









Artículo de investigación

Retroalimentación háptica y auditiva para apoyo a personas ciegas: una evaluación con enfoque mixto

Haptic and auditory feedback for supporting blind people: a mixed approach evaluation



Dantar Alejandro Ortiz Vega , Antonio Fernando Fernández Cruz , Pablo Armando Alcaraz Valencia , Juan Antonio Díaz Hernández , Elías Humberto Valencia Valencia , Víctor H. Castillo 

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad de Colima, Carretera Colima - Coquimatlán km 9, 28400 Coquimatlán, Colima, México

Autor de correspondencia: Víctor H. Castillo, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad de Colima, Carretera Colima - Coquimatlán km 9, 28400 Coquimatlán, Colima, México. Correo: victorc@ucol.mx, ORCID: 0000-0001-9569-9595.

Recibido: 16 de Julio del 2025

Aceptado: 25 de Febrero del 2026

Publicado: 18 de Abril del 2026

Resumen. – La ceguera es una condición de salud de alta prevalencia en la población mundial. Esta condición impacta negativamente en las personas que la padecen, tanto en su autonomía, como en su calidad de vida. Aunque la tecnología asistencial ha desempeñado un papel muy importante en el abatimiento de esa problemática, en la literatura se reporta que no ha alcanzado niveles de accesibilidad elevados para las personas con discapacidad visual. Por otra parte, aunque el uso de tecnología asistencial tiene aplicaciones en varias vertientes, la tecnología para apoyar a los ciegos en actividades instrumentales cotidianas, basada en asistentes personales que utilizan retroalimentación auditiva, es escasa. Aunado a lo anterior, los estudios de usabilidad se presentan como una herramienta importante para evaluar cómo se percibe la tecnología. Esa percepción es un indicador de la medida en que un sistema puede apoyar la realización de tareas. El objetivo de este trabajo es analizar el grado al cual se percibe la usabilidad global de una herramienta tecnológica para apoyar a personas ciegas en el desarrollo de sus actividades domésticas habituales. Así, en este trabajo se propone una aplicación, basada en interacción aptica con retroalimentación auditiva, para apoyar a personas ciegas en el acceso a dispositivos electrodomésticos. Para llevarla a cabo, se diseñó un enfoque de investigación exploratorio mixto, cualitativo y cuantitativo, que sigue un proceso de indagación basado en instrumentos formalmente validados. En el primero de esos enfoques se incluyeron dos expertos y, en el último, siete usuarios potenciales. Los resultados de la evaluación cualitativa muestran una compleción del 60% de las heurísticas, superior a lo reportado en otros estudios en el mismo dominio. Asimismo, en la evaluación cuantitativa se obtuvo una usabilidad global de 97.5 en el contexto de la Escala de usabilidad de sistema, lo cual la caracteriza como “altamente usable”. Con esos resultados se perciben beneficios potenciales para mejorar la calidad de vida de las personas ciegas.

Palabras clave: Vida asistida; Ciegos; Evaluación heurística; SUS; Usabilidad; Aplicaciones móviles; eSalud.

Abstract. - Blindness is a highly prevalent health condition worldwide. This situation negatively affects those who suffer from it, impairing both their autonomy and quality of life. Although assistive technology has played a significant role in mitigating this problem, the literature reports that it has not yet achieved high levels of accessibility for people with visual impairments. Furthermore, while assistive technology has applications in various areas, technology to support blind people in everyday instrumental activities, based on personal assistants that use auditory feedback, is scarce. In addition, usability studies are presented as an important tool for evaluating how technology is perceived. This perception indicates the extent to which a system supports task completion. The objective of this study is to analyze the degree to which the overall usability of a technological tool designed to support blind people in carrying out their usual domestic activities is perceived. This paper proposes an application that, through aptic interaction with auditory feedback, helps blind people access household appliances. To develop it, a mixed-methods exploratory research approach was designed that combined qualitative and quantitative schemes. This approach followed an inquiry process based on formally validated instruments. The qualitative phase included two experts, while the quantitative phase involved seven potential users. The results of the qualitative evaluation show a 60% completion rate for heuristics, higher than that reported in other studies in the same field. Similarly, the quantitative evaluation yielded an overall System Usability Scale score of 97.5, indicating the application is "highly usable." These results suggest potential benefits for the quality of life of blind people.

Keywords: Assistive living; Blind people; Heuristic evaluation; SUS; Usability; Mobile apps; eHealth.



1. Introducción

La discapacidad visual es una condición que afecta a millones de personas en todo el mundo y limita su capacidad para realizar tareas cotidianas de manera independiente [1]. En México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía [2] reportó que aproximadamente 5.6 millones de personas vivían con alguna discapacidad visual en 2023. Esta condición no solo limita la capacidad de las personas para realizar tareas cotidianas, sino que también afecta significativamente su autonomía y su calidad de vida.

A pesar de que la tecnología asistencial ha experimentado un gran avance en los últimos años, generalmente no es accesible para las personas con discapacidad visual [3]. Ante esta problemática, en la literatura se reporta una amplia variedad de trabajos que proponen el uso de tecnologías asistenciales para facilitar la vida de las personas con discapacidad visual. Por ejemplo, algunos trabajos han estudiado el uso de entornos virtuales por personas con discapacidad visual. Así, Lahav [4] desarrolló un estudio de usabilidad en un entorno virtual para apoyar a personas ciegas mediante estrategias de mapeo y orientación espacial. En otro caso, Real y Araujo [5] analizaron el impacto de la calidad del servicio de red en el uso de sistemas de navegación por personas ciegas. Otra área de estudio se ha enfocado en el uso de dispositivos vestibles para apoyar a personas con discapacidad visual. Dentro de esa rama de propuestas, Kilian *et al.* [6] han explorado el uso de vestibles hápticos para dar una retroalimentación sensitiva y audible a personas ciegas a fin de que puedan desplazarse en espacios abiertos. Además, el trabajo de Machado *et al.* [7] esboza un dispositivo para brindar retroalimentación auditiva y vibratoria en apoyo a personas ciegas para transitar zonas abiertas. Otra vertiente de los estudios se ha enfocado en el uso de la web por parte de personas con discapacidad visual. Como ejemplos de estos, tanto Babu [8] como Ashraf y Raza [9], han examinado la percepción de usabilidad en el acceso a redes sociales virtuales por parte de personas ciegas. En otro caso, Reuschel y colegas [10] estudiaron la percepción de personas ciegas sobre la usabilidad y la accesibilidad de aplicaciones en línea para sistemas que gestionan solicitudes de empleo. Otro enfoque de los estudios que analizan las propuestas tecnológicas para apoyar a personas ciegas es el orientado a los dispositivos móviles. Así, Mateus *et al.* [11] compararon los tipos de problemas de usabilidad encontrados en aplicaciones móviles por tres distintos tipos de usuarios, entre los cuales había un grupo de personas con discapacidad visual. Asimismo, Ahmetovic *et al.* [12] desarrollaron una aplicación móvil para asistir a personas ciegas en la identificación de cruces peatonales. En todos los estudios descritos previamente, la evaluación de la usabilidad desempeña un papel relevante.

Respecto a lo descrito arriba, es importante mencionar que, autores como Adnan y colegas [13], han analizado los métodos de evaluación de usabilidad para aplicaciones de tecnología, enfocadas al apoyo de actividades de las personas con discapacidad visual. Estos autores indican que, en la literatura revisada, los métodos de evaluación que prevalecen son tres, en el orden indicado: 1) la aplicación de instrumentos, como la escala de usabilidad de sistemas (SUS, por sus siglas en inglés); 2) pensar en voz alta; y 3) la evaluación heurística. Otros estudios coinciden con las estrategias de evaluación de usabilidad más utilizadas en la evaluación de tecnología asistencial, lo que indica que la aplicación de instrumentos estándar es la más prevalente [14]. También, en lo relativo a estudios de usabilidad, algunos autores coinciden en sugerir un enfoque integrado, que considere varias estrategias de evaluación [11, 6, 8, 7]. Mediante los métodos de usabilidad anteriores, se obtiene una mayor robustez en la toma de decisiones respecto al grado de utilidad y de facilidad de uso de una propuesta tecnológica destinada a apoyar a ciegos y a personas con discapacidad visual en la realización de actividades en su día a día.



