

revistaIDI+

Tecnológico de Costa Rica ▪ Escuela de Diseño Industrial ▪ Revista Semestral

Volumen 8 Número 2 ▪ Enero - Junio 2026 ▪ ISSN 2215-5112



La Revista IDI+ es una publicación digital de carácter científico de la **Escuela de Diseño Industrial del Tecnológico de Costa Rica**. Es una revista semestral, gratuita y de acceso abierto, cuyo propósito es divulgar trabajos inéditos de investigación en el campo del diseño industrial y áreas afines. Está dirigida a investigadores, profesores, estudiantes, profesionales y expertos nacionales o extranjeros en el área del diseño y otros campos relacionados.

Comité Editorial

Editor/Director

IDI. Luis Carlos Araya-Rojas, M.Sc.

lcaraya@tec.ac.cr

Coordinadora operativa

Dra. Xinia Varela-Sojo

xvarela@tec.ac.cr

Diagramación

Valeria Esquivel Jiménez

Foto de portada

Mar Adentro

Lauren Segura Morales - Gabriela Salazar Chaves - Abigail Molina Carranza

Experiencia interactiva sobre la importancia de los océanos mediante realidad mixta, diseñada para eventos del Colectivo Pelagos Okeanos, 2025.

Dirección y redes sociales

Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Campus Tecnológico Central Cartago.

Escuela de Diseño Industrial.

Cartago, Cartago, Calle 15, Avenida 14,
1 km Sur de la Basílica de Los Ángeles.

Apartado Postal: 159-7050

<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/idi>



Indexaciones



Revista Semestral

Enero-Junio 2026

Volumen 8, N°2

ISSN: 2215 5112

Contenidos

Hacia el diseño de equipamiento inclusivo, integral y sustentable en experiencias proyectuales de carreras de grado

Towards the design of inclusive, holistic and sustainable equipment in project-based experiences of undergraduate degree programs

Patricia Silvana San Martín, Guillermo Luján Rodríguez, Marisa Andrea Cenacchi, Lucía Manero, Patricia Ciccioli, Guillermo dos Santos 4

Diseño, prototipado y pruebas acústicas de estuches de protección para grabadoras AudioMoth mediante tecnologías de fabricación digital

Design, prototyping, and acoustic testing of protective cases for AudioMoth recorders using digital fabrication technologies

Farith Tabash-Pérez, Roberto Vargas-Masís 24

Desarrollo y evaluación de un prototipo de entrenamiento inteligente para mejorar la movilidad y reducir la ansiedad en perros con discapacidad visual

Development and Evaluation of an Intelligent Training Prototype to Improve Mobility and Reduce Anxiety in Visually Impaired Dogs

Abigail Grillo, Sofía Ávila Marín 43

Diseño de un dispositivo de apoyo lumbar para prevenir lesiones musculoesqueléticas en caficultores costarricenses

Design of a lumbar support device to prevent musculoskeletal injuries in Costa Rican coffee workers

Monserrath Jiménez-Ortega, Yerlyn Ramírez-Herrera, Nicole Taylor-Marchena 64

Diseño de un dispositivo inteligente que optimiza la productividad, la concentración y el bienestar digital de los trabajadores de escritorio

Design of a smart device that optimizes productivity, concentration, and digital well-being for desk workers.

Diana Obando-Chacón, María J. Gómez-Rey, Nardo J. Pérez-Godínez 78



Hacia el diseño de equipamiento inclusivo, integral y sustentable en experiencias proyectuales de carreras de grado

Towards the design of inclusive, holistic and sustainable equipment in project-based experiences of undergraduate degree programs

Patricia Silvana San Martín¹, Guillermo Luján Rodríguez², Marisa Andrea Cenacchi³, Lucía Manero⁴, Patricia Ciccioli⁵, Guillermo dos Santos⁶

P. S. San Martín, G. Luján Rodríguez, M. A. Cenacchi, L. Manero, P. Ciccioli, G. dos Santos,
 "Hacia el diseño de equipamiento inclusivo, integral y sustentable en experiencias proyectuales de carreras de grado," *IDI+*, vol. 8, no. 2, pp. 4-23, Ene., 2026.

 <https://doi.org/10.18845/ridip.v8i2.8428>

Fecha de recepción: 29 de enero de 2025

Fecha de aprobación: 24 de julio de 2025

1. Patricia Silvana San Martín

Investigadora principal CONICET
 Profesora titular Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina
 Directora del Instituto de Investigación en Ciencias de la Educación (IRICE: CONICET-UNR), Rosario, Argentina
 sanmartin@irice-conicet.gov.ar
 0000-0001-7543-045X

2. Guillermo Luján Rodríguez

Doctor en Ingeniería
 Profesor Titular Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina
 rodriguez@irice-conicet.gov.ar
 0000-0001-7112-5116

3. Marisa Andrea Cenacchi

Doctora en Humanidades y Artes
 Profesora Adjunta Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina
 cenacchi@irice-conicet.gov.ar
 0000-0002-7672-1993

4. Lucía Manero

Psicóloga, becaria doctoral CONICET
 Instituto de Investigación en Ciencias de la Educación (IRICE: CONICET-UNR), Rosario, Argentina
 manero@irice-conicet.gov.ar
 0000-0002-3322-6079

5. Patricia Ciccioli

Licenciada en estadística
 Personal de apoyo principal CONICET
 Instituto de Investigación en Ciencias de la Educación (IRICE: CONICET-UNR), Rosario, Argentina
 ciccioli@irice-conicet.gov.ar
 0009-0006-4825-372X

6. Guillermo dos Santos

Bioingeniero y profesor adjunto UNR
 Director de Inclusión y Accesibilidad, Área de Derechos Humanos UNR
 Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina
 dossantos@unr.edu.ar
 0009-0003-5964-6420

Resumen

El presente trabajo de investigación aborda la importancia de la educación inclusiva en el contexto de la Universidad Nacional de Rosario y su compromiso con las personas con discapacidad. Siguiendo las recomendaciones internacionales y las políticas públicas, se realizó un proyecto enfocado en el diseño de equipamiento inclusivo sustentable, buscando generar lineamientos teóricos y metodológicos para garantizar el acceso y permanencia de estudiantes con discapacidad en la educación superior. El enfoque del estudio se centra en el diseño inclusivo, que promueve la creación de productos que sean accesibles para todas las personas. La metodología adoptada es de Investigación-Acción en un marco sociotécnico y cultural situado, con la participación activa de personas con discapacidad en el proceso de diseño, así como un trabajo colaborativo entre docentes e investigadores. El análisis se basa en un modelo multidimensional que considera dimensiones políticas, tecnológicas, sociales e intermediales fundamentales para el desarrollo de proyectos inclusivos. Los resultados destacan la importancia de la educación inclusiva y el diseño universal a través de un enfoque participativo y multidimensional, donde se han desarrollado soluciones innovadoras de equipamientos concretos que contribuyen a mejorar la calidad de vida de los estudiantes con discapacidad y a fomentar una cultura de inclusión en la comunidad universitaria.

Palabras claves

Inclusión; diseño de equipamiento; educación superior; aprendizaje activo; accesibilidad.

Abstract

This research paper addresses the importance of inclusive education in the context of the National University of Rosario and its commitment to people with disabilities. Following international recommendations and public policies, a project focused on the design of sustainable inclusive equipment was carried out, seeking to generate theoretical and methodological guidelines to guarantee the access and retention of students with disabilities in higher education. The study focuses on inclusive design, which promotes the creation of products that are accessible to all. The methodology adopted is Action Research within a situated socio-technical-cultural framework, with the active participation of people with disabilities in the design process, as well as collaborative work between teachers and researchers. The analysis is based on a multidimensional model that considers political, technological, social, and intermedial dimensions fundamental to the development of inclusive projects. The results highlight the importance of inclusive education and universal design through a participatory and multidimensional approach. They developed innovative solutions for specific facilities that contribute to improving the quality of life of students with disabilities and fostering a culture of inclusion within the university community.

Keywords

Inclusion; equipment design, higher education; activity learning; accessibility.

Introducción

El desarrollo de productos y servicios de diseño inclusivo se ha convertido en un desafío tanto para los diseñadores como para todos los actores involucrados en el proceso, lo cual requiere conocer en profundidad las metodologías a utilizar, los procesos, las herramientas y los procedimientos [1]. En esta dirección, el abordaje del diseño inclusivo en la educación superior es crucial para formar futuros diseñadores conscientes de la diversidad de usuarios. Particularmente, los estudios de caso y proyectos prácticos permiten a los estudiantes experimentar de forma activa los desafíos y posibles soluciones en el diseño inclusivo [2]. Por tanto, resulta esencial que los futuros profesionales se apropien de manera creativa del concepto de equipamiento inclusivo integral, entendido como la articulación entre el diseño inclusivo y un enfoque sociotécnico contextualizado culturalmente [3], garantizando así la accesibilidad desde las etapas iniciales del proceso de diseño.

Este artículo busca avanzar sobre algunas problemáticas de accesibilidad recurrentes en el contexto universitario argentino. Aunque, desde el año 2006, Argentina se adhiere a la Convención sobre Derechos de Personas con Discapacidad [4] y se compromete a garantizar la plena inclusión de este colectivo, persisten condiciones estructurales de exclusión. Estas condiciones se sostienen mediante prácticas comunicacionales, educativas y tecnológicas que reproducen parámetros estandarizados, generando barreras para quienes se apartan de los estándares mayoritarios e invisibilizando exclusiones al presentar lo normativo como neutral. Tales problemáticas se manifiestan tanto en las condiciones de infraestructura, mobiliario, recursos y materiales de estudio, como en las propias prácticas educativas y diseños curriculares.

En atención a lo expuesto, este trabajo presenta los resultados del proyecto *Hacia el diseño de equipamiento inclusivo integral sustentable en experiencias proyectuales innovadoras de nivel universitario*, desarrollado en el marco del Programa UNR de I+D sobre discapacidad desde la perspectiva de los Derechos Humanos. Dicho programa involucra dos áreas de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), Argentina: *Derechos Humanos y Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo*, junto al Instituto Rosario de Investigación en Ciencias de la Educación (IRICE), dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la mencionada universidad.

La UNR, como institución pública y gratuita, desarrolla una política educativa que se adhiere a dicha Convención. En este marco, y con el objetivo de coconstruir un hábitat universitario inclusivo, resultan fundamentales los aportes generados mediante la investigación acción participativa (IAP) [5]. Desde este posicionamiento, la participación de docentes y estudiantes

pertenecientes al colectivo de personas con discapacidad (PCD) permitió conformar un grupo investigador heterogéneo que abordó posibles soluciones a las diversas problemáticas de accesibilidad identificadas en la UNR.

El proyecto fue acreditado, financiado y evaluado positivamente por la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación, dependiente de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación (Ministerio de Producción, Ciencia y Tecnología) de la provincia de Santa Fe, Argentina. Las actividades se llevaron adelante durante el segundo semestre del 2023 y primero del 2024 y el objetivo general del mismo buscó generar lineamientos teórico-metodológicos que posibiliten experiencias innovadoras en el diseño proyectual de equipamiento inclusivo e integral en carreras de grado de la UNR, a fin de garantizar el derecho al acceso y permanencia de las personas con discapacidad en el ámbito de la Educación Superior universitaria.

Específicamente, se relevaron requerimientos de equipamiento inclusivo formulados por personas con discapacidad pertenecientes a la comunidad UNR. Esta información contribuyó al proceso de adecuación de un modelo analítico multidimensional de sostenibilidad Prácticas Educativas Mediatizadas - Dispositivos Intermediales Dinámicos (PEM-DID) [6] que, en una nueva versión denominada Prácticas Educativas Mediatizadas-Equipamiento Inclusivo Integral Sustentable (PEM-EIIS), debería cumplir una doble función: por un lado, facilitar la reflexión teórico-analítica sobre la complejidad multidimensional de diseño de dicho equipamiento; por otro, operar como herramienta metodológica que orienta pedagógicamente al estudiantado universitario en la ideación de proyectos de diseño en contextos situados.

La adecuación del modelo involucró desde lo sociotécnico cultural, el desarrollo de una práctica educativa proyectual implementada de forma espiralada en dos espacios curriculares: el Seminario Optativo *Diseño inclusivo y accesibilidad* de la Licenciatura en Diseño Industrial de la FAPyD-UNR (abierto también a estudiantes de Ingeniería y Arquitectura) y la asignatura *Tecnología Avanzada I* de cuarto año de la misma Licenciatura. La evaluación de la funcionalidad del modelo propuesto se efectivizó a través del análisis de los proyectos creativos sustentables de equipamiento inclusivo integral, diseñados de manera grupal por el estudiantado participante.

A continuación, tras el apartado metodológico, se presenta la herramienta propuesta y los aspectos más significativos del proceso de investigación-acción participativa, para discutir luego los alcances y conclusiones del trabajo realizado.

Metodología

El grupo investigador multidisciplinario inicial fue conformado por docentes de la Licenciatura en Diseño Industrial de la Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño (FAPyD) e investigadores del CONICET y la UNR con formación en distintas carreras de grado y posgrado, tales como Ingeniería, Ciencias de la Educación, Ciencias Políticas y Psicología, además, se amplió con estudiantes de la Licenciatura en Diseño Industrial de la FAPyD-UNR y carreras afines.

La metodología de investigación-acción participativa [5] se desarrolló bajo un enfoque sociotécnico [7] teniendo en cuenta la construcción de "intersaberes" como conjunción de lo interdisciplinario y la experiencia de saberes comunitarios no académicos [8]. Las técnicas e instrumentos que se aplicaron fueron principalmente cualitativos y en las actividades del proyecto se desarrolló una dinámica colaborativa de responsabilidad distribuida.

La investigación se llevó adelante a partir de cuatro fases: 1. Relevamiento de necesidades de equipamiento inclusivo formuladas por personas con discapacidad que integran la comunidad UNR. 2. Elaboración de una nueva versión del modelo analítico multidimensional de sostenibilidad. 3. Poner en obra la herramienta PEM-ElIS en la práctica educativa proyectual en el Seminario Optativo *Diseño inclusivo y accesibilidad* de la Licenciatura en Diseño Industrial de la FAPyD-UNR, abierto a cursantes de Ingeniería y Arquitectura de la UNR y en el cuarto año de dicha Licenciatura, en la asignatura *Tecnología Avanzada I*. 4. Evaluar los alcances de la herramienta pedagógica propuesta considerando los proyectos creativos de equipamiento inclusivo integral de producción y mantenimiento sustentable, diseñados grupalmente por el estudiantado participante.

La fase de adecuación del modelo multidimensional [6] se realizó a partir de un reestudio de sus antecedentes teórico-metodológicos incluyendo resultados de algunas implementaciones en proyectos de distinta índole [9] [10] [11] [12] y de los datos recogidos en la fase 1 integrando los aportes disciplinarios de los docentes-investigadores de las mencionadas asignaturas. Como ya se adelantó, el cuerpo docente de dichas asignaturas está integrado, al igual que el grupo investigador, por personas con y sin discapacidad.

La fase 1 se planificó en dos momentos: el primero consistió en un relevamiento de requerimientos a personas con discapacidad de la comunidad UNR y de material documental archivado en la Dirección de Inclusión y Accesibilidad (UNR).

La fase 3 se planificó también en dos momentos y estudió de forma espiralada cómo la herramienta pedagógica propuesta se aplicó en el desarrollo de las ideas proyectos, en primer lugar, en la materia optativa *Diseño inclusivo y accesibilidad* (2023) y, luego, en la optimización de algunos de estos proyectos en la cátedra *Tecnología Avanzada I* (2024) de la Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño (FAPyD).

Para la recolección de datos en ambos momentos, siguiendo los lineamientos metodológicos previamente establecidos, se adoptaron los problemas de accesibilidad del colectivo de PCD de la comunidad UNR como eje articulador fundamental de la asignatura.

Las aulas y espacios adyacentes se habilitaron como laboratorios de experiencias, donde los docentes interactuaron con los estudiantes durante todo el trayecto de diseño proyectual en ambas asignaturas. Esta dinámica permitió a los docentes observar, registrar y evaluar continuamente el trabajo realizado durante el proceso [13]. Asimismo, el equipo del Instituto de investigación participó activamente en las diversas instancias académicas, tanto en las clases teóricas como en la dinámica de taller, contribuyendo especialmente en las interacciones relacionadas con el diseño proyectual planteado. Además, se brindó apoyo mediante consultas asincrónicas complementarias.

En estas prácticas educativas situadas, desarrolladas bajo modalidad híbrida, se propuso a los estudiantes del Seminario *Diseño inclusivo y accesibilidad*, la elaboración de ideas proyecto que respondan a las necesidades de accesibilidad previamente identificadas. Estas propuestas se desarrollaron en modalidad taller de forma grupal, aplicando las dimensiones, variables e indicadores del modelo analítico multidimensional PEM-EIIS para evaluar su factibilidad y sostenibilidad. Posteriormente, en la segunda asignatura, se profundizó el trabajo sobre tres de estos proyectos con el objetivo de desarrollar interfaces innovadoras para cada uno, manteniendo la misma metodología de trabajo colaborativo.

A fin de estructurar el análisis crítico de los proyectos producidos por los diferentes grupos, se estableció un conjunto de indicadores generales asociados a aspectos de relevancia del contenido de los trabajos. Los indicadores se agrupan según las dimensiones del modelo y constituyen el insumo utilizado para el análisis cualitativo.

Resultados

1. Modelo analítico multidimensional PEM-EIIS

A partir de los relevamientos realizados en la primera etapa y la consulta de fuentes primarias y secundarias, se define el modelo analítico multidimensional de PEM-EIIS. Este se concibe como una herramienta guía de carácter abierto para colaborar en un proceso formativo activo, cuyo fin sea la construcción de proyectos de equipamiento inclusivo, integral y sustentable. En este sentido, se retoman cuatro dimensiones básicas que intervienen en la complejidad de estos proyectos. Dichas dimensiones no jerárquicas con sus variables e indicadores se instituyen en lo político institucional, lo tecnológico, lo social y lo intermedial. Las mismas siguen la descripción realizada en el artículo [6] sumando un análisis que integra una adecuación específica al caso de estudio analizado.

La característica abierta del modelo radica en la posibilidad de incorporar o reformular dimensiones, variables e indicadores según la diversidad de contextos de aplicación específicos. Su carácter universal se fundamenta en la conceptualización de la problemática como un sistema complejo que, bajo este marco teórico, requiere un abordaje analítico multidimensional integrado para evaluar la sustentabilidad más allá del objeto-artefacto en sí mismo. En síntesis, esta perspectiva sistémica permite comprender las interrelaciones entre los múltiples factores que inciden en la sustentabilidad de las soluciones de diseño, considerando la complejidad del contexto [14].

Dimensión político-institucional

El análisis de los marcos socio-institucionales es fundamental, pues son los ámbitos que habilitan y, a la vez, limitan la acción de los agentes. Estas instituciones funcionan como marcos reguladores de las prácticas y usos que se generan en esos contextos. En estos espacios de socialización, se concretan las políticas macro y los programas generales referidos a la infraestructura tecnológica, accesibilidad y equipamiento inclusivo. Así, las estrategias, normativas y reglamentaciones institucionales son las que impulsan o dificultan los procedimientos y mecanismos necesarios para garantizar la participación equitativa y no excluyente de personas con discapacidad. Asimismo, son las que destinan personal especializado y equipamiento necesario para generar las condiciones de sostenibilidad de los cambios socio-tecnológicos [6].

No obstante, es importante considerar que la mera existencia de marcos normativos no garantiza convalidación social ni perdurabilidad en el tiempo de una transformación tecnológica o comunicacional hacia formas accesibles y no excluyentes [6]. Por ello, es importante analizar si, en los procesos de cambio organizacional o de integración tecnológica, se contemplan los requerimientos de los grupos intervinientes incluyendo el colectivo identificado como PCD. En este sentido, es pertinente examinar las posibles asimetrías existentes entre los proyectos institucionales y las inquietudes de los agentes involucrados.

