadas a la lectura programada, tal como se muestra en la Figura 9.

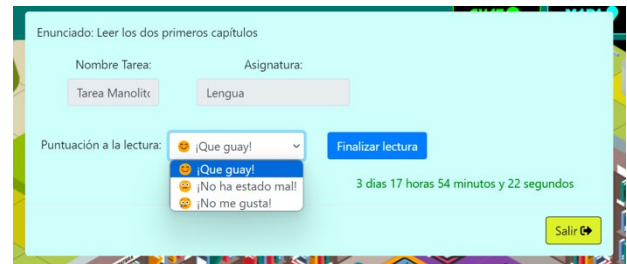


Figura 9: Vista de lectura del alumnado con objetivos y acceso a actividades.



Figura 10: Análisis de lecturas por libro/grupo para seguimiento docente.

Análisis y resultados. Paneles con métricas clave (lecturas iniciadas/finalizadas, tiempo, aciertos) y visualizaciones por grupo y libro, como puede verse en la Figura 10.

4.2. Flujo de Actividad

El proceso de interacción entre docentes y estudiantes en la plataforma se estructura como un ciclo continuo de planificación, participación y evaluación como aparece ilustrado en la Figura 11.

En primer lugar, el docente crea una lectura programada seleccionando el libro y definiendo los objetivos pedagógicos, el periodo de trabajo y los cursos destinatarios. Esta lectura puede complementarse con actividades de comprensión y con mecanismos de gamificación, como recompensas o reconocimientos. A partir de esta planificación, el docente diseña y configura actividades asociadas, como cuestionarios o ejercicios reflexivos, estableciendo criterios de evaluación y vinculación directa con la lectura correspondiente.

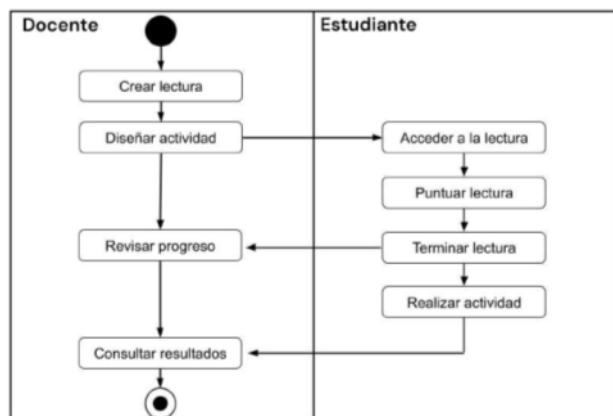


Figura 11: Diagrama de actividad que define el flujo de uso.

Una vez publicadas las lecturas y actividades, los estudiantes acceden al material asignado, revisan los objetivos establecidos y comienzan su proceso de lectura. Al finalizar, califican la obra y marcan la lectura como completada, lo que habilita la participación en las actividades de comprensión asociadas. En función de su desempeño, el sistema genera retroalimentación inmediata y otorga reconocimientos que fomentan la motivación, la participación activa y el cumplimiento de los objetivos de comprensión lectora.

De forma paralela, el docente puede revisar el progreso del alumnado además de consultar analíticas detalladas tanto a nivel individual como del curso. Estas visualizaciones permiten observar el avance en la lectura (no iniciada, en progreso o finalizada), el tiempo dedicado, las tasas de finalización y los resultados obtenidos en las actividades. A partir de esta información, el docente analiza el desempeño de los estudiantes, identifica dificultades recurrentes y realiza los ajustes necesarios en los objetivos o en el diseño de las actividades para favorecer la comprensión lectora.

El flujo culmina con una fase de evaluación y reajuste pedagógico que cierra el ciclo formativo entre la planificación docente y la experiencia lectora. Se plantea como un proceso integral que conecta creación, ejecución y análisis de lecturas y actividades, facilitando decisiones pedagógicas basadas en evidencias. Su diseño promueve una interacción educativa coherente, accesible y motivadora, sustentada en principios de coherencia visual, navegación predecible, retroalimentación inmediata y accionable, baja fricción en contextos con conectividad limitada y trazabilidad integral para el seguimiento del aprendizaje y la mejora continua del proceso educativo.

5. Evaluación

La evaluación del sistema constituye una etapa clave para determinar en qué medida la solución desarrollada responde

a los objetivos del trabajo y a las preguntas de investigación planteadas.

Esta fase se ha llevado a cabo siguiendo las directrices de la norma ISO/IEC 25062:2025 (Common Industry Format for Usability Test Reports) (Standardization, 2025), que establece los procedimientos y formatos recomendados para reportar pruebas de usabilidad orientadas a la calidad en uso del software.

