

# Navegación autónoma para personas con discapacidad visual en espacios museográficos, basada en aplicación móvil\*

## Resumen

La generación de estrategias de comunicación que permitan acercar al público con discapacidad visual a los museos se ha convertido en un desafío importante para la museología. Como respuesta a esta necesidad se diseñó, prototipó y evaluó un sistema de navegación para ambientes internos que permite a las personas con discapacidad visual acceder a exposiciones en el Museo de Ciencias Naturales de La Salle del Instituto Tecnológico Metropolitano (Medellín, Colombia). El procedimiento utilizado se presenta como una metodología con dos etapas. La primera consistió en el diseño y desarrollo del prototipo del sistema de navegación y la segunda consistió en la evaluación del sistema. El diseño del sistema fue el resultado de la adaptación de metodologías contemporáneas de innovación tales como el *Design Thinking* y el *Creative Problem Solving* (CPS), aplicadas al diseño de productos tecnológicos. Se desarrolló un prototipo funcional que incluía una aplicación iOS para teléfonos inteligentes, guías podotáctiles, auriculares de conducción ósea, detectores de obstáculos e identificadores de códigos QR. Durante la etapa de evaluación se llevaron a cabo experimentos en una de las salas del museo con 27 personas, quienes presentaban discapacidad visual. Los resultados indicaron que el sistema desarrollado es eficaz como herramienta de navegación y que proporciona información acerca de los especímenes en una exposición, lo que permite concluir que esta experiencia es replicable en otros entornos museográficos y en otros museos.

\* Todas las personas que figuran con autoría en el presente artículo hicieron contribuciones sustanciales a la investigación de la cual deriva; participaron en la redacción del documento publicado y, finalmente, en atención a las normas editoriales de la revista entregaron sustento escrito de dicha participación.

Danny Zurc

Museo de Ciencias Naturales de La Salle,  
Instituto Tecnológico Metropolitano  
Medellín, Colombia  
dannyzurc@gmail.com  
orcid.org/0000-0001-8628-9906

Mauricio Arias-Correa

Docente Instituto Tecnológico  
Metropolitano  
Medellín, Colombia  
mauricioarias@itm.edu.co  
orcid.org/0000-0003-0619-235X

Jakeline Serrano-García

Docente Instituto Tecnológico  
Metropolitano  
Medellín, Colombia  
jakelineserrano@itm.edu.co  
orcid.org/0000-0003-6069-6077

Edison Valencia-Díaz

Docente Corporación Universitaria  
Remington  
Medellín, Colombia  
edison.valencia@uniremington.edu.co  
orcid.org/0000-0001-6086-0131

Andrés Esteban Taborda  
Hernández

Docente Universidad de Antioquia  
Medellín, Colombia  
andresteban32@yahoo.es  
orcid.org/0000-0002-8430-2318

Johan Andrey Rodríguez  
Rodríguez

Docente Universidad de Antioquia  
Medellín, Colombia  
johan.an.rodriguez.r@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-9175-139X

Recibido: Noviembre 16 de 2017

Aprobado: Agosto 17 de 2018

Palabras clave:

Museo, diseño inclusivo, personas con discapacidad visual, tecnologías asistenciales, aplicaciones móviles.



# Autonomous Navigation for Visually Impaired People in Museographic Spaces, Based on Mobile Application

## Abstract

The generation of communication strategies that allow bringing the visually impaired public closer to museums has become an important challenge for museology. As a response to this need, a navigation system for inner environments was designed, prototyped and evaluated, which allows visually impaired people to access exhibitions at the La Salle Museum of Natural Sciences of the Instituto Tecnológico Metropolitano (Medellín, Colombia). The procedure used in this work is presented as a methodology with two stages. The first stage consisted of the design and development of the prototype of the navigation system, and the second stage was the evaluation of the system. The design of the system was the result of the adaptation of contemporary methodologies of innovation such as Design Thinking and Creative Problem Solving (CPS) applied to the design of technological products. A functional prototype which included an iOS app for smartphone, podotactile guides, bone conduction headphones, obstacle detectors and QR code identifiers, was developed. During the evaluation stage, experiments were conducted in one of the museum rooms with 27 people with visual disabilities. The results indicated that the developed system is effective as a navigational tool that provides information about the specimens of an exhibition, which allows concluding that this experience is replicable in other museographic environments and in other museums.

Key words:  
Museum, inclusive design,  
visually impaired people,  
indoor navigation systems,  
assistive technologies, mobile  
applications.

## Introducción

De acuerdo con Buyurgan (2009) los museos son instituciones de gran importancia a nivel educativo dado que es el lugar donde tanto los estados como los cambios de la historia, la cultura, la ciencia y la naturaleza pueden ser contados y explicados a partir de los patrimonios que allí se encuentran. El Consejo Internacional de Museos (ICOM) hace una declaración por medio del principio 4 del Código de Deontología para los Museos, según la cual los museos como centros científicos y culturales tienen la tarea de atraer a un público cada vez más amplio; pero la baja accesibilidad que ofrecen a los usuarios discapacitados (en especial, a las personas con discapacidad visual) ha dificultado esta tarea. De acuerdo a los datos del Ministerio de Salud y Protección Social para 2015 en Antioquia se registraron 41943 personas con discapacidad visual, quienes se convierten en público objetivo para desarrollos que los incluyan como usuarios activos de los museos. En este punto es importante aclarar que las personas con discapacidad visual presentan afectación en la percepción de imágenes en forma total o parcial, por lo que pueden ser ciegos o tener baja visión. Las personas ciegas carecen del sentido de la vista, mientras que las personas que poseen un resto visual que no se puede corregir —ya sea por operación o con lentes— son llamadas personas con baja visión.

La accesibilidad a los museos se define en Jiménez, Seibel y Soler (2012) como la cualidad que describe el grado en que cualquier individuo es capaz de acceder tanto al espacio físico como a los contenidos a partir del uso de recursos adaptables a diferentes tipos de visitantes. Para el caso colombiano, diversos museos han implementado diferentes estrategias para que el visitante discapacitado acceda a los contenidos; sin embargo estas estrategias han tenido mayor énfasis en el acceso de personas con discapacidad motriz tal como se puede apreciar en el Museo del Oro, Museo de Antioquia y Museo Nacional

de Colombia, los cuales cuentan con una infraestructura idónea para atender a esta clase de personas. Algunos proyectos expositivos han sido realizados para atender específicamente al público con discapacidad visual. Ejemplo de ello fue la exposición “Sentir para ver”, presentada entre 2008 y 2009 por el Museo Nacional de Colombia y el Museo Universitario Universidad de Antioquia con apoyo del Museo Louvre de París. Esta exposición convocaba las experiencias de conocer formas, estructuras, texturas y tamaños a través de los sentidos como nueva estrategia incluyente y participativa orientada a potenciales usuarios con discapacidad visual (Perdomo, 2009).

El Museo de Ciencias Naturales de La Salle, un proyecto cultural del Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín (ITM), se ha convertido en un eje de producción y apropiación del conocimiento por medio de la exposición de sus colecciones. El museo ha identificado la necesidad de adaptar su espacio para que sea realmente inclusivo para atender públicos con discapacidad visual; de manera que estas personas puedan acceder a las colecciones con mayor autonomía y que puedan disfrutar, deleitarse, conocer y aprender a su ritmo y albedrío acerca de los especímenes expuestos.

Se han presentado estudios con respecto al conocimiento y expectativas que las personas con discapacidad visual tienen de los museos para que las experiencias de las visitas sean realmente significativas tales como el acceso a copias de las obras a escala, formas en relieve de los dibujos, explicaciones en braille, acompañamiento del personal del museo a través de los recorridos y (en particular para quienes sufren de baja visión) espacios amplios, iluminados, con contraste de color e impresión con texto de tamaño grande (Buyurgan, 2009; Handa, Dairoku and Toriyama, 2010). También se han presentado propuestas basadas en tecnología como las guías multimedia que sirven de soporte a las personas ciegas mientras visitan una exhibición (Bellotti et al., 2006).