TABLA I
VARIABLES E INDICADORES DE LA DIMENSIÓN POLÍTICO-INSTITUCIONAL

Variables	Indicadores
Estrategias organizacionales	<p>Relevamiento sistematizado de requerimientos de equipamiento inclusivo integral.</p> <p>Existencia de antecedentes de proyectos organizacionales que aborde la problemática del uso de equipamiento inclusivo integral (cantidad de proyectos, impacto de estos, áreas de aplicación, por ejemplo: aula, cátedra, carrera, universidad).</p> <p>Normativas institucionales. Disposiciones y reglamentaciones <i>ad hoc</i> con respecto a condiciones y políticas de accesibilidad y otras vinculadas al proyecto que lo respalden o dificulten su aplicación</p> <p>Capacitaciones en diseño inclusivo, diseño universal y tecnologías asistivas.</p> <p>Políticas de capacitaciones y concientización sobre accesibilidad y diseño inclusivo.</p> <p>Políticas de consultas intersectoriales: a docentes, alumnado, familias, organizaciones sociales de personas con discapacidad, empresas, etc.</p>
Personal técnico	Disposición de personal de mantenimiento y gestión especializado en la resolución operativa de las dificultades técnicas que surgen en la práctica (estable, eventual, contratado, suficiente, insuficiente, nivel de capacitación...).
Recursos económicos	Partidas económicas especialmente destinadas (suficientes, insuficientes, propios, externos, previstos en presupuesto, actualizables al porcentual inflacionario, contempla la totalidad de los rubros, ...).
Estructuración interna de la organización	<p>Alianzas interinstitucionales/organizacionales.</p> <p>Existencia de áreas específicas que se vinculen con el equipamiento inclusivo.</p> <p>Articulación entre Áreas, Direcciones, Facultades (alta, media, baja).</p>
Lógicas y prácticas instituidas	Hábitos de uso (y no-uso) de equipamiento inclusivo en la organización (prácticas instituidas: cotidiano, esporádico, contextualizado, consensuado o no, ...).

Dimensión tecnológica

El diseño de equipamiento inclusivo requiere de una infraestructura técnica que permita tanto su proyección como su implementación y uso en contexto. En esta dimensión, se contempla la infraestructura técnica con la que cuentan los marcos socio-institucionales estudiados, tanto en el contexto de los diseñadores (producción) como de los destinatarios (reconocimiento): infraestructura edilicia, mobiliario, equipamiento de *hardware* y *software*, conectividad, redes de alta velocidad, capacidad de procesamiento y almacenamiento de volúmenes de datos. Esto requiere, a su vez, de recursos económicos, humanos y logísticos para su mantenimiento, renovación y actualización permanente [6].

Relacionado con el contexto de producción, cada vez es más necesaria la disposición de equipos tecnológicos de última generación y alta *performance* que posibiliten diseños creativos e innovadores (artefactos materiales) con horizontes de aplicación operativa en diversas áreas relacionadas con la accesibilidad, las tecnologías asistivas y el equipamiento inclusivo.

TABLA II
VARIABLES E INDICADORES DE LA DIMENSIÓN TECNOLÓGICA

Variables	Indicadores
Infraestructura edilicia	<p>Disposición y configuración de los espacios.</p> <p>Disposición del equipamiento.</p> <p>Mobiliario.</p> <p>Estado de instalaciones (edilicias y de servicios) (óptima, medianamente adecuada, inadecuada).</p> <p>Condiciones de accesibilidad (rampas, indicaciones comunicacionales, disposiciones espaciales, ...).</p>
Hardware disponible	<p>Cantidad, calidad y tipo de tecnologías disponibles (estándar y asistivos. Móvil). Formas de traslado.</p> <p>Robustez de la infraestructura de redes y conectividad (alta, media, baja).</p> <p>Servidores disponibles.</p> <p>Accesibilidad de <i>hardware</i>.</p> <p>Usabilidad de <i>hardware</i>.</p>
Software	<p>Elección y adopción de entornos o plataformas virtuales</p> <p>Interoperabilidad de plataformas, sistemas y redes.</p> <p>Adopción de <i>software</i> libre o corporativo. Seguridad y privacidad de la información.</p> <p>Disponibilidad de <i>software</i> específico</p> <p>Accesibilidad de <i>software</i> (metodologías y herramientas de testeo, descripción de barreras, configuración de alternativas, ...)</p> <p>Disponibilidad de servicios de <i>web hosting</i> y bases de datos</p> <p>Usabilidad de <i>software</i> (operatividad, atajos, visualización, búsqueda)</p>
Equipos tecnológicos	<p>Versatilidad, variedad y cantidad de herramientas físicas, equipos de medición y maquinaria de última generación e insumos disponibles y compatibilidad. [Tornos y Fresadoras CNC, impresoras 3D, pantógrafos láser, perforadoras, etc. Taladros, pistolas de calor, pistolas de silicona, etc. Martillos, destornilladores, pinzas, alicates, etc. Compresor de aire, morsas, dispositivos específicos, etc. Suministro de elementos (madera, metal, clavos, tornillos, etc.) y de electrónica (placas tipo Arduino, motores, drivers, leds, etc.)</p> <p>Herramientas adaptadas accesibles.</p>
Higiene y seguridad	<p>Protocolos de higiene y seguridad.</p> <p>Procedimientos específicos de uso de máquinas y herramientas.</p>
Servicios y técnicas de mantenimiento	<p>Personal dedicado al soporte técnico y mantenimiento (Destrezas y capacidades manuales suficientes, adecuadas, ...).</p> <p>Facilidad de mantenimiento.</p>
Servicios de producción	<p>Recursos humanos de apoyo con experticia en diseño, gestión y optimización de tecnologías.</p> <p>Cantidad de recursos económicos y logísticos para optimización, gestión y adquisición de tecnologías (insuficiente, suficiente, adecuados...).</p>

Dimensión social

El desarrollo de equipamiento inclusivo en un marco socioinstitucional educativo solamente es sostenible si se articula con un entramado de sujetos, artefactos, saberes, hábitos y normativas. El modo en el que las personas interiorizan los objetos técnicos en su praxis vital está condicionado por el contexto sociocultural que habitan; el diseño proyectual de equipamiento inclusivo implica una actividad creativa y creadora vinculada con la infraestructura y capacidad técnica disponible en el contexto situado. Toda práctica de uso de tecnología comporta una acción creativa en la que una persona se relaciona con objetos técnicos con el objetivo de apropiarlos, modificarlos y resignificarlos. Esas habilidades instrumentales y cognoscitivas se desarrollan a partir de una relación intersubjetiva con otros.

El diseño proyectual de equipamiento inclusivo se inserta en una alianza sociotécnica y cultural, que no está exenta de tensiones, rechazos y consensos en torno a su desarrollo e implementación en el campo de uso. En esta dimensión, se estudian las instancias de asimilación, adaptación e incorporación tecnológica en las prácticas de los grupos sociales involucrados. Se consideran específicamente las prácticas de uso de tecnologías asistivas, las habilidades motrices, perceptivas, tecnológicas, digitales y las percepciones sobre las tecnologías de los grupos intervinientes. En ese marco, también es preciso incorporar las acciones y percepciones de aquellas personas que manifiestan resistencia. En síntesis, el diseño de equipamiento inclusivo bajo este modelo se desarrolla a partir de la participación e interacción mutua de distintos grupos sociales. Es en el encuentro social con un Otro diverso que el sujeto puede apropiarse de la tecnología como objeto cultural, por lo que cobra una relevancia sustancial analizar el modo en que los sujetos intervinientes hacen presencia, se vinculan y producen experimentando este tipo de práctica de diseño proyectual situado.

TABLA III
VARIABLES E INDICADORES DE LA DIMENSIÓN SOCIAL

Variables	Indicadores
Configuración sociocultural de grupos sociales involucrados	Tipos de requerimientos, necesidades e intereses de los sujetos intervenientes. Capacidades de agencia de los grupos sociales.
Percepciones sobre discapacidad y accesibilidad.	Significaciones sobre la discapacidad (deficiencia, normalidad, modelos implícitos). Obstáculos/barreras de accesibilidad (físicas, comunicacionales, académicas y actitudinales). Modelos subyacentes en la práctica (integración, inclusión, no exclusión, convivencia).
Percepciones sobre tecnología y equipamiento inclusivo	Significaciones sobre las tecnologías y sus formas de uso (tecnologías asistivas, diseño especializado, diseño universal/no excluyente).
Habilidades para uso de equipamiento	Destrezas en usabilidad del equipamiento (alta, media, baja). Conocimiento y hábitos de uso de equipamiento inclusivo/especializado/no excluyente entre los grupos sociales. Instancias de aprendizaje sobre el uso de equipamiento inclusivo/especializado/no excluyente.
Habilidades tecnológicas digitales	Hábitos de uso de tecnologías digitales entre los grupos sociales (describir uso). Problemas de usabilidad de tecnologías digitales. Obstáculos de accesibilidad de tecnologías digitales. Conocimiento y hábitos de uso de herramientas asistivas (nivel bajo, medio, alto...). Instancias de aprendizaje sobre el uso de herramientas asistivas (nivel bajo, medio, alto...). Habilidades de pensamiento específicas al uso de tecnologías digitales (nivel bajo, medio, alto...). Apropiación creativa de tecnologías digitales (nivel nulo, bajo, medio, alto...).
Formas de interacción/participación en los grupos intervenientes	Tipos de uso de tecnologías individuales (describir usos). Prácticas de uso colectivas de tecnología (describir usos). Frecuencia de uso de tecnologías (frecuente, poco frecuente, esporádico). Participación corresponsable, colaboración (buena, regular, nula).

Dimensión intermedial

La confluencia entre lenguajes y soportes en un mismo dispositivo o en una red de artefactos habilita formas emergentes de concebir y de efectuar la producción simbólica. La noción de intermedial abre un abanico de posibilidades analíticas más acorde con las múltiples posibilidades presentes en la actualidad, en la que el paradigma informacional estructura y modela la materialidad técnica y simbólica. Desde esta mirada transversal, es posible vincular

las prácticas propias de la presencialidad física –con los soportes analógicos– con las dinámicas y espacios de la virtualidad (sitios web, redes sociales y recursos disponibles en Internet) y las tecnologías [6].

En esta dimensión, se abordan los contenidos y la coconstrucción de diseños proyectuales de equipamiento inclusivo en la dinámica dialógica, sintetizando los saberes disciplinares con aquellos no académicos (por ejemplo, el saber vivencial de la persona con discapacidad). También aquí se evalúan las condiciones de producción, distribución y accesibilidad; así como la metodología empleada para ello. El análisis de estos elementos es clave para evaluar si una integración o innovación tecnológica se acompañó de una apropiación creativa y aportó a nuevas formas expresivas y productivas en la dinámica de las organizaciones involucradas.

TABLA IV
VARIABLES E INDICADORES DE LA DIMENSIÓN INTERMEDIAL

Variables	Indicadores
Contenido	<p>Tipos de contenidos requeridos y producidos (teóricos, prácticos aplicados en objetos, en diseños, específicos, interdisciplinares), describir durante el proceso.</p> <p>Lenguajes, soportes y formatos.</p> <p>Vínculos con el contexto.</p> <p>Difusión de contenidos producidos (Recepción/Reconocimiento): usuario/grupo social final, jornadas, charlas, revistas, comunicación de la ciencia, difusión virtual, etc.</p>
Artefactos y/o sistemas tecnológicos	<p>Proceso de diseño: instancias de diseño, evaluación teórica y de los destinatarios del diseño, diseño final.</p> <p>Dinámicas, cronograma y tiempos de diseño.</p> <p>Indicadores de evaluación del equipamiento inclusivo.</p>
Funcionalidad	<p>Respeta y responde a los objetivos para los que se pensó el diseño.</p> <p>De qué modo cumple y qué tan bien cumple el objetivo del diseño, en función de las variables intervenientes.</p>
Creatividad	<p>Originalidad de la propuesta.</p> <p>Metodologías que tienen que ver con el hacer creativo: técnicas y dinámicas grupales e individuales que promueven la generación de ideas originales.</p>
Integración	Cuántos y de qué modo integra distintos saberes y disciplinas el diseño elaborado.
Habilidades en desarrollo/ desarrolladas	<p>Criterios de accesibilidad y usabilidad.</p> <p>Criterios de selección de materiales y recursos.</p> <p>Actividades integradoras y apropiación de saberes interdisciplinares específicos.</p> <p>Actividades integradoras y apropiación de saberes interdisciplinares por fuera de la especificidad.</p> <p>Metodologías de trabajo: modalidad de proyecto, pautas de acción.</p>

Las PEM-EIIS

Seguidamente, se sintetizan los aspectos más significativos referidos al proceso de elaboración de ideas proyectos de equipamiento inclusivo integral sustentable en la materia optativa *Diseño inclusivo y accesibilidad* (año 2023) y en la cátedra *Tecnología Avanzada I* (año 2024) de la Licenciatura en Diseño Industrial (FAPyD- UNR).

Diseño inclusivo y accesibilidad

El seminario cuatrimestral cuenta con dos docentes: un profesor adjunto y un docente auxiliar, es de carácter optativo y fue cursado por 20 estudiantes provenientes de carreras de la FAPyD, que se organizaron en 7 grupos de trabajo. Como punto de partida, se buscó revelar cuáles eran las barreras de accesibilidad y, por ende, requerimientos, para poder asistir, permanecer y egresar en la UNR.



Fig. 1. Exploración de barreras infraestructura CUR.

Luego de brindar al alumnado lineamientos teóricos sobre tipos y formas de realizar entrevistas, así como una guía para efectuarlas, se identificaron y documentaron los requerimientos de accesibilidad en múltiples dimensiones y se categorizaron en términos de accesibilidad física, académica y comunicacional. El territorio físico se situó en el Centro Universitario Rosario (CUR) de la UNR.

A partir de este trabajo vivencial, se produjeron siete ideas-proyecto de EIIS, con un potencial interesante en términos de originalidad y viabilidad para su desarrollo e implementación en diversos contextos. Las ideas-proyecto fueron las siguientes:

G1 (4 participantes) *Dispensador de Agua Universal*: es un dispensador con zona liberada por debajo de la plataforma de carga para poder acceder en silla de ruedas. Permite, además, identificar la zona óptima de carga a través de relieves, posee sistema de escritura braille y capta el llenado del recipiente mediante un sensor permitiendo el corte automático del flujo de agua.

G2 (3 participantes) *Puntos de Inclusividad en el Recorrido a la Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño (FAPyD)*: se plantea un único camino directo e inclusivo, que permita que el trayecto hacia la facultad sea en igualdad de condiciones para todos, generando independencia y autonomía. Durante el recorrido, se disponen cuatro *Puntos de Inclusividad* generando espacios que concentran elementos inclusivos.

G3 (3 participantes) *¿Cómo Llego?: aplicación Interactiva para Todas las Personas Asistentes al CUR*. En la aplicación gratuita, se plantea un foro colaborativo, mapas dentro del predio, localización de lugares accesibles y mapas de rutas de transporte público.

G4 (3 participantes) *Sistema de Identificación de Aulas de la FAPyD (Versión de Bolsillo)*: este sistema se compone de un dispositivo sensor que se acopla al bastón de las personas que se dirigen a la FAPyD y su función principal es proporcionar orientación, así como brindar información sobre su ubicación dentro de las instalaciones.

G5 (3 participantes) *Sistema de Validación para el Uso de Estacionamiento Exclusivo de Personas con Discapacidad*: un escáner lee, ya sea con la credencial de persona con discapacidad o la aplicación *mi Argentina*, y valida la veracidad en una base de datos. Al confirmarlo, un lugar del estacionamiento se liberará, bajándose la barrera y permitiendo así que pueda estacionar.

G6 (2 participantes) *CURsando sin Barreras*: la intervención consiste en pegar en el sitio de la problemática una placa impresa en 3D, que tiene un conjunto de signos enmarcados en un rectángulo y debajo un código Qr con el que, al escanearlo, se accede a un archivo con información resumida del proyecto y de la barrera detectada.

G7 (2 participantes) *Tótems de Señalización*: los tótems funcionan como puntos de referencia para personas ciegas y para personas que nunca hayan conocido el predio. Cuentan con texto en macrotipo junto con braille en un cuadro acrílico, están ubicados a 0,8 m del piso para que personas en silla de ruedas puedan usarlos, contiene un mapa (tótem de entradas) y dos botones: el izquierdo indica la localización del consultante y el derecho informa qué hay en la zona.

En síntesis, todos los grupos realizaron ideas-proyecto que respondían a necesidades concretas reveladas y vinculadas a la herramienta guía propuesta. Sin embargo, algunos grupos se focalizaron mayormente en la facilidad de uso, otros en cuestiones de simplicidad constructiva y otros, en asegurar que tenga al menos los requerimientos iniciales mínimos. Por tanto, los docentes plantearon la necesidad en un retrabajo en espiral sobre las propuestas básicas, a fin

de potenciar soluciones realmente operativas.



Fig. 2. Sistema de Validación para el Uso de Estacionamiento Exclusivo.

Tecnología Avanzada I

Esta asignatura anual corresponde al cuarto año de la carrera de Licenciatura en Diseño Industrial, cuenta con tres docentes: un profesor titular, un jefe de trabajos prácticos y un docente auxiliar. En el 2024, cursaron 50 estudiantes, quienes se organizaron para la presente experiencia en 12 grupos durante seis semanas. En la misma, se retomaron tres ideas proyectos, elaboradas en el espacio curricular optativo *Diseño Inclusivo y Accesibilidad*, para analizar posibles mejoras o propuestas alternativas de interfaces.

Las ideas proyectos fueron: G1 *Dispensador de agua universal*, G3 *¿Cómo Llego?: Aplicación Interactiva para Todas las Personas Asistentes al Centro Universitario Rosario (CUR)* y G5 *Sistema de validación para el uso de estacionamiento exclusivo de personas con discapacidad*. Cada grupo, luego de introducirse en las problemáticas teóricas multidimensionales y el modelo PEM-EIIS, realizó un análisis pormenorizado y se centró en la mejora de las interfaces (temática curricular que vinculaba a la experiencia). La evaluación de los grupos se llevó a cabo a partir de la entrega de los informes finales y la defensa oral. Por lo cual, se contó en total con 36 propuestas recreadas considerando los indicadores correspondientes sobre las tres ideas proyectos originales.

Discusión

La inclusión de personas con discapacidad partícipes de la multiplicidad de aspectos que el contexto actual requiere es un desafío ineludible [15]. Desde el campo de la accesibilidad, el modelo PEM-ElIS se fundamenta en la perspectiva teórico-metodológica de la Accesibilidad-DID [6], entendida como una propiedad emergente de la relación entre sujetos y entornos, y no como una cualidad inherente a los objetos. Esta concepción sociotécnica cultural, situada, relacional y multimodal promueve la ampliación de significantes que intervienen en los procesos de producción de sentido constituidos desde gramáticas complejas, atendiendo a las posibilidades múltiples y variadas de recepción de los contextos de reconocimiento.

Esta perspectiva se distancia de los enfoques tradicionales que abordan la accesibilidad a partir de categorías de discapacidades o como “adaptaciones” focalizadas, sin modificaciones estructurales. Entonces, lo que se produce (sea tangible o intangible) no se restringe al colectivo identificado como PCD, sino que amplía las posibilidades comunicativas en general, contemplando limitaciones circunstanciales, contextos culturales diversos y preferencias individuales.

Los resultados del proyecto evidencian que la UNR promueve efectivamente un contexto sociotécnico inclusivo que facilita el encuentro multidisciplinario y la integración de saberes vivenciales en el estudio del diseño proyectual. No obstante, la incorporación sistemática de la problemática inclusiva aún presenta desafíos, ya que no se encuentra implementada de manera uniforme en todas las carreras que se imparten en la institución. Esta situación demanda la profundización de acciones estratégicas que aceleren la implementación efectiva de los lineamientos institucionales vigentes.

En el ámbito de la infraestructura física, persisten diversas problemáticas que requieren atención prioritaria. El compromiso activo tanto del cuerpo docente como del estudiantado ha resultado en un relevamiento actualizado y sistemático de las condiciones de accesibilidad en los espacios físicos del CUR, así como en la identificación de soluciones viables que representan un avance tangible hacia la no exclusión de PCD. A nivel internacional, aunque los aspectos infraestructurales pueden encontrarse mayormente resueltos, persisten en la educación superior desafíos relacionados con prácticas educativas que no favorecen la inclusión plena de dicho colectivo [16].

El principal aporte mencionado por todos los actores participantes fue que los espacios generados no solo resultaron propicios para el aprendizaje y la creatividad en torno al diseño, sino que también permitieron profundizar la reflexión sobre las concepciones de discapacidad e inclusión, contribuyendo así a una formación más integral y socialmente responsable.

En cuanto al desarrollo del proceso formativo, resultó significativo el compromiso activo de los participantes en las diferentes actividades propuestas y el establecimiento de un diálogo

fluido durante las sesiones presenciales y virtuales. De esta manera, se enfatizó la valoración del proceso de aprendizaje en sí mismo, relegando a un segundo plano la consecución de resultados definitivos, lo que evidencia la coherencia con los principios constructivistas que articulan acción, pensamiento y lenguajes de forma integral y espiralada [17].

La metodología implementada propició la aparición espontánea y no secuencial de procesos cognitivos de alta complejidad en los diferentes grupos de trabajo. Para el alumnado participante, la propuesta resultó una experiencia desafiante que les permitió en sus propias reflexiones “descubrir habilidades y fortalezas” en el diseño inclusivo y sustentable. Además, a partir de la práctica proyectual realizada, pudo producirse una revisión crítica de las propias prácticas en quienes serán futuros profesionales de las áreas de arquitectura y diseño industrial. Estos procesos abarcaron desde la exploración metódica de contenidos hasta la síntesis entre conocimientos preexistentes y emergentes, culminando en el análisis crítico de la información procesada. El análisis sincrónico del modelo PEM-ElIS permitió la reinterpretación continua de las conclusiones provisionales, generando un flujo más dinámico en la generación de ideas y promoviendo la construcción colaborativa del conocimiento.