Asimismo, se aplicó el System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1995) para medir la satisfacción percibida de los usuarios.

En este apartado se describen los objetivos de la evaluación, su relación con las RQ, la metodología empleada, las tareas asignadas a los participantes, el contexto experimental, las métricas de usabilidad y los resultados obtenidos.

5.1. Metodología

El estudio empleó un enfoque basado en tareas, en el que los participantes realizaron acciones representativas que simulaban interacciones reales con la biblioteca virtual *LibroTech* integrada en el entorno *MundoCRA*. Durante las sesiones de prueba, el evaluador registró los tiempos de finalización de cada tarea, los errores cometidos y las asistencias requeridas. Al concluir, cada participante completó el cuestionario SUS, utilizado para evaluar la satisfacción subjetiva percibida por los usuarios.

Específicamente, se diseñaron dos conjuntos de tareas, uno para docentes y otro para alumnado, con el objetivo de evaluar las principales funcionalidades del sistema desde ambos perfiles de uso.

Se definieron dos tareas diferenciadas, una para cada tipo de usuario participante, diseñadas para evaluar los principales componentes funcionales de la biblioteca virtual.

Tarea para docentes

Los docentes realizaron una tarea destinada a comprobar la gestión de los recursos de lectura y las actividades asociadas. Para completarla, los participantes accedieron a la aplicación, ingresaron en el mundo virtual, abrieron la sección *Biblioteca* y ejecutaron la secuencia de creación de los tres elementos mencionados, verificando su correcto almacenamiento y visualización.

Tarea para alumnado

El alumnado realizó una tarea orientada a evaluar la experiencia de lectura gamificada y la ejecución de actividades. Los estudiantes ingresaron en la aplicación y, tras acceder al entorno, localizaron la lectura asignada, la iniciaron, valoraron su experiencia mediante el sistema de caritas y

posteriormente completaron la actividad de lectura desbloqueada.

Las tareas fueron seleccionadas para reflejar acciones reales que los usuarios llevan a cabo durante el uso habitual del sistema, garantizando así la validez de la evaluación. En particular, la evaluación se centró en los siguientes aspectos:

- **Facilidad de uso:** capacidad de los usuarios para navegar e interactuar con el sistema con un mínimo de instrucciones.
- **Efectividad:** grado en que los participantes pudieron completar las tareas asignadas sin errores ni asistencia externa.
- **Utilidad:** percepción de los usuarios sobre la relevancia y aplicabilidad de las funcionalidades para la gestión y seguimiento de la lectura.

5.2. Objetivos y relación con las RQ

La evaluación busca analizar la calidad en uso de la biblioteca virtual gamificada integrada en el VLE *MundoCRA*, es decir, la calidad en uso de *LibroTech* como *Virtual Gamified Library Learning Enviroments* (VGLLE) en términos de efectividad, eficiencia y satisfacción.

Su propósito se alinea con las siguientes preguntas de investigación:

RQ 1. **Diseño centrado en el alumnado.** Se analizó la percepción de usabilidad y la facilidad de uso de la interfaz por parte del estudiantado de educación primaria, valorando si el enfoque gamificado y los elementos visuales reducen la fricción percibida y aumentan la motivación lectora.

RQ 2. **Decisiones arquitectónicas.** Se observó el rendimiento del sistema y los tiempos de respuesta durante el uso simultáneo en aula, contrastando la estabilidad y la escalabilidad de la arquitectura cliente-servidor frente a los requerimientos de conectividad del entorno escolar.

RQ 3. **Usabilidad, satisfacción y aprendizaje.** Se midió la satisfacción general de estudiantes y docentes mediante el cuestionario SUS, evaluando el aprendizaje y utilidad percibida de la biblioteca virtual respecto a recursos no gamificados.

5.3. Participantes

El estudio se llevó a cabo en un CRA durante sesiones ordinarias de aula. Se involucró a todos los participantes disponibles por rol, siendo 6 estudiantes de primaria y 3 docentes (n=9), de ahí el tamaño muestral. En evaluación de usabilidad, tamaños reducidos en ciclos iterativos son

habituales por su buena relación coste/beneficio (Nielsen & Landauer, 1993).