Varias soluciones de movilidad autónoma en interiores y exteriores para personas con discapacidad visual, apoyados por diversas tecnologías, se han presentado en la literatura. En el texto se puede apreciar una revisión extensa de literatura al respecto. No obstante, no se han encontrado desarrollos específicos para el desplazamiento autónomo de personas con discapacidad visual en entornos museográficos utilizando aplicaciones para *Smartphone*.

En relación con el requerimiento explícito del Museo de Ciencias Naturales de La Salle, con base en las necesidades identificadas a través de entrevistas y la revisión de la literatura, se prototipó un sistema de navegación basado en una aplicación para *Smartphone* apoyada en el reconocimiento de códigos QR y complementada por audios descriptivos, guías podotáctiles y sistema de detección de obstáculos. El sistema es similar al presentado por Jain (2014) en cuanto al uso de marcas en interiores y la advertencia de obstáculos en la ruta; sin embargo este prototipo es mejor debido a que el dispositivo utilizado es mucho más simple y de uso común (*Smartphone*). En este sentido también hay trabajos similares (Fallah et al., 2012; Ganz et al., 2014; Basso et al., 2015), pero el software desarrollado para un *Smartphone* es más complejo dado que requiere de un costo computacional mayor y no presentan detección de obstáculos en la ruta. Un elemento diferenciador, clave para el seguimiento de rutas predefinidas en el presente trabajo, consiste en el uso de guías podotáctiles.

Este trabajo presenta entonces diferencias significativas en cuanto a su desarrollo y aplicación con respecto a otros sistemas revisados a través de la literatura, que fueron desarrollados con el objetivo de mejorar el desplazamiento en interiores de las personas con discapacidad visual.

Además se presenta la metodología de diseño y prototipado del sistema, allí se hace un énfasis importante en la revisión de literatura durante la etapa de

“aclaración del problema” previa a las etapas de diseño. Se presentan los resultados obtenidos a partir de los experimentos de navegación. Finalmente se analizan los resultados y se proponen trabajos futuros.

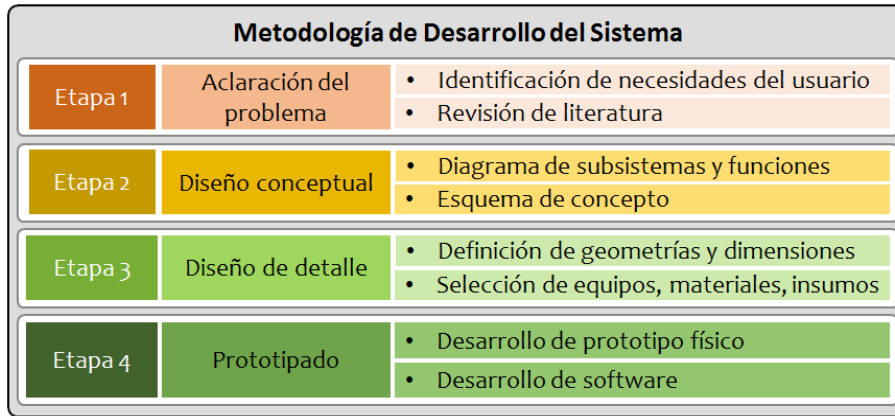
### **Desarrollo del sistema de navegación**

La innovación se puede definir como la capacidad de transformar ideas en soluciones a problemas que agreguen valor al usuario (Brown, 2009). Debido a que es necesario agregar valor a la solución que se presenta (en términos de satisfacción de una necesidad identificada por el Museo de Ciencias Naturales de La Salle) el equipo de trabajo determinó (precisamente teniendo en cuenta las fortalezas de sus integrantes) combinar la metodología de diseño de producto de Ulrich y Eppinger (2004) con el método *Creative Problem Solving* (CPS) (Parnes, 1992) enriquecido con el *Design Thinking* (Brown, 2009; Wylant, 2008; Leavy, 2010).

Esta combinación metodológica aprovecha los beneficios de una metodología comprobada de diseño de producto con las ventajas que presenta el CPS para redefinir problemas, generar ideas y llevar a la acción esas nuevas ideas. El aporte del *Design Thinking* consiste en su utilidad para la generación de ideas innovadoras.

Para aplicar la metodología propuesta se debe partir de una clara comprensión del problema a través de la información entregada por el usuario (identificación de las necesidades de personas con discapacidad visual) y de una revisión de la literatura relacionada. A esta primera etapa denominada aclaración del problema, le sigue la etapa de diseño conceptual en la que se elabora una diagramación de subsistemas y funciones desde la aclaración del problema.

Con la información acumulada se generaron varios conceptos solución que el equipo de trabajo evaluó y filtró para elegir solamente uno de ellos. La etapa siguiente consistió en diseñar los dispositivos de hardware y software que llenaban los requisitos del diseño conceptual. Por último, en la etapa del prototipado físico, se desarrollaron tanto dispositivos como piezas de software y se realizó el ensamble del sistema diseñado. Adicionalmente se realizaron pruebas de funcionamiento al sistema para ponerlo a punto, antes de evaluarlo con los usuarios finales en un entorno museográfico real.



**Figura 1.** Esquema que presenta la metodología propuesta para desarrollar el sistema, categorizada por etapas y actividades.  
Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

## **Aclaración del problema**

### *Identificación de necesidades*

Los usuarios finales del sistema a desarrollar son las personas con discapacidad visual interesadas en disfrutar de las obras expuestas al interior de los museos. Para identificar acertadamente sus necesidades se realizaron entrevistas a dos personas con ceguera total, ambos hombres, adultos, con estudios superiores, con amplia experiencia en desplazamiento tanto en interiores como en exteriores utilizando bastón. El resumen de las entrevistas realizadas se presenta en la Tabla 1. El análisis de las respuestas obtenidas permitió establecer que para las personas con discapacidad visual entrenadas en el manejo del bastón es común interactuar con guías podotáctiles (en los sectores donde se encuentran disponibles). Se identificó además que las personas con discapacidad visual dan prioridad a la comodidad, a la baja carga cognitiva, la facilidad de uso, a evitar distracciones y bloqueos de los sentidos del entorno en lo que respecta al uso de dispositivos tecnológicos de ayuda para desplazarse. Es también deseable que los dispositivos sean livianos, pequeños, seguros, con buena autonomía en sus baterías (si las tienen), que no afecten la naturalidad de los movimientos y que no generen muchas (ni diversas) señales que pudieran confundir al usuario.



**Tabla 1.** Entrevistas realizadas a los expertos con discapacidad visual.

Entrevistas a expertos		
Preguntas	Respuestas de Expertos	
	Experto 1	Experto 2
Edad	31	30
Sexo	Masculino	Masculino
Discapacidad visual	Ciego	Ciego
¿Qué ayudas utiliza para desplazarse en interiores y/o en exteriores?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bastón.</li> <li>• Bastón con sensor de obstáculos.</li> <li>• Guías en el piso y en pared si hay disponibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bastón con sensor.</li> <li>• Guías podotáctiles.</li> </ul>
¿Usa bastón para desplazarse en interiores?	Sí. Siempre.	Sí. En ocasiones también acepta ayuda de personas, si el espacio no es conocido.
¿Qué características considera usted que debería tener un dispositivo tecnológico de navegación para interiores, diferente al bastón común?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo peso.</li> <li>• Tamaño reducido.</li> <li>• Que sea seguro.</li> <li>• Baja complejidad.</li> <li>• Que no genere muchas señales, ni continuamente.</li> <li>• Que las baterías que use, duren todo un día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de usar</li> <li>• Que su uso no demande toda la atención (baja carga cognitiva).</li> <li>• Que no tape los oídos (que permita escuchar).</li> <li>• Su uso debe ser seguro.</li> <li>• El tiempo de entrenamiento debe ser mínimo.</li> </ul>
¿Qué nivel de tecnología debería tener el dispositivo para que no genere incomodidad?	Que no tenga mucha tecnología.	La que necesite para funcionar bien, pero que no afecte el desplazamiento de la persona con discapacidad visual.
¿En que parte del cuerpo considera que podría ser más cómodo ese dispositivo tecnológico?	Externo al cuerpo (No quiero que me roboticen).	Lo importante es que no afecte el movimiento natural.