Por otra parte, Turkstra y colegas [15] dividen la tecnología asistencial para ciegos y personas con discapacidad visual en tecnologías de baja y de alta tecnología. En esta última clasificación, esos autores consideran las siguientes actividades: preparación de alimentos, manejo de finanzas, vestimenta, lavandería, labores domésticas, medicación y compras. De esas tecnologías, las de labores domésticas y de compras son las menos presentes en el mercado (*ídem*). Además de estas últimas, la tecnología para asistir en labores domésticas basada en asistentes personales con retroalimentación por voz es, a su vez, la menos prevalente (*ídem*). La escasa oferta de esta tecnología asistencial disminuye significativamente la autonomía e independencia de los ciegos y de los débiles visuales.

Así, de acuerdo con lo descrito anteriormente, existe una gran área de oportunidad en lo relativo a ofrecer a personas con discapacidad visual, herramientas que apoyen el desarrollo de sus labores cotidianas. Aunado a lo anterior, es muy importante que el desarrollo de propuestas de ese tipo se evalúe a la luz de los estudios de usabilidad, entre los cuales destaca la aplicación de instrumentos formalmente validados. De esta manera, con base en lo descrito previamente, el objetivo del presente trabajo es analizar el grado al cual se percibe la usabilidad global de una herramienta tecnológica para apoyar a personas ciegas en el desarrollo de sus actividades domésticas habituales. Para lograr ese objetivo, se propone emplear una perspectiva de diseño de tecnología asistencial, la cual se evalúa mediante estudios de usabilidad desde diversas perspectivas. Se pretende que, con el éxito del abordaje de este objetivo, se impacte positivamente en la autonomía, la accesibilidad, la seguridad, la inclusión social y la calidad de vida de las personas con discapacidad visual.

El presente trabajo se estructura como sigue. En la sección 2 se describen las actividades realizadas para concretar este estudio, así como los materiales y métodos empleados. Luego, en la sección 3, se presentan los resultados obtenidos a partir de la evaluación de la propuesta de investigación. Posteriormente, en la sección 4 se discuten los resultados del estudio. Finalmente, en la sección 5, se incluye una conclusión del trabajo presentado.

2. Metodología

En esta sección se describe el conjunto de tareas realizadas para el desarrollo del trabajo aquí presentado, así como los materiales y métodos empleados.

2.1 Enfoque y diseño de la investigación

Dado que el problema abordado en este estudio se relaciona con el uso de nuevas tecnologías y requiere un estudio de usabilidad emergente, se optó por un diseño de investigación exploratorio. Además, dado que el estudio se enfoca en describir el estado actual de la propuesta tecnológica en cuanto a lo fácil, eficiente y agradable que resulta, resulta pertinente un diseño transversal.

Se señala que el desarrollo de la propuesta de solución implicó un sistema interactivo como producto principal. Así, debido a que se privilegió la comprensión del contexto de uso por parte de sus usuarios potenciales y una evaluación continua por parte de estos, realizada de forma iterativa, se siguió un enfoque de diseño centrado en el usuario [16]. Bajo ese enfoque, la evaluación de usabilidad se realizó en cada uno de los dos hitos del desarrollo del prototipo.



Por otra parte, para validar la solución propuesta se usó un enfoque de investigación mixto, cualitativo-cuantitativo, primero tomando en cuenta el papel preponderante que tienen los estudios de usabilidad en la evaluación de tecnologías asistenciales para personas ciegas [11, 6, 8, 7, 13, 14] y, en segundo término, la riqueza de información que generan dichos estudios.

Como puede verse en la figura 1, bajo el enfoque y el diseño de investigación descritos anteriormente, se procedió inicialmente a realizar la investigación de usuario. Esto permitió comprender el problema en cuestión a partir del conocimiento de los usuarios, de sus necesidades y objetivos, así como del contexto de uso de la solución propuesta. Con esto se obtuvieron requisitos de usabilidad. Estos requisitos también delinearon los métodos de evaluación necesarios para conocer el grado al cual se cumplían los requisitos. Posteriormente, con base en los requisitos, se creó una representación inicial del sistema mediante un prototipo de alta fidelidad, que se evaluó de forma heurística. Esta evaluación ayudó a explorar soluciones de diseño. Luego, con la retroalimentación de los expertos, se actualizaron algunos elementos del prototipo inicial y se actualizó el prototipo funcional. Posteriormente, los usuarios potenciales evaluaron la segunda iteración del diseño mediante un experimento controlado. Finalmente, con la información de las evaluaciones en ambas iteraciones, se documentaron los resultados generales.

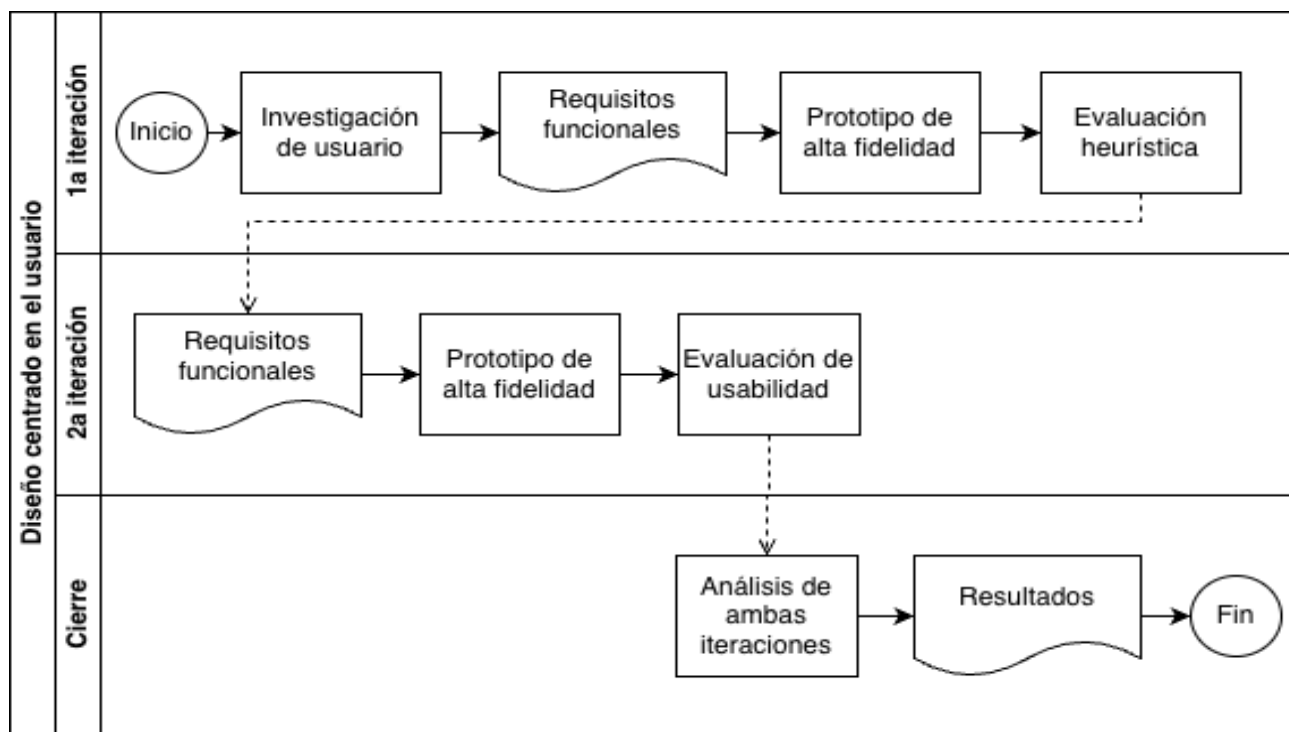


Figura 1. Metodología de la propuesta. Fuente: Elaboración propia.