Antes de la realización de las pruebas, se obtuvo el consentimiento informado del centro educativo y de todas las partes implicadas. El *Colegio Diocesano* autorizó formalmente la realización de la evaluación en sus instalaciones y la participación de su personal docente y alumnado. Los docentes participantes firmaron su consentimiento de manera individual, y en el caso del alumnado, la participación se llevó a cabo con la autorización expresa de sus tutores legales, conforme a las directrices éticas establecidas para la investigación educativa. Todos los datos recogidos fueron tratados de forma anónima y utilizados exclusivamente con fines académicos.

La Tabla 1 presenta la información principal de los participantes en la evaluación. En el caso del profesorado, se detalla su nivel de competencia en tecnologías de la información (TI), y para el alumnado se indica el curso académico en el que se encuentran matriculados.

Tabla 1. Participantes de la evaluación (docentes y alumnado).

ID	Perfil	Edad	Sexo	Nivel TI / Curso	Uso Previo
D1	Docente	36	Hombre	3	Sí
D2	Docente	43	Mujer	3	Sí
D3	Docente	49	Mujer	3	Sí
A1	Alumno/a	11	Hombre	5º	No
A2	Alumno/a	11	Hombre	6º	No
A3	Alumno/a	12	Mujer	5º	No
A4	Alumno/a	12	Hombre	6º	No
A5	Alumno/a	11	Mujer	6º	No
A6	Alumno/a	10	Mujer	5º	No

5.4. Contexto

La evaluación se llevó a cabo en un entorno realista, concretamente en las instalaciones del *Colegio Diocesano* de Albacete, centro donde se encontraban los participantes que eran tanto los docentes como el alumnado. Todas las pruebas se realizaron en un aula del propio colegio, garantizando un contexto de uso auténtico y representativo del entorno educativo para el que fue diseñada la biblioteca virtual *LibroTech*.

El sistema se ejecutó en un único ordenador portátil con sistema operativo *Windows 11*, utilizando la versión de escritorio de *MundoCRA* para asegurar un entorno de prueba uniforme y controlado. La evaluación se desarrolló de manera

individual, con la presencia del evaluador para observar la interacción de cada participante con la aplicación.

Cada docente y estudiante recibió instrucciones sobre la tarea correspondiente a su perfil. Durante la sesión, el evaluador registró el tiempo empleado para completar la tarea, los errores cometidos y las ocasiones en que fue necesaria asistencia.

Se realizaron sesiones moderadas en aula con una duración aproximada de 30 a 40 minutos, siguiendo un esquema estructurado: introducción (5 minutos), ejecución de tareas por rol con observación y cronometraje ligero, y aplicación de cuestionarios post-tarea (SUS, 5-7 minutos). Se emplearon cuentas reales y datos de prueba acordados previamente con el centro educativo, manteniendo la recogida de información de forma anónima. Además, se consignaron notas de campo relacionadas con aspectos de conectividad y comportamiento de los participantes durante la prueba.

Todas las pruebas se realizaron en español y bajo condiciones consistentes para obtener datos comparables sobre la usabilidad, efectividad y satisfacción percibida del sistema en un contexto educativo real.

5.5. Métricas

Para la evaluación de la calidad en uso del sistema se consideraron tres dimensiones principales, de acuerdo con la norma ISO/IEC~25062:2025 (Standardization, 2025).

- **Efectividad:** se utilizaron como indicadores la tasa de finalización sin y con asistencia, el número de errores y el número de asistencias durante la tarea.
- **Eficiencia:** se midió el tiempo total empleado en la ejecución de la tarea (minutos y segundos), reflejando la rapidez y fluidez de uso.
- **Satisfacción:** se aplicó el cuestionario SUS (Taboada Barber & Lutz Klauda, 2020); compuesto por 10 ítems tipo Likert (1–5), con puntuaciones transformadas en una escala de 0 a 100, donde valores superiores a 68 indican buena usabilidad (Bangor et al., 2009). Para el alumnado se empleó

5.6. Resultados

Para la obtención de conclusiones se calcularon la media, el valor mínimo, el valor máximo y la desviación estándar de las medidas recogidas durante la evaluación. Asimismo, se consideraron las puntuaciones finales obtenidas en el cuestionario SUS como indicador de satisfacción general.

Resultados del profesorado.

Los docentes realizaron la tarea relacionada con la creación y gestión de libros, lecturas programadas y actividades de lectura. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 2 y 3. A pesar de las asistencias registradas durante la prueba, los resultados fueron satisfactorios, con una tasa de finalización sin ayuda del 86.66% y un tiempo medio de 6.27 minutos por tarea. Estas cifras reflejan un desempeño adecuado y una comprensión general del flujo de trabajo, lo que sugiere que el sistema resulta manejable y predecible incluso en contextos de primera interacción. La baja frecuencia de errores y la finalización completa de las tareas por todos los docentes respaldan la eficacia funcional de la interfaz y la claridad de los procesos de creación y gestión dentro del entorno *LibroTech*.