La principal dificultad que se presenta en el proceso de aplicación del modelo PEM-ElIS es la comprensión de lo que se entiende por un análisis complejo multidimensional de sustentabilidad y radica en la necesidad de trascender los enfoques unidimensionales tradicionales que abordan la sustentabilidad desde perspectivas aisladas para adoptar una visión integradora que reconozca las múltiples capas de interacción entre estos dominios [18]. Esta interrelación opera a través de bucles de retroalimentación, efectos emergentes y propiedades sistémicas que no pueden ser predichas o comprendidas mediante el análisis aislado de cada dimensión [14][19].

Conclusiones

La coconstrucción dialógica de intersaberes fundamental para el diseño de ElIS en la educación universitaria solicita revisar en profundidad, por un lado, aquella tradición disciplinar que estructura la enseñanza de manera fragmentada, presentando contenidos compartimentados que no evidencian los vínculos horizontales y transversales necesarios a nivel curricular. Y, por otro, la limitada apertura hacia los saberes no formales emergentes del contexto comunitario, lo cual restringe significativamente las posibilidades de integración epistemológica y diálogo intercultural en los procesos formativos.

Esta fragmentación disciplinar no solo dificulta la comprensión sistémica de fenómenos complejos, sino que también perpetúa una epistemología hegemónica que marginaliza formas alternativas de conocimiento, limitando así el potencial transformador de la educación superior en su función social.

La investigación realizada da cuenta que es posible y conveniente la implementación del enfoque metodológico de investigación-acción participativa, en conjunto con la utilización de la herramienta guía PEM-EIIS para contrarrestar los procesos de fragmentación social, exclusión e individualización característicos de la sociedad contemporánea [18]. Esta conjunción fue evaluada positivamente por todo el grupo participante en sus diferentes roles, quienes valoraron especialmente el intercambio social y el reconocimiento mutuo, así como el carácter desafiante que representó la actividad grupal para el desarrollo de competencias colectivas.

Asimismo, PEM-EIIS demostró su efectividad al funcionar como una guía integrada de evaluación para cada una de las propuestas proyectuales desarrolladas. El cuerpo docente manifestó lo beneficioso que resultaría que este enfoque de práctica educativa proyectual se implementara de manera transversal en las carreras de diseño industrial de la región.

A nivel de los contenidos desarrollados, los estudiantes plantearon que sería fundamental incorporarlos desde el inicio de las carreras, cuestión pendiente que debe reformularse al menos, en los planes de estudio de la UNR.

Lo propuesto se alinea estratégicamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible [19], integrando múltiples dimensiones: la calidad educativa (ODS 4), la promoción de comunidades sostenibles e inclusivas (ODS 11) y la reducción de desigualdades (ODS 10). En esta dirección, el diseño proyectual creativo e innovador de EIIS, fundamentado en un enfoque sociotécnico y cultural habilita en el estudiantado una profunda toma de conciencia sobre la urgente necesidad de producir artefactos no excluyentes, cuya fabricación y mantenimiento sea sustentable y colabora en garantizar condiciones de inclusión educativa equitativas. También, se estima con alto nivel de transferencia en el ejercicio laboral de la profesión. En este sentido, se puede constituir como una guía ordenadora para evaluar la factibilidad y sostenibilidad de las ideas iniciales, aportando una mirada integral y compleja del diseño proyectual.

En síntesis, aunque persisten aún desafíos significativos en la implementación de este enfoque —tales como condiciones presupuestarias institucionales, limitaciones en las prácticas educativas del personal docente, articulación curricular y la complejidad inherente al manejo de múltiples dimensiones con sus respectivas variables e indicadores—, estos obstáculos constituyen, paradójicamente, catalizadores para la innovación educativa. Las dificultades identificadas abren espacios para el desarrollo de estrategias multiagenciales y para el fortalecimiento de prácticas de diseño que articulen de manera efectiva las necesidades específicas de la comunidad educativa en su más amplio sentido.

Referencias

- [1] F. Moreira da Silva, "Inclusive Design is Much More Than the Opposite of Exclusive Design", en *Perspectives on Design and Digital Communication III*, N. Martins, D. Brandão, F. Paiva, F. (eds). Springer Series in Design and Innovation, vol 24. Springer, Cham. 2023, pp 157–165. Consultado: 23 jul. 2025. doi: 10.1007/978-3-031-06809-6_10
- [2] D. Bernaschina Cuadra, "Diseño inclusivo en Chile: una nueva visión al cambio de adaptación del diseño industrial para el beneficio de discapacidad," *Thélos*, vol. 1, no. 14, pp. 65–82, 2022. Consultado: 2 dic. 2024. [En línea]. Disponible: <https://thelos.uted.cl/articulos/diseno-inclusivo-en-chile-una-nueva-vision-sobre-la-adaptacion-del-diseno-industrial-para-el-beneficio-de-la-discapacidad>
- [3] H. Thomas, M. Fressoli, y G. Santos, *Tecnología, desarrollo y democracia. Nueve estudios sobre dinámicas socio-técnicas de exclusión/inclusión social*, Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva Editora, 2012.
- [4] ONU, *Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad*, 2006. Consultado: 2 dic. 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf>
- [5] F. E Balcazar, "Investigación acción participativa (iap): Aspectos conceptuales y dificultades de implementación". *Fundamentos en Humanidades*, vol IV, no. 7-8, pp. 59-77, 2003. Consultado: 29 jul. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18400804>
- [6] P. S. San Martín, G. L. Rodríguez, G. Andrés, L. Manero y M. Cenacchi, "Del dispositivo hipermedial dinámico (DHD) al dispositivo intermedial dinámico (DID)," en *La apropiación creativa de la tecnología en educación. Claves para su comprensión*, P. S. San Martín, Ed. Buenos Aires, Argentina: Editorial Teseo, 2023, pp. 361-394.
- [7] J. Picabea, "Los sistemas tecnológicos sociales como herramienta para orientar procesos inclusivos de innovación y desarrollo en América Latina," *Hábitat Inclusivo*, no. 10, pp. 1-8, 2017. Consultado: 2 dic. 2024. [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/100681829/Los_sistemas_tecnol%C3%B3gicos_sociales_como_herramienta_para_orientar_procesos_inclusivos_de_innovaci%C3%B3n_y_desarrollo_en_Am%C3%A9rica_Latina
- [8] P. S. San Martín, M. L. Endere, N. Levrand, G. Andrés y M. Mariano, "Hacia un marco conceptual y metodológico para la construcción del modelo de evaluación de la sustentabilidad 'PCI-Inclusión Social'", en *Patrimonio Cultural Inmaterial e Inclusión Social. Aportes para la agenda de desarrollo de la era post-COVID en América Latina y el Caribe*, P. S. San Martín, Ed. París, Francia: UNESCO, 2022, pp. 49-98. [En línea]. Disponible: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380920>
- [9] P. San Martin, G. Andrés, G. Rodríguez, "Construir y sostener una red físico-virtual de un instituto de investigación: el caso DHD-IRICE. *Paakat. Revista de Tecnología y Sociedad*, vol.7, no. 12, pp. 1 – 18, 2017. Consultado: 23 jul. 2025. doi: 10.32870/Pk.a7n12.287

[10] P. S. San Martín, "Hacia un modelo analítico multidimensional para la co-construcción y sostenibilidad de proyectos escolares "TIS - Ciencias de la Computación". *Espacios en blanco*, vol.1 no. 31, pp. 67–81, 2021. Consultado: 23 jul. 2025. [En línea]. Disponible: <https://ojs2.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/espacios-en-blanco/article/view/833>

[11] H. de Fraga, J. Severino, "El protagonismo de las mujeres en los circuitos del patrimonio cultural inmaterial: una mirada sobre Bahía, Brasil', en *Patrimonio Cultural Inmaterial e Inclusión Social. Aportes para la agenda de desarrollo de la era post-COVID en América Latina y el Caribe*, P. S. San Martín, Ed. París, Francia: UNESCO, 2022, pp. 105-121. [En línea]. Disponible: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380920>

[12] G. Andrés, P. San Martín, y G. Rodríguez, "Análisis multidimensional de la sostenibilidad-DID en el contexto físico-virtual," *Cuadernos.info*, no. 54, pp. 1-22, 2023. Consultado: 2 dic. 2024. doi: 10.7764/cdi.54.52515

[13] V. Abella-García, V. Ausín-Villaverde, V. Delgado-Benito, y R. Casado-Muñoz, "Aprendizaje basado en proyectos y estrategias de evaluación formativas: percepción de los estudiantes universitarios", *Rev. Iberoam. Eval. Educ.*, vol. 13, no. 1, pp. 93-110, 2020. Consultado: 2 dic. 2024. doi: 10.15366/riee2020.13.1.004

[14] R. García, *Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*, Buenos Aires, Argentina: Gedisa, 2006.

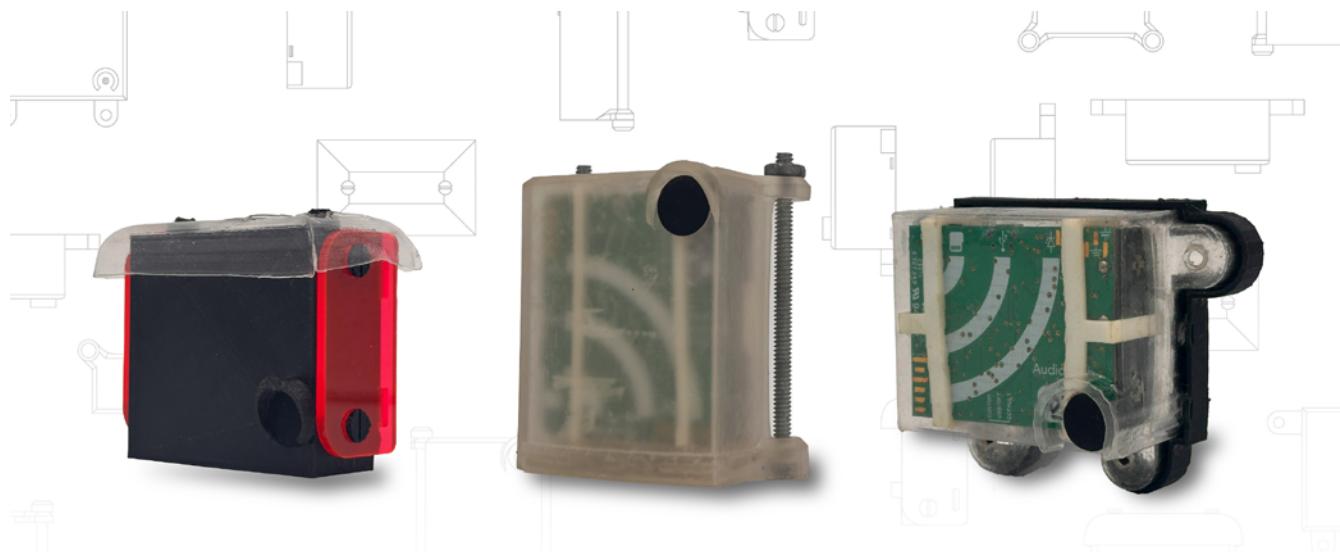
[15] UNESCO, *Informe de seguimiento de la educación en el mundo, 2020: Inclusión y educación: todos y todas sin excepción*, 2020. Consultado: 2 dic. 2024. doi: 10.54676/WWUU8391

[16] A. Luque y R. Gutiérrez, "El futuro de la educación inclusiva en la Universidad de Bolonia: una encuesta a estudiantes, opiniones y actitudes," *Rev. Electrónica de Investigación Educativa*, vol. 24, e23, pp. 1-14, 2022. Consultado: 2 dic. 2024. doi: 10.24320/redie.2022.24.e23.4179

[17] J. Bruner, *Acción, pensamiento y lenguaje*. Madrid, España: Alianza Editorial, 1989.

[18] C. Maldonado Varela, M. Marinho, C. Robles, V. Tromben, "Cohesión social y desarrollo social inclusivo en América Latina. Una propuesta para una era de incertidumbres". Naciones Unidas, CEPAL, 2021. Consultado: 23 jul. 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47403-cohesion-social-desarrollo-social-inclusivo-america-latina-propuesta-era>

[19] ONU, *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, 2015. Consultado: 2 dic. 2024. [En línea]. Disponible: <https://undocs.org/A/RES/70/1>



Diseño, prototipado y pruebas acústicas de estuches de protección para grabadoras AudioMoth mediante tecnologías de fabricación digital

Design, prototyping, and acoustic testing of protective cases for AudioMoth recorders using digital fabrication technologies

Farith Tabash-Pérez¹, Roberto Vargas-Masís²

F. Tabash-Pérez , R. Vargas-Masís, "Diseño, prototipado y pruebas acústicas de estuches de protección para grabadoras AudioMoth mediante tecnologías de fabricación digital," *IDI+*, vol. 8, no 2, pp. 24-42, Ene., 2026.

 <https://doi.org/10.18845/ridip.v8i2.8429>

Fecha de recepción: 20 de marzo de 2025

Fecha de aprobación: 10 de noviembre de 2025

1. Farith Tabash-Pérez

Investigador, Laboratorio de Fabricación (Fab Lab) Ká Tráe, Vicerrectoría de Investigación Universidad Estatal a Distancia (UNED, San José, Costa Rica
 ftabash@uned.ac.cr

 0000-0003-0974-5060

2. Roberto Vargas-Masís

Investigador, Laboratorio de Investigación e Innovación Tecnológica (LIIT), Vicerrectoría de Investigación, Universidad Estatal a Distancia (UNED), San José, Costa Rica
 rovargas@uned.ac.cr

 0000-0003-1244-4381

Resumen

El monitoreo acústico del ambiente se ha incrementado en los últimos años y es considerada una técnica poco invasiva para estudiar fauna silvestre. Dicho aumento ha favorecido el desarrollo de nuevas tecnologías, por ejemplo, la placa AudioMoth. Esta pequeña placa electrónica registra sonidos de la naturaleza, pero bajo condiciones ambientales adversas, por lo que puede dañarse con facilidad; aunque se han desarrollado protectores, su acceso es limitado. Actualmente, se han implementado protectores alternativos con diferentes diseños, sin embargo, no se ha evaluado su funcionalidad a través de pruebas acústicas. Debido a ello, en este proyecto, se diseñaron y evaluaron tres prototipos confeccionados mediante tecnologías de fabricación digital a partir de sugerencias de personas usuarias expertas en bioacústica. Se comprobó su desempeño en un ambiente controlado, un ecosistema húmedo y un ecosistema seco mediante la comparación de índices acústicos tradicionales. Finalmente, los resultados muestran que el mejor desempeño lo obtuvo el prototipo de protector a base de resina, pues, dadas las características del material, brinda la mayor protección y modifica en menor grado las variables acústicas al compararlo con la protección mediante bolsa plástica que se ha utilizado como método tradicional. A partir de los resultados, se brindaron recomendaciones de diseño para el prototipo seleccionado. Así mismo, el diseño y evaluación de estos protectores puede evitar futuros daños en la placa y mantener su funcionalidad, a pesar de las condiciones de los ecosistemas tropicales.

Palabras clave

Monitoreo acústico; estuche protector; prototipado; AudioMoth; impresión digital.

Abstract

Acoustic monitoring of the environment has increased in recent years and is considered a minimally invasive technique for study wildlife. This increase has favored the development of new technologies, for example, the AudioMoth board. This small electronic board records sounds from nature, but under adverse environmental conditions, it can be easily damaged; although protectors have been developed, access to them is limited. Currently, alternative shields with different designs have been implemented, but their functionality has not been evaluated through acoustic testing. Three prototypes made using digital fabrication technologies were evaluated based on suggestions from users who are experts in bioacoustics. Their performance was tested in a controlled environment, a humid ecosystem and a dry ecosystem by comparing traditional acoustic indices. The results show that the best performance was obtained by the resin-based protector prototype, since, given the characteristics of the material, it provides the greatest protection and modifies the acoustic variables to a lesser degree when compared to the protection by means of a plastic bag that has been used as a traditional method. Based

on the results, design recommendations were provided for the selected prototype. The design and evaluation of these protectors can prevent future damage to the plate and maintain its functionality, despite the conditions of tropical ecosystems.

Keywords

Acoustic monitoring; protective case; prototyping; AudioMoth; digital printing.

Introducción

El monitoreo acústico surge como una técnica de alto valor ecológico, no invasiva, en la determinación de la biodiversidad de diversos ecosistemas [1]. Lo cual brinda un marco respecto del avance tecnológico en el desarrollo de nuevos dispositivos de grabación de sonidos creados en zonas templadas. Por esta razón, desarrollar estuches de protección para estas grabadoras y adaptarlos a las condiciones de las regiones tropicales se ha convertido en una prioridad [2].

Las grabadoras AudioMoth surgen como una opción de bajo costo para el monitoreo de fauna silvestre [3]. Son pequeñas placas electrónicas que permiten el registro acústico sin compresión de audio. Estos dispositivos son una herramienta de investigación en espacios como bosques maduros y selvas tropicales, en los que las condiciones climáticas son particularmente adversas.

Estos dispositivos cumplen con la función de registro acústico, sin embargo, al estar expuestos a condiciones ambientales adversas, pueden dañarse con facilidad, generando pérdida de la placa, así como de datos recolectados. Además, la oferta de estuches de protección alternativos a los desarrollados por AudioMoth es reducida y no se cuenta con pruebas que respalden su funcionalidad. Por lo que bolsas de plástico de cierre hermético son utilizadas para “proteger” estas placas, al menos de la lluvia.

Estos prototipos son diseñados en Laboratorios de Fabricación (*Fab Lab*, por sus siglas en inglés), los cuales son espacios para crear, guiar e inventar, brindando acceso a nuevos materiales y tecnologías que permiten la innovación en cualquier lugar y para cualquier persona. En estos laboratorios, se utilizan tecnologías de fabricación digital como impresión 3D, corte láser, CNC u otros [4].

Los Laboratorios de Fabricación son espacios abiertos donde se pueden experimentar y prototipar soluciones variadas a distintas situaciones o problemas por resolver y por distintos medios. En otras palabras, facilita las tecnologías, los materiales y los entornos a cualquier persona para que haga (casi) cualquier tarea [4].

Antes de elaborar un prototipo, es preciso trabajar en el diseño, por lo que se plantea la definición

de requerimientos y requisitos. Para hacerlo, se emplea la metodología de Design Thinking. Al combinar estos elementos, se generarán bases más sólidas, facilitando el conocimiento de las necesidades reales para el desarrollo de los modelos o prototipos; seguido por distintas pruebas de prototipado en físico y una continua mejora en su desarrollo [5].

Con los prototipos se buscan las maneras más eficientes de transformar las ideas en productos tangibles (la materialización de la idea) y ejecutar pruebas en varios escenarios reales, que demuestren el desempeño del producto respecto a la propuesta inicial [6]. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es generar prototipos de estuches de protección para las grabadoras de sonido AudioMoth y comparar su funcionalidad mediante la ejecución de pruebas acústicas en diferentes condiciones climáticas.

Metodología

Para la generación de prototipos, se determinaron los requisitos y requerimientos que permitieron la funcionalidad básica de los estuches de protección, según las consultas que se realizaron a personas usuarias de estas grabadoras en el área de Biología y Bioacústica. Con esta información, se elaboró una tabla con los requisitos y distintos elementos de referencia de protectores ya existentes.

Las características establecidas durante este proceso se describen en la Tabla I, donde se consideran requisitos como características obligatorias y los requerimientos como características necesarias, más no indispensables, para su funcionamiento.

Uno de los requisitos establecidos para el prototipo fue la impermeabilidad del material, ya que el material seleccionado debe proteger la placa de la lluvia y otras condiciones ambientales como la humedad. Por lo tanto, el diseño y los materiales de fabricación digital utilizados debieron adaptarse y utilizar tecnologías que cumplan con este requisito. Durante las pruebas, no se contó con condiciones de lluvia dada la época del año, pero se establecieron ambientes diversos de pruebas respecto a la humedad.

Se determinó que los prototipos debieron ser generados con materiales y métodos de fabricación variados, para poner a prueba sus posibles efectos en las grabaciones de la placa AudioMoth; tanto en usabilidad como reacción a la acústica y reacción al ambiente para cada prototipo.

El tipo de tecnología es determinante en el proceso de prototipado y fabricación digital, por lo que para los prototipos se utilizaron tecnologías (según corresponde a cada material) como la impresión 3D; tanto la impresión más tradicional de Modelado por Deposición Fundida (FDM, por sus siglas en inglés) como la impresión estereolitografía (SLA, por sus siglas en inglés). También se emplearon otras tecnologías como el corte láser de Control Numérico Computarizado (CNC) y el termoformado.