2.2 Investigación de usuario

El desarrollo de la presente propuesta se centró en una aplicación para apoyar a personas con discapacidad visual en la realización de sus actividades diarias. La implementación de este tipo de aplicaciones se



describe como un área de oportunidad líneas arriba [15]. De esta forma, para lograr el objetivo de investigación se construyó un prototipo funcional de un sistema de interacción aptica con retroalimentación, tanto aptica como auditiva, para controlar el encendido y apagado de dispositivos electrodomésticos. Para obtener los requisitos funcionales del sistema, se realizó una investigación de usuario que, mediante información obtenida a través de entrevistas, apoyó la implementación de experiencias de usabilidad y experiencia de usuario. Los requisitos fueron planteados y validados mediante entrevistas a seis personas ciegas, pertenecientes a la Organización de Ciegos Colimenses A.C. Se realizaron tres sesiones de obtención de requisitos, de dos horas cada una, gestionadas por el Instituto Colimense de la Discapacidad (INCODIS) en Colima, México. Se sabe que un estudio de usabilidad ayuda a determinar en qué medida un sistema apoya en la compleción exitosa de tareas en un dominio de aplicación [17]. Así, para validar la solución propuesta, se decidió emplear un enfoque de investigación mixto, cualitativo-cuantitativo.

2.2.1 Métodos aplicados

Los métodos para desarrollar estudios de usabilidad se contextualizan de diversas maneras. Según Lazar *et al.*, éstos se organizan en tres grandes categorías: 1) métodos de inspección, caracterizados por ser analíticos y tomar en cuenta el punto de vista de expertos, no de los usuarios, entre éstos se encuentran la evaluación heurística y el recorrido cognitivo; 2) métodos de campo, los cuales son observacionales, e involucran usuarios, por ejemplo, estudios etnográficos e investigación contextual; así como 3) pruebas empíricas de laboratorio, mismas que pueden ser cuantitativas o cualitativas, e involucran usuarios, entre las que se encuentran las pruebas de usabilidad y los experimentos controlados. Como se describe anteriormente [13], el método de evaluación de usabilidad más prevalente reportado en la literatura es, en primer lugar, la aplicación de instrumentos validados, como la SUS, que se clasifica como una evaluación empírica de laboratorio, y, en segundo lugar, la evaluación heurística, que se clasifica como un método de inspección.

El *Libro de trabajo para evaluación heurística* [18] (LTEH) fue el marco de referencia para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos en la primera etapa de evaluación.

En esta participaron dos profesores-investigadores adscritos a la Universidad de Colima, quienes cumplieron con cinco criterios de inclusión: 1) poseer experiencia formal o profesional en interacción humano-computadora; 2) contar con experiencia demostrada con el uso de métodos de evaluación de usabilidad; 3) tener familiaridad con heurísticas o estándares de usabilidad; 4) mostrar conocimiento sobre tecnología asistencial; y 5) ser independientes del equipo de diseño y desarrollo involucrado en la propuesta de investigación. De acuerdo con el LTEH, los datos obtenidos con la evaluación heurística fueron, el indicador de cumplimiento de la heurística respectiva, y una etiqueta de la severidad de los problemas encontrados.

Por otra parte, considerando que la evaluación de software puede robustecerse al combinar más de un método de evaluación de usabilidad [7, 11, 6], el presente trabajo combinó la evaluación heurística y el desarrollo de un experimento controlado que culminó con la aplicación de la SUS. Así, después de realizar la evaluación heurística y, analizar sus resultados, el prototipo se evaluó mediante un experimento controlado con la SUS. El uso de esta escala es importante porque ofrece una medida ampliamente



validada de la usabilidad percibida en entornos controlados [19]. La SUS puede captar la efectividad, eficiencia, y satisfacción con las que los usuarios expertos perciben un producto de software [20]. En el experimento participaron siete personas que cumplieron con los siguientes tres criterios de inclusión: 1) presentar alguno de los niveles de ceguera descritos por la Organización Mundial de la Salud: discapacidad visual moderada y grave (baja visión), ceguera (ceguera legal), o bien, ceguera total o absoluta; 2) tener experiencia mínima de un año usando dispositivos móviles; y 3) contar con al menos un año de experiencia en el uso de TalkBack [21]. Los datos obtenidos en el experimento controlado fueron cuantitativos, derivados de la puntuación asignada a cada uno de los ítems de la SUS.

2.2.2 Muestreo y unidad de análisis

Para la selección de los sujetos de estudio, en ambos enfoques se emplearon técnicas de muestreo no probabilístico. Para la evaluación cualitativa de la propuesta, se requirió que los participantes tuvieran un alto conocimiento de sistemas interactivos y que identificaran tendencias actuales en tecnología asistencial, por lo que la elección de participantes se realizó por referencia [22]. En la elección de esta muestra, las unidades de análisis fueron personas expertas en el dominio de aplicación.

Por otra parte, para la evaluación cuantitativa, además de que el estudio estaba restringido a una población muy particular, se requería contar con una alta accesibilidad de los participantes y su compromiso con el proceso de evaluación, debido al incentivo de previsualizar la solución a una problemática cotidiana. Por lo anterior, para el experimento controlado la elección de participantes fue por referencia [23]. En la muestra de este enfoque, la unidad de análisis fue un sistema interactivo instalado en un dispositivo móvil.

2.2.3 Resultados parciales de la investigación de usuario

La investigación de usuario, alineada con los instrumentos elegidos para la evaluación de usabilidad, por sí sola, orientó algunos aspectos del diseño de la aplicación móvil para el control de dispositivos electrodomésticos. Los requisitos funcionales planteados por el personal adscrito al INCODIS, que tiene la condición de ciego o débil visual, se enlistan a continuación:

- La aplicación debe permitir encender y apagar un dispositivo electrodoméstico conectado a la red eléctrica comercial y vinculado a la aplicación (cuando el hardware lo soporte).
- La aplicación debe encender y apagar todos los dispositivos electrodomésticos que puedan conectarse a la red eléctrica comercial.
- La aplicación debe permitir desconectar todos los dispositivos electrodomésticos que tenga vinculados.
- La aplicación debe funcionar sin acceso a servicios de internet y/o de telefonía.

Con base en lo anterior, los principales hallazgos de la evaluación de usuario, considerando las heurísticas propuestas por el Nielsen-Norman Group [18], permitieron identificar algunos elementos básicos de usabilidad para la aplicación móvil a desarrollar. Para realizar lo anterior, los autores analizaron las entrevistas con los usuarios potenciales y definieron los siguientes cinco requisitos generales de usabilidad:



- Visibilidad y retroalimentación: la aplicación debe proporcionar retroalimentación auditiva y táctil clara y estable.
- Consistencia: la aplicación no debe presentar variaciones en los gestos apticos para acciones equivalentes.
- Control y libertad de usuario: la aplicación debe proporcionar mecanismos accesibles para deshacer o cancelar acciones.
- Reconocimiento: la aplicación debe accederse con secuencias intuitivas.
- Prevención y recuperación de errores: la aplicación debe proporcionar mensajes con información que permita identificar un problema concreto.

Por otra parte, considerando igualmente los requisitos funcionales definidos por el personal del INCODIS, los principales resultados de la investigación de usuario, relacionada con la SUS [20], permitieron definir los siguientes tres requisitos de usabilidad:

- Complejidad: la aplicación debe reducir la complejidad de las tareas que se realizan frecuentemente.
- Retroalimentación: la aplicación debe tener una retroalimentación auditiva y aptica que se perciba con claridad.
- Consistencia: la aplicación debe contar con un mecanismo de interacción consistente.

De acuerdo con los resultados parciales de la investigación de usuario descritos anteriormente, se inició el proceso de prototipado y diseño de las pruebas.

2.3 Prototipado y pruebas de usuario

Con base en los requerimientos obtenidos y descritos en la sección anterior, se diseñó y desarrolló una arquitectura de sistema que soporta un prototipo de alta fidelidad que permite a personas con discapacidad visual controlar el encendido y apagado de dispositivos electrodomésticos.