Tabla 2: Resultados de la tarea realizada por los docentes.

ID	Sin Asistencia (%)	Con Asistencia (%)	Tiempo (mm)	Errores	Asistencias
D1	100	0	5,25	0	0
D2	80	20	6,55	2	4
D3	80	20	7,01	2	4

Para los resultados de satisfacción, la puntuación del cuestionario SUS se presenta en la Tabla 4. Las puntuaciones medias obtenidas (SUS = 86.67) reflejan una alta percepción de usabilidad y aprendizaje, situándose ampliamente por encima del umbral de 68 que indica buena usabilidad (Bangor et al., 2009).

Tabla 3: Resultados estadísticos de la tarea realizada por los docentes.

	Sin Asistencia (%)	Con Asistencia (%)	Tiempo (mm)	Errores	Asistencias
Media	86,67	13,33	6,27	1,33	2,67
Max	100	20	7,01	2	4
Min	80	0	5,25	0	0
D.S.	12	12	1,00	1,00	2,00

A pesar de las asistencias registradas durante la ejecución de la tarea, las valoraciones obtenidas evidencian que el profesorado percibe la interfaz como clara, coherente y fácil de utilizar. Los valores de usabilidad (85.50) y aprendizaje (91.67) sugieren que las funcionalidades del sistema se comprenden con rapidez y que la navegación resulta

predecible, contribuyendo a una experiencia de uso positiva y eficaz dentro del entorno *LibroTech*.

Tabla 4: Resultados del cuestionario SUS (docentes).

ID	Puntuación SUS	Usabilidad	Aprendizaje
D1	87,50	84,38	100,00
D2	85,0	84,38	87,50
D3	87,50	87,50	87,50
Media	86,67	85,50	91,67

Resultados del alumnado.

Los estudiantes realizaron la tarea de lectura programada y la actividad de lectura asociada. Los resultados individuales y estadísticos se muestran en la Tabla 5 y la Tabla 6. A pesar de las asistencias requeridas (media de 1.83 por participante), los resultados fueron positivos, con una tasa media de finalización sin ayuda del 90% y un tiempo medio de 1.75 minutos por tarea. Estos valores reflejan una buena comprensión del flujo de lectura y de las interacciones básicas del sistema. La baja incidencia de errores y la rapidez en la ejecución indican que la interfaz es accesible e intuitiva para el alumnado, favoreciendo la continuidad de la lectura y la realización autónoma de las actividades dentro de *LibroTech*.

Tabla 5: Resultados de la tarea realizada por el alumnado.

ID	Sin Asistencia (%)	Con Asistencia (%)	Tiempo (mm)	Errores	Asistencias
A1	100	0	1,03	0	0
A2	100	0	1,05	1	1
A3	60	40	2,41	3	3
A4	100	0	2,39	0	3
A5	80	20	3,05	0	4
A6	100	0	0,50	2	2

Tabla 6: Resultados estadísticos de la tarea realizada por el alumnado.

	Sin Asistencia (%)	Con Asistencia (%)	Tiempo (mm)	Errores	Asistencias
Media	90	10	1,75	1,00	1,83
Max	100	40	3,05	3,00	4,00
Min	60	0	0,50	0,00	0,00
D.S.	16,73	16,73	0,96	1,26	1,72

Finalmente, respecto al cuestionario SUS, los resultados se muestran en la Tabla 7, donde se observan puntuaciones medias elevadas (SUS = 84.5) que reflejan una percepción positiva de la usabilidad y el aprendizaje. A pesar de las pequeñas asistencias registradas durante la realización de la tarea, el alumnado mostró una comprensión rápida de la interfaz y una interacción fluida con las funcionalidades principales. Los valores medios de usabilidad (82.5) y aprendizaje (92.5) confirman que el entorno resulta atractivo, intuitivo y motivador, validando la adecuación del diseño gamificado.

Tabla 7: Resultados del cuestionario SUS (alumnado).