TABLA I

LISTADO DE LOS REQUISITOS Y REQUERIMIENTOS DETERMINADOS A PARTIR DE LAS CONSULTAS A PERSONAS EXPERTAS Y USUARIAS DE LAS GRABADORAS DE SONIDO Y SUS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Requisitos	Propuesta
Dimensiones de 58 mm x 48 mm x 15 mm para la placa AudioMoth.	Ajustar el diseño a las dimensiones de la placa AudioMoth.
Que el material sea impermeable.	Utilizar materiales de poca porosidad.
Que el material no recaliente la placa.	Disminuir el contacto directo de la placa con el material del estuche.
Que el protector posea una abertura para el micrófono al lado derecho abajo.	Orificio inferior.
Que se realice una fabricación digital de los diseños propuestos.	Fabricar en un <i>Fab Lab</i> , con tecnologías de fabricación digital.
Que el diseño proteja la placa de agentes externos (bióticos y abióticos).	Utilizar materiales duros o flexibles.
Que utilice una membrana IP67 permeable al sonido, pero impermeable al agua.	Utilizar membrana IP67.
Proteger la placa de la abrasión con los materiales a producir los prototipos.	Colocar espacios libres entre la placa y el case protector.
Que la placa no toque el material directamente.	Colocar un soporte con almohadilla.
Requerimientos	
Que sea portable.	Diseñar de acuerdo con las dimensiones de la placa AudioMoth.
Que el ensamblado sea sencillo.	
Color negro, verde u oscuro o que sea transparente.	Utilizar materiales de ciertas totalidades o permitan su recubrimiento.
Que posea un punto de agarre para amarras.	Colocar métodos para sujetar amarres (orificios).
Que se puedan grabar logos de los desarrolladores.	Utilizar materiales que se puedan ajustar al diseño.
Fácil colocación de la placa.	Diseño vertical u horizontal.
Que sea de bajo costo de impresión, según los precios del mercado.	Utilizar diseños de figuras simples (poco complejas), que faciliten su fabricación.
Que las dimensiones del diseño puedan modificarse según los cambios en el tamaño de la placa.	Utilizar modelos que se puedan alterar las medidas.

Considerando la disponibilidad de lo anterior en el Laboratorio, los materiales utilizados fueron: Mayku Sheets que posee la ventaja de una mejor protección a líquidos y el material es reciclable [7]; resina fotosensible con la ventaja de una mayor calidad de impresión y protección a líquidos [8]; poliuretano termoplástico (TPU 95A) que posee un precio accesible, es flexible y resistente [9]. Por último, acrílico que brinda la facilidad por costo, rápida fabricación, impermeabilidad y facilidad de mecanización y moldeo [10].

Con los tres prototipos ya desarrollados, se colocaron cuatro grabadoras AudioMoth (tres prototipos y una grabadora de control protegida con una bolsa plástica) en tres ambientes con condiciones ambientales distintas, para efectuar las pruebas acústicas y verificar el funcionamiento mediante su comparación a través de índices acústicos.

Los ambientes en los que se evaluaron los prototipos de protectores fueron:

- Ambiente semicontrolado: UNED, San José (9.940515° N., -84.047635° O.)
- Ambiente húmedo: San Joaquín, Heredia (10.008626° N., -84.137162° O.)
- Ambiente seco: Guayabo, Puriscal, San José (9.848277° N., -84.262020° O.)

Se colocaron las grabadoras AudioMoth y se configuraron para grabar durante 2 horas, con grabaciones cada diez minutos, en cada ambiente. Las grabaciones se realizaron en formato "wav" con una frecuencia de muestreo de 48 kHz y 16 bits de resolución [11], [12]. Además, los audios recolectados se analizaron con el programa R, utilizando el paquete Sinax para extraer la información acústica de las grabaciones, utilizando índices acústicos [13].

Se utilizaron índices acústicos tradicionales en estudios de paisaje sonoro como el índice de bioacústica (BIO), índice de diversidad acústica (ADI), índice de diferencia normalizada del paisaje sonoro (NDSI) e índice de picos (NP). Estos caracterizan variables espectrales de elementos como biofonías (sonidos de origen biológico), geofonías (sonidos naturales que no son de origen biológico) y antropofonías (sonidos de origen humano) para evaluar los prototipos desarrollados.

Se compararon los índices acústicos para cada tratamiento por sitio, mediante una prueba estadística robusta [14], [15] y se realizaron comparaciones Lincoln *a posteriori* [14] que utilizan el ajuste de Dun. Los análisis estadísticos se realizaron con el lenguaje de programación R versión 4.0.2 [16] con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ y sin comparar los resultados entre sitios de muestreo.

Resultados

Tras establecer los requisitos, requerimientos, materiales y tecnologías, se generaron los primeros bocetos de los protectores (Figura 1A), lo que permitió encontrar puntos de mejora, tanto en diseño como fabricación, previo a la impresión de los modelos 3D.

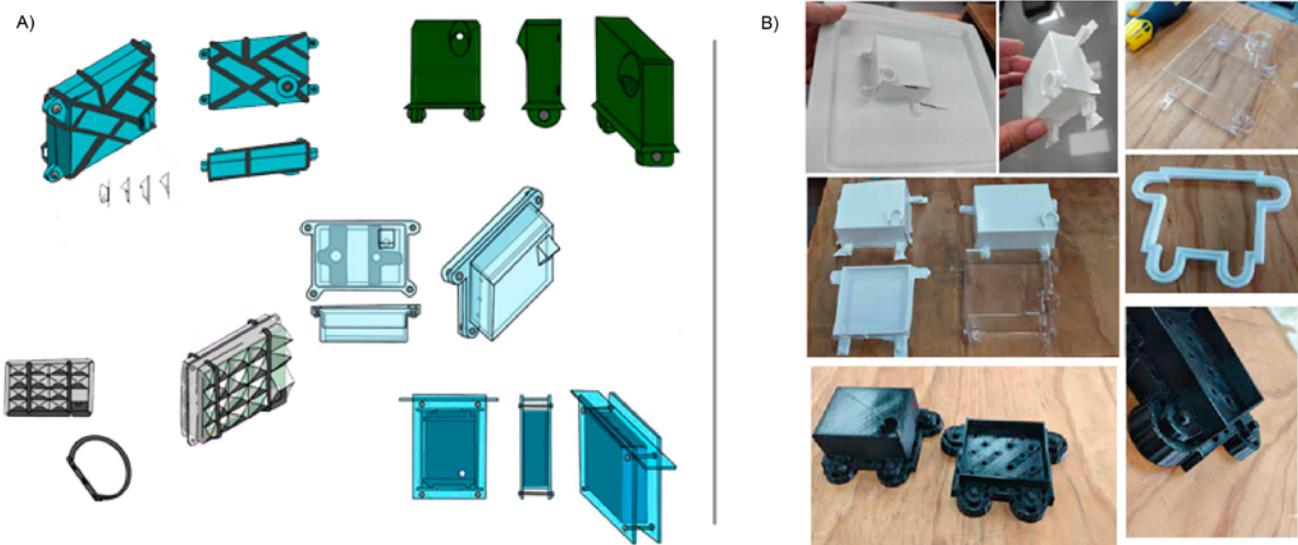


Fig. 1. Diseños digitales y pruebas iniciales de los prototipos de protectores para AudioMoth. (A): Imágenes de bocetos a partir de los requisitos y requerimientos recopilados con expertos. (B): Pruebas de los procesos de prototipado (positivos y negativos) para los protectores de AudioMoth.

Una vez definidos los modelos 3D de las propuestas, se realizaron pruebas de fabricación, para comprobar el comportamiento de los materiales, realimentar el diseño y volver más eficiente la fabricación según cada material.

Para cada prototipo, se realizaron moldes preliminares a fin de evaluar los tipos de ensamble, aspectos de mejora en la fabricación digital, tiempo de fabricación, la facilidad de generar el prototipo y el comportamiento de los materiales en las condiciones del Laboratorio, entre otros factores (Figura 1B).

Los modelos contemplan un seguro interno impreso en TPU 95A para prevenir golpes a la placa, y se utilizó un parche permeable al sonido, pero impermeable al agua, colocado en los orificios por donde ingresan las ondas de sonido.

Protector 1 Termoformadora (TEF)

El prototipo 1 (figura 2) fue fabricado, en su mayor parte, por medio de la termoformadora, por lo que fue necesario contar con el molde negativo en impresión 3D. En este caso, se realizó por medio de impresión 3D de tecnología de FDM en materiales como el poliácido láctico (PLA). Además, se utilizó un seguro impreso en 3D con material flexible TPU 95A para asegurar los bordes, limitar la entrada de lluvia al ajustar los bordes de los componentes y brindando más solidez al modelo.

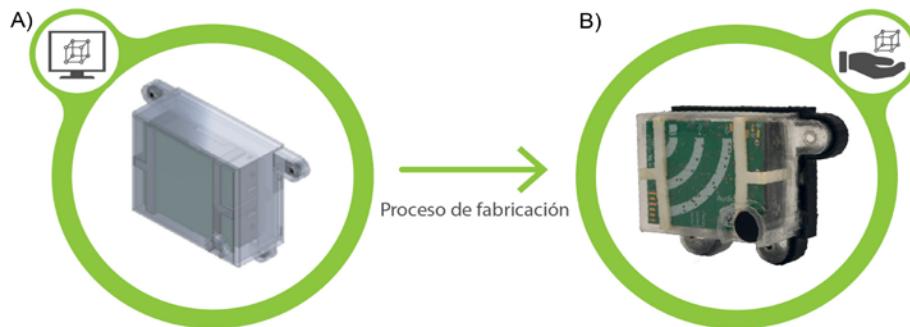


Fig. 2. Prototipo del protector 1 (termoformadora) para la grabadora AudioMoth. (A): Prototipo versión virtual (modelo 3D). (B): prototipo versión física.

Protector 2 Resina (RES)

El segundo prototipo se realizó con impresión 3D, con tecnología SLA y resina fotosensible. Este prototipo no tuvo requerimientos extras para su fabricación, por lo que se procedió a realizar un modelo 3D en su totalidad, para luego ser exportado a formatos permitidos en la tecnología de impresión 3D (en este caso formato .stl).

Este prototipo contempla dos partes: la carcasa protectora y la tapa, además, su diseño es más vertical, ambos son en resina, la cual requiere un postproceso, que consiste en un curado o lavado de las piezas en alcohol isopropílico y, después, un proceso para endurecer la pieza, el cual se realiza con un dispositivo que dispara rayos ultravioletas (Figura 3).

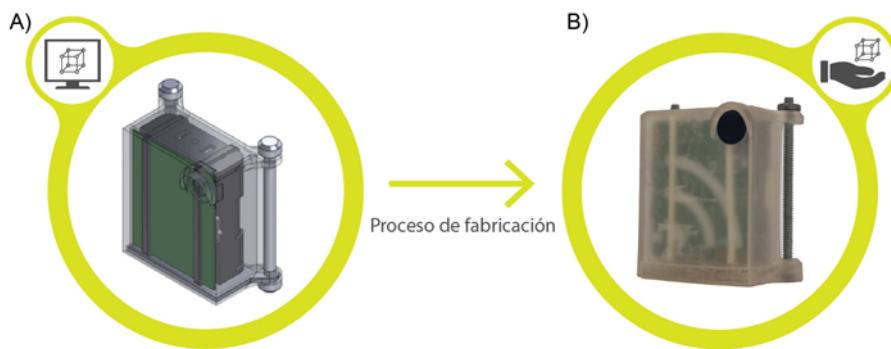


Fig. 3. Prototipo del protector 2 (resina) para la grabadora AudioMoth. (A): Prototipo versión virtual (modelo 3D). (B): Prototipo versión física.

Protector 3 TPU95 (TPU)

Este prototipo posee una combinación de varios materiales y tecnologías de fabricación digital. La carcasa protectora se fabricó con impresión 3D de tecnología FDM y material TPU95 A, lo que lo hace flexible. Se fabricaron los laterales de agarre y la tapa inferior con acrílico y corte láser; por último, el techo para evitar la lluvia directa al dispositivo fue fabricado por medio de una termoformadora (Figura 4).

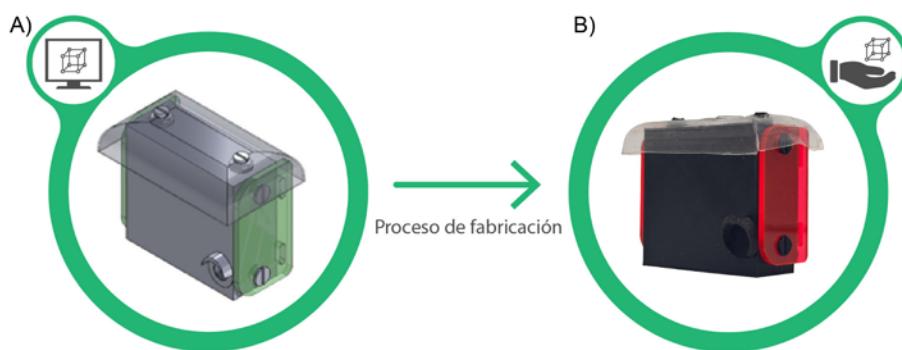


Fig. 4. Prototipo del protector 3 (TPU) para la grabadora AudioMoth. (A): Prototipo versión virtual (modelo 3D). (B): Prototipo versión física.

Comparación de variables acústicas en cada uno de los prototipos

Se compararon los índices acústicos para el sitio UNED. Este sitio se tomó como referencia, ya que las condiciones de grabación se controlaron en un espacio con el menor ruido posible.

Se encontraron diferencias significativas entre todos los prototipos evaluados (figura 5) para el índice BIO ($KW = 26,88$; $p < 0,05$, $gl = 99$), ADI ($KW = 64,11$; $p < 0,05$, $gl = 99$), NDSI ($KW = 49,86$; $p < 0,05$, $gl = 99$) y NP ($KW = 42,60$; $p < 0,05$, $gl = 99$).

Mediante líneas que unen los prototipos que presentaron diferencias significativas, se puede notar, en la figura 5, que el prototipo de resina posee las mayores similitudes respecto al método tradicional utilizado mediante una bolsa plástica; los prototipos de termoformadora y TPU presentan las variantes con esta referencia.

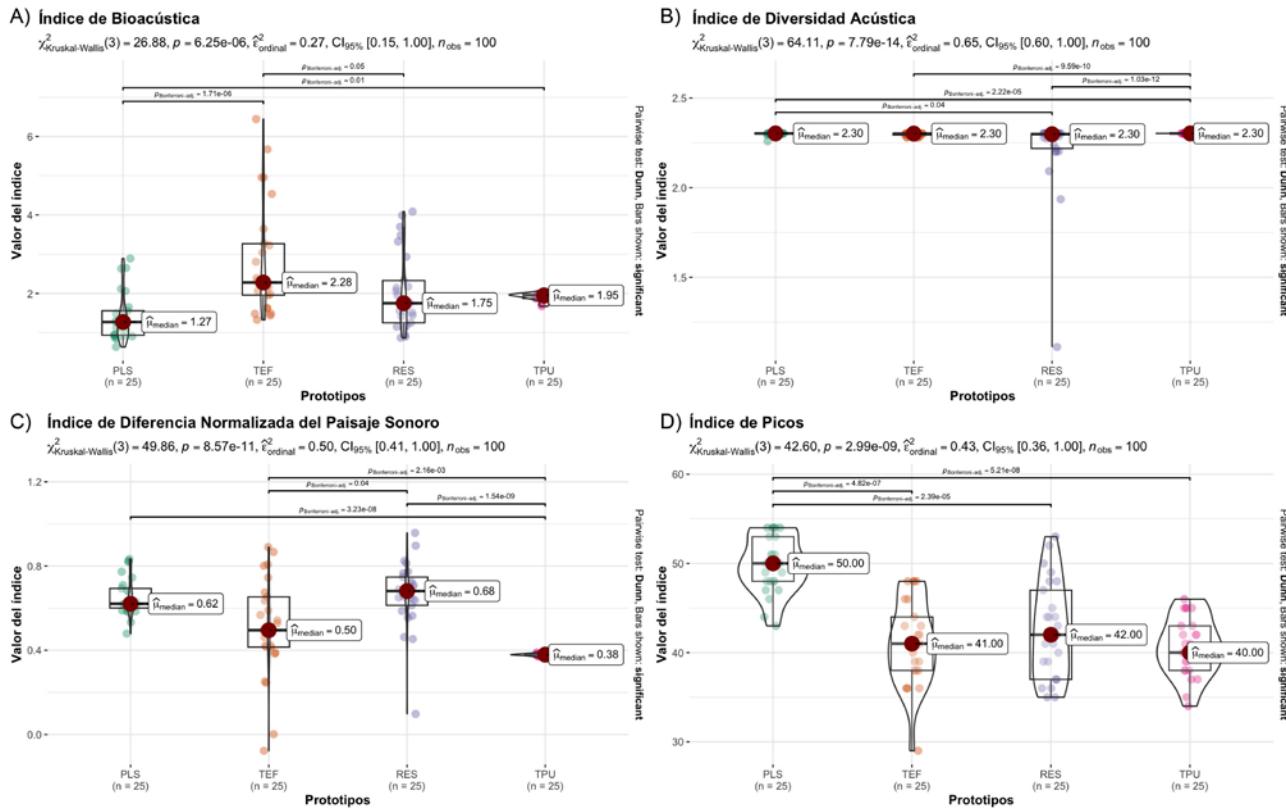


Fig. 5. Comparación del desempeño de las grabadoras con los diferentes protectores de AudioMoth respecto a índices acústicos tradicionales en el sitio UNED. PLS = Bolsa de plástico, TEF = Termoformadora, RES = Resina y TPU = TPU95A, donde (A): Índice de bioacústica, (B): Índice de diversidad acústica, (C): Índice de diferencia normalizada del paisaje sonoro y (D): Índice de Picos.

Respecto al sitio Heredia, también se encontraron diferencias significativas entre los prototipos evaluados (figura 6) para el índice BIO ($KW = 11.31; p < 0.05, gl = 99$), ADI ($KW = 69.03; p < 0.05, gl = 99$), NDSI ($KW = 77.24; p < 0.05, gl = 99$) y no se encontraron diferencias en el índice NP ($KW = 5.79; p > 0.05, gl = 99$).

Al comparar entre los prototipos en el índice BIO, solo se presentaron diferencias significativas entre PLS y TEF, así como entre TEF y TPU, tal como se puede observar en la Figura 6. Finalmente, no se encontraron diferencias significativas en el índice de picos para ninguno de los protectores.

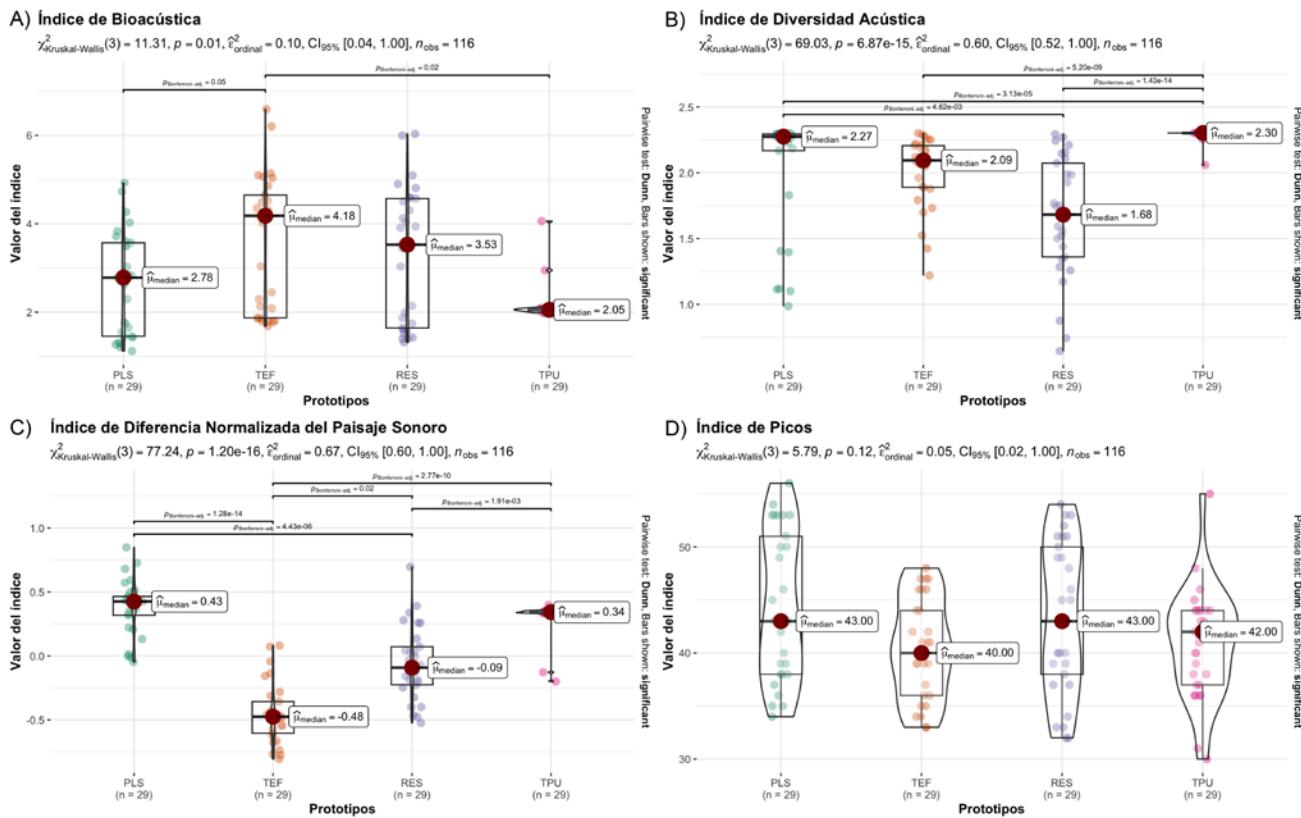


Fig. 6. Comparación del desempeño de las grabadoras con los diferentes protectores de AudioMoth respecto a índices acústicos tradicionales en el sitio Heredia. PLS = Bolsa de plástico, TEF = Termoformadora, RES = Resina y TPU = TPU95A, donde (A): Índice de bioacústica, (B): Índice de diversidad acústica, (C): Índice de diferencia normalizada del paisaje sonoro y (D): Índice de Picos.