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

### *Revisión de literatura*

Como parte de la etapa de “aclaración del problema” se llevó a cabo una revisión de literatura basada en el requerimiento inicial del museo y guiada por la información aportada por las entrevistas. La revisión abarcó desde las técnicas basadas en el uso de hardware simple y marcas en el entorno apoyadas por algoritmos de estimación de posición para desplazamiento en interiores hasta aplicaciones para *Smartphone* (que corren sobre iOS y Android) que ayudan a las personas con discapacidad visual a definir rutas para desplazarse en exteriores.

Conocer la posición de las personas con discapacidad visual que se desplazan en entornos interiores es posible por medio de diferentes tipos de sensores cuyas señales son procesadas por medio de algoritmos de estimación de posición. Particularmente la técnica denominada *dead-reckoning* (Kleeman, 1992) permite estimar la posición de una persona con base en una localización previamente conocida a partir de las señales procedentes de podómetros, brújulas, acelerómetros, magnetómetros y giróscopos que porta el usuario al desplazarse en interiores sobre superficies planas horizontales (Nakamura, Aono and Tadokoro, 1997). La utilidad del *dead-reckoning* a través de acelerómetros, combinada con la capacidad de las personas con discapacidad visual para percibir las características de su entorno y desplazarse con obstáculos estáticos, se evidencia en Fallah et al. (2012).

En algunos trabajos el espacio es intervenido para conocer la posición de las personas con discapacidad visual a medida que se desplazan a través de sensores infrarrojos (Jain, 2014), emisores de ultrasonido y comunicación por luz visible (Xie et al., 2016; Nakajima and Haruyama, 2013), también se han utilizado sistemas basados en etiquetas RFID (Chumkamon, Tuvaphanthaphiphat and Keeratiwintakorn, 2008).

Para detectar obstáculos en la ruta de navegación de personas con discapacidad visual se han usado sensores de ultrasonido, sensores de infrarrojo y hasta cámaras RGB, aunque se ha visto un amplio uso de nuevas tecnologías como las cámaras RGB-D de las que se ha aprovechado su adquisición de imágenes en color asociadas (cada pixel) a datos de profundidad (Filipe et al., 2012). De igual manera los novedosos dispositivos vestibles (también conocidos como *wearable*) han sido utilizados para ayudar a las personas con discapacidad visual a evadir obstáculos, a seguir rutas predefinidas y a moverse en múltiples direcciones que previamente se han identificado como espacios libres (Flores et al., 2015). Algunos de los dispositivos vestibles detectan obstáculos y envían señales estereofónicas audibles a los usuarios para indicarles la dirección en la que deben moverse de manera segura a lo largo de una ruta (Shoval et al., 1998).

El uso del *Smartphone* para apoyar la navegación de las personas con discapacidad visual ha sido reportado por varios autores que vienen trabajando el tema desde el año 2010 hasta la fecha. En Basso et al. (2015) se utilizan los sensores de un *Smartphone* (acelerómetro, giróscopo y brújula), así como una interfaz creada para el mismo dispositivo, con el objetivo de permitir a un usuario explorar el espacio a su alrededor y generar una base de datos que posteriormente facilita la localización en interiores de personas con discapacidad visual. El algoritmo propuesto incluyó un contador de pasos para medir la distancia recorrida, así como determinar si el usuario estaba estático o en movimiento. Una función adicional permitió calcular la orientación y el rumbo del usuario mientras él se desplazaba. Los resultados fueron satisfactorios.

En Ganz et al. (2014) se desarrolló un sistema para navegación en interiores que utiliza un *Smartphone* de última generación con lector *Near Field Communication* (NFC), así como una interfaz de navegación apoyada por un algoritmo de orientación y movilidad que permitía marcar y describir puntos específicos en interiores (oficinas, escaleras, ascensores entre otros).

El dispositivo es muy efectivo en su funcionamiento. Sin embargo requería de acercar el *Smartphone* a los *tags NFC* dispuestos en diferentes puntos de interés y de información dentro de un edificio, lo que no es una operación sencilla para una persona ciega. Aunque fue diseñado para apoyar la navegación de personas con otro tipo de discapacidad, el mismo no fue probado.

Orientar con precisión en entornos interiores a una persona con discapacidad visual es una tarea, además de costosa, dispendiosa. Este es el caso del sistema NavCog desarrollado con software de código abierto y basado en transmisión de datos *Bluetooth* de baja energía (BLE), así como balizas y teléfonos móviles inteligentes (Ahmetovic et al., 2016). Dicho sistema de localización es mejorado por Ahmetovic et al. (2017) mediante el uso de *Pedestrian Dead Reckoning* (navegación por estima para peatones) con base en datos obtenidos desde la unidad de medición inercial (IMU) integrada en el teléfono inteligente del usuario del sistema, todo ello complementado con transmisión de información de posición por BLE.

Otros desarrollos notables basados en teléfonos inteligentes han sido lanzados para personas con discapacidad visual, por ejemplo: el GeorgiePhone5, MIT Fifth Sense6 y el dispositivo portátil OrCam7. Las características de estos desarrollos incluyen la lectura de texto impreso y la lectura de letreros al aire libre. Permiten reconocer rostros, productos, billetes, tarjetas de crédito y colores. También ayudan a evitar obstáculos y desplazarse en lugares concurridos (Bhowmick and Hazarika, 2017).

La lectura de códigos de barras y códigos QR en supermercados se puede realizar utilizando aplicaciones de Android tales como ScanLife Barcode y QR Reader. En iOS, VoiceOver es un lector de pantalla basado en gestos (tocar con el dedo cierto número de veces, deslizar o arrastrar con el dedo) que genera una descripción de todo lo que hay en la pantalla de un dispositivo iOS (desde

el nivel de batería, pasando por el nombre de una aplicación, hasta quién está llamando).

Con respecto a las aplicaciones desarrolladas para navegación que corren sobre iOS existe WalkyTalky (creada por el proyecto Eyes-Free), la cual genera una vibración en tiempo real a las personas con discapacidad visual si no se mueven en la dirección correcta. De manera similar Intersection Explorer proporciona un recuento hablado del diseño de calles e intersecciones a medida que el usuario arrastra su dedo por el mapa, permitiendo establecer rutas y recibir instrucciones acerca de ellas; esto, aprovechando los mapas de iOS y las ventajas del GPS. LookAround también utiliza VoiceOver para pronunciar el nombre de la calle, la ciudad, el cruce de calle y los puntos de interés (Csapo et al., 2015). Además se han desarrollado varias aplicaciones que sirven para moverse en línea recta, que reducen la desviación de los peatones, aprovechando los sensores de medición inercial incorporados en el *Smartphone* (Panëels et al., 2013). En Campbell et al. (2014) se presentó una aplicación para proporcionar información detallada acerca de las paradas de autobús para personas con discapacidad visual.

La actividad de revisión de literatura permitió identificar necesidades no explícitas para diseñar la solución y a la vez abrió un árbol de posibles soluciones (satisfacciones a las necesidades identificadas).

Por su parte se elaboró una tabla que relaciona las necesidades identificadas con la forma en que se espera darles satisfacción, con base en la información adquirida en la etapa de aclaración del problema (entrevistas y revisión de literatura).

**Tabla 2.** Relación de necesidades de los usuarios y su satisfacción.

Necesidades	Satisfacciones
Identificación de ruta para recorrer la exposición.	Posicionamiento del usuario en el punto de inicio del recorrido.
Desplazamiento de manera autónoma sobre la ruta predeterminada para recorrer la exposición.	Desarrollo tecnológico hardware/software que lleve al usuario por la ruta predefinida a través de todo el recorrido.
Detención de usuario en puntos de información del recorrido.	Indicación de parada al usuario, con el objetivo de recibir información acerca de las obras/especímenes.
Reproducción de audio para las obras/especímenes en cada punto de la exposición.	El audio reproducido no afectará la audición del usuario.
	El audio reproducido no interrumpirá el sonido del entorno (sonido del ambiente).
	Reducción de la carga cognitiva asociada al funcionamiento del dispositivo.
Detección de obstáculos	El usuario no colisionará.
	Advertencia de obstáculo en la ruta.
	Reducción de carga cognitiva asociada al funcionamiento del dispositivo.
Bajo peso de dispositivos	Desarrollo de dispositivos livianos.
Mínimo volumen de dispositivos	Desarrollo de prototipos con el menor volumen posible.
Baja complejidad	Mínimo tiempo de entrenamiento.