ID	Puntuación SUS	Usabilidad	Aprendizaje
A1	82,50	84,38	75,00
A2	90,00	90,63	87,50
A3	85,00	81,25	100,00
A4	80,00	75,00	100,00
A5	85,00	81,25	100,00
A6	70,00	75,00	50,00
Media	84,50	82,50	92,50

6. Discusión

Esta sección analiza los resultados obtenidos a la luz de las preguntas de investigación planteadas, examinando cómo el diseño, la arquitectura y la evaluación de *LibroTech* han permitido dar respuesta a cada una de ellas. La discusión conecta los hallazgos empíricos con los principios teóricos y técnicos aplicados, así como con las implicaciones para el desarrollo de entornos de aprendizaje gamificados en contextos escolares con conectividad limitada.

- RQ 1. Los resultados de la evaluación con estudiantes de primaria muestran que los principios de diseño aplicados —simplicidad, consistencia, retroalimentación inmediata y accesibilidad— favorecen la comprensión y reducen la fricción percibida durante el uso. La interfaz permitió completar las tareas de lectura y actividades asociadas con una tasa media de finalización sin ayuda del 90% y un tiempo medio de 1.75 minutos, reflejando una interacción fluida e intuitiva. Las puntuaciones elevadas en el cuestionario SUS (84.5) y de aprendizaje (92.5) confirman que el enfoque gamificado genera una percepción positiva de uso y motiva la continuidad lectora. En coherencia con la Teoría de la Autodeterminación, la autonomía y la competencia se ven reforzadas por la claridad de objetivos, la progresión visible y las recompensas, consolidando un entorno que promueve la motivación intrínseca del alumnado.
- RQ 2. El sistema demostró un rendimiento estable y sin errores críticos durante su uso en aula, pese a la conectividad variable del entorno escolar. La arquitectura cliente-servidor desacoplado, basada en una API REST y procesamiento asíncrono, permitió mantener tiempos de respuesta adecuados y una experiencia de uso continua. Las incidencias registradas se vincularon principalmente a la red escolar y no a la infraestructura del sistema, lo que respalda la idoneidad de las decisiones adoptadas. La modularidad, la separación de responsabilidades y el empaquetado de recursos en atlas WEBP contribuyeron a reducir la latencia percibida y a asegurar la escalabilidad y mantenibilidad requeridas en contextos rurales. Estas evidencias confirman la viabilidad técnica del enfoque y la capacidad de la arquitectura para sostener despliegues más amplios en el futuro.
- RQ 3. Tanto docentes como estudiantes mostraron altos niveles de satisfacción con el uso de la biblioteca virtual gamificada. Las puntuaciones medias obtenidas en el SUS (86.67 para docentes y 84.5 para estudiantes) se sitúan por encima del umbral de 68, indicando una percepción de alta usabilidad y aceptación general. Además, el aprendizaje de 91.67 y 92.5 respectivamente, refleja que las funcionalidades se comprenden con rapidez y que la navegación resulta predecible y coherente. A pesar de las asistencias registradas, todos los participantes completaron las tareas asignadas, lo que evidencia la eficacia funcional del diseño y la claridad de los flujos de interacción. Estos resultados confirman que la integración de la biblioteca virtual en el VLE mejora la percepción de utilidad y aprendizaje frente a recursos no gamificados, reforzando la aceptación tecnológica.

En conjunto, los resultados empíricos muestran que el VGLLE, *LibroTech*, responde de manera efectiva a las tres preguntas de investigación planteadas. El diseño centrado en el alumnado facilita la motivación y la accesibilidad; las decisiones arquitectónicas garantizan la estabilidad y el rendimiento en contextos con conectividad limitada; y la usabilidad percibida confirma la aceptación de la solución. No obstante, la evaluación se realizó en un único centro rural con una muestra reducida, por lo que futuros trabajos deberán ampliar el número y diversidad de participantes e incorporar métricas de telemetría que complementen los datos observacionales. Aun con estas limitaciones, los hallazgos respaldan la viabilidad pedagógica y técnica de *LibroTech* como base para la expansión de VGLLE.

7. Conclusiones y trabajos futuros

Se presenta *LibroTech*, una VGLLE integrada en el VLE *MundoCRA*. Describimos un modelo de dominio enlazado con *GamiCRA* y una arquitectura cliente-servidor con procesamiento asíncrono, junto a una integración visual eficiente mediante empaquetado de recursos. El diseño prioriza baja fricción y accesibilidad para su adopción en contextos escolares con escasa conectividad.

La solución propuesta se basa en la convergencia de una biblioteca y las mecánicas de gamificación integrando un espacio virtual dentro del VLE *MundoCRA*.