Por último, en el sitio Guayabo, se encontraron diferencias significativas (figura 7) en el índice BIO ($KW = 26,86; p < 0,05, gl = 99$), ADI ($KW = 31,77; p < 0,05, gl = 99$), NDSI ($KW = 6,83; p < 0,05, gl = 99$) y tampoco se encontraron diferencias en el indicador NP ($KW = 3,12; p > 0,05, gl = 99$) para los prototipos evaluados.

En la Figura 7, se observa que la referencia con bolsa de plástico no presentó diferencias con los prototipos para el indicador ADI. En general, no se presentaron diferencias entre los prototipos y la bolsa de plástico de manera generalizada para el indicador NDSI y NP.

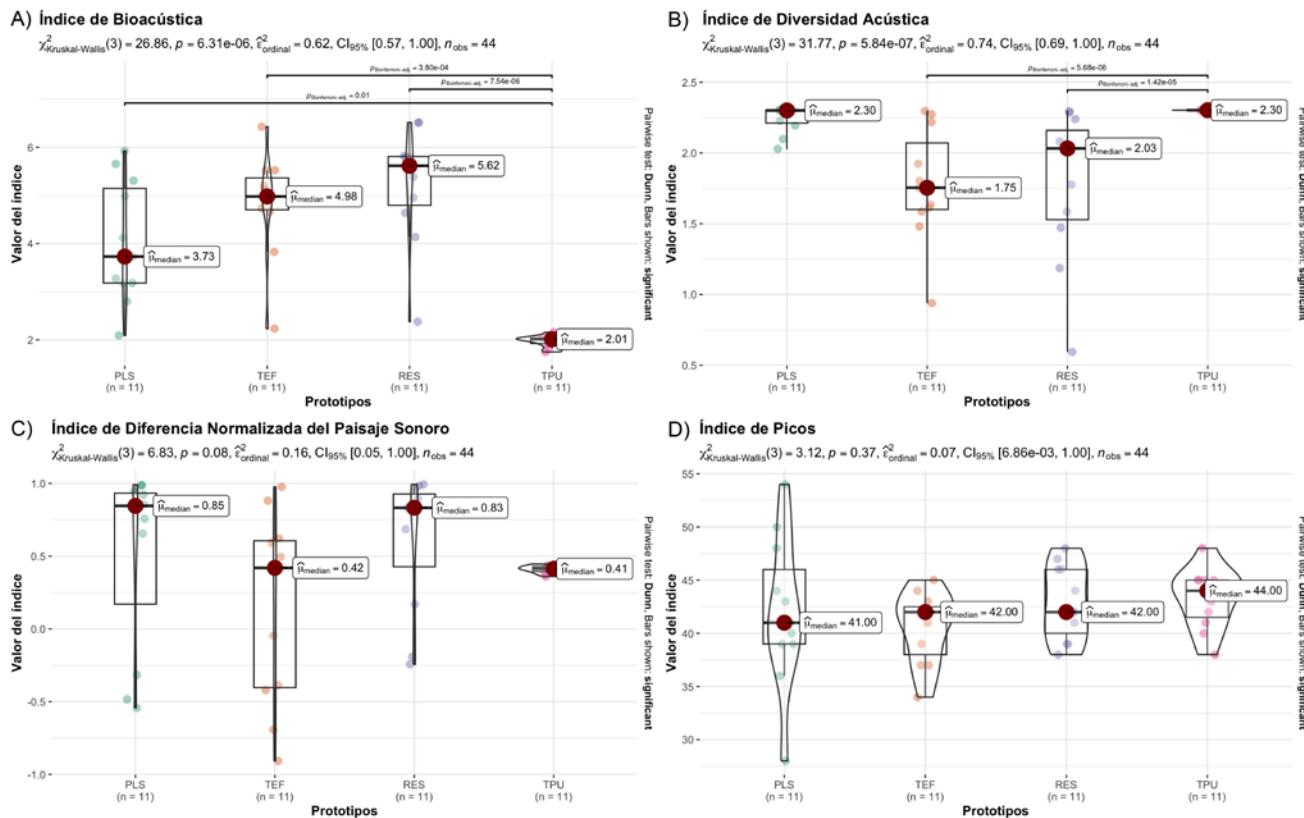


Fig. 7. Comparación del desempeño de las grabadoras con los diferentes protectores de AudioMoth respecto a índices acústicos tradicionales en el sitio Guayabo. PLS = Bolsa de plástico, TEF = Termoformadora, RES = Resina y TPU = TPU95A, donde (A): Índice de bioacústica, (B): Índice de diversidad acústica, (C): Índice de diferencia normalizada del paisaje sonoro y (D): Índice de Picos.

El prototipo que menor variación haya obtenido respecto a la referencia de la bolsa de plástico es el que puede considerarse como el prototipo que, en menor grado, modifica las variables ambientales a pesar del protector. Esto considerando las diferencias estadísticas en las pruebas por pares (Test de Dunn con corrección de Bonferroni).

Al comparar los resultados, se observa que el prototipo que presentó menores diferencias para cada uno de los índices acústicos respecto a los demás y, en especial, respecto a la referencia de la bolsa de plástico, fue el prototipo a base de resina (Protector 2).

Una vez realizadas las pruebas, se analizó de manera conjunta entre el diseñador y el experto en bioacústica, los materiales, las ventajas y las desventajas identificadas durante las pruebas de campo. Este análisis se resume en la Tabla II.

TABLA II

ANÁLISIS DE LOS MATERIALES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS IDENTIFICADAS DURANTE LAS PRUEBAS POR PARTE DEL INVESTIGADOR EN BIOACÚSTICA.

Protector	Código	Ventajas	Desventajas
Bolsa plástica	PLS	Pocas ventajas. Facilidad de uso y bajo costo.	Insectos y otros animales pueden destruir la bolsa. La bolsa tiende a destruirse rápido en condiciones húmedas y puede dañar los dispositivos de grabación. Necesita protección extra para evitar daños
Termoformadora Mayku	TEF	El material parece brindar una protección ante las condiciones ambientales, ya que se dificulta el paso o ingreso de fluidos (material utilizado para moldes).	La integridad de la grabadora puede verse comprometida por ciertos mamíferos, como las ardillas. La transparencia podría hacer evidentes las luces de la AudioMoth. El cierre hermético es complicado de colocar en campo.
Resina fotosensible	RES	Por la dureza del material, se podría brindar una mejor protección ante la abrasión por animales. Puede camuflarse con pintura u otro material dada su facilidad para recubrimiento, así como variedad de colores de resina.	El color original del material puede ser llamativo en ambientes naturales.
TPU95A	TPU	Puede brindar mejor protección dado el grosor del material comparado con materiales plásticos.	La protección ante ciertos animales puede no ser suficiente. La coloración de los laterales es muy llamativa, pero puede adaptarse. El sistema de cierre es difícil de quitar posterior a su colocación.

A pesar de que todos los prototipos pueden ser funcionales respecto a los requerimientos y requisitos iniciales, el prototipo que mejor se ajusta a estas sugerencias iniciales es el prototipo de resina (RES). Una vez desarrolladas las pruebas y consideradas estas sugerencias, se desarrolló digitalmente un prototipo final que considera la realimentación facilitada por el experto en bioacústica (Figura 8).

En este prototipo final, se mejoró el mecanismo de cierre de la tapa inferior con una adaptación de su base para una mayor protección y aislamiento, se aumentó el número de orificios de entrada del sonido (que además estarán protegidos por el sticker adhesivo IP67) y se mejoró el borde del techo de protección del prototipo.

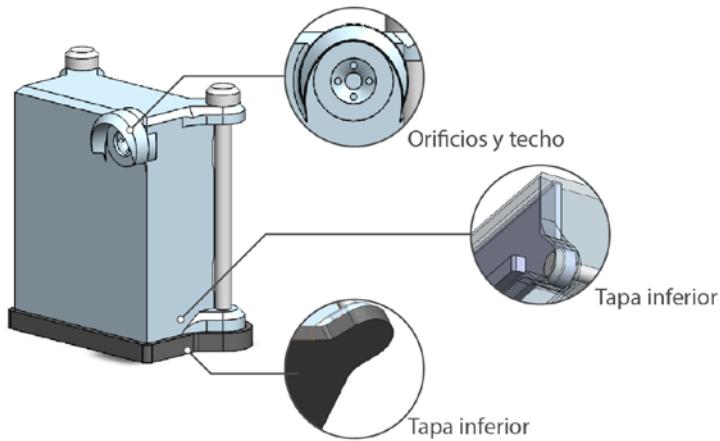


Fig. 8. Prototipo final desarrollado a partir de la retroalimentación adquirida en la investigación y uso de los distintos prototipos.

Discusión

Los requisitos y requerimientos que se establecen para el diseño del prototipo permiten visualizar la problemática desde distintas perspectivas. A partir de esta evaluación, fue posible el desarrollo de varios prototipos, con métodos de fabricación y materiales distintos que se adaptan a las condiciones de campo durante procesos de grabación. Esta flexibilidad adaptada a condiciones ambientales y situaciones particulares que favorecen su funcionalidad en cada proyecto de investigación y con ello generar innovación con el apoyo de metodologías como Design Thinking [17].

Se demuestra que, con las tecnologías disponibles en un Laboratorio de Fabricación, se pueden integrar aspectos de distintas perspectivas para generar modelos o prototipos en investigaciones con grandes ventajas constructivas como el aumento de la precisión, la reducción de tiempo de producción, el incremento de la calidad en los acabados, entre otras [18].

Entre los prototipos evaluados, el protector 2, fabricado a base de resina, puede adaptarse para uso en exteriores gracias a su facilidad de fabricación, durabilidad y alta calidad de acabado. La resina permite altos niveles de detalle, lo que la hace apropiada incluso para aplicaciones como carcasa de otros dispositivos electrónicos y modelos de uso final [19], por ejemplo, en estaciones meteorológicas o cámaras trampa, comunes también en proyectos ambientales.

En contraste, el desarrollo de los protectores 1 y 3 requiere una alta interacción manual de la persona usuaria durante su fabricación y esto puede causar resultados o interacciones no deseadas debido a algún error humano [20]. Esto contrasta con el prototipo de protector 2, donde se mejora su calidad al tener una menor interacción durante su fabricación (impresión 3D, por SLA).

La creación de protectores personalizados para las placas AudioMoth es indispensable para el desarrollo de investigaciones en el campo de bioacústica, a fin de garantizar la integridad de los dispositivos en campo. A pesar de que las empresas distribuidoras de estas grabadoras comercializan un protector, su alto costo, tiempos de envío y aspectos logísticos reducen las posibilidades para la implementación rápida en investigaciones en Costa Rica y la región.

Investigaciones recientes han evidenciado el efecto negativo de utilizar métodos tradicionales de protección como las bolsas plásticas y se han documentado las atenuaciones en las características espectrales con sutiles variaciones en frecuencias por debajo de 12 kHz, al comparar el método con bolsa de plástico de AudioMoth con grabaciones autónomas tradicionales [21].

Los resultados de las comparaciones acústicas muestran la variabilidad de los diferentes prototipos respecto a la manera tradicional de proteger las grabadoras. Las diferencias significativas encontradas entre los diferentes prototipos coinciden con las variaciones identificadas por otros autores [22] en evaluaciones del efecto de las bolsas plásticas en las características espectrales.

Para el análisis acústico, se utilizaron solo indicadores espectrales y no indicadores de presión sonora, ya que no se realizó una calibración de los valores de presión mediante medidores de presión acústica certificados, por lo que es mejor mantenerlo solo a nivelpectral según las recomendaciones de Buxton et al. [23].

Los indicadores BIO, ADI, NDSI y NP son ampliamente utilizados en estudios de paisaje sonoro. Estos son altamente sensibles a variables como el ruido ambiental y las características del ambiente, por lo que se recomienda que el sitio de grabación de referencia, o controlado sea un espacio con reducida reverberación para no afectar los resultados [24].

Según lo observado y recomendado por usuarios expertos, se identificaron oportunidades de mejora para el diseño del prototipo 2, tales como aumentar el número y diámetro de los orificios de entrada de sonido, integrar un sello con material en TPU 95A (similar al del protector 1) para reforzar la protección ante condiciones climáticas y extender el techo de la entrada sin comprometer la capacidad de grabación dado el patrón polar del micrófono omnidireccional.

Conclusiones

El estudio demuestra que es posible desarrollar prototipos funcionales y eficientes para la protección de grabadoras AudioMoth utilizando tecnologías accesibles. Esto permite disminuir la complejidad ante aspectos logísticos y económicos en contextos como el costarricense, donde el acceso a productos especializados puede ser limitado.

El protector 2, fabricado en resina, se muestra como una opción viable para uso en exteriores, gracias a su resistencia, calidad de acabado y facilidad de fabricación. Su diseño minimiza la intervención humana, reduciendo errores y mejorando la producción de los dispositivos.

Las evaluaciones de los dispositivos desarrollados son de suma importancia, ya que no es suficiente con que los protectores cumplan con su función de escudo ante las condiciones climáticas, también es necesario asegurar que no se afecte la calidad acústica, tanto a nivel espectral como de intensidad sonora. También se propone realizar pruebas acústicas específicas para garantizar la validez de los datos en estudios de paisaje sonoro en investigaciones relacionadas a temas ambientales donde se evalúe el efecto del tipo de estuche protector.

Se destaca la necesidad de continuar evaluando prototipos en comparación con los estuches oficiales de AudioMoth, lo cual no fue posible en esta investigación. Estas comparaciones permitirán establecer estándares de referencia más sólidos y mantener una calidad comparable con los estándares brindados por la empresa desarrolladora de las grabadoras.

Por último, se recomienda que futuros desarrollos consideren no solo criterios de protección estructural, sino también el impacto acústico del diseño, aplicando metodologías de validación que integren tanto pruebas espetrales como indicadores de presión sonora calibrados. Esto asegurará una adopción más robusta y confiable en contextos científicos exigentes.

Agradecimientos

Agradecemos a Ana María Sandoval por sus sugerencias y revisiones en el manuscrito. Se agradece el apoyo técnico y financiamiento para materiales e insumos de la investigación a la Vicerrectoría de Investigación desde el Laboratorio de Fabricación Kä Träre y el Laboratorio de Investigación e Innovación Tecnológica de la Universidad Estatal a Distancia.

Referencias

- [1] . T. Blumstein, D. J. Mennill, P. Clemins, L. Girod, K. Yao, G. Patricelli, J. L. Deppe, A. H. Krakauer, C. Clark, K. A. Cortopassi, S. F. Hanser, B. McCowan, A. M. Ali, y A. N. G. Kirschel, "Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus", *Journal of Applied Ecology*, vol. 48, no. 3, pp. 758-767, 2011, Consultado: 2 jun, 2024. doi: 10.1111/j.1365-2664.2011.01993.x [En línea] Disponible: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2011.01993.x>.
- [2] A. P. Hill, P. Prince, J. L. Snaddon, C. P. Doncaster, y A. Rogers, "AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment", *HardwareX*, vol. 6, p.p e00073, 2019, Consultado: 26 may, 2024. doi: 10.1016/j.ohx.2019.e00073 [En línea] Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067219300306>.

- [3] A. P. Hill, P. Prince, E. P. Covarrubias, C. P. Doncaster, J. L. Snaddon, y A. Rogers, "AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment", *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 9, no. 5, pp. 1199-1211, 2018, Consultado: 2 jun, 2024. doi: 10.1111/2041-210X.12955 [En línea] Disponible: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/2041-210X.12955>.
- [4] Fab Foundation, "fablabs.io", 2017 Consultado: 4 jun, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.fablabs.io/>.
- [5] C. Vetterli, W. Brenner, F. Uebenickel, y C. Petrie, "From palaces to yurts: Why requirements engineering needs design thinking", *IEEE Internet Computing*, vol. 17, no. 2, pp. 91-94, 2013, Consultado: 28 may, 2024. doi: 10.1109/MIC.2013.32 [En línea] Disponible: <https://www.computer.org/csdl/magazine/ic/2013/02/mic2013020091/13rRUIJuxzG>.
- [6] M. A. Pinilla, "Dar sentido a las posibilidades: síntesis y prototipo en diseño", *Iconofacto*, vol. 10, no. 15, pp. 22-34, 2014, Consultado: 1 jun, 2024. doi: 20.500.11912/7416 [En línea] Disponible: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/7416>.
- [7] Mayku, "Clear sheets", 2024. Consultado: 21 jun, 2024. [En línea] Disponible: <https://mayku.me/materials/clear-sheets>.
- [8] Formlabs, "Polvos y resinas para impresión 3D", 2024. Consultado: 21 jun, 2024. [En línea]. Disponible: https://formlabs.com/latam/materials/?print_technology%5B0%5D=SLA&color%5B0%5D=grey.
- [9] UltiMaker, "S series TPU 95A", 2024, Consultado: 11 May, 2024. [En línea]. Disponible: <https://ultimaker.com/materials/s-series-tpu-95a/>.
- [10] Acrílicos, "Acrílicos S.A ", 2024, Consultado: 15 May, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.acrilicos.com/producto/acrilicos/>.
- [11] D. Alfaro-Rojas, I. Portuéguez-Brenes, H. Perdomo-Velázquez, and R. Vargas-Masís, "Ruido ambiental en áreas verdes urbanas y periurbanas de una microcuenca en Heredia, Costa Rica", *UNED Cuadernos de Investigación*, vol. 12, no. 2, pp. e2846-e2846, 2020. Consultado: 2 jun, 2024. doi: 10.22458/urj.v12i2.2846 [En línea] Disponible: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1659-42662020000200419&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
- [12] J. Castro, R. Vargas-Masís, and D. Alfaro-Rojas, "Deep Multiple Instance Learning Ensemble for the Acoustic Detection of Tropical Birds", In *19th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, pp. 264-269, 2020. Consultado: 4 jun, 2024. doi: 10.1109/ICMLA51294.2020.00051 [En línea] Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9356393>
- [13] O. Ramírez-Alán, "Sinax: Sound Index Analysis for Ecologist (versión 1.3)", R package, version 1.3, 2019. Consultado: 2 may, 2024 [En línea]. Disponible: <https://rdrr.io/github/osoramirez/Sinax/>.

[14] P. Mair and R. Wilcox, "Robust statistical methods in R using the WRS2 package", *Behavior Research Methods*, vol. 52, no. 2, pp. 464–488, 2020. Consultado: 4 jun, 2024. doi: 10.3758/s13428-019-01246-w [En línea] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.3758/s13428-019-01246-w>.

[15] E. Ramalle-Gómara and J. Andrés de Llano, "Utilización de métodos robustos en la estadística inferencial", *Atención Primaria*, vol. 32, no. 3, pp. 177–182, 2003. Consultado: 2 jun, 2024. doi: 10.1016/S0212-6567(03)79241-5 [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0212656703792415>.

[16] R Core Team, "R: A language and environment for statistical computing," R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2020. Consultado: 24 may, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.R-project.org/>.

[17] L. Liu and B. C. Lin, "Influences of three-dimensional printing to product innovation design thinking", in *Design, Manufacturing and Mechatronics: Proceedings of the International Conference on Design, Manufacturing and Mechatronics (ICDMM2016)*, pp. 107-112, 2017. Consultado: 22 may, 2024. doi: 10.1051/matecconf/201710003032 [En línea]. Disponible: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2017/14/matecconf_gcmm2017_03032/matecconf_gcmm2017_03032.html.