2.3.1 Desarrollo del prototipo

El prototipo de alta fidelidad desarrollado en el presente estudio se basa en la propuesta arquitectónica mostrada en la figura 2. Esta se compone de cuatro módulos que asisten a un invidente en el encendido y apagado de dispositivos electrodomésticos (DEs). El *Módulo de interfaz de usuario* se emplaza en un dispositivo móvil y permite al usuario manipular los DEs mediante dos formas de retroalimentación. Una es auditiva, por medio de la tecnología Talkback [21], y otra es aptica, la cual se da a través de la vibración de la superficie de despliegue en la aplicación. Esta se desarrolló en Flutter [24]. Por otra parte, el *Módulo Bluetooth* utiliza las capacidades integradas del microcontrolador ESP32-C3 para establecer una comunicación inalámbrica segura con dispositivos externos mediante el protocolo BLE [25]. Asimismo, el *Módulo Control* es responsable de ejecutar las acciones físicas derivadas de los comandos recibidos por la aplicación. A diferencia del *Módulo Bluetooth* (que sólo gestiona comunicación), el *Módulo Control* interactúa directamente con componentes electrónicos externos para manipular un número N de electrodomésticos. Finalmente, el *Módulo gestión* garantiza que la aplicación tenga los permisos necesarios para hacer la solicitud dinámica de los servicios accedidos a través de Bluetooth y la localización del dispositivo móvil para su funcionamiento.

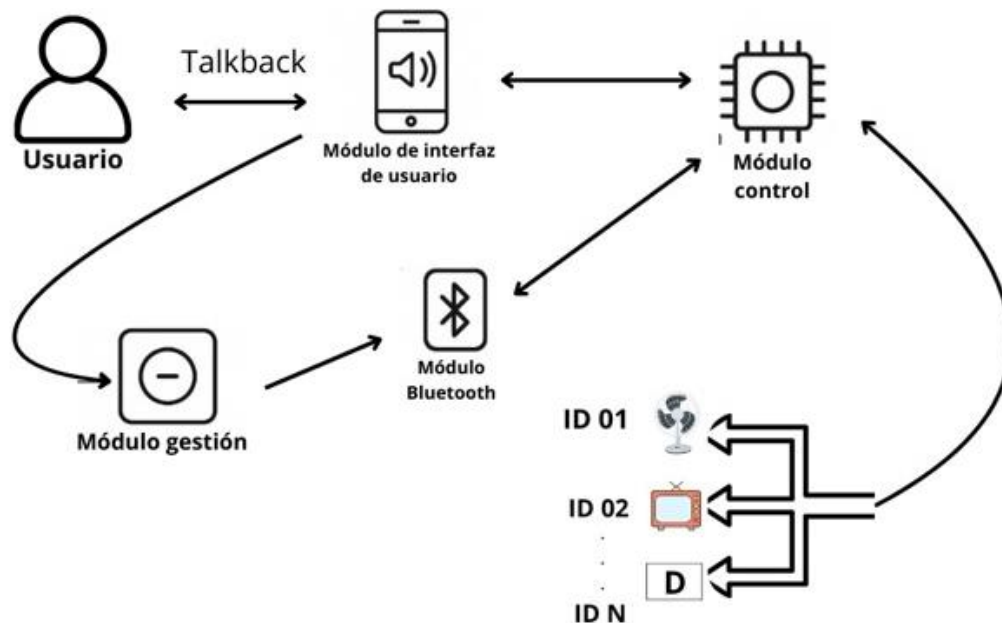


Figura 2. Arquitectura de sistema. Fuente: Elaboración propia.

El módulo *Interfaz de usuario*, mostrado en la figura 2, es una aplicación móvil para controlar el encendido y apagado de dispositivos electrodomésticos. La figura 3 muestra la GUI de la aplicación desarrollada, que sirvió como artefacto para la evaluación heurística y de usabilidad. En la misma figura se observa que la GUI del prototipo consta de tres secciones. Las dos primeras delimitan cada uno de los dos dispositivos electrodomésticos con los que se interactúa; estas, a su vez, corresponden a cada una de las tareas desarrolladas por los expertos y usuarios potenciales que evaluaron la aplicación. La tercera sección incluye una acción genérica de encendido/apagado de dispositivos, así como la opción de desconexión y de salida de la aplicación. La interacción del usuario con la GUI se realiza mediante medios táctiles, desplazando su dedo por la GUI. Al hacer lo anterior, la herramienta Talkback genera una retroalimentación auditiva que advierte al usuario sobre qué parte de la GUI accede en un momento determinado. Cuando inició el proceso de evaluación, el prototipo cumplía el 100% de los requisitos funcionales y estaba vinculado a las decisiones de diseño derivadas de los hallazgos de la investigación de usuario. De esta forma, esa evaluación sirvió para asegurar que los requerimientos identificados en las reuniones con el INCODIS fueron incluidos en una forma amigable en la aplicación desarrollada.



Figura 3. Interfaz de usuario de la aplicación desarrollada. Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Escenarios, tareas y ambiente de pruebas

Tanto para la evaluación heurística, como para el experimento controlado, se diseñaron dos escenarios, los cuales permitieron definir las respectivas tareas de evaluación. El primer escenario se refiere al encendido de una lámpara en una sala y el segundo al apagado de un ventilador en un dormitorio. Tanto la lámpara como el ventilador estuvieron conectados cerca de los evaluadores, para que constataran el resultado de su interacción con el prototipo. En general, se diseñaron los siguientes tres métodos de recolección de datos: 1) observación directa (el evaluador registra el desempeño, por ejemplo, mediante la grabación de pantalla o de voz, con consentimiento); 2) prueba en voz alta (los participantes describen lo que escuchan y piensan mientras usan TalkBack); y 3) cuestionario posprueba.



El desarrollo de las tareas de la evaluación heurística se llevó a cabo en el Laboratorio de Ciencia de Datos de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Por otra parte, las tareas del experimento controlado se realizaron en las instalaciones del INCODIS. La realización de tareas en ambos lugares incluyó cinco pasos: 1) explicación del propósito de la prueba y obtención de consentimiento; 2) introducción breve sobre el uso de TalkBack (solo a personas que lo requirieran, si era necesario); 3) observación de las tareas una por una, sin intervenir, a menos que el usuario se rinda; y finalmente 4) registro de métricas en los instrumentos respectivos, los cuales se explican en la siguiente sección. Es necesario observar que la estructuración de estos pasos fue la misma en ambas evaluaciones: heurística y experimento controlado. Sin embargo, en el paso 4 el registro de las métricas se realizó con instrumentos distintos, los cuales se describen en la sección correspondiente.

Así, de acuerdo con lo descrito anteriormente y como se ilustra en la figura 4, el marco de evaluación descrito permitió evaluar el grado al cual se cumplió el objetivo del presente estudio.

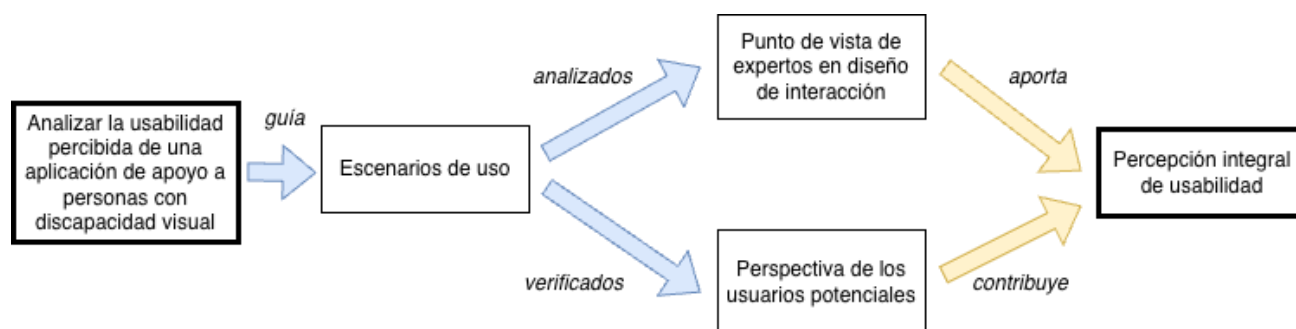


Figura 4. El enfoque de evaluación relacionado con el objetivo de investigación. Fuente: Elaboración propia.