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

## Diseño conceptual

402

El análisis de las necesidades y la forma en que serán satisfechas se convierte en insumo para realizar el diagrama de subfunciones, también conocido como descomposición funcional en la metodología de diseño de producto de Ulrich y Eppinger (2004). El diagrama consiste en una descripción de mayor especificidad de lo que los elementos constituyentes del sistema (dispositivo, usuario y entorno) deben hacer para implementar la función general del producto. El diagrama presenta líneas de flujo para ‘dispositivo’ y para ‘usuario’ (Figura 2). Además muestra al ‘entorno’ como contenedor general de los dos primeros, pero sin flujo de funciones.

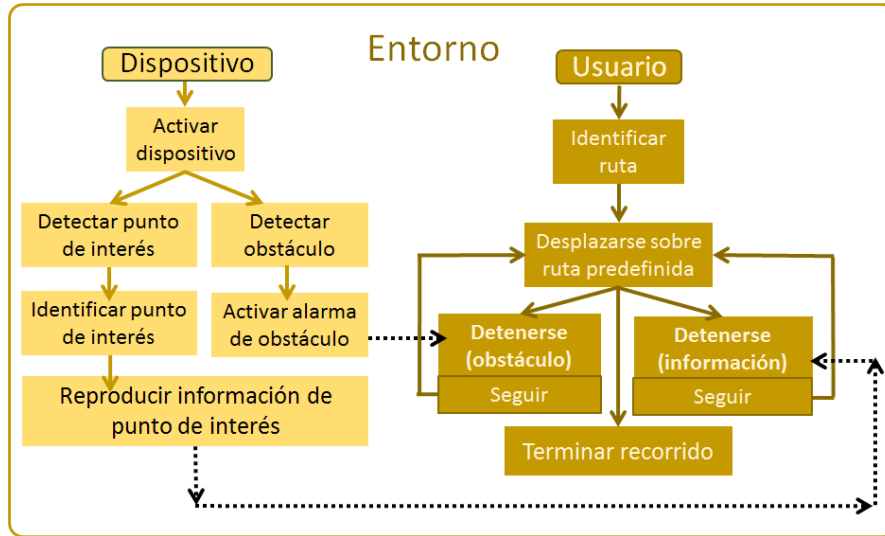
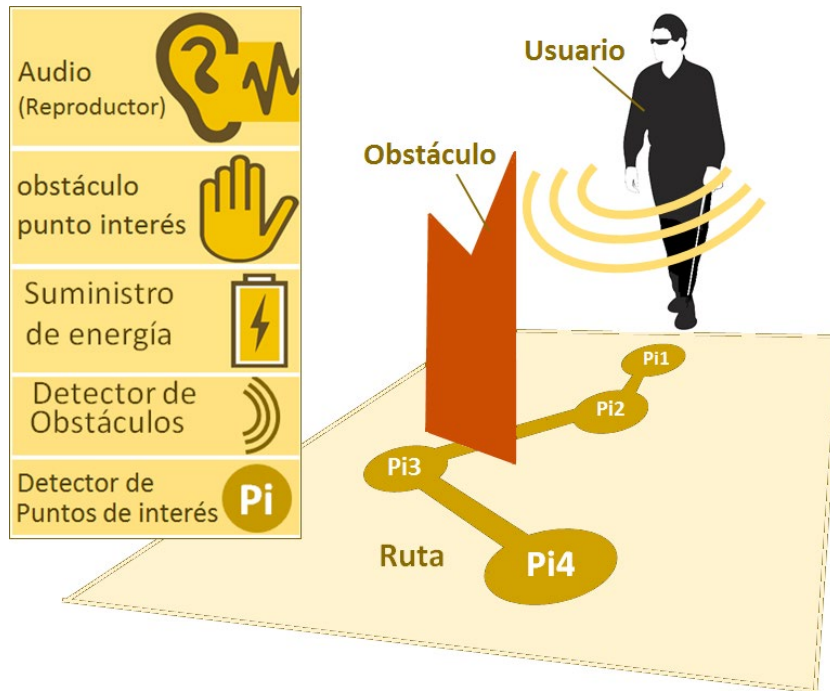


Figura 2. Diagrama de subfunciones. Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

Las subfunciones, a su vez, permitieron generar varios diseños conceptuales (conceptos solución) que fueron reducidos a partir de una actividad de convergencia (CPS con *Design Thinking*) para generar criterios de selección del concepto. En la figura 3 se puede apreciar el esquema del concepto seleccionado, que hace alusión al desplazamiento de una persona con discapacidad visual en un entorno interior con piso plano horizontal. Dicho entorno constituye una sala de exposición museográfica. Para realizar un recorrido al interior de la sala, el usuario requiere de una ruta constituida por nodos y conectores. Se denominó puntos de interés a los nodos (marcados como Pi2, Pi3, Pi4...) y guía a los conectores. Además se tienen en cuenta los obstáculos que se pueden presentar durante el recorrido y los elementos necesarios (dispositivos) para que la navegación del usuario sea realmente autónoma.



**Figura 3.** Esquema de diseño conceptual (concepto solución) en el que se representa el entorno, el recorrido (constituido por puntos de interés Pi), el usuario, los obstáculos y dispositivos que permiten navegar en la sala de exposición del museo.  
Fuente: elaboración propia por parte de los autores.



### *Diseño de detalle*

A partir del diseño conceptual, una nueva actividad de divergencia (CPS con *Design Thinking*) se llevó a cabo para generar una lista de elementos (bien sea equipos, materiales, insumos o recurso humano) que permitieran realizar las actividades planteadas a través del diagrama de subfunciones. Que el listado generado sea amplio es una ventaja del proceso divergente, sin embargo después de toda divergencia se realiza una actividad de convergencia: en este caso, seleccionar del listado los elementos que posteriormente serán utilizados durante la etapa de prototipado. La selección de los elementos requiere de unos criterios de selección (elegidos por el equipo de trabajo) tales como facilidad de implementación, costos de mantenimiento, costo de adquisición, disponibilidad en el mercado local, facilidad de reemplazo, tiempo de desarrollo, volumen, peso y tiempo de desarrollo. El resultado de aplicar los criterios de selección se puede apreciar en la tabla 3.

Se aprecia en la tabla que los elementos seleccionados para prototipar el sistema son: guías podotáctiles para que el usuario recorra la ruta y códigos QR para marcar los puntos de interés (puntos donde se encuentran los especímenes); para identificarlos se usará la cámara de un *Smartphone* debido a su tamaño miniaturizado, excelente desempeño y a que está embebida con su procesador. La información asociada a los puntos de interés, que consistirá en archivos de audio, podrá entregarse al usuario por medio de audífonos de conducción ósea para evitar el aislamiento con respecto a los sonidos del entorno. Si durante el recorrido se presentan obstáculos en la ruta (objetos o personas) a una distancia menor a 40 cm, un sensor de presencia por infrarrojos lo detectará y enviará la correspondiente señal al procesador del *Smartphone* —que vibrará en la palma del usuario indicándole que debe detenerse hasta que cese la vibración—. El subsistema de hardware, cuyo maestro es el *Smartphone*, será activado por el usuario antes de iniciar el recorrido por medio de una interfaz táctil (pantalla).

Tabla 3. Resultado de proceso de selección de elementos que realizan subfunciones.