[18] D. T. Díaz, "Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, ventajas para la construcción de modelos, prototipos y series cortas en el proceso de diseño de productos", *Iconofacto*, pp. 118-143, 2016. Consultado: 22 may, 2024. doi: 10.18566/v12n18.a07 [En línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6302021>.

[19] M. R. Pérez Sevilla, "Manual de Impresión 3D Resina", Universidad de Burgos, DINPER, 2024. Consultado: 20 jun, 2024. [En línea]. Disponible: https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259/9171/Perez-Manual_impresion_3D_resina_2024.pdf;jsessionid=DB2EDD87056C305328BF7C7D29E9920F?sequence=1.

[20] Y. Torres-Medina, "El análisis del error humano en la manufactura: un elemento clave para mejorar la calidad de la producción," *Revista UIS Ingenierías*, vol. 19, no. 4, pp. 53-62, 2020. Consultado: 22 jun, 2024. doi: 10.18273/revuin.v19n4-2020005 [En línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9514503>.

[21] P. E. Osborne, T. Alvares-Sanches, and P. R. White, "To bag or not to bag? How AudioMoth-based passive acoustic monitoring is impacted by protective coverings", *Sensors*, vol. 23, no. 16, p. 7287, 2023. Consultado: 22 may, 2024. doi: 10.3390/s23167287 [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/16/7287#:~:text=While%20bare%20board%20AudioMoth%20showed,uncertainty%2C%20rendering%20index%20comparisons%20unreliable>.

[22] D. J. Mennill, M. Battiston, D. R. Wilson, J. R. Foote, y S. M. Doucet, "Field test of an affordable, portable, wireless microphone array for spatial monitoring of animal ecology and behaviour", *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 3, no. 4, pp. 704-712, 2012. Consultado: 17 jun, 2024. doi: 10.1111/j.2041-210X.2012.00209.x [En línea]. Disponible: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.2041-210X.2012.00209.x>.

[23] R. T. Buxton, M. F. McKenna, M. Clapp, E. Meyer, E. Stabenau, L. M. Angeloni, K. Crooks, y G. Wittemyer, "Efficacy of extracting indices from large-scale acoustic recordings to monitor biodiversity", *Conservation Biology*, vol. 32, no. 5, pp. 1174-1184, 2018. Consultado: 15 may, 2024. doi: 10.1111/cobi.13119 [En línea]. Disponible: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/cobi.13119>.

[24] T. Bradfer-Lawrence, N. Gardner, L. Bunnefeld, N. Bunnefeld, S. G. Willis, y D. H. Dent, "Guidelines for the use of acoustic indices in environmental research", *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 10, no. 10, pp. 1796-1807, 2019. Consultado: 10 jun, 2024. doi: 10.1111/2041-210X.13254 [En línea]. Disponible: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/2041-210X.13254>.



Desarrollo y evaluación de un prototipo de entrenamiento inteligente para mejorar la movilidad y reducir la ansiedad en perros con discapacidad visual

Development and Evaluation of an Intelligent Training Prototype to Improve Mobility and Reduce Anxiety in Visually Impaired Dogs

Abigail Grillo¹, Sofía Ávila Marín²

A. Grillo, S. Ávila Marín, "Desarrollo y evaluación de un prototipo de entrenamiento inteligente para mejorar la movilidad y reducir la ansiedad en perros con discapacidad visual," *IDI+*, vol. 8, no 2, pp. 43-63, Ene., 2026.

 <https://doi.org/10.18845/ridip.v8i2.8430>

Fecha de recepción: 24 de junio de 2025
Fecha de aprobación: 2 de diciembre de 2025

1. Abigail Grillo
Estudiante de Ingeniería en
Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
abigail.grillo.v@gmail.com
ID 0009-0005-0783-9022

2. Sofía Ávila Marín
Estudiante de Ingeniería en
Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
sofia.avila.mn@gmail.com
ID 0009-0004-9735-475X

Resumen

La pérdida de visión en perros, con implicaciones en la ansiedad y el bienestar, demanda soluciones tecnológicas avanzadas, dado que el mercado se limita a enfoques rudimentarios. Por lo que este proyecto se propuso desarrollar un dispositivo inteligente para apoyar la movilidad y reducir la ansiedad en perros con discapacidad visual. Para ello, se empleó la metodología de diseño del Instituto Tecnológico de Costa Rica, estructurada en fases iterativas, para guiar el desarrollo. El prototipo incorpora un sensor de proximidad (Sharp GP2Y0A21YKOF) y un módulo Micro Arduino ATmega32U4, diseñados para activar alertas multimodales (*buzzer* y motor de vibración). Un botón permite al usuario propietario seleccionar el modo de alerta más adecuado a las necesidades de su mascota. Las pruebas de usabilidad se realizaron mediante la observación directa de cinco parejas de dueños y perros (talla S, edad > 8 años) durante 20 minutos. El hallazgo principal validó la hipótesis de diseño: el 80% de los perros participantes logró asimilar el uso físico del dispositivo mediante un breve entrenamiento de refuerzo positivo, lo que confirma la factibilidad del aprendizaje en la población *senior*. Las observaciones cualitativas justificaron mejoras esenciales, como la adición de una faja de sujeción para la estabilidad y la remoción de la protuberancia del vibrador. Por su parte, el análisis de mercado confirma la innovación de la propuesta, al no identificar soluciones inteligentes que atiendan el deterioro visual canino. La principal limitación metodológica fue la ausencia de la validación cuantitativa de los parámetros de alerta (decibeles e intensidad de vibración) por razones éticas. Por lo tanto, el proyecto establece una base sólida para el trabajo futuro, demostrando el potencial del diseño centrado en usuarios no humanos para mejorar la autonomía y el bienestar animal.

Palabras clave

Discapacidad visual canina; dispositivo de asistencia; ansiedad en perros; diseño centrado en el usuario; bienestar animal.

Abstract

Vision loss in dogs, with implications for anxiety and welfare, demands advanced technological solutions, as the market is currently limited to rudimentary approaches. This project aimed to develop an intelligent device to support mobility and reduce anxiety in visually impaired dogs. The iterative design methodology of the Costa Rica Institute of Technology was employed. The prototype integrates a proximity sensor (Sharp GP2Y0A21YKOF) and a Micro Arduino ATmega32U4 module, designed to activate multimodal alerts (*buzzer* and vibration motor) upon detecting an obstacle. A button allows the owner to select the most suitable alert mode for their pet's individual needs. Usability tests, conducted through direct observation with five pairs of owners and senior dogs (age >8 years), validated the design hypothesis. A key

and verifiable result was obtained: 80% of the participating dogs successfully assimilated the physical use of the device through brief positive reinforcement training, confirming the feasibility of learning in the senior population. Qualitative findings justified essential design improvements, such as the addition of a fastening strap to optimize stability and the refinement of the casing. Market analysis confirms the innovation of the proposal by not identifying intelligent solutions that actively address canine visual impairment. The main methodological limitation was the absence of quantitative validation for the alert parameters (decibels and intensity), a decision based on ethical criteria. Therefore, the project establishes a solid foundation for future work, emphasizing that the next critical steps involve the calibration and validation of the alert effectiveness with animal behavior experts in controlled environments, ensuring safety and welfare.

Keywords

Canine visual impairment; assistance device; dog anxiety; user-centered design; animal welfare.

Introducción

En la actualidad, las mascotas forman parte fundamental de la vida de muchas personas, desempeñando roles tanto de animales de trabajo como de compañía. Tan significativa es esta conexión que, para el 2024, se estima que el 66% de los hogares estadounidenses tiene al menos una mascota, siendo los perros el tipo más frecuente, con un 44.6% del total de mascotas [1]. Aunque no se dispone de datos exactos para Costa Rica o Latinoamérica, es probable que la situación costarricense sea similar, lo que implica una necesidad significativa de soluciones específicas para la salud y el bienestar canino en una gran cantidad de hogares.

La preocupación de los propietarios por sus mascotas sigue en aumento, al punto en que los perros son considerados parte de la familia e incluso hijos por el 82% de los dueños pertenecientes a la generación Milenial (29-44 años), el 75% de los Gen X (45-65 años) y el 70% de los Gen Z (13-28 años) [2]. Esta tendencia ha impulsado un auge en el mercado de cuidado canino a nivel mundial, el cual, solo en el año 2024, alcanzó los \$206 000 millones de dólares, siendo el continente norteamericano el mayor comprador [3]. Por lo tanto, se evidencia que los dueños consideran el bienestar físico y psicológico de sus perros una prioridad.

Entre las discapacidades físicas que mayores consecuencias psicológicas conllevan en los perros, se encuentra la pérdida parcial o completa de la visión. Esta condición preocupa a los dueños; además, entre los principales síntomas de la ceguera, se encuentran la ansiedad y depresión en estos animales [4]. Las causas principales de deterioro visual en perros incluyen el glaucoma, la atrofia retinal progresiva, cataratas y la vejez [5]. Aunque la pérdida de vista no es tan común como otras dolencias, el 1.7% de los perros en Norteamérica sufre de glaucoma,

la principal causa de pérdida de visión [6], lo que equivale a alrededor de 2.2 millones de perros [7][8][9].

Según este contexto, esta investigación busca comprender el deterioro de la calidad de vida de los perros con problemas de la vista, para, posteriormente, desarrollar un dispositivo inteligente que atienda a esta necesidad. Un objeto inteligente es un dispositivo de uso cotidiano que interactúa con otros productos, personas y sistemas de tecnologías de información en formas totalmente nuevas; perciben, mediante sensores, una situación en un contexto-entorno y son capaces de interpretar dicha información basándose en algoritmos para actuar en consecuencia, con cierto nivel de autonomía, así como mejorar la experiencia del usuario [10].

En esencia, un dispositivo inteligente aprovecha la tecnología para resolver necesidades del día a día de forma innovadora. Para el desarrollo de este dispositivo, se estableció la siguiente hipótesis de diseño: desarrollar un gadget inteligente y portátil que utilice diferentes sensores electrónicos o estímulos sensoriales para indicarle al perro que se acerca a un obstáculo; con el fin de evitar que se haga daño a sí mismo al colisionar, le brinde autonomía y disminuya los efectos psicológicos negativos en los perros y sus dueños.

Actualmente, no existe en el mercado un producto de carácter inteligente para este fin; las únicas alternativas son analógicas y altamente rudimentarias. Algunos ejemplos de este tipo de alternativas serían los productos con “halo” que consisten en un tipo arnés que se le coloca al perro con un objeto a nivel de la cabeza para que este colisione antes que el perro, más específicamente, se pueden ver productos como el Muffin’s Halo [11] o el Halo Harness [12]. También existen otros más tecnológicos, pero que no son wearables para el perro como el Ultrasonic Animal Repeller [13].

Metodología

Para el desarrollo del dispositivo inteligente de entrenamiento para perros con discapacidad visual, se adoptó la metodología de la Escuela de Diseño Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, la cual se estructura en cinco fases iterativas: Explorar, Comprender, Crear, Experimentar y Concretar. Esta elección se fundamenta en su capacidad para integrar la investigación social propia de metodologías centradas en el usuario, como Design Thinking [14], con la rigurosidad técnica característica de enfoques como el propuesto por Bruno Munari [15], lo que la hace idónea para proyectos de diseño y desarrollo tecnológico.

La fase inicial, Explorar, se centró en la investigación y la empatización con las necesidades de los usuarios. Se llevó a cabo una extensa búsqueda bibliográfica sobre las principales causas de ceguera canina, los síntomas asociados a estas dolencias y un análisis de los productos existentes diseñados para perros con discapacidad visual.

Esta investigación permitió definir a dos usuarios potenciales clave: el perro con discapacidad visual, como usuario final del producto, y el propietario, responsable de la colocación y configuración del dispositivo. Para la recolección de datos, se emplearon las técnicas de observación directa y entrevistas semiestructuradas. Esto se llevó a cabo con tres parejas de dueños y sus perros con discapacidad visual, buscando comprender sus experiencias, desafíos cotidianos y necesidades. Los hallazgos de estas interacciones fueron sistematizados y jerarquizados en una lista de requisitos de diseño, lo que sirvió como guía fundamental para las fases siguientes.

Posteriormente, en la fase Comprender, la información y la lista de requisitos recopilados previamente fueron analizadas y sintetizadas para establecer el problema y los objetivos de diseño de manera clara y concisa. Este proceso culminó en la definición del concepto de diseño central: "Seguridad Portátil", el cual se definió como aquel que proporciona protección y confianza al usuario mientras se mueve o se desplaza. Dicho concepto delimitó los alcances del proyecto a: (a) Crear un prototipo funcional inteligente para perros con discapacidad visual; (b) Prototipar un modelo de interacción y percepción; y (c) Desarrollar software de programación para la traducción de la cercanía de un objeto a alertas perceptibles para el perro.

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis ergonómico crucial para el diseño del dispositivo. Se determinó que, para las dimensiones corporales caninas, la clasificación por peso es el equivalente a las tablas antropométricas humanas, permitiendo estandarizar las dimensiones sin importar la raza. Estas tablas son ampliamente utilizadas en la industria de productos caninos, en especialmente para vestimenta y elementos de sujeción como collares, garantizando la adaptabilidad del diseño.

La fase de Crear se dedicó a la generación de ideas y el desarrollo de alternativas de diseño. Se realizó una lluvia de ideas, que posteriormente permitió plasmar las soluciones en bocetos preliminares. Estos se evaluaron mediante una matriz de objetivos ponderados, verificando el nivel de cumplimiento de cada propuesta con los requisitos de diseño previamente establecidos. Si bien se obtuvo una alternativa con mayor nivel de cumplimiento, se optó por generar una nueva propuesta que integró los puntos fuertes de todas las opciones evaluadas, dando origen al primer diseño preliminar del dispositivo inteligente de entrenamiento.

Este diseño preliminar fue prototipado y sometido a la fase Experimentar, la cual representó la etapa más iterativa de la metodología. Se elaboraron dos prototipos para las pruebas de usuario y se llevó a cabo un proceso cíclico de evaluación y mejora en términos de usabilidad del usuario dueño y comodidad del usuario perro.

Prototipo funcional (electrónico): se desarrolló un prototipo funcional utilizando un circuito con un procesador Arduino, gafas comerciales de protección y el módulo impreso en 3D que contiene un botón y luces led. Este prototipo se usó únicamente con los usuarios dueños,

para evaluar la facilidad de uso, comprensión e intuición en la interacción y configuración del dispositivo.

Prototipo perceptual: fabricado a escala real (talla S, para perros de 4 a 11 kilogramos), también utilizando unas gafas comerciales de protección para mascotas ya probadas en el mercado y el módulo impreso en 3D. Esta decisión de adquirir las gafas de una marca comercial fue fundamental para minimizar los riesgos a la salud y la seguridad del animal, ya que el uso de un producto probado evita posibles defectos o riesgos asociados al prototipado de la carcasa de la visera en 3D. Este prototipo perceptual se utilizó para pruebas directamente con los perros (usuario final), evaluando su comodidad y la eficiencia del entrenamiento conductual inicial para la asimilación del uso del producto en perros adultos mayores.

Protocolo de pruebas de usuarios

Las pruebas de usuario se realizaron con un total de cinco parejas de dueños y sus perros en una sesión individual de aproximadamente 20 minutos, en un ambiente calmado y silencioso sin presencia de otras personas o animales. Los perros participantes en esta muestra fueron incluidos, pues todos cumplían con presentar algún nivel de deterioro visual confirmado, edad dentro del rango de perros senior (>8 años) y correspondientes a la talla S según la clasificación por peso (4-11kg). Esto permitió controlar la variabilidad morfológica y enfocar la evaluación en el usuario objetivo.

Protocolo de pruebas a los dueños: con el prototipo funcional, se les indicó la realización de una serie de tareas:

- Toma y observación del prototipo.
- Activación del producto en modo "Alerta auditiva" y posteriormente en "Alerta combinada".
- Apagado del dispositivo.
- Evaluación de la conexión del cargador (Puerto tipo C).

Se midió la usabilidad y la curva de aprendizaje para la interacción con el módulo y la comprensión de las luces indicadoras.

Protocolo de pruebas con perros: con el prototipo perceptual, se les dio indicaciones a los dueños de acciones por realizar con sus mascotas:

- Colocación del prototipo al perro.
- Acomodo del módulo en la nuca.
- Uso de *treats* (premios comestibles) como refuerzo positivo luego de cada acción y mientras se le pide al perro sentarse y caminar.
- Retiro del dispositivo.

Se observan los intentos del perro de quitarse el producto para evaluar la estabilidad del sistema de sujeción. Se revisa la comodidad del producto al ver si existen signos de incomodidad en el perro o dificultad de colocación o remoción del dueño. Además, se mide la comprensión del dueño sobre el proceso de entrenamiento inicial junto a la respuesta del perro a la instrucción con el dispositivo puesto, es decir, la asimilación del uso.

Por otro lado, es importante recalcar que, por tratarse de una fase inicial de desarrollo y por consideraciones éticas en el trabajo con animales, las pruebas con los perros no incluyeron la validación de la efectividad de las alertas sensoriales (vibratoria o auditiva) del sistema electrónico. Así mismo, el prototipo funcional electrónico y el perceptual se evaluaron de forma separada. Finalmente, la validación de la efectividad del estímulo en la navegación requiere de una prueba más rigurosa, que será el siguiente paso tras la evaluación de expertos veterinarios, con el fin de garantizar el bienestar y seguridad del animal.

Recolección y análisis de datos

A los usuarios propietarios, se les brindó una encuesta de salida en Google Forms con el fin de recopilar información más detallada sobre la experiencia, las percepciones de comodidad del animal y sugerencias de mejora. Paralelamente, el aplicador de la prueba realizó observaciones directas para registrar detalles no verbales relevantes para posterior análisis (ej. expresiones de confusión).

La información recopilada de las pruebas de usabilidad se analizó de dos maneras:

Análisis cuantitativo: los datos de las preguntas cerradas del cuestionario (edad del perro, nivel de deterioro visual y preferencia de modo de alerta) fueron tabulados y procesados mediante estadística simple (frecuencias y porcentajes). Así se describe cuantitativamente la muestra y se determinan preferencias del usuario dueño con respecto al tipo de alerta por usar, información pertinente al compararlo con la edad del perro o nivel de deterioro visual.

Análisis cualitativo: la información cualitativa obtenida de las preguntas abiertas del cuestionario (ej. primer pensamiento, dificultad de uso) y las observaciones del aplicador fueron tabuladas para permitir su análisis y comparación con el objetivo de identificar problemas recurrentes y sugerencias de mejora.

Finalmente, la fase Concretar se enfocó en la descripción del diseño refinado del dispositivo. Se elaboraron planos técnicos detallados que especifican las dimensiones del dispositivo, los materiales seleccionados y los componentes electrónicos empleados. Asimismo, se desarrollaron dibujos constructivos y diagramas que permiten visualizar la configuración final del producto, incluyendo la interacción de este con ambos usuarios: perro y propietario.

En esta fase, se proponen los siguientes componentes electrónicos y parámetros operativos que fueron utilizados exitosamente en el prototipo funcional:

- Microcontrolador: Arduino Micro ATmega32U4 5V.
- Sensor de proximidad: Sharp GP2Y0A21YK0F, 30 mA, 5.5V. Distancia de detección: 10-80cm.
- Emisor de alerta auditiva: Buzzer, 5V, 12mm, 35mA, 95dBA.
- Emisor de alerta táctil: motor de vibración ROB-08449, 3V, 8mm.
- Indicadores de luz: led azul 3mm, 3.4V, 20mA.
- Botón pulsador 6x6x4.3mm, 12V, 50mA.
- Transistor NPN, 2N2222, 40V.
- Resistencia 220Ω y 1kΩ.

Sin embargo, como se mencionó previamente, estos parámetros operativos (intensidad de audio, vibración y distancia de detección) se deben validar en próximas pruebas con perros, dadas las limitaciones éticas y el tiempo necesario para llevar a cabo todo el proceso de entrenamiento de asimilación previo al entrenamiento de comprensión de alertas.

Resultados

En la fase de Experimentar, se cuenta con un prototipo funcional (Fig. 1), es decir, las capacidades que se proponen para el producto (cambio de modos de alerta, detección de proximidad y encendido de las alertas) sirven completamente, a través de la implementación de un circuito electrónico que, en conjunto con el módulo impreso en 3D, permite la realización de pruebas de usabilidad.



Fig. 1. Prototipo funcional utilizado en las pruebas de usuario.

Dichas pruebas se llevaron a cabo con una muestra de cinco parejas de dueños y sus perros. Donde el 100% de los perros participantes presenta cierto nivel de discapacidad visual confirmada, 60% deterioro moderado, 20% leve y 20% ceguera total como se detalla en la Tabla I.