2.3.3 Métodos de evaluación del prototipo

El instrumento utilizado en la evaluación heurística es el *Libro de trabajo para evaluación heurística*, propuesto por el Nielsen-Norman Group [18]. Ese libro de trabajo se compone de 10 secciones, en cada una de las cuales se describen cualitativamente los aspectos observados y las recomendaciones que de ellos se derivan. La primera sección, o heurística, es la *visibilidad del estado del sistema*, en la que se debe evaluar si este comunica correctamente su estado y si hay retroalimentación rápida al usuario. La segunda sección se titula *correspondencia entre el sistema y el mundo real*; en ella se estiman los niveles de familiaridad del usuario con la terminología del sistema. La tercera sección se llama *control y libertad del usuario*, en esta se examina si el sistema permite a los usuarios regresar a etapas previas en el desarrollo de una tarea, si los accesos a la salida son fácilmente identificables, si puede cancelarse fácilmente una acción y si existe la posibilidad de “deshacer” y “rehacer” alguna tarea en el sistema. La cuarta sección del instrumento se llama *consistencia y estándares*, y ayuda a evaluar si el diseño del sistema sigue convenciones de la industria y si el tratamiento visual del mismo es consistente. La quinta sección se define como *prevención de errores*, en ella se analiza si el diseño previene errores a través de ciertas restricciones y si el sistema protege a los usuarios, disminuyendo la posibilidad de que realice alguna acción de riesgo. En la sexta sección, llamada *verificación antes que recordatorio*, se comprueba si el sistema mantiene visible la información importante (para que el usuario no tenga que recordarla) y si ofrece ayuda contextual. La sección siete se llama *flexibilidad y eficiencia de uso* y permite analizar si el



diseño proporciona aceleradores de acceso a funcionalidad del sistema (como atajos de teclado) y si se puede hacer una configuración, a nivel de usuario, del contenido y la funcionalidad. La octava sección tiene por nombre *estética y minimalismo del diseño*, y verifica si el diseño y contenido visual se enfocan en los aspectos esenciales de la funcionalidad y si existen elementos distractores innecesarios. La novena sección del documento se llama *ayuda para que el usuario reconozca, diagnostique y se recupere de errores*, y ayuda a evaluar si el diseño provee mensajes de error tradicionales y, en caso de que estos ocurran, ofrece una forma de resolverlos inmediatamente. Finalmente, en la décima sección, llamada *ayuda y documentación*, se evalúa si la ayuda es fácil de localizar y si el sistema proporciona un contexto de uso en el momento en que se requiere.

Por otra parte, en lo relativo al experimento controlado, se tomó en cuenta que cuando se lleva a cabo un estudio de usabilidad es posible medir si un sistema apoya la realización de tareas. Lo anterior se logra definiendo tareas típicas del dominio de aplicación y analizando tres mecanismos de usabilidad [26]: 1) *eficiencia*, es decir, tiempo de realización de tareas, recursos consumidos, o número de errores cometidos en su realización; 2) *efectividad*, lo cual se refiere a medir el porcentaje de tareas realizadas exitosamente; así como 3) *satisfacción*, lo cual se relaciona con opiniones y sentimientos del usuario acerca de su familiaridad con el sistema. Utilizando el último de los mecanismos es posible entender la forma en que los usuarios perciben un sistema y determinar así su facilidad de uso, confianza, o frustración, las cuales son características percibidas críticas para la adopción de tecnología. Existen varios instrumentos para medir la usabilidad del sistema a través de la satisfacción del usuario, tales como SUS, CSUQ, y UMUX-Lite [27]. Como se describe en una sección previa, el instrumento utilizado en el presente estudio para la evaluación de la usabilidad es la Escala de usabilidad de sistema [20], por sus siglas en inglés, SUS. La SUS ha sido ampliamente utilizada como un instrumento confiable para evaluar la usabilidad percibida en sistemas, productos o incluso servicios [28]. Esa escala se ajusta a estándares internacionales, como los propuestos por la ISO [29].

En la Tabla 1 se observa que la SUS se compone de 10 reactivos, redactados en forma de afirmaciones. Estos fueron traducidos y validados al español por los autores. Quienes responden la SUS, estiman sus respuestas en una escala Likert con valores que van desde 1 (extremadamente en desacuerdo) hasta 5 (extremadamente de acuerdo). Los datos de valoración de estas afirmaciones se presentan como puntuaciones normalizadas de 0 a 100, asignadas por los evaluadores a cada una. Como se determina en [20], para hacer esa normalización se realizan los cuatro pasos siguientes en cada caso: 1) a cada una de las puntuaciones de las afirmaciones impares (*R1, R3, R5, R7, R9*) se le resta uno; luego 2) se resta de 5 cada una de las puntuaciones dadas a las afirmaciones pares (*R2, R4, R6, R8, R10*); posteriormente 3) se suman los valores ajustados en los pasos 1 y 2; finalmente 4) se multiplica por 2.5 la suma obtenida en el paso 3, lo cual genera un valor que puede ir desde 0 hasta 100, y se identifica como un puntaje del caso correspondiente. Se realiza el procedimiento anterior para cada una de las ponderaciones de quienes responden el instrumento.



Tabla 1. La escala de usabilidad de sistema. Adaptada de [20].

Id	Enunciado
R1	Pienso que me gustaría usar este sistema con frecuencia.
R2	Considero que el sistema es innecesariamente complejo.
R3	Pienso que el sistema fue fácil de usar.
R4	Pienso que podría necesitar apoyo de un técnico de soporte para usar el sistema.
R5	Encontré que varias funciones del sistema estaban bien integradas.
R6	Pensé que había muchas inconsistencias en el sistema.
R7	Imagino que la mayoría de la gente podría aprender a usar este sistema muy rápidamente.
R8	Encontré el sistema muy engorroso de usar.
R9	Me sentí muy confiado al usar este sistema.
R10	Necesité aprender muchas cosas antes de poder empezar a usar este sistema.

El proceso de normalización descrito previamente tiene como finalidad que los valores obtenidos mediante la aplicación de la SUS permitan estimar la usabilidad percibida como un único constructo latente [20]. Como los reactivos tienen sentencias en sentido positivo y negativo, primero es necesario alinear la direccionalidad (valores altos indican una mejor usabilidad) y recentrar la escala (transformar la escala Likert original de 1-5 a 0-4). Posteriormente, se escala de 0 a 100 para proporcionar interpretabilidad y comparabilidad.



3. Resultados

En la presente sección se describen los resultados de la evaluación de la propuesta. En general, la valoración del prototipo de alta fidelidad arrojó resultados satisfactorios, en el sentido de que este se percibió tanto por los expertos como por los usuarios potenciales como fácil y satisfactorio de usar para realizar las tareas planeadas.

El desarrollo del artefacto principal para evaluar la presente propuesta se llevó a cabo en dos iteraciones. En la primera se inició la investigación de usuario, lo que permitió definir cuatro requisitos funcionales. Estos fueron analizados en una primera instancia por los autores, tomando como referencia el instrumento del Nielsen-Norman Group [18] y la escala de usabilidad de sistema [20], lo que permitió emparejar los requisitos funcionales con los elementos de usabilidad. Tomados como insumos de diseño, esos productos permitieron desarrollar un prototipo de alta fidelidad que, en una primera instancia, fue evaluado por expertos. Con tal evaluación concluyó la primera iteración del ciclo de desarrollo.

Al inicio de la segunda iteración se analizaron los requisitos del sistema a la luz de los resultados de la evaluación heurística. Considerando lo anterior, se actualizaron algunos elementos de interacción del prototipo de alta fidelidad para su posterior evaluación por usuarios potenciales. La evaluación de la segunda iteración permitió elaborar el análisis que se describe en los párrafos siguientes.

Como se indica líneas arriba, la unidad de análisis de la evaluación cualitativa fue la de personas expertas en diseño de interacción. En esa evaluación participaron dos expertos. Los resultados que muestra la tabla 2 constituyen una conclusión consensuada por ambos expertos sobre las diez heurísticas propuestas por el Nielsen-Norman Group [18]. En esa tabla se observa que, según esta unidad de análisis, el prototipo de alta fidelidad cumplió con seis de las 10 heurísticas.