En el plano del diseño, se aplicaron principios centrados en el alumnado: simplicidad, feedback inmediato, consistencia, accesibilidad, privacidad y localización. Estos estructuran la experiencia de lectura, las actividades y las recompensas.

En relación con las preguntas de investigación, los resultados indican que (RQ1) los principios de diseño empleados, basados en flujos simples, *feedback* inmediato y consistencia, reducen la fricción percibida y favorecen la motivación lectora. Este comportamiento es coherente con la Teoría de la Autodeterminación (autonomía, competencia y relación) (Deci & Ryan, 2004; Ryan & Deci, 2000; Ryan & Deci, 2006) y con la evidencia existente en gamificación educativa (Bozkurt & Durak, 2018; Buckley & Doyle, 2016; Deterding et al., 2011; Sailer & Sailer, 2020). En la práctica, la claridad de objetivos, la progresión visible y el reconocimiento contribuyen a una percepción positiva de la experiencia de lectura y a una mayor implicación del alumnado.

En cuanto a (RQ2), las decisiones arquitectónicas adoptadas, como la separación cliente-servidor, el empaquetado gráfico y el procesamiento asíncrono, demostraron ser adecuadas para colegios rurales agrupados con conectividad limitada. En conjunto, puede concluirse que un dominio explícito, una API

REST y una entrega optimizada permiten experiencias de lectura fluidas y sostenibles, mientras que la integración entre objetivos pedagógicos y progresión gamificada fortalece el compromiso del alumnado. La observabilidad de métricas técnicas y de experiencia se consolida como un eje clave para la mejora continua en entornos reales.

Además, (RQ3) la evaluación del sistema mostró una alta tasa de finalización de tareas, puntuaciones elevadas en el SUS (84.5 y 86.67) y una percepción positiva de la aprendibilidad (91.67 y 92.5).

De cara al trabajo futuro, se prevé la incorporación de un asistente conversacional integrado en la interfaz para apoyar y ofrecer orientación contextualizada para una mejor recomendación de lecturas y co-diseñar junto al docente

actividades de lectura adaptadas al estudiante; el desarrollo de analíticas de aprendizaje que proporcionen indicadores accionables y exportación interoperable; y la realización de estudios longitudinales que permitan observar la evolución de los hábitos lectores y la sostenibilidad del compromiso a lo largo del tiempo. Asimismo, se plantea la ampliación del diseño de la experiencia mediante un seguimiento visual del progreso de lectura y micro-interacciones más expresivas que refuercen la motivación sin incrementar la carga cognitiva.

En definitiva, *LibroTech* constituye una base sólida para su despliegue a mayor escala y para explorar nuevas formas de interacción y análisis educativo que consoliden su valor pedagógico en contextos escolares diversos.