TABLA I

DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA DE PERROS SEGÚN SU NIVEL DE DISCAPACIDAD VISUAL

Nivel de discapacidad	Frecuencia(n)	Porcentaje (%)
Leve	1	20
Moderado	3	60
Avanzado	0	0
Ceguera total	1	20
Total	5	100%

Los perros utilizados en las pruebas se clasifican como *seniors* según su edad, donde el 80% se encontraba dentro del rango de 8 a 11 años y 20% mayor a 11 años, como se muestra en la Tabla II. Esto permite confirmar que los resultados de las pruebas se hicieron a una población de perros que puede llegar a tener mayores dificultades en el aprendizaje, lo cual es vital para verificar los protocolos de entrenamiento propuestos.

TABLA II

DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA DE PERROS SEGÚN SU EDAD

Rango etario	Frecuencia(n)	Porcentaje (%)
Menos de 1 año	0	0
Entre 1 y 3 años	0	0
Entre 4 y 7 años	0	0
Entre 8 y 11 años	4	80
Más de 11 años	1	20
Total	5	100%

Respecto a la muestra de los usuarios propietarios, se cuantificó el nivel de experiencia en el manejo canino, lo cual es fundamental para asegurar la validez interna de los resultados de usabilidad y la confiabilidad en la ejecución del protocolo de pruebas. Esto se basó en la pregunta: ¿desde hace cuánto tiempo tiene perros? Los datos obtenidos se observan en la Tabla III, donde es posible determinar que el 100% de los participantes tienen mucha o bastante experiencia, ya que el 40% de estos los tienen desde su adolescencia y un 60% desde su infancia.

TABLA III

RANGO DE TIEMPO DESDE EL QUE LOS PROPIETARIOS TIENEN PERROS

Rango de tiempo	Frecuencia(n)	Porcentaje (%)
Desde pequeño / infancia	3	60
Desde la adolescencia	2	40
Hace un par de años	0	0
Hace muy poco tiempo	0	0
Total	5	100%

En términos cualitativos, se presentan los resultados a través de una tabla de análisis categorial (Tabla IV), lo que permite mostrar de manera sintética las opiniones de los usuarios de prueba y las observaciones del aplicador.

TABLA IV

ANÁLISIS CATEGORIAL CUALITATIVO

Categoría	Hallazgo	Frecuencia	Decisiones de Diseño
Estabilidad y Sujeción	Se identificó un punto débil en la sujeción, pues los perros intentaban o quitaban el producto. Percepción de los usuarios dueños de “que iba a ser difícil de mantener en su lugar”	60% (3 de 5 perros)	Adición de una faja elástica que una las fajas laterales para estabilidad e implementación de cables más largos en la conexión del módulo a los componentes en la visera.
Usabilidad	El uso de un solo botón pulsador para el cambio de modos resultó altamente intuitivo a todos los usuarios. La morfología de la carcasa del módulo en donde se coloca el motor de vibración resultó ambigua, pues sugiere otro posible botón.	20% de ambigüedad del motor de vibración (1 de 5 personas)	Se considera la eliminación de la protuberancia del motor de vibración en la carcasa del módulo.

TABLA IV (CONTINUACIÓN)

ANÁLISIS CATEGORIAL CUALITATIVO

Confort	Resulta más cómodo para perros con pelaje facial largo. Usuario expreso, preocupación por que la falta de amortiguación pudiera causar lesiones.	20% (1 de 5 personas) de preocupación por la amortiguación	Confirmación del material de amortiguación (foam reticulado de polietileno, hipoalergénico). Si el perro se encuentra en los límites de peso de una talla, considerar tomar la talla menor o mayor según corresponda para más confort.
Entrenamiento y asimilación	Se determinó que el entrenamiento con refuerzo positivo (treats) y redirección de atención facilita la asimilación del uso físico del producto en perros adultos mayores. Los usuarios consideran el entrenamiento posible pero que requeriría tiempo.	80% (4 de 5 perros) asimilaron el uso del producto con entrenamiento breve	El éxito en la asimilación valida la hipótesis de que es factible entrenar a los perros, aún adultos mayores, para la interpretación de las alertas sensoriales, lo cual apoya la necesidad de desarrollar protocolos de entrenamiento y manuales gráficos como parte del producto final.
Configuración y alertas	Se consideró que la intensidad de la alerta auditiva puede llegar a ser molesta. Se expresa preocupación por alertas muy continuas.	20% (1 de 5 personas)	Se hace uso de una lógica de contador a nivel de código para evitar alertas continuas, si no se activa y desactiva el sensor por cierto tiempo. Se confirma la necesidad de una fase de pruebas avanzadas con supervisión veterinaria para calibrar la intensidad de las alertas.

Con base en los resultados de las pruebas de usuarios, en la fase Concretar, se llegó a una propuesta de prototipo avanzado final que es innovador y ergonómico para el usuario. El dispositivo inteligente de entrenamiento para empoderar la movilidad y reducir la ansiedad en perros con discapacidad visual incorpora un sensor de proximidad Sharp GP2Y0A21YK0F que, mediante código de programación, transmite una señal analógica al procesador Micro Arduino ATmega32U4 que se encuentra dentro del módulo. A partir de esta señal, el procesador activa el tipo de alerta que haya sido configurada por el usuario propietario. Para la auditiva, activa el buzzer y para la táctil, activa el motor de vibración, esto con el fin de advertir al perro cuando se encuentra demasiado cerca de un objeto, contribuyendo así a la prevención de posibles impactos.

La interacción para el cambio de modos de alerta y encendido/apagado se realiza a través de un botón pulsador ubicado en el módulo: una primera pulsación activa la alerta combinada (auditiva y vibratoria), una segunda activa solo la vibratoria, una tercera activa la auditiva y una cuarta apaga el dispositivo.

El análisis de mercado realizado también concluyó que no existe otro dispositivo igual a este; un dispositivo portátil que combine sensores y sistemas de alerta para asistir al perro con discapacidad visual en su desplazamiento, asegurando la originalidad e innovación del producto en el sector de gadgets para mascotas.



Fig. 2. Gafas inteligentes para perros con discapacidad visual

La distribución de las partes del prototipo se detalla en la Fig. 2. De arriba hacia abajo, se encuentra el domo de plástico, una carcasa protectora para el sensor de proximidad; la carcasa del *buzzer*, que contiene a este componente en su interior; la visera translúcida, que protege los ojos del perro; la amortiguación de la visera, que asegura comodidad; el pasador de fajas, que es la unión de la carcasa de la visera con las fajas; las fajas laterales, que permiten un ajuste óptimo; el recubrimiento del cable, cuya función es aislar y proteger las conexiones electrónicas; la faja del hocico, que ofrece otro punto de sujeción; las argollas de ajuste, que permiten la adaptabilidad del producto a la morfología del perro; la hebilla, que facilita la puesta y retiro del dispositivo; el módulo, que alberga el: procesador ATmega32U4 que controla las funciones inteligentes de los demás componentes, el motor de vibración; los ledes que indican el modo del producto y el botón pulsador, todo soldado en una placa perforada.

Por último, el módulo trae un puerto tipo C para la recarga de la batería interna que, al ser conectado, enciende un cuarto led indicador en el módulo que está señalizado con iconografía, la cual referencia el estado de carga.



Fig. 3. Domo con sensor infrarrojo Sharp.

El domo y el sensor de proximidad Sharp se observan con más detalle en la Fig. 3. Este domo se encuentra en la parte superior de las gafas, entre los ojos, siendo esta la posición ideal para detectar objetos inmediatamente frente al perro, sin interferencias de otras partes corporales; a diferencia de si, por ejemplo, se hubiese usado una ubicación en el pecho, donde el hocico podría generar falsas alertas.



Fig. 4. Vista frontal del módulo



Fig. 5. Vista explosionada del módulo

El módulo se muestra en las figuras 4 y 5. Como se mencionó, funciona como carcasa para la mayoría del circuito, exceptuando el sensor de proximidad y el *buzzer*, además, es el centro de control del dispositivo al contener el procesador Micro Arduino. Este se manufacturó con impresión 3D usando ácido poliláctico (PLA), filamento termoplástico biodegradable. El módulo se ubica en la parte posterior del producto, entre las fajas laterales, es decir, una vez colocado, queda en la nuca del perro. La faja del collar lo atraviesa, asegurando así una unión ideal.

Esta posición se eligió por ser un área de alta sensibilidad en perros, donde la vibración se percibe sin ser molesta y por su fácil acceso para la interacción del dueño. Los ledes que indican el modo de alerta y el estado de la batería son claramente visibles tanto si el perro está de pie como acostado (Fig. 4). Además, la iconografía utilizada permite reconocer cada led del módulo, de izquierda a derecha: alerta combinada (auditiva y vibratoria), alerta vibratoria, alerta auditiva y el estado de la batería; este último parpadeando únicamente cuando el producto necesita ser cargado.



Fig. 6. Gafas.

En la Fig. 6, se señala la visera echa de policarbonato, el cual es un material ligero y altamente resistente a impactos. Este, como se mencionó previamente, tiene la función de proteger los ojos del perro, pues en muchos casos, si se sufre de una discapacidad visual, esta área suele ser altamente sensible, por lo que la visera protege la zona contra impactos y condiciones ambientales irritantes; mientras que su traslucidez asegura que, si el perro tiene cierto nivel de visión residual, no se le prive de esta.

Por otro lado, la amortiguación de la visera está hecha de *foam* reticulado de polietileno que es un excelente absorbente de impactos, hipoalergénico y muy transpirable; se encuentra alrededor y detrás de la carcasa de la visera, proporcionando un acolchado entre la cara del perro y el dispositivo, lo que asegura comodidad y protección al evitar presión o fricción excesiva que pueda causar laceraciones.



Fig. 7. Carcasa buzzer, buzzer

En la Fig. 7, se observa la carcasa del *buzzer*, cuya función es contener y proteger este componente que emite las alertas auditivas del producto. Este *buzzer* se sitúa al costado izquierdo de las gafas (visto desde el frente), unido a la carcasa de la visera. Su ubicación cercana a las orejas del perro asegura la audición de la señal incluso aunque exista ruido en el ambiente.

Es importante destacar que el volumen de esta alerta se propuso relativamente bajo para la percepción humana, pero detectable para los perros, dado su sentido auditivo más desarrollado. Esta alerta auditiva es la más recomendada, ya que los perros confían ampliamente en el oído; sin embargo, también se cuenta con la alerta vibratoria para casos de sordera, condición que puede presentarse en perros de edad avanzada.

No obstante, es importante mencionar que la intensidad óptima (parámetros técnicos en decibeles y potencia de vibración) no se especificó en esta fase, debido a la limitación metodológica ética previamente establecida. Dicha calibración y validación de desempeño se posterga para fases futuras de investigación y desarrollo. Por otro lado, también se puede observar el cable que agrupa los cables de conexión del *buzzer* con los del sensor guiándolos hacia el módulo, además de unirlos, este cable también cumple la función de impermeabilizar y protegerlos.



Fig. 8. Fajas laterales, faja de hocico, collar y hebillas de ajuste.

Las hebillas del collar, las argollas de ajuste, la faja del hocico, las fajas laterales y el collar se muestran en la Fig. 8. Todos estos componentes y el material de Nylon elástico de las fajas permiten un ajuste personalizado del producto, función de gran importancia ante las diferencias morfológicas entre perros de la misma talla. Por ejemplo, un *bulldog francés* y un *fox terrier* pueden ser ambos talla M, pero el primero tiene un hocico mucho más ancho que el segundo, lo que resalta la importancia de la capacidad de ajuste. Además, aunque el producto incluye su propio collar de Nylon, los dueños tienen la opción de utilizar uno propio, ya que el sistema de unión del collar es intuitivo y fácil de usar.

Discusión

Como se mencionaba previamente, en la actualidad no se dispone de dispositivos inteligentes con las funciones presentadas en este proyecto que estén orientados al tratamiento de la discapacidad visual en perros. En su lugar, las soluciones existentes se basan en métodos rudimentarios o de baja tecnología. Por lo que esta limitante del mercado resalta la innovación de esta propuesta.

El hallazgo más significativo de la fase Experimentar fue la confirmación de la factibilidad del entrenamiento de asimilación del dispositivo en el 80% de la muestra de perros adultos mayores. Este resultado es crucial porque valida la hipótesis de que, al emplear el refuerzo positivo y el redireccionamiento de la atención, se superan los desafíos de adaptación en perros senior. Además, establece la base y viabilidad de la validación de la interpretación de las alertas, abordando de forma ética y gradual la introducción de nuevos estímulos. Si bien los usuarios manifestaron que el entrenamiento requeriría tiempo, la alta tasa de asimilación (80%) confirma que la capacidad de aprendizaje persiste en esta población objetivo.

En cuanto a la propuesta de uso de alertas multimodales, que permite al usuario propietario seleccionar entre alerta combinada, auditiva y táctil, esta se basa en el hecho de que, al igual que la pérdida de visión, la edad es un factor principal en la pérdida de audición en perros. Se estima que entre el 5% y 10% de los perros en Estados Unidos padecen sordera [16]. Por esta razón, aun cuando el sentido del oído es uno de los más confiables para los perros, se ofrece la alerta vibratoria como una opción de adaptación a la variedad de posibles padecimientos o condiciones que puede presentar un perro con discapacidad visual. La necesidad de esta variedad de alertas se validó durante la prueba de usabilidad, a través de la pregunta sobre la preferencia de modo de alerta (Tabla V).

TABLA V
PREFERENCIA DE LOS USUARIOS POR MODO DE ALERTA.

Modo de alerta	Frecuencia(n)	Porcentaje (%)
Alerta auditiva	1	20
Alerta vibratoria	2	40
Ambas	0	0
Depende de la situación	2	40
Total	5	100%

Como se observa, el 40% de los dueños manifestó que su elección de alerta sería la vibratoria y 40% que dependería de la situación, lo cual refuerza la indispensable inclusión de un sistema de retroalimentación sensorial diverso. El diseño final, por lo tanto, no se centra en una alerta única, sino en permitir al dueño que ajuste el estímulo a la necesidad específica de su mascota.

Por otro lado, con respecto a la preocupación de los usuarios por el peso del dispositivo y específicamente del módulo, que podría llegar a afectar la función muscular del perro, se tiene en cuenta que los perros no deberían cargar más del 25% de su peso corporal [17]. Considerando que el módulo se sitúa únicamente en la zona del cuello, se estima que la carga no debe superar el 6.25% ($\frac{1}{4}$ de 25%) de su peso total. Por ejemplo, en un perro de 10 kilos (talla S), el límite de confort sería de 625 gramos y el prototipo utilizado pesa considerablemente menos que eso (aproximadamente 258 g), manteniéndose así dentro de este rango de confort ergonómico.

De igual manera, el uso de una faja que une las fajas laterales, como se muestra en la Fig. 9, es una respuesta directa a la vital necesidad de brindar estabilidad al sistema de sujeción. Esta necesidad se evidenció durante la fase de Experimentar, donde el 60% de los perros lograron retirarse el prototipo usando las patas o sacudiéndose, lo que confirma la sospecha de un usuario que comentó: "Que iba a ser difícil de mantener en su lugar". Esta fue la solución seleccionada, ya que ofrece estabilidad a nivel de la parte posterior de la cabeza sin afectar las uniones de las fajas laterales con el collar, las cuales son indispensables para la adaptabilidad morfológica a perros de diferentes razas. La mejora asegura que los perros puedan utilizar el producto en su día a día, ya sea en interiores o exteriores, minimizando el riesgo de un desprendimiento inesperado del dispositivo independientemente de la actividad.



Fig. 9. Faja de unión posterior.

La principal limitación metodológica de este estudio, que guía la dirección del trabajo futuro, fue la ausencia de la validación de desempeño de las alertas (ej., métricas de intensidad de alerta en decibeles, distancia de reacción del sensor y tasa de colisiones evitadas). Esta limitación es deliberada y tiene un fundamento ético. La introducción y medición de estímulos sensoriales (auditivos y vibratorios) en animales, especialmente en perros adultos mayores con discapacidad visual, puede generar ansiedad o sobrecarga sensorial. Por lo tanto, se priorizó la evaluación del confort y la asimilación sobre la medición de la efectividad inmediata. Además, se establece que la validación de los parámetros operativos (los decibeles y la potencia de vibración) se llevará a cabo en una fase posterior, en un ambiente controlado y bajo la supervisión de expertos en comportamiento animal y veterinaria, como un requisito para garantizar el bienestar y la seguridad, fortaleciendo la validez científica del proceso.

Conclusiones

La presente investigación permitió comprender de manera integral cómo la discapacidad visual impacta la calidad de vida de los perros, especialmente en etapas avanzadas de edad, así como las implicaciones emocionales y prácticas que esto genera tanto en los animales como en sus propietarios. A partir del análisis del contexto social, del mercado y de las experiencias directas de usuarios reales, se evidenció una necesidad clara de soluciones más avanzadas, ya que las alternativas existentes se limitan a enfoques analógicos y no contemplan la asistencia activa durante el desplazamiento del perro.

Mediante la aplicación de la metodología de diseño de la Escuela de Diseño Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, fue posible estructurar un proceso riguroso que integró investigación centrada en el usuario, desarrollo técnico y evaluación iterativa. Este enfoque permitió definir con claridad el problema de diseño, establecer requisitos funcionales y ergonómicos, así como desarrollar un dispositivo inteligente coherente con las necesidades reales de los usuarios involucrados: el perro con discapacidad visual y su propietario.

Los resultados obtenidos en la fase de Experimentar demostraron que la hipótesis de diseño planteada es viable. En particular, se confirmó que los perros adultos mayores con deterioro visual pueden asimilar el uso físico del dispositivo mediante un entrenamiento breve basado en refuerzo positivo, incluso considerando las limitaciones propias de la edad. El hecho de que el 80% de los perros participantes lograra adaptarse al uso del producto valida la factibilidad de continuar hacia fases más avanzadas de entrenamiento e interpretación de alertas sensoriales.

Asimismo, las pruebas de usabilidad con los propietarios evidenciaron que la interacción con el dispositivo resulta intuitiva y comprensible, lo que es fundamental para garantizar una correcta configuración y uso continuo del producto. Por su parte, las observaciones cualitativas permitieron identificar oportunidades de mejora relacionadas con la estabilidad, el confort y la

percepción de ciertos componentes, las cuales se incorporaron en el refinamiento del diseño final, fortaleciendo su ergonomía y seguridad.

En cuanto a la propuesta tecnológica, el desarrollo de un sistema de alertas multimodales (auditiva y vibratoria) se consolida como una decisión pertinente, ya que responde a la diversidad de condiciones sensoriales que pueden coexistir en perros con discapacidad visual, como la sordera asociada a la edad. La posibilidad de que el propietario seleccione el tipo de alerta refuerza el carácter adaptable y personalizado del dispositivo, diferenciándolo de las soluciones disponibles actualmente en el mercado.

Finalmente, se reconoce como principal limitación del estudio la ausencia de una validación cuantitativa del desempeño de las alertas sensoriales. No obstante, esta decisión se sustenta en criterios éticos orientados a priorizar el bienestar animal. En este sentido, el proyecto establece una base sólida para investigaciones futuras, en las que se podrán calibrar y validar los parámetros técnicos del sistema bajo supervisión veterinaria y en entornos controlados. En conjunto, este trabajo aporta una propuesta innovadora dentro del campo del diseño de productos inteligentes para mascotas, demostrando el potencial del diseño centrado en el usuario como herramienta para mejorar la autonomía, seguridad y bienestar de perros con discapacidad visual.