De las cuatro que no se cumplieron, tres se consideraron de severidad moderada (problemas vinculados a mensajes de error de sistema, no de la aplicación, y a navegación secundaria) y una, como severa (problemas relacionados con inconsistencias de interacción). En todas las heurísticas evaluadas, los expertos hicieron recomendaciones.

La evaluación realizada por esta unidad de análisis no sustituye el punto de vista de la evaluación empírica, propia de los usuarios potenciales, por lo que, en la segunda iteración del diseño centrado en el usuario, se tomaron en cuenta las recomendaciones de las heurísticas dos y cinco y se actualizó la interfaz de usuario del prototipo. Esa versión actualizada fue la que sirvió como artefacto de evaluación, y unidad de análisis, en la segunda iteración.



Tabla 2. Resumen de los resultados de la evaluación. Fuente: Elaboración propia.

Id	Heurística¹	Cumple²	Severidad³	Recomendación de expertos
1	Visibilidad del sistema	Sí	NA	Incluir notificación sensorial
2	Correspondencia entre el sistema y el mundo real	No	M	Etiquetar botones con frases completas
3	Control y libertad del usuario	Sí	NA	Posibilidad de conectar nuevos dispositivos
4	Consistencia y estándares	Sí	NA	Incluir descripción auditiva de botones
5	Prevención de errores	No	M	Deshabilitar botones en tanto no haya interconexión
6	Verificar antes que recordar	Sí	NA	Dar breve contexto al ingresar a una determinada sección de la GUI
7	Flexibilidad y eficiencia de uso	Sí	NA	Explorar otras estrategias de interacción
8	Estética y minimalismo del diseño	Sí	NA	Diseñar un esquema de alto contraste en la GUI
9	Ayuda para que el usuario reconozca, diagnostique y se recupere de errores	No	M	Incluir mensajes sobre el estado de intentos de recuperación de errores
10	Ayuda y documentación	No	S	Diseñar un esquema de ayuda a usuarios

¹Las 10 heurísticas propuestas por Nielsen [30].

²La etiqueta *Sí* indica que, en opinión de los expertos evaluadores, sí se cumple la heurística, la etiqueta *No* indica lo contrario.

³Severidad del problema: C=crítico; S=severo; M=moderado, NA=no aplica

En la evaluación cuantitativa, mediante el experimento controlado, participaron siete personas. Como se observa en la tabla 3, cinco de ellas mujeres (M) y dos hombres (H), la edad promedio informada es de 42 años (min 23, máx 54). En la misma tabla se observa que el 86% de los participantes tiene ceguera total y el 14% restante, una baja visión.



Tabla 3. Características de las y los participantes. Fuente: Elaboración propia.

Id	Sexo	Edad	Tipo de Ceguera
A	M	51	Total
B	M	47	Total
C	H	46	Total
D	M	23	Total
E	M	54	Total
F	H	48	Total
G	M	24	Baja visión

Al momento de la evaluación empírica, el prototipo cumplía el 100% de los requisitos funcionales planteados por el INCODIS. La tabla 4 presenta los resultados de la aplicación de la SUS [20]. Como se describe en la sección previa, el instrumento consta de 10 reactivos (ver tabla 1). Las letras de la A a la G en la columna *Id* de la tabla 4 identifican a cada participante en la evaluación. Los valores mostrados en las columnas de *R1* a *R10* representan la valoración que realizaron los participantes para cada una de las 10 afirmaciones que incluye la SUS. Estas respuestas se evalúan en una escala Likert de 1 a 5, donde 1 representa “*Completamente en desacuerdo*” y 5 “*Completamente de acuerdo*”. Así, por ejemplo, para el sujeto *B*, se tiene que la valoración del reactivo 1 (*R1- Pienso que me gustaría usar este sistema con frecuencia*) es completamente de acuerdo, mientras que para el reactivo 2 (*R2- Considero que el sistema es innecesariamente complejo*) es completamente en desacuerdo. La columna *Puntaje* presenta la ponderación de las valoraciones de cada participante en las 10 afirmaciones de la SUS. El *Promedio*, que aparece en el último renglón de la tabla 4, expresa la percepción de usabilidad general de la aplicación desarrollada, que para el caso de esta evaluación es 97.5 (SD = 0).

Tabla 4. Medidas de la SUS asignadas por las/los participantes. Fuente: Elaboración propia.

Id	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	Puntaje
A	5	1	5	1	4	1	5	1	5	1	97.5
B	5	1	5	1	4	1	5	1	5	1	97.5
C	5	1	5	1	4	1	5	1	5	1	97.5
D	5	1	5	1	4	1	5	1	5	1	97.5
E	5	1	5	1	4	1	5	1	5	1	97.5
F	5	1	5	1	4	1	5	1	5	1	97.5
G	5	1	5	1	4	1	5	1	5	1	97.5
Promedio											97.5

En la tabla 4 se observa una percepción de usabilidad homogénea de 97.5, descrita por las y los participantes. Al tratarse de una escala ordinal, en varios estudios se ha discutido la interpretación de los resultados de la aplicación de la SUS. De acuerdo con Bangor y colegas [31], puntajes de la SUS por encima de 85 caracterizan un sistema como “excelente” o “altamente usable”. De esta forma, los resultados obtenidos indican de manera consistente que la aplicación propuesta presenta una alta percepción de usabilidad global. En la misma tabla se aprecia que el reactivo 5 (*Encontré que varias funciones del sistema estaban bien integradas*) es el único, entre los redactados en un sentido positivo, que no alcanzó la puntuación máxima.



En síntesis, los resultados de la evaluación heurística pueden agruparse de tres formas. Primero, en cuanto a la visibilidad del sistema -heurísticas 1, 8 y 9 de la tabla 2-, los expertos observaron un 67% de compleción exitosa de las mismas. En segundo lugar, en lo relativo a la consistencia y al modelo conceptual —heurísticas 2, 4, 6 y 7 descritas en la tabla 2—, los expertos identificaron que el 25% de ellas presentan una violación de usabilidad. En una tercera instancia, en lo relativo al control, restricciones y prevención de errores -heurísticas 3, 5, y 10 mostradas en la tabla 2-, los expertos determinaron un 33% de compleción exitosa de las heurísticas en el prototipo de alta fidelidad.

Por otra parte, en resumen, los resultados de la evaluación empírica mediante la SUS demuestran que para los ítems de usabilidad y facilidad de uso (R1, R2, R3, R5, R6, R7, y R8 en la tabla 4), concernientes a la complejidad percibida, integración de funciones, facilidad de aprendizaje y confianza de uso de la aplicación, muestran niveles de evaluación elevada; al igual que ocurre en lo relativo a la *aprendibilidad* (facilidad con que el usuario aprende a usar la aplicación) del sistema (R4 y R10 en la tabla 4).

4. Discusión

Los resultados del presente estudio pueden resumirse en que los participantes, tanto de la evaluación cualitativa como de la cuantitativa, percibieron altos niveles de usabilidad global de la solución tecnológica al problema planteado, lo cual se respalda por el contexto descrito en la literatura. Por una parte, en la evaluación cualitativa se utilizó un instrumento que incorpora heurísticas exitosamente aplicadas a la evaluación de la usabilidad de aplicaciones destinadas a personas con problemas de visión [9, 11]. Como puede verificarse en la tabla 2, en la evaluación realizada en este trabajo se encontraron violaciones en cuatro de las 10 heurísticas propuestas por Nielsen [30]. De acuerdo con lo reportado en [32], el 40% de las heurísticas no evaluadas satisfactoriamente en el presente estudio es menor que el observado en los resultados de evaluación heurística de una gran cantidad de aplicaciones desarrolladas en el área de la salud. Por otra parte, en la evaluación realizada en el experimento controlado se obtuvo una usabilidad global percibida de 97.5 (ver tabla 4). Como se indica en líneas anteriores, en los estudios que usan la SUS, valores de este indicador por encima de 85 caracterizan una aplicación como "excelente" o "altamente usable" [31]. Así, la evaluación de la propuesta por parte de usuarios potenciales arroja resultados alentadores, que superan a propuestas similares reportadas en trabajos previos [33, 34] y coinciden con otras [35].