Resultado de Selección de Elementos para Actividades		
Sub-Función	Actividad	Elemento
<b>Identificar ruta.</b>	Un dependiente del museo posiciona al usuario en punto de inicio de ruta. Le entrega dispositivos e instrucciones.	Empleado, Usuario
<b>Desplazarse sobre ruta predefinida.</b>	Se agregan guías al piso del espacio museográfico, con marcas diferenciadas para puntos de interés y ruta de desplazamiento. Que sean fácilmente reconocibles por las personas con discapacidad visual.	Guías podotáctiles.
	Agregar marcas sobre puntos de interés para dar identificación a cada uno.	Códigos QR
<b>Detenerse (para recibir información acerca de la obra/espécimen ubicado en el punto de interés).</b>	Se agregan auriculares para que el usuario pueda recibir el mensaje, pero sin bloquear el sonido ambiente.	Auriculares de conducción ósea conectados a un Smartphone.
<b>Detenerse (debido a la presencia de un obstáculo).</b>	Se envía una señal al usuario que indique que hay obstáculo y debe detenerse, pero cuya carga cognitiva sea baja y no lo distraiga ni confunda.	Señal generada por dispositivo vibrotáctil de un Smartphone.
<b>Activar alarma de obstáculo.</b>	Se interpreta la señal de obstáculo por software y se genera una señal al dispositivo vibrotáctil.	Procesamiento realizado por Smartphone.
<b>Detectar obstáculo.</b>	Se utiliza un transductor, que permita detectar la presencia de objetos a una distancia aproximada de 60cm.	Sensor de presencia por infrarrojos.
<b>Detectar punto de interés.</b>	Se usa una cámara de dimensiones mínimas para identificar las marcas de cada punto de interés.	Cámara de Smartphone.
<b>Identificar punto de interés.</b>	Se procesa la información adquirida desde la marca de cada punto de interés, para identificar su correspondencia con una obra/espécimen.	Procesamiento realizado por Smartphone.
<b>Reproducir información de punto de interés.</b>	Se reproduce la información de audio correspondiente a cada punto de interés.	Reproductor de audio del Smartphone.
<b>Activar dispositivo.</b>	Se inicia el dispositivo por medio de un interruptor para que empiece el recorrido.	Interfaz táctil en pantalla de Smartphone.

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

Las características de los elementos seleccionados se presentan a continuación:

(i) guías podotáctiles: las guías podotáctiles diseñadas para el sistema están constituidas por baldosas de guiado y por baldosas de advertencia. Las baldosas utilizadas para el guiado tienen líneas rectas en relieve y se ubican en la dirección de desplazamiento de las personas. Las baldosas de advertencia están conformadas por taches redondeados distribuidos en filas y columnas como los elementos de una matriz. Estas baldosas indican al usuario que debe detenerse sobre ellas para cambiar de dirección o como medida de prevención (cruce de calle, por ejemplo). El hecho de no requerir de sistemas de suministro de energía ni de dispositivos tecnológicos adicionales convierte a las guías y marcas podotáctiles en un recurso de bajo costo, fácil implementación y cuyo funcionamiento no requiere de capacitación puesto que las personas con discapacidad visual están acostumbradas a interactuar con dichas señales. Para diferenciar los tipos de baldosas, en este trabajo se denominará “guías podotáctiles” a las baldosas destinadas al avance (baldosas de guiado) y “marcas podotáctiles” a las baldosas de advertencia.

(ii) Códigos QR: se ubicaron códigos QR directamente sobre las marcas podotáctiles para darles la connotación de puntos de interés. Esto quiere decir que una vez se detecte un código QR, será identificado y se podrá reproducir el audio asociado a ese punto.

(iii) Auriculares de conducción ósea: estos dispositivos se ponen cerca del canal auditivo, no sobre él. No bloquean los canales auditivos ni generan confusiones en los usuarios. Los auriculares se conectan a un Smartphone para recibir los audios.

(iv) Sensor de presencia: se integra un sensor de presencia por infrarrojos cuyo rango es suficientemente amplio para detectar la presencia de obstáculos o

personas a una distancia máxima de 80 cm. El sensor se incorpora por medio de una carcasa (prototipada en PLA por medio de una impresora 3D) al *Smartphone* y envía señales binarias indicando si hay objeto o no por medio de comunicación *Bluetooth*.

(v) *Smartphone*: un *Smartphone* será el encargado de procesar las señales que envía el sensor de presencia e indicará al usuario por medio de vibración que hay un obstáculo frente a él. La cámara del *Smartphone* será utilizada para detectar los códigos QR que están sobre las marcas podotáctiles (puntos de interés) y procesar los códigos para reproducir los audios respectivos. Todo lo anterior, requirió del desarrollo de una aplicación en iOS.

## **Prototipado**

### *Prototipo físico*

El *Smartphone* seleccionado para el prototipo fue un iPhone 4S debido a sus características: pequeñas dimensiones (115,2 x 58,6 x 9,3 mm); bajo peso (140 g); pantalla táctil capacitiva; vibración motorizada; reproductor Mp3; cámara de 8MP con autofocus; comunicación *Bluetooth*; duración de batería de hasta 14 horas (de acuerdo a su uso) y procesador Dual-Core de 1GHz. Para correr la aplicación se instaló el sistema operativo iOS 9. Se desarrolló un dispositivo detector de obstáculos constituido por un sensor de presencia por infrarrojo GP2D12 (SHARP IR Detector), un microcontrolador ATmega328 y una interfaz Bluetooth HC05. El microcontrolador tenía como función procesar las señales generadas por el sensor y enviar un pulso digital al *Smartphone* ante la detección de un obstáculo en el rango de 10 a 60 cm. El detector de obstáculos, como elemento físico, se integra al *Smartphone* por medio de una carcasa específicamente diseñada para este propósito en una impresora 3D. En la siguiente figura se puede apreciar el resultado de la integración de los elementos para desarrollar el prototipo del sistema de navegación.



**Figura 4.** Prototipo desarrollado a partir del sistema diseñado y constituido por señales podotáctiles, códigos QR, Smartphone (software para iOS), audífonos de conducción ósea y sensor de presencia. Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

### *Desarrollo de software*

La aplicación se diseñó teniendo en cuenta los resultados de la etapa 1, según los cuales es importante que la aplicación presente: facilidad de uso; baja complejidad y tiempo mínimo de entrenamiento. Para simplificar al máximo la aplicación se diseñó una interfaz basada en un solo comando, compuesto por el total de la pantalla táctil del *Smartphone*. La aplicación fue denominada 'OCULOS'.

Una vez iniciada OCULOS se activa la cámara y el módulo de lectura de QR tocando la pantalla. Cuando se detecta un código QR a través de la cámara se interpreta la información y se reproduce el audio correspondiente al objeto identificado (especimen). Si el dispositivo de detección de obstáculos envía una señal al *Smartphone* indicando que hay presencia de objeto o persona al frente, entonces se genera una vibración que el usuario puede sentir en su mano.

El diagrama de flujo que describe el funcionamiento de la aplicación se puede apreciar en la figura 5. La aplicación inicia tres hilos de ejecución al ser activada: hilo para procesos de lectura de códigos QR (*Lector QR Code*); hilo para reproducir audio (*Reproducir audio*); hilo para detectar obstáculos (*Detector obstáculos*).

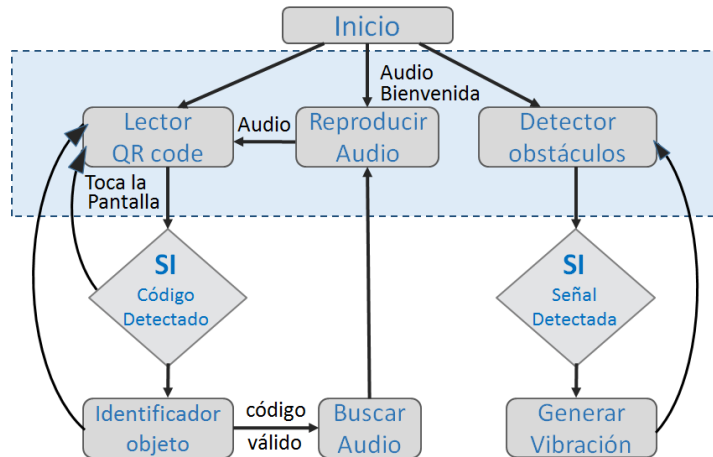


Figura 5. Flujograma de la aplicación creada para el *Smartphone*. Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

Cada hilo tiene un proceso propio que permite que la aplicación esté en todo momento reproduciendo un audio, detectando obstáculos y permitiendo visualizar por medio de la cámara Web códigos QR.

La interfaz de OCULOS representa la identidad del Museo de Ciencias Naturales de La Salle (Figura 6).



**Figura 6.** Interfaz gráfica de usuario.  
Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

En la figura 6 se puede apreciar la interfaz del programa, que consiste en una pantalla táctil que en su totalidad se comporta como botón (activación de la aplicación a un toque). Para identificar los códigos QR se utilizó la librería *QR Code Reader* de *Yannick Lorient* y se integró al sistema de búsqueda y reproducción de audios de *AVFoundation* que ofrece la *Swift Apple*.