Referencias

- Adarkwah, M. A. (2020). "I'm not against online teaching, but what about us?": ICT in Ghana post Covid-19. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10331-z>
- Antonietti, C., Cattaneo, A. A. P., & Amenduni, F. (2022). Can teachers' digital competence influence technology acceptance in vocational education? *Comput. Hum. Behav.* <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107266>
- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 114-123.
- Bazid, N. I. M., Ahmad, S., Diah, N. M., & Buhari, S. S. (2024). Exploring Common Game Elements in Serious Game Interventions for Health and Obesity Awareness in Children: A Systematic Review. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 19, 17-32. <https://doi.org/10.3991/ijet.v19i04.48005>
- Bizami, N. A., Tasir, Z., & Kew, S. N. (2022). Innovative pedagogical principles and technological tools capabilities for immersive blended learning: a systematic literature review. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11243-w>
- Bond, M., Buntins, K., Bedenlier, S., Zawacki-Richter, O., & Kerres, M. (2020). Mapping research in student engagement and educational technology in higher education: A systematic evidence map. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(2). <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0176-8>
- Bozkurt, A., & Durak, G. (2018). A Systematic Review of Gamification Research: In Pursuit of Homo Ludens. *IJGBL*, 8(3), 15-33. <https://doi.org/10.4018/IJGBL.2018070102>
- Brooke, J. (1995). SUS: A quick and dirty usability scale. In (Vol. 189, pp. 189-194): Taylor & Francis.
- Buckley, P., & Doyle, E. (2016). Gamification and student motivation. *Interactive Learning Environments*, 24, 1162-1175. <https://doi.org/10.1080/10494820.2014.964263>
- Costa-Tébar, F., Gallud, J. A., & Lozano, M. D. (2024). Definition and Implementation of a Gamification Model for Virtual Teaching Environments. Proceedings of the XXIII International Conference on Human Computer Interaction, New York, NY, USA.
- Costa-Tébar, F., Jiménez-Honrado, J., Gallud, J. A., Tesoriero, R., Lozano, M. D., Sebastián-Rivera, G., & Vergara-Picazo, L. (2025). LibroTech: a Virtual Gamified Library Learning Environment. Interacción 2025: XXV International Conference on Human-Computer Interaction, Valladolid, Spain.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2004). *Handbook of self-determination research*. University Rochester Press.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2008). Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 49(3), 182-185. <https://doi.org/10.1037/a0012801>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining "gamification". Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments,
- Furenes, M. I., Kucirkova, N., & Bus, A. (2021). A Comparison of Children's Reading on Paper Versus Screen: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*. <https://doi.org/10.3102/0034654321998074>
- Goeser, P. T., & Williams, C. (2021). Virtual Learning Environments. *Education*. <https://doi.org/10.1093/obo/9780199756810-0288>
- Granić, A. (2022). Educational Technology Adoption: A systematic review. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10951-7>
- Hasibuan, P., Fadhl, R., & Igriza, M. (2023). Redefining School Libraries for the Digital Age: Developing Comprehensive Digital Collection Strategies. *Jurnal Manajemen Pendidikan : Jurnal Ilmiah Administrasi, Manajemen dan Kepemimpinan Pendidikan*, 5, 58-68. <https://doi.org/10.21831/jump.v5i1.60752>
- Jiménez-Honrado, J., Costa-Tébar, F., Gallud, J. A., & Sebastián-Rivera, G. (2025). Assessment of primary school children's inventiveness in creating short stories using the CuentoterApp. *Universal Access in the Information Society*, 24(4), 3225-3240. <https://doi.org/10.1007/s10209-025-01260-0>
- Jiménez-Honrado, J., Gómez García, J., Costa-Tébar, F., Marco, F. A., Gallud, J. A., & Sebastián-Rivera, G. (2024). Progressive Web Application for Storytelling Therapy Support. Proceedings of the XXIV International Conference on Human Computer Interaction, New York, NY, USA.