De los resultados obtenidos pueden esbozarse algunas implicaciones. A pesar de los resultados positivos obtenidos en la evaluación heurística, la cantidad de dos expertos participantes resulta cuestionable. No obstante, la literatura reporta que dos participantes expertos identifican una cantidad significativa de aspectos a mejorar en una interfaz de usuario cuando se realiza una evaluación heurística [36, 37]. Aun así, en el contexto del enfoque mixto de la presente investigación, el papel de la evaluación heurística consistió en asegurar que los requerimientos identificados en las reuniones con usuarios potenciales se atendieran en el prototipo funcional. Desde la perspectiva anterior, la cantidad de evaluadores parece adecuada. Sin embargo, en estudios que analicen la usabilidad basados puramente en una evaluación heurística, sería conveniente incluir a más evaluadores expertos, como se recomienda en otros estudios sobre tecnología asistencial para personas con discapacidad visual [34]. Por otra parte, los resultados de la evaluación cuantitativa mediante la SUS reflejan una variabilidad nula ($SD = 0$). Aunque esto puede



interpretarse, en una primera instancia, como un consenso absoluto de los participantes, también podría deberse a una respuesta no discriminativa de estos o a que el contexto del experimento resultó muy controlado. Otra explicación podría vincularse con el hecho de que los participantes estaban validando los requisitos que ellos mismos plantearon en su momento, los cuales los expertos en la evaluación heurística habían aprobado previamente. Aun con lo expuesto anteriormente, estudiar este hecho con mayor profundidad escapa al objetivo del presente estudio, por lo que sería de interés analizarlo en un trabajo posterior. Siguiendo con la evaluación cuantitativa, en la tabla 4 se observa que el único reactivo de la SUS que no obtuvo la puntuación máxima fue el R5 (*Encontré que varias funciones del sistema estaban bien integradas*). Lo anterior delinea un área que podría explorarse en trabajos futuros, pues la integración de funcionalidad en una interfaz gráfica de usuario implica que las tareas automatizadas se presenten y organicen en consonancia con ese usuario.

Por otra parte, el uso de la SUS merece algunas consideraciones adicionales. Debido a que las percepciones informadas por los participantes podrían diferir del comportamiento real ante un sistema, los estudios de usabilidad autoinformados han recibido algunas críticas [38]. Asimismo, cuando se usa la SUS, la fraseología que alterna sentencias en sentido positivo y negativo puede generar confusión. Futuros estudios podrían beneficiarse del desarrollo de estrategias de evaluación que, por una parte, consideren el uso de otras escalas de evaluación y, por otra, se integren con medidas objetivas, como el tiempo de realización de tareas o el número de errores en su ejecución.

Asimismo, en la misma tabla puede observarse que, entre las heurísticas no satisfechas, el 50% se refiere a la prestación de ayuda. Este resultado apunta a un trabajo futuro en el área de ayuda contextual en aplicaciones para dispositivos móviles dirigidas a personas con ceguera.

Además de lo anterior, se debe recalcar que, en la actualidad, el uso de comandos por voz resulta de gran ayuda para personas ciegas; existen diversas aplicaciones basadas en tecnología que lo promueven [3]. En la presente propuesta se usan comandos asistidos por voz, mediante la tecnología Talkback [7], donde la interacción principal con la aplicación, dada por la indicación de comandos, es aptica. Esta decisión se debe a aspectos de accesibilidad descritos en los requisitos funcionales. Como se explica en la sección 2.3.1, dos módulos de la arquitectura de la solución propuesta se basan en el microcontrolador ESP32-C3.

Lo anterior permite que la aplicación funcione en el dispositivo móvil aun cuando no se disponga de conexión a internet. Lo descrito previamente fue uno de los requisitos planteados por los usuarios potenciales, y aunque obedece a un contexto específico (personas adscritas al INCODIS), los autores consideran que puede ser una buena decisión de diseño, pues en América existe inequidad en el ingreso per cápita, lo que limita las oportunidades de bienestar a quienes se encuentran en los sectores sociales más desfavorecidos económicamente [39]. Una situación como la anterior restringe el acceso a servicios tecnológicos y de salud que mejoren la calidad de vida. Así, una aplicación basada en una arquitectura como la propuesta podría accederse con dispositivos tecnológicos que no sean de alta gama y que no requieran el pago por conexión a internet.



5. Conclusión

A partir de la evaluación del presente trabajo, se observa que combinar estrategias mixtas en la valoración de la tecnología asistencial puede ajustar con mayor precisión las prestaciones del sistema a los requisitos funcionales del usuario. En futuros trabajos, basarse en esta estrategia podría favorecer el desarrollo de otras ofertas de tecnología asistencial, con mayores probabilidades de ser aceptadas. Asimismo, aunque la percepción de usabilidad es una medida consolidada para evaluar el grado de aceptación de una tecnología, el uso de medidas objetivas, como el tiempo de realización de tareas o el número de errores, podría enriquecer la evaluación de nuevas propuestas de base tecnológica.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo sugieren también, por una parte, que la tecnología asistencial para personas ciegas, enfocada en el control de electrodomésticos, tiene un alto grado de aceptación entre expertos en el diseño de sistemas interactivos y, por otra, entre sus usuarios potenciales. Asimismo, esos resultados coinciden en la necesidad de explorar líneas de investigación orientadas a estrategias de prevención de errores y a la retroalimentación sobre el estado de los sistemas interactivos para usuarios con discapacidad visual.

Finalmente, es importante resaltar que, en el contexto del presente trabajo, las personas con discapacidad visual perciben las aplicaciones móviles con retroalimentación aptica y auditiva con un alto grado de usabilidad para facilitar el desempeño de sus actividades cotidianas. Con los resultados aquí expuestos, se perciben beneficios potenciales para mejorar su calidad de vida.

6. Agradecimientos de autoría

Dantar Alejandro Ortiz Vega: Recursos; Ideas; Metodología; Investigación; Borrador original; Revisión y edición. *Antonio Fernando Fernández Cruz*: Conceptualización; Recursos; Ideas; Metodología; Investigación; Borrador original. *Juan Antonio Díaz Hernández*: Ideas; Investigación. *Elías Humberto Valencia Valencia*: Ideas; Investigación. *Pablo Armando Alcaraz Valencia*: Ideas; Metodología; Análisis formal; Investigación; Revisión y edición. *Víctor H. Castillo*: Conceptualización; Ideas; Metodología; Análisis formal; Investigación; Análisis de datos; Escritura; Revisión y edición; Administración de proyecto.

Referencias

- [1] WHO, «Blindness and vision impairment,» Jul 2025. [En línea]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. [Último acceso: Aug 2025].
- [2] INEGI, «Estadísticas a propósito del día internacional de las personas con discapacidad,» Nov 2023. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2024/EAP_PCD24.pdf#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20ENADID%202023%2C%20en,de%20personas%20de%205%20a%20C3%B1os%20y%20m%C3%A1s.&text=Seg%C3%BAn%20sexo%2C%2043.3%20%25%20de%20las%20mujeres,ver%2C%20 [Último acceso: Jul 2025].