## **Evaluación del sistema**

### *Procedimiento*

La evaluación del sistema de navegación desarrollado se realizó en las instalaciones del Museo de Ciencias Naturales de La Salle del ITM, durante el período de la exposición “Páramos. Paraísos perdidos de Colombia” en la sala 2. Para realizar las experimentaciones se instalaron las guías y marcas podotáctiles en el piso con 7 puntos de interés que constituían un recorrido completo, dos de ellos para aportar información al usuario acerca del recorrido y los otros cinco con información de especímenes de los páramos colombianos (cormorán, oso de anteojos, guagua, pava negra, coatí) (Figura 7). Los especímenes consisten en animales disecados en muy buen estado de conservación (pieles, plumajes, picos y garras) que hacen parte de la exposición mencionada, pero que han sido reunidos en la sala 2 para facilitar la adecuación del espacio en beneficio de la experimentación con el sistema diseñado.

En la evaluación del sistema participaron 27 personas adultas en pleno uso de sus facultades mentales, 11 mujeres y 16 hombres; dos de los 27, con discapacidad visual parcial (baja visión) y los demás con discapacidad visual total (ciegos). Todos ellos con buen funcionamiento de sus otros sentidos. A estas personas en adelante se les denominara ‘participantes’. Los participantes fueron reclutados de la Fundación para Invidentes y el Programa para Invidentes de la Universidad de Antioquia.



El procedimiento consistió en entregar el *Smartphone* integrado con el detector de obstáculos, los audífonos conectados y un conjunto mínimo de instrucciones para desplazarse en el espacio a través de un recorrido demarcado por las señales podotáctiles.

A los participantes se les puso los audífonos, se les entregó el *Smartphone* y se les indicó como orientarlo hacia el piso de manera que pudieran identificar los códigos QR ubicados sobre las marcas. Se les indicó además la importancia de desplazarse solamente sobre las guías, detenerse en las marcas podotáctiles y esperar la información audible que consistía en descripciones de los animales de la exposición (cada animal representado por un espécimen), su hábitat y sus sonidos característicos. Cada participante realizó un recorrido completo de manera autónoma; y para efectos de toma de datos solo se permitió tener a una persona a la vez sobre el recorrido. El participante debía iniciar el recorrido en el punto de interés P1 (inicio), desplazarse hasta el punto de información P2 y desde allí desplazarse hacia la derecha o izquierda para llegar a los puntos de interés P3 o P7 respectivamente, pasando luego por todos los demás puntos hasta retornar a P2 donde se le indicaba que había completado el recorrido y por lo tanto debía volver al inicio en el punto P1 para terminar. Durante el recorrido cuando el participante se detenía, el sistema (después de identificar el código del punto) reproducía el audio por medio de los auriculares de conducción ósea con la información de las características físicas, comportamiento y sonidos del espécimen correspondiente al punto de interés (P3 a P7). Para complementar la información de audio, a los participantes se les permitía tocar los especímenes (Figura 4). Para valorar el desempeño del dispositivo y concluir acerca de su efectividad se realizó una encuesta dirigida y controlada a cada participante. La sección 1 de la encuesta solicitaba a los participantes evaluar con valores numéricos en la escala de 1 a 5 (malo (1), regular (2), bueno (3), muy bueno (4), excelente (5)) su experiencia durante el recorrido haciendo uso del dispositivo. La sección 2 fue valorada a través de una respuesta positiva (1)

o negativa (0) en la que se indagó específicamente sobre los puntos de interés y la localización de estos en el espacio.

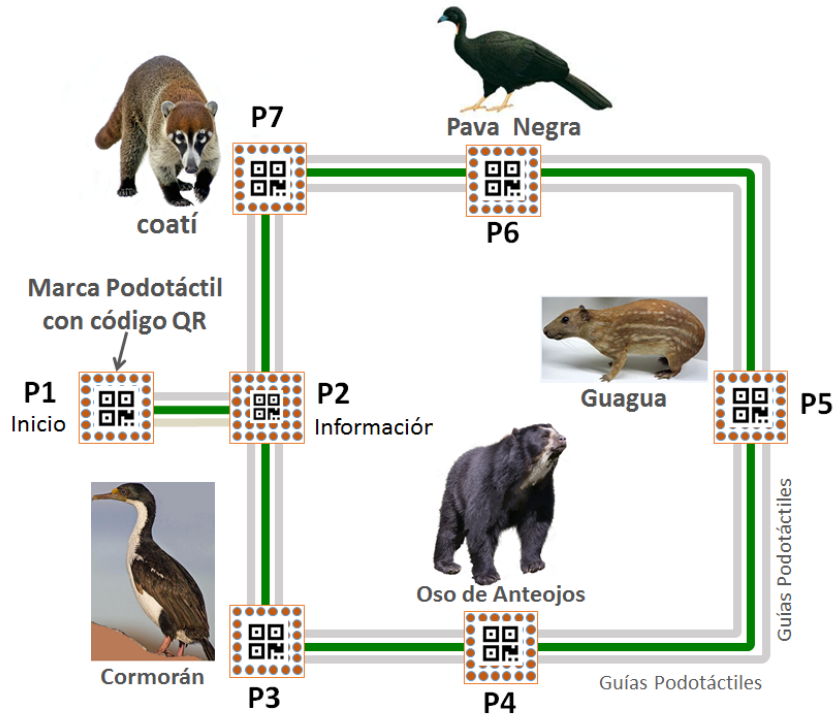


Figura 7. Entorno de evaluación del sistema.  
Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

### *Análisis estadístico*

Se analizó la importancia de las preguntas realizadas a los participantes. Los pesos de importancia de los 27 participantes fueron promediados y visualizados con histogramas de frecuencia. Una prueba de chi-cuadrado de Pearson fue empleada para testar la independencia entre las variables empleadas en la encuesta sección 1 y 2. Debido a que la hipótesis alternativa del ejercicio experimental consideraba que las personas podrían confundir la usabilidad de la aplicación respecto a la disposición de los elementos exhibidos en la sala de exposición del museo referidos en cada uno de los puntos de interés. Para todos los análisis se empleó el software libre RStudio 0.98.1102, mientras que el paquete ggplot2 v.1.0.1 fue usado para la visualización de los datos. Todos los paquetes empleados se encuentran bajo las licencias libres GPL-2, GPL-3 y MIT.

### **Resultados**

En Colombia, 710000 personas fueron registradas con algún tipo de discapacidad visual. El 36 % son ciegos y el 64 % tienen discapacidad visual parcial (baja visión). De estos el 0,5 % de la población se encuentra en la ciudad de Medellín y el 0,1 % de este porcentaje accedió evaluar el dispositivo (Tabla 4). En total 27 personas participaron, todos adultos en pleno uso de sus facultades mentales, 11 mujeres y 16 hombres; dos de esos 27, con discapacidad visual parcial (baja visión) y los demás con discapacidad visual total (ciegos).

Tabla 4. Características de personas con discapacidad visual que participaron en el estudio (H= hombre, M= mujer).

Usuario	H/M	Edad	Discapacidad	Edad discapacidad	Condición de visión	Familiaridad Museo	Experiencia en interiores	Experiencia en exteriores
1	H	30	Total	Nacimiento	Braille	Sí	Avanzada	Avanzada
2	M	45	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
3	H	26	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
4	H	26	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
5	H	28	Total	Nacimiento	Braille	Sí	Avanzada	Avanzada
6	M	19	Total	Nacimiento	Braille	No	Media	Baja
7	H	32	Total	25 años	Braille	No	Avanzada	Avanzada
8	H	32	Total	8-13 años	Braille	No	Avanzada	Avanzada
9	H	23	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
10	M	29	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
1	M	45	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
12	M	37	Total	20 años	Braille	No	Avanzada	Avanzada
13	H	45	Total	18 años	Braille	No	Avanzada	Avanzada
14	M	39	Total	19 años	Braille	No	Avanzada	Avanzada
15	M	50	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
16	M	46	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
17	M	26	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
18	H	69	Total	15 años	Braille	No	Avanzada	Avanzada
19	M	20	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
20	H	71	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
21	H	52	Parcial	Nacimiento	Letras grandes	No	Avanzada	Avanzada
22	M	58	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
23	H	25	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
24	H	25	Total	Nacimiento	Braille	No	Avanzada	Avanzada
25	H	44	Total	2 años	Braille	No	Avanzada	Avanzada
26	H	29	Total	13 años	Braille	No	Avanzada	Avanzada
27	H	29	Parcial	12 años	Letras grandes	No	Avanzada	Avanzada

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

La tasa de éxito de las respuestas a la sección 1 de la encuesta, sugiere puntuaciones superiores al 3,3 entre los participantes. Esto es un 70 % de favorabilidad respecto a la usabilidad y comodidad del dispositivo (Tabla 5).