- Khaliq, S., Tabassum, R., & Shaheen, G. (2022). Effect of guided reading strategies on the motivation of the students to increase reading skill of elementary level students in the subjects of English. *International Research Journal of Management and Social Sciences*, 3(1), 160-168. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.10286688>
- Konlan, B., Nassè, T. B., & Chakurah, S. (2025). Digital Transformation in School Libraries Management: Evaluating the Effect of Technology Integration on Student Learning and Library Services. *Advances in Consumer Research*, 3(1), 128-133. <https://doi.org/10.5861/acr.2025.884>
- Krath, J., Schürmann, L., & von Korfeisch, H. F. O. (2021). Revealing the theoretical basis of gamification: A systematic review and analysis of theory in research on gamification, serious games and game-based learning. *Comput. Hum. Behav.* <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106963>
- Laine, T., & Lindberg, R. S. N. (2020). Designing Engaging Games for Education: A Systematic Literature Review on Game Motivators and Design Principles. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. <https://doi.org/10.1109/tlt.2020.3018503>
- Mahendra, Y., Suprpto, I., & Apriza, B. (2024). The Role of School Libraries in Enhancing the Interest and Initial Reading Abilities of Elementary School Students. *West Science Interdisciplinary Studies*, 3(3), 495-501. <https://doi.org/10.58812/wsis.v2i03.693>
- Major, L., Francis, G., & Tsapali, M. (2021). The effectiveness of technology-supported personalised learning in low- and middle-income countries: A meta-analysis. *Br. J. Educ. Technol.* <https://doi.org/10.1111/bjet.13116>
- Molina, S., Lozano, M. D., Jiménez, E., & Sebastián, G. (2020). Aprende Jugando. *ASRI Arte y Sociedad*, 3(19), 36-47. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7654379>
- Nielsen, J., & Landauer, T. K. (1993). A mathematical model of the finding of usability problems. Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, NY, USA.
- Oliveira, W., Hamari, J., Shi, L., Toda, A., Rodrigues, L., Palomino, P., & Isotani, S. (2022). Tailored gamification in education: A literature review and future agenda. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11122-4>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pakistyaningsih, A., Nurdiansyah, By Arifin, M. B. U., Rudyanto, H. E., & Rais, P. (2019). School Library Utilization Technology Model to Improve Reading Interest and Reading Ability in Elementary Education. *Universal Journal of Educational Research*, 7(9), 1945-1955. <https://doi.org/10.13189/ujer.2019.070914>
- Prescott, J. E., Bundschuh, K., Kazakoff, E. R., & Macaruso, P. (2018). Elementary school-wide implementation of a blended learning program for reading intervention. *The Journal of Educational Research*, 111(4), 497-506. <https://doi.org/10.1080/00220671.2017.1302914>
- Richard, M. R., & Edward, L. D. (2020). Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: Definitions, theory, practices, and future directions. *Contemporary Educational Psychology*, 61, 101860. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101860>
- Rojas-Sánchez, M. A., Palos-Sánchez, P., & Folgado-Fernández, J. A. (2022). Systematic literature review and bibliometric analysis on virtual reality and education. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11167-5>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25 1, 54-67. <https://doi.org/10.1006/CEPS.1999.1020>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2006). Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227-268. <https://doi.org/10.1037/a0012801>
- Sailer, M., & Sailer, M. (2020). Gamification of in-class activities in flipped classroom lectures. *Br. J. Educ. Technol.* <https://doi.org/10.1111/bjet.12948>
- Sanders, J. (2012). Technology-enhanced learning. *Education for Primary Care*, 23, 68-69. <https://doi.org/10.1080/14739879.2012.11494072>
- Schardt, C., Adams, M. B., Owens, T., Keitz, S., & Fontelo, P. (2007). Utilization of the PICO framework to improve searching PubMed for clinical questions. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 7(1), 16. <https://doi.org/10.1186/1472-6947-7-16>
- Sebastián-Rivera, G., Costa-Tébar, F., Gallud, J. A., Lozano, M. D., Leporini, B., Barba-Sánchez, V., & Orozco-Barbosa, L. (2025). Evaluating the technology acceptance of MundoCRA: A virtual learning environment for primary education. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 40(0), 1-15. <https://doi.org/10.1080/10447318.2025.2474489>
- Sinaga, F., & Ananda, N. (2024). The Problematic of Low Class Students' Low Interest in Reading. *Journal of Elementary School Education*, 3(2), 244-247. <https://doi.org/10.62966/joese.v2i2.531>
- Smiderle, R., Rigo, S., Marques, L., Peçanha de Miranda Coelho, J. A., & Jaques, P. (2020). The impact of gamification on students' learning, engagement and behavior based on their personality traits. *Smart Learning Environments*. <https://doi.org/10.1186/s40561-019-0098-x>
- Standardization, I. O. f. (2025). ISO 25062:2025 - Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Common Industry Format (CIF) for reporting usability evaluations - iso.org.
- Taboada Barber, A., & Lutz Klauda, S. (2020). How Reading Motivation and Engagement Enable Reading Achievement: Policy Implications. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*. <https://doi.org/10.1177/2372732219893385>
- Timotheou, S., Miliou, O., Dimitriadis, Y., Villagrà Sobrino, S., Giannoutsou, N., Cachia, R., Martínez Monés, A., & Ioannou, A. (2022). Impacts of digital technologies on education and factors influencing schools' digital capacity and transformation: A literature review. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11431-8>
- Tinmaz, H., Lee, Y.-T., Fanea-ivanovici, M., & Baber, H. (2022). A systematic review on digital literacy. *Smart Learning Environments*. <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00204-y>
- Tsay, C., Kofinas, A. K., & Trivedi, S. (2020). Overcoming the novelty effect in online gamified learning systems: An empirical evaluation of student engagement and performance. *J. Comput. Assist. Learn.* <https://doi.org/10.1111/jcal.12385>
- Werbach, K., & Hunter, D. (2020). *For the Win, Revised and Updated Edition: The Power of Gamification and Game Thinking in Business, Education, Government, and Social Impact*. Wharton School Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctv2hdfsm>
- Xu, D., & Wang, H. (2006). Intelligent agent supported personalization for virtual learning environments. *Decis. Support Syst.*, 42, 825-843. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2005.05.033>
- Yan, L., Sha, L., Zhao, L., Li, Y., Martínez Maldonado, R., Chen, G., Li, X., Jin, Y., & Gašević, D. (2023). Practical and ethical challenges of large language models in education: A systematic scoping review. *Br. J. Educ. Technol.* <https://doi.org/10.1111/bjet.13370>
- Zhai, C., Santos, W., & Li, L. D. (2024). The effects of over-reliance on AI dialogue systems on students' cognitive abilities: a systematic review. *Smart Learn. Environ.* <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00316-7>
- Zichermann, G., & Cunningham, C. (2011). *Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps*. O'Reilly Media, Inc.