- [3] AFB, «Blindness and Low Vision. American Foundation for the Blind,» Jul 2025. [En línea]. Available: <https://afb.org/>. [Último acceso: Jul 2025].
- [4] O. Lahav, «Virtual Reality Systems as an Orientation Aid for People Who Are Blind to Acquire New Spatial Information,» *Sensors*, pp. 22, 1307, 2022. doi: 10.3390/s22041307.
- [5] S. Real y A. Araujo, «Network QoS Impact on Spatial Perception through Sensory Substitution in Navigation Systems for Blind and Visually Impaired People,» *Sensors*, pp. 23, 3219, 2023. doi: 10.3390/s23063219.
- [6] J. Kilian, A. Neugebauer, L. Scherffig y S. Wahl, «The Unfolding Space Glove: A Wearable Spatio-Visual to Haptic Sensory Substitution Device for Blind People,» *Sensors*, pp. 22, 1859, 2022. doi: 10.3390/s22051859.
- [7] F. Machado, M. Loureiro y R. C. Mell, «A novel mixed reality assistive system to aid the visually and mobility impaired using a multimodal feedback system,» *Displays*, vol. 79, 2023. doi: 10.1016/j.displa.2023.102480.
- [8] R. Babu, «Can Blind People Use Social Media Effectively? A Qualitative Field Study of Facebook Usability,» *American Journal of Information Systems*, vol. 2, n° 2, pp. 33-41, 2014. doi: 10.12691/ajis-2-2-2.
- [9] A. Ashraf y A. Raza, «Heuristic Evaluation of Social Websites: For Blind People,» *International Journal of Computer and Communication Engineering*, vol. 2, n° 6, p. 711–714, 2013. doi: 10.7763/IJCCE.2013.V2.280
- [10] W. Reuschel, M. McDonnall y D. Burton, «The Accessibility and Usability of Online Job Applications for Screen Reader Users,» *J Vis Impair Blind.*, pp. 117(6):479-490, 2023. doi: 10.1177/0145482x231216757.
- [11] D. A. Mateus, M. R. De Almeida Souza y A. Pimen, «Accessibility of Mobile Apps for Visually Impaired Users: Problems Encountered by User Evaluation, Inspections and Automated Tools,» de *XXII Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, Maceió, Brazil, 2023. doi: 10.1145/3638067.36381
- [12] D. Ahmetovic, C. Bernareggi y S. Mascetti, «ZebraLocalizer: identification and localization of pedestrian crossings,» de *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Stockholm, Sweden, 2011. doi: 10.1145/2037373.20374
- [13] F. Adnan, J. A. Putra, M. D. Agustini, E. Oktaviana y N. A. Robi'atul Adawiyah, «Exploring the usability of platforms for individuals with visual impairments: a systematic literature review,» *Front. Comput. Sci.*, p. 7:1601621, 2025. doi: 10.3389/fcomp.2025.1601621.
- [14] M. Al-Razgan, S. Almoaiqel, N. Alrajhi, A. Alhumejani, A. Alshehri, B. Alnefaie, R. Alkhamiss y S. Rushdi, «A systematic literature review on the usability of mobile applications for visually impaired users,» *PeerJ Comput Sci.*, pp. 7:e771, 2021. doi: 10.7717/peerj-cs.771.
- [15] L. M. Turkstra, T. Bhatia, A. Van Os y M. Beyel, «Assistive technology use in domestic activities by people who are blind,» *Sci Rep*, vol. 15, n° 1, pp. 7486, 2025. doi: 10.1038/s41598-025-91755-w.
- [16] ISO, *ISO 9241-210:2019. Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems*, International Organization for Standardization, 2019.



- [17] J. M. Ferreira, F. D. Rodríguez, A. Santos, O. Dieste, S. T. Acuña y N. Juristo, «Impact of Usability Mechanisms: A Family of Experiments on Efficiency, Effectiveness and User Satisfaction,» *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 49, nº 1, pp. 251-267, 2023. doi: 10.1109/TSE.2022.3149586
- [18] K. Moran y K. Gordon, «How to Conduct a Heuristic Evaluation,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>. [Último acceso: 30 Apr. 2025].
- [19] A. Bangor, P. Kortum y J. Miller, «An empirical evaluation of the System Usability Scale.,» *Int. J. Human-Computer Interaction*, vol. 24, nº 6, pp. 574–594, 2008. doi: 10.1080/10447310802205776.
- [20] J. Brooke, «SUS: A quick and dirty usability scale,» de *Usability Evaluation in Industry*, London, U.K., Taylor & Francis, 1996, p. 189–194.
- [21] Google, «Accesibilidad de Android. Cómo activar TalkBack,» 2006. [En línea]. Available: <https://support.google.com/accessibility/android/answer/6007100?hl=es-419#:~:text=TalkBack%20es%20una%20funci%C3%B3n%20de,t%C3%A1ctiles%20y%20comentarios%20por%20voz.> [Último acceso: 30 4 2025].
- [22] M. Jones y G. Marsden, *Mobile interaction design*, West Sussex, UK: Wiley, 2006.
- [23] J. W. Creswell y C. N. Poth, *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*, 4th ed., Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2018.
- [24] Flutter, «Build for any screen,» 2025. [En línea]. Available: <https://flutter.dev/>. [Último acceso: 1 5 2025].
- [25] Bluetooth®, «The Bluetooth® Low Energy Primer,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2022/05/the-bluetooth-le-primer-v1.2.0.pdf>. [Último acceso: 1 5 2025].
- [26] ISO, *ISO 9241-11:2018(en) Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts*, Geneva: ISO, 2018.
- [27] J. R. Lewis, «Measuring Perceived Usability: SUS, UMUX, and CSUQ Ratings for Four Everyday Products,» *International Journal of Human-Computer Interaction*, p. 1404–1419, vol. 35, nº 15, p. 1404–1419, 2018. doi: 10.1080/10447318.2018.1533152.
- [28] M. Hyzy, R. Bond, M. Mulvenna, L. Bai, A. Dix, S. Leigh y S. Hunt, «System Usability Scale Benchmarking for Digital Health Apps: Meta-analysis,» *JMIR Mhealth Uhealth*, vol. 10, nº 8, p. e37290, 2022. doi: 10.2196/37290.
- [29] K. Sagar y A. Saha, «A systematic review of software usability studies,» *Int. j. inf. tecnol.*, Vols. 1 de 2, 2017. doi: 10.1007/s41870-017-0048-1.
- [30] J. Nielsen, «How to Conduct a Heuristic Evaluation,» de *Usability inspection methods, 1st ed.*, NY, USA, New York: John Wiley & Sons inc., 1994, p. 25–62..
- [31] A. Bangor, P. T. Kortum y J. T. Miller, «An empirical evaluation of the System Usability Scale,» *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>, p. 574–594, 2008.
- [32] L. Harrington, C. Parker, K. Ulanday y C. Harri, «Heuristic Evaluation of a Top-Rated Diabetes Self-Management App,» *Appl Clin Inform*, vol. 12, nº 5, pp. 1014–1020, 2021. doi: 10.1055/S-0041-1736628.



- [33] H. Angeles Gonzalez, F. Elizalde Canales y R. Olivares Ordenes, «Accesibilidad de aplicaciones móviles para personas con discapacidad visual,» *Paakat: Revista de tecnología y Sociedad*, vol. 15, nº 29, p. doi: 10.32870/Pk.a15n29.919, 2025.
- [34] T. Álvarez-Robles, Y. A. Orozco Osuna y F. J. Álvarez Rodríguez, «Evaluación UX para sitios web orientados a bibliotecas digitales con usuarios ciegos,» *Investigación bibliotecológica*, vol. 35, nº 89, p. eib0895845109, 2021. doi: 10.22201/iibi.24488321xe.2021.89.58451.
- [35] A. Shera, M. W. Iqbal, S. K. Shahzad, M. Gul, N. A. Mian, M. R. Naqvi y B. A. Khan, «Blind and Visually Impaired User Interface to Solve Accessibility Problems,» *Intelligent Automation & Soft Computing*, vol. 30, nº 1, pp. 285-301, 2021. doi: 10.32604/iasc.2021.018009.
- [36] M. Georgsson, C. R. Weir y N. Staggers, «Revisiting heuristic evaluation methods to improve the reliability of findings,» *Stud Health Technol Inform.*, vol. 205, p. 930–934, 2014. PMID: 25160324.
- [37] R. Yáñez Gómez, «Tesis doctoral inédita "Evaluación heurística de la usabilidad en contextos específicos",» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2019.
- [38] J. Dang, K. M. King y M. Inzlicht, «Why Are Self-Report and Behavioral Measures Weakly Correlated?,» *Trends Cogn Sci.*, vol. 24, nº 4, pp. 267-269, 2020. doi: 10.1016/j.tics.2020.01.007.
- [39] WBG, «Poverty and Inequality,» The World Bank, NW Washington, 2025. [En línea]. Available: <https://pip.worldbank.org/>. [Último acceso: 4 4 2026].

Derechos de Autor (c) 2026 Dantar Alejandro Ortiz Vega, Antonio Fernando Fernández Cruz, Pablo Armando Alcaraz Valencia, Juan Antonio Díaz Hernández, Elías Humberto Valencia Valencia, Víctor H. Castillo



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)