Tabla 5. Tasa de éxito de las respuestas de los usuarios.

Tipo de usuario	P1	P2	P3	P4
Hombre	3.8 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 1.1	3.3 $\pm$ 1.1	3.4 $\pm$ 0.8
Mujer	3.3 $\pm$ 0.8	3.6 $\pm$ 0.8	3.5 $\pm$ 1.2	3.2 $\pm$ 1.2

Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

Los resultados de la sección 1 indican que un 80 % de los participantes consideró que el dispositivo tenía un elevado grado de usabilidad y comodidad (P1) (¿con relación a la comodidad del dispositivo, en qué grado la valora?) (Figura 8). Respecto a la evaluación de los puntos de interés (P4) (¿cómo identifica la guía que demarca el recorrido de seguimiento?), más del 60 % de los participantes identificaron la guía que indicaba los puntos de interés.

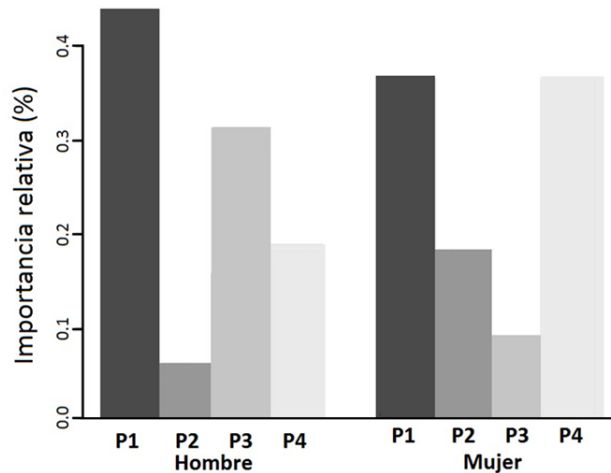


Figura 8. Importancia relativa de la usabilidad del dispositivo de navegación (Pn=pregunta). Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

Los resultados de la sección 2 de la encuesta (Figura 9) arrojaron para la pregunta P5 (¿cómo valoraría la facilidad brindada del dispositivo realizado para navegar en espacios museológicos?), un porcentaje de aceptación del 80 %; mientras que la pregunta P6 (¿identificó claramente el punto de interés donde se encontraban los especímenes dispuestos?), la valoración positiva respecto a la identificación de los puntos de interés dispuestos en la exposición fue del 100 %. La pregunta P8 (¿identificó claramente las alarmas de llegada a un punto de interés?), con una valoración del 67 %, correspondió a un importante resultado dado que los usuarios lograron relacionar los audios que identificaban los puntos de interés. Finalmente la pregunta P7 (¿la distancia entre cada uno de los objetos expuestos es apropiada?), obtuvo el menor porcentaje de aceptación (52 %); en este caso, es necesario estudiar diferentes distancias de ubicación de los objetos con el fin de conocer cuál podría ser la distancia más apropiada.

La prueba de chi-cuadrado de Pearson para la sección 1, presentó independencia entre las variables medidas ( $\chi^2=0,30$ ,  $df=3$ ,  $p>0,1$ ). Igualmente para la sección 2 ( $\chi^2=0,58$ ,  $df=3$ ,  $p>0,1$ ). Este resultado permite inferir que el dispositivo y los puntos de interés son independientes, lo cual conlleva a la interpretación de que el sistema de navegación a partir del dispositivo es autónomo y que los puntos de interés permitieron resolver la ruta de navegación de los usuarios.

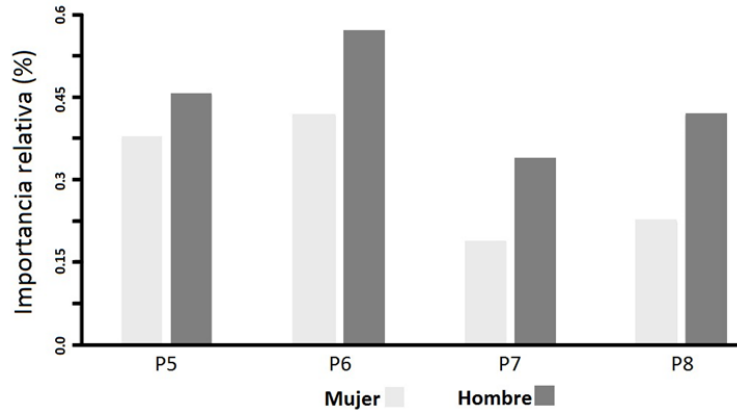


Figura 9. Importancia relativa de los puntos de interés y su localización (Pn=pregunta).  
Fuente: elaboración propia por parte de los autores.

## Discusión

Los resultados revelaron que la efectividad del dispositivo es del 70 %; al permitir a los participantes navegar en la sala, escuchar las descripciones de audio de las piezas expuestas e interactuar con los objetos mediante el tacto. A partir de estos resultados, siguiendo a Hurtado y Soto (2008), el museo podría pensarse como un entorno de convergencia tecnológica y con interfaces fáciles que a la vez sea una “alternativa eficaz y válida que permite una mayor adaptabilidad a las diferentes necesidades de los usuarios y usuarias; o la aparición del paradigma de la Inteligencia Ambiental, como complementario al de Diseño para Todos” (p. 20).

Las pruebas de usuario indicaron que el sistema es eficaz desde el punto de vista tecnológico dado que fue adaptable a los usuarios en situación de

discapacidad; y como herramienta que proporciona información acerca de los especímenes encontrados en la exposición del museo; así pues, como lo encontrado por Soler y Chica (2014) en el Parque de las Ciencias de Granada, es una experiencia que puede ser aplicada en otros entornos museográficos para la inclusión de este tipo de públicos y que podría implementarse en los museos de ciencias naturales de Colombia.

El objetivo de ofrecer un sistema basado en dispositivos electrónicos que permita realizar una visita completamente autónoma al público con discapacidad visual al Museo de Ciencias Naturales de La Salle puede no responder a las necesidades totales de los usuarios de prueba; sin embargo los resultados obtenidos constituyen un significativo aporte en la creación y desarrollo de estrategias de accesibilidad en los museos, con énfasis en la inclusión de personas con esta discapacidad. En Colombia se está iniciando un camino investigativo que convoca no solamente a profesionales en ingeniería y museografía, sino también a profesionales con discapacidades visuales para que participen activamente en la creación de estrategias y herramientas que proporcionen planes de accesibilidad a instituciones museísticas.

420

Con la creación e implementación de este prototipo de tecnología, el museo satisface una necesidad sentida por parte de las personas que tienen este tipo de limitaciones y que requiere ser incluida para el consumo de los bienes patrimoniales que entretienen la memoria del país desde lo natural hasta lo cultural y convida especialmente a que el museo siga cumpliendo el importante papel en la percepción de las comunidades donde se encuentra.

Son enormes los beneficios que puede obtener el museo con la implementación de este sistema de navegación: disminución de riesgos y accidentes (que hace parte del indicador de buena gestión organizacional); diversificación de sus usuarios; posicionamiento en su popularidad y generación de consciencia



social a partir de actividades de inclusión. Todo ello conlleva al fortalecimiento y sostenibilidad de esta organización, demostrando que los contenidos de los museos se pueden hacer accesibles a través del uso de la tecnología y su reutilización en la creación de conocimientos.

Se considera necesario realizar estudios adicionales con un mayor número de personas con discapacidad visual para que la muestra tenga mayor representatividad.

## Conclusiones

Identificar herramientas que permitieran acercarse a la población con discapacidad visual del municipio de Medellín a un entorno museográfico no fue fácil, sobre todo al considerar que la tipología del objeto de estudio del museo es en ciencias naturales. Tanto la curiosidad por el objeto como el temor por el mismo fueron variables emocionales de especial cuidado y control para las personas que accedieron a la muestra. Es necesario tener en cuenta que la inclusión social no es solo crear un espacio donde todos converjan; también se trata de generar experiencias significativas en el otro de tal manera que contribuyan en potencializar su imaginación y habilidades, además de disfrutar del tiempo y actividades.

En cuanto a la metodología empleada su desarrollo estuvo acompañado por personas con discapacidad visual, lo que permitió una mayor comprensión de las diversas manifestaciones de ella (ceguera total o parcial). El trabajo cooperativo fue sustancial para el proceso.

Se puede comprobar que las tecnologías de apoyo a la navegación en entornos museográficos deben ser las mínimas necesarias para brindar seguridad y confianza a las personas con discapacidad visual. Aumentar la cantidad o

complejidad de los dispositivos tecnológicos solo acrecienta la carga cognitiva y por consiguiente el agotamiento, la frustración y la inconformidad general de los usuarios.

La combinación de metodologías de diseño de producto tecnológico, metodologías CPS y de ideación aplicada al diseño (*Design Thinking*) permitió generar un prototipo liviano, seguro, de uso simple, que no afectó la naturalidad de los movimientos de los usuarios y tampoco generó confusiones o agotamiento mental en ellos; se cumple así con los requerimientos de las personas con discapacidad visual y se les permite disfrutar y aprender a su albedrío de la exposición en el museo, cumpliendo entonces con la función de educar declarada por el ICOM.

Desde el enfoque administrativo y organizacional, los museos hoy están propendiendo porque sus colecciones y exposiciones se conviertan en un aprendizaje continuo al transferir conocimiento y significado a personas con discapacidad visual mediante la incorporación de estrategias como la creación de desarrollos tecnológicos. Con la ejecución de este proyecto se puede lograr tal fin. Se entrega a la curadora del Museo de Ciencias Naturales de La Salle, una propuesta tecnológica de navegación autónoma que permite disminuir barreras físicas en el entorno museográfico y un óptimo desplazamiento en la sala de exhibición; lo cual contribuye estratégicamente al diseño de exposiciones amenas y acordes a las necesidades y gustos de las personas con discapacidad visual.

### Agradecimientos

A Jorge Andrés Zamorra Mejía y a todas las personas con discapacidad visual del Programa para Invidentes de la Universidad de Antioquia, quienes se ofrecieron incondicionalmente como usuarios activos de las pruebas realizadas

del dispositivo. Al Museo de Ciencias Naturales de La Salle, un proyecto cultural del ITM. A la Dirección de Investigaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano “convocatoria interna de proyectos de investigación de mínima cuantía, 2013”, otorgando los recursos de presupuesto como beneficio al proyecto de investigación: “Implementación de tecnologías de museografía interactiva, museografía virtual y preservación digital tridimensional para el Museo de Ciencias Naturales de La Salle, un proyecto cultural del ITM”. A los ingenieros Anderson Arango, Estiven Agudelo, Estefanía Aguirre y William Durango por su apoyo técnico durante el desarrollo del trabajo.

## Referencias

- Ahmetovic, D. et al. (2016). NavCog: A navigational cognitive assistant for the blind. En 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, ACM, Florence, Italy.
- Ahmetovic, D. et al. (2017). Achieving practical and accurate indoor navigation for people with visual impairments. En 14th Web for All Conference on The Future of Accessible Work, ACM, Western Australia, Australia.
- Basso, S. et al. (2015). A smartphone-based indoor localization system for visually impaired people. En International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) Proceedings, Turin, Italy.
- Bellotti, F. et al. (2006). Guiding visually impaired people in the exhibition. *Mobile Guide*, 6, 1-6.
- Bhowmick, A. and Hazarika, S.M. (2017). An insight into assistive technology for the visually impaired and blind people: State-of-the-art and future trends. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 11 (2), 149-172.

- Buyurgan, S. (2009). The Expectations of the Visually Impaired University Students from Museums. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 9 (3), 1191-1204.
- Brown, T. (2009). *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. New York, USA: Harper Collins.
- Campbell, M. et al. (2014). Where's my bus stop?: Supporting independence of blind transit riders with StopInfo. En 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility, ACM, New York, USA.
- Chumkamon, S., Tuvaphanthaphiphat, P. and Keeratiwintakorn, P. (2008). A blind navigation system using RFID for indoor environments. En 5<sup>th</sup> International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Krabi, Thailand.
- Csapo, A. et al. (2015). A survey of assistive technologies and applications for blind users on mobile platforms: A review and foundation for research. *Journal Multimodal User Interfaces*, 9, 275-286.
- Fallah, N. et al. (2012). The user as a sensor: Navigating users with visual impairments in indoor spaces using tactile landmarks. En CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, Texas, USA.
- Filipe, V. et al. (2012). Blind navigation support system based on Microsoft Kinect. *Procedia Computer Science*, 14, 94-101.
- Flores, G. et al. (2015). Vibrotactile guidance for wayfinding of blind walkers. *IEEE Transactions on Haptics*, 8 (3), 306-317.
- Ganz, A. et al. (2014). PERCEPT-II: Smartphone based Indoor Navigation System for the Blind. En 36<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Chicago, USA.

- Handa, K., Dairoku, H. and Toriyama, Y. (2010). Investigation of priority needs in terms of museum service accessibility for visually impaired visitors. *British Journal of Visual Impairment*, 28 (3), 221-234.
- Hurtado, M.D. y Soto, F.J. (2008). *La igualdad de oportunidades en el mundo digital*. Murcia, España: Consejería de Educación, Ciencia e Investigación.
- Jain, D. (2014). Path-guided indoor navigation for the visually impaired using minimal building retrofitting. En SIGACCESS conference on Computers & Accessibility, ACM, New York, USA.
- Jiménez, C., Seibel, C. y Soler, S. (2012). Museos para todos. La traducción e interpretación para entornos multimodales como herramienta de accesibilidad universal. *MonTI. Monografías de Traducción e Interpretación*, 4, 349-383.
- Kleeman, L. (1992). Optimal estimation of position and heading for mobile robots using ultrasonic beacons and dead-reckoning. En Proceedings 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nice, France.
- Leavy, B. (2010). Design thinking—a new mental model of value innovation. *Strategy & Leadership*, 38 (3), 5-14.
- Panëels, S.A. et al. (2013). *The walking straight mobile application: Helping the visually impaired avoid veering*. Recuperado de [https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/51516/03\\_S1-2\\_Paneels.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/51516/03_S1-2_Paneels.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Parnes, S.J. (1992). *Sourcebook for creative problem solving*. Buffalo, USA: Creative Education Foundation.
- Perdomo, J. (2009). Una mirada a las prácticas de inclusión y de exclusión en los museos. *Códice*, 20, 16-21.

- Nakajima, M. and Haruyama, S. (2013). New indoor navigation system for visually impaired people using visible light communication. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 37. Recuperado de <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/1687-1499-2013-37>.
- Nakamura, K., Aono, Y. and Tadokoro, Y. (1997). A walking navigation system for the blind. *Systems and Computers in Japan*, 28 (13), 36-45.
- Soler, S. y Chica, A. (2014). Museos para todos, evaluación de una guía audiodescriptiva para personas con discapacidad visual en el museo de ciencias. *Revista Española de Discapacidad*, 2 (2), 145-167.
- Shoval, S., Borenstein, J. and Koren, Y. (1998). Auditory guidance with the navbelt-a computerized travel aid for the blind. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 28 (3), 459-467.
- Ulrich, K. and Eppinger, S. (2015). *Product design and development*. New York, USA: McGraw-Hill Higher Education.
- Xie, B. et al. (2016). LIPS: A light intensity based positioning system for indoor environments. *ACM. Transactions on Sensor Networks*, 12 (4), 28-42.
- Wylant, B. (2008). Design thinking and the experience of innovation. *Design Issues*, 24 (2), 3-14.