Referencias

- [1] "Pet Ownership Statistics" Forbes Advisor. [En línea]. Disponible: <https://www.forbes.com/advisor/pet-insurance/pet-ownership-statistics/>. [Accedido: 5-mar-2025].
- [2] Statista Research Department, "Consumers viewing pets as children in the U.S. as of August 2023, by generations," Statista.com, ene. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1465441/viewing-pets-as-children-us-by-generation/>. [Accedido: 10-mar-2025].
- [3] "Pet Care: Industry overview" Passport: Euromonitor. [En línea]. Disponible: <https://euromonitor.tec.elogim.com/portal/dashboard/dashboarddetails?id=d2aeb9de-01b3-43ea-be78-d26ddd7fffd2>. [Accedido: 5-mar-2025].
- [4] O. Cortadella, "Ceguera en perros: evaluación clínica," Vets and Clinics. [En línea]. Disponible: <https://vetsandclinics.com/es/ceguera-en-perros-evaluacion-clinica>. [Accedido: 10-mar-2025].
- [5] A. T. Somma, F. Montiani-Ferreira, A. I. Schafaschek, "Surveying veterinary ophthalmologists to assess the advice given to owners of pets with irreversible blindness", *The Veterinary record*, 187 (4), e30, 2020. Disponible: <https://doi.org/10.1136/vr.105784>

- [6] K. N. Gelatt, "Glaucoma in Dogs," MSD Veterinary Manual, Revised Jun 2018, Modified Sept 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.msdvetmanual.com/dog-owners/eye-disorders-of-dogs/glaucoma-in-dogs>. [Accedido: 16-mar-2025].
- [7] "U.S. Pet Ownership Statistics," AVMA. [En línea]. Disponible: <https://www.avma.org/resources-tools/reports-statistics/us-pet-ownership-statistics>. [Accedido: 16-mar-2025].
- [8] "2022 Latest Canadian Pet Population Figures Released," CAHI. [En línea]. Disponible: [https://cahi-icsa.ca/press-releases/2022-latest-canadian-pet-population-figures-re leased](https://cahi-icsa.ca/press-releases/2022-latest-canadian-pet-population-figures-released). [Accedido: 16-mar-2025].
- [9] "180mil perros callejeros," Congreso CDMX. [En línea]. Disponible: <https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/10614da616026d42c4f3eb1049722bddd1f1d7ab.pdf>. [Accedido: 16-mar-2025].
- [10] "Las diferencias entre un perro senior y un perro geriátrico," Kivet. [En línea]. Disponible en: <https://www.kivet.com/blog/cuidados-y-diferencias-perro-senior-y-perro-geriatrico/>. [Accedido: 13-mar-2025]. [11] "Pet store market segmentation in the U.S. by target group," Statista. [En línea]. Disponible en: [https://www.statista.com/statistics/254111/pet-store-market-segmentation-in-the-us-by-target -group/](https://www.statista.com/statistics/254111/pet-store-market-segmentation-in-the-us-by-target-group/). [Accedido: 13-mar-2025]
- [11] "Muffins Halo® Blind Dog Accessory – Navigation Aid Bumper Collar for Blind Dogs Builds Confidence and Protects from Surrounding Obstacles," Amazon.com. [En línea]. Disponible: <https://a.co/d/i9K7W5B>
- [12] "Fhiny Anti-Collision Blind Dog Halo, Pet Protection Ring, Dog Anti-Collision Ring, Confidence Building Bumper, Supplies Accessories for Blind Dogs," Amazon.com. [En línea]. Disponible: <https://a.co/d/8aBR9FP>.
- [13] "Ultrasonic Cat Repellent Outdoor Solar Powered Animal Repeller Dog Deterrent Waterproof Motion Sensor Deterrent for Yard Garden Farm Rabbit Squirrels Raccoon Fox(Green,2 Pieces)" Amazon.com. [En línea]. Disponible: <https://a.co/d/cgl6KBV>
- [14] T. Brown, "Design Thinking," *Harvard Business Review*, vol. 86, no. 6, pp. 84-92, Jun. 2008.
- [15] B. Munari, *¿Cómo nacen los objetos? Apuntes para una metodología proyectual*. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili, SL, 2016.
- [16] N. Maharaj, "Deafness in Dogs: Signs, Symptoms, Treatment," *American Kennel Club*, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.akc.org/expert-advice/health/deafness-in-dogs/>. [Accedido: 12-dic-2025]
- [17] Ruffwear, "ApproachTM Dog Backpack | Pack for Dogs | Ruffwear," Ruffwear. <https://ruffwear.eu/products/hiking-dog-pack-approach#:~:text=It's%20recommended%20that%20your%20dog,used%20to%20wearing%20the%20pack>.



Diseño de un dispositivo de apoyo lumbar para prevenir lesiones musculoesqueléticas en caficultores costarricenses

Design of a lumbar support device to prevent musculoskeletal injuries in Costa Rican coffee workers

Monserrath Jiménez-Ortega¹, Yerlyn Ramírez-Herrera², Nicole Taylor-Marchena³

M. Jiménez-Ortega , Y. Ramírez-Herrera, N. Taylor-Marchena, "Diseño de un dispositivo de apoyo lumbar para prevenir lesiones musculoesqueléticas en caficultores costarricenses," *IDI+*, vol. 8, no 2, pp. 64-77, Ene., 2026.

 <https://doi.org/10.18845/ridip.v8i2.8431>

Fecha de recepción: 27 de junio de 2025
Fecha de aprobación: 2 de diciembre de 2025

1. Monserrath Jiménez-Ortega
Estudiante de Ingeniería en
Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
Ortegamonse1@gmail.com
 0009-0005-5833-7305

2. Yerlyn Ramírez-Herrera
Estudiante de Ingeniería en
Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
yeramirez@estudiantec.cr
 0009-0007-0445-4041

3. Nicole Taylor-Marchena
Estudiante de Ingeniería en
Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
ni.ki1@estudiantec.cr
 0009-0000-4654-0625

Resumen

En este artículo, se presenta el estudio realizado durante el primer semestre lectivo del 2025 por estudiantes del Tecnológico de Costa Rica en Cartago. El desarrollo de Nöku consiste en un dispositivo inteligente de apoyo lumbar diseñado para disminuir el riesgo de lesiones musculoesqueléticas en los recolectores de café. Esta población realiza extensas jornadas cargando canastos pesados en terrenos irregulares, como las montañas de Cartago, lo cual los expone a problemas lumbares y a fatiga física durante la actividad cafetalera. Como parte del proceso de investigación, se aplicaron entrevistas con el director de la Escuela de Agronegocios y un caficultor, ambos con experiencia en la recolección de café.

La metodología se estructuró en cinco etapas que incluyeron la identificación del problema mediante observación y entrevistas, análisis ergonómico, definición formal y funcional con integración tecnológica, validación del prototipo y documentación de los resultados. El dispositivo integró sensores y un sistema de alerta háptica para monitorear en tiempo real la carga transportada, cuando el peso superó el límite, el sistema activó la alerta, incentivando la descarga inmediata. Además, el diseño incorporó correas ajustables y soporte lumbar acolchado que permitió una redistribución del peso y comodidad durante la recolección.

El diseño se validó con cinco recolectores mediante pruebas con el prototipo físico y con 12 usuarios a través de una encuesta en línea, evaluando la estética y percepción del dispositivo. Los resultados evidenciaron mejoras en la ergonomía, comodidad y reducción del riesgo de lesiones musculoesqueléticas, confirmando su viabilidad y potencial como dispositivo de apoyo para recolectores.

Palabras clave

Dispositivo inteligente; soporte lumbar; lesiones musculoesqueléticas; recolección de café; ergonomía.

Abstract

This article presents a study conducted during the first academic semester of 2025 by students from the Costa Rica Institute of Technology in Cartago. The development of Nöku consists of an intelligent lumbar support device designed to reduce the risk of musculoskeletal injuries among coffee harvesters. This population performs long working hours carrying heavy baskets on irregular terrain, such as the mountainous areas of Cartago, which exposes them to lumbar disorders and physical fatigue during coffee harvesting activities. As part of the research process, interviews were conducted with the director of the Agribusiness program and a coffee farmer, both with experience in coffee harvesting.

The methodology was structured into five stages, including problem identification through observation and interviews, ergonomic analysis, formal and functional definition with technological integration, prototype validation, and documentation of results. The device integrated sensors and a haptic alert system to monitor the carried load in real time; when the weight exceeded the established limit, the system activated the alert, encouraging immediate load reduction. In addition, the design incorporated adjustable straps and padded lumbar support, allowing for weight redistribution and comfort during harvesting.

The design was validated with five coffee harvesters through physical prototype testing and with twelve users through an online survey, evaluating the aesthetics and user perception of the device. The results demonstrated improvements in ergonomics, comfort, and reduction of musculoskeletal injury risk, confirming its viability and potential as a support device for coffee harvesters.

Keywords

Gadget; lumbar support; musculoskeletal injuries; coffee harvesting; ergonomics.

Introducción

Ser caficultor es una de las profesiones más tradicionales de la cultura costarricense, pionera en Centroamérica y heredada a través de generaciones hasta la actualidad, cuyo valor radica en el levantamiento económico que trajo al país desde el siglo XIX [1]. Sin embargo, la herencia dejada por esta labor no ha sido del todo beneficiosa para los caficultores. Este es uno de los sectores que sufre mayor negligencia laboral con una normalización preocupante por parte del gobierno, ya que los trabajadores siguen usando el mismo equipo de recolección ineficiente, siendo una canasta o saco atado a la cintura con una cuerda. Esto provoca lesiones como la lumbalgia [2], por el esfuerzo físico prolongado durante largas jornadas de trabajo.

Para recolectar el grano de café, se requiere llenar múltiples cajuelas con el fin de obtener un ingreso económico escaso [3]. Esta rutina pone a los recolectores en una situación riesgosa, donde, con el fin de obtener el mayor ingreso posible, a costa de su salud, llevan sacos de gran peso por los cafetales, elevando los porcentajes de lesiones musculoesqueléticas y, finalmente, deserción laboral. Además, la profesión se enfrenta a nuevas dificultades con el paso del tiempo: el cambio climático provoca olas de calor intensas y las inmensas lluvias inestabilizan el terreno, por lo que ponen en riesgo tanto cultivos como agricultores [4]. A pesar de que existen equipos para amortiguar cargas como los “arneses” [5], estos no son muy utilizados, debido a que son poco compatibles con los sacos y canastos que utilizan, por ello siguen usando estos mismos métodos desde hace más de 100 años.

A partir de lo anterior, el propósito del presente estudio es diseñar un gadget entendido como un producto inteligente conectado, equipado con sensores, software y tecnología de comunicación, capaz de recopilar, procesar e intercambiar datos y reaccionar a su entorno [6]. El dispositivo incorpora tecnología que alerta al usuario cuando se alcanza un límite de peso, promoviendo la descarga para que no sea perjudicial y redistribuyendo la presión en la zona lumbar, además, aplicando principios de ergonomía. Mediante el uso de sensores de peso [7], unidades de vibración [8] y un respaldo ergonómico para la lumbar, se propone un diseño fácil de colocar, cómodo y eficaz, con el objetivo de disminuir el riesgo de lesiones musculoesqueléticas durante la jornada laboral.

La profesión que colocó a Costa Rica como “La Madre del Café” merece su lugar dentro del mundo de la innovación tecnológica. Por lo que el producto diseñado tiene la capacidad de concientizar el respeto hacia los límites del cuerpo en una ocupación que llevó en su espalda el primer levantamiento económico del país, acomodándose a los requerimientos de los trabajadores con su diseño ergonómico y, a su vez, reduciendo el riesgo de lesiones permanentes por sobreesfuerzo.

Metodología

Esta investigación se desarrolló utilizando el método propuesto para el curso de Diseño V de la Escuela de Diseño Industrial [9], estructurado en cinco etapas que guiaron el proceso desde la conceptualización hasta la validación de la solución de diseño.

Etapa 1: Conceptualizando la idea

Se llevó a cabo una exploración enfocada en identificar una problemática que pudiera ser solucionada por medio de un dispositivo inteligente. Se seleccionó como usuarios a los recolectores de café, debido a la alta exigencia física de su labor y a la falta de soluciones tecnológicas adaptadas a este sector [10]. Para conocer mejor sus necesidades, se realizó una investigación etnográfica mediante la observación y entrevistas a dos usuarios recolectores de café, uno de ellos también propietario de una finca cafetalera. Estos insumos permitieron definir el problema de diseño, analizando causas y consecuencias. Con toda la información recolectada, se definieron y jerarquizaron los requerimientos relacionados con el diseño del producto, abarcando aspectos ergonómicos, funcionales y tecnológicos.

Etapa 2: Definiendo la forma

Se definió un concepto de diseño, incluyendo los objetivos y alcances del proyecto, enfocado en ayudar a prevenir las lesiones musculoesqueléticas de los recolectores de café. Para ello, se realizó un análisis ergonómico evaluando la carga postural de los recolectores de café, se utilizó el método OWAS del software Ergonautas para analizar las posturas más frecuentes y

sus ángulos de *comfort*, valorando la antropometría y definiendo los percentiles a utilizar. En paralelo, se desarrolló un análisis perceptual para definir el lenguaje visual del producto por diseñar, el cual se realizó mediante un mapa perceptual y un *moodboard*, identificando las características perceptuales más frecuentes, para el desarrollo de la propuesta [11].

Se exploraron diferentes alternativas por medio de bocetos, considerando proporciones, componentes y ergonomía. Con el método de objetivos ponderados, se calificaron las propuestas en una escala de 1 a 10, donde se eligió la propuesta con mayor puntaje, a partir de la cual se desarrolló la propuesta final mejorada y optimizada.

Etapa 3: Definiendo la funcionalidad

Se utilizó el modelo de Análisis Funcional de Sistemas Técnicos (FAST) [12], en el cual se definió la función principal como “prevenir lesiones musculoesqueléticas”. A partir de esta, se establecieron las funciones secundarias y auxiliares, diferenciándose entre funciones prácticas e inteligentes, las cuales se organizaron en el diagrama de funciones. Además, se llevó a cabo un análisis tecnológico basado en productos referenciales y se seleccionaron componentes electrónicos como el sensor de presión, el microcontrolador Arduino y módulos de vibración para las alertas. Así mismo, se definieron las formas de interacción usuario-objeto-entorno. Los principios de funcionamiento se representaron mediante un *Storyboard*, donde se detalló cómo se esperaba que funcionara el producto.

Posteriormente, se desarrolló el diagrama de sistema, donde se detalló la arquitectura del producto, sus subsistemas y componentes, también se elaboró el modelo funcional programado con Arduino integrando todos los componentes y mostrando las funciones inteligentes. Asimismo, se construyó un modelo volumétrico de baja fidelidad para validar la interacción física del usuario con el objeto.

Etapa 4: Comprobando la solución

Para evaluar la efectividad y usabilidad del prototipo, se aplicaron dos técnicas de validación: un análisis de tareas del prototipo elaborado en textil y una encuesta en línea validando el modelo 3D del gadget. El análisis de tareas se realizó con cinco usuarios recolectores de café, una mujer de 25 años percentil 50 y cuatro hombres entre los 20 y 30 años percentil 50, cada usuario simuló el uso del prototipo físico. Durante esta interacción, se observaron sus acciones y reacciones, también se aplicó un cuestionario enfocado en tres categorías: usabilidad, estética y funcionamiento.

La encuesta se aplicó a un total de 12 personas entre los 20 y 40 años también recolectoras de café, incluyendo preguntas para validar la parte estética y percepción del producto. Los resultados obtenidos permitieron identificar oportunidades de mejora y validaron los aspectos visuales y funcionales del diseño desde la experiencia del usuario.

Etapa 5: Documentando el resultado

En la última etapa, se elaboró un cuaderno técnico que describió los aspectos generales del dispositivo inteligente desarrollado, incluyendo su funcionamiento, características y funciones inteligentes. Además, se agregó la documentación técnica de la arquitectura del sistema, los planos técnicos de todas las piezas utilizadas para la elaboración del producto, así como los materiales y componentes normalizados empleados. También se incluyó el código de la programación en Arduino y el manual de usuario donde se detalló paso a paso la utilización correcta del producto mediante un *storyboard*.

Resultados

Análisis perceptual y enfoque visual del diseño

Se realizó un análisis perceptual y se definió el enfoque visual del diseño. Como se observa en la Figura 1(b), la interfaz del soporte lumbar incorporó un botón y luz led discreta que funcionó como indicador intuitivo del estado del dispositivo, sin generar distracciones ni saturación visual. Estas características contribuyeron a una experiencia accesible incluso para personas con poca familiaridad tecnológica. En la Figura 1(a), se puede apreciar el diseño completo del producto desarrollado.

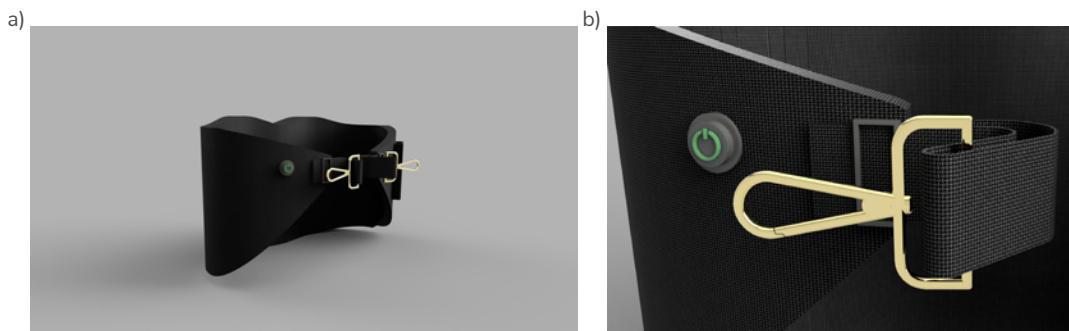


Fig. 1. Renders de la faja lumbar inteligente.

Desarrollo y características del prototipo funcional

El sistema de monitoreo activo integrado en la faja utilizó un sensor electrónico FSR 402 para medir el peso del canasto de recolección en tiempo real, permitiendo un seguimiento constante de la carga. Cuando la carga alcanzó el límite seguro de 10 kilogramos [13], el sistema activó una alerta táctil mediante vibración, notificando al usuario sobre la necesidad de descargar el peso y ayudando a prevenir lesiones por sobrecarga.

El dispositivo fue alimentado por una batería recargable, con una autonomía suficiente para cubrir toda la jornada laboral de ocho horas. Además, la interfaz del sistema resultó sencilla y accesible, con un único botón que permitió encender y apagar el dispositivo, garantizando su uso intuitivo sin necesidad de capacitación tecnológica.

La faja contó con un ajuste personalizado y adaptable gracias a sus correas ajustables, que permitieron adaptarla a diferentes perímetros corporales, entre 85 y 100 centímetros [14], asegurando un ajuste cómodo y estable para una amplia variedad de usuarios. Además, su estructura incluyó un soporte lumbar acolchonado, como se puede observar en la Figura 2(a), compuesto por varias capas de espuma, gel y material textil, que brindaron amortiguación, soporte y flexibilidad, protegiendo eficazmente la zona lumbar.

El diseño también incorporó un sistema de redistribución de peso, que redirigió el punto de presión de la espalda, distribuyendo la carga de manera homogénea en el sistema. Como se observa en la Figura 2(b), la implementación de una cubierta resistente en la zona lumbar amortiguó el peso y proporcionó soporte firme y cómodo mediante cubiertas de material acolchado.

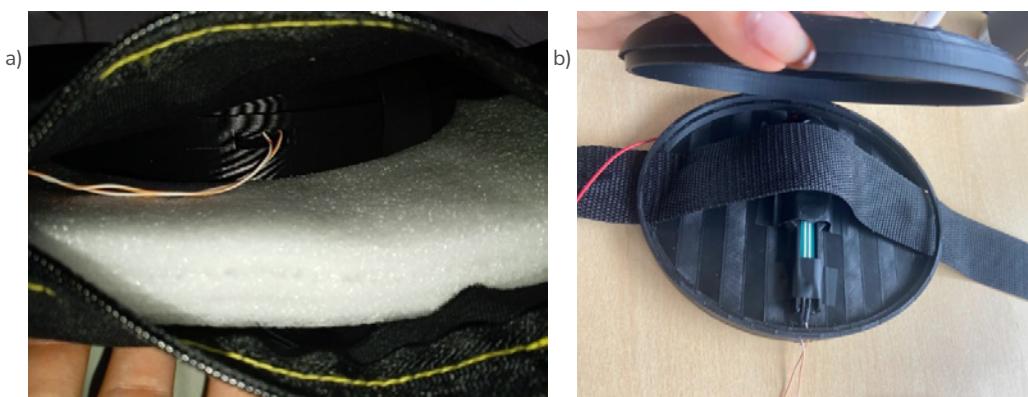


Fig. 2. Pieza de soporte lumbar para la faja.

Discusión

Ergonomía del diseño

Para validar el diseño, se lleva a cabo un análisis ergonómico basado en la observación directa de los recolectores y la aplicación del método OWAS para evaluar las posturas adoptadas durante la jornada laboral. Como se muestra en la Figura 3, se identificaron tres posturas predominantes:

- a) De pie en terreno plano.
- b) Arrodillado.
- c) De pie en terreno inclinado.



Fig. 3. (a), (b) y (c) Ejemplificación de posturas “de pie en terreno plano”, “arrodillado” y “de pie en terreno inclinado”.

El estudio detallado de las posturas mencionadas anteriormente se realizó con el software especializado Ergonautas [15], lo cual permite cuantificar los ángulos articulares comprometidos en espalda, brazo y pierna. Además, se observa que, después de un peso alrededor de 10 kg, hay un riesgo de sufrir lesiones musculoesqueléticas, esto indica que este debe ser el límite de peso en el dispositivo.

Como se puede ver en la Figura 4, el estudio de la segunda postura (arrodillado) es la más comprometida, ya que estas evidencias guiaron el diseño ergonómico de la faja, enfocándose en distribuir la carga, reducir el esfuerzo físico y favorecer una postura saludable durante la actividad de recolección.



Fig. 4. Resultado de estudio de segunda postura [12].

A su vez, en la Figura 5, el estudio alcanza un nivel de riesgo en escala 3 de peligrosidad tanto para la primera como para la tercera postura. El mayor impacto se observa en la zona lumbar, donde, según estudios clínicos, puede desencadenar lumbalgia, una lesión provocada por la presión continua en una sección centrada de la espalda. Esta condición genera limitación de movimiento, espasmos musculares, dolor palpitante, entre otros síntomas [2].



Fig. 5. Resultado de estudio de primera y tercera postura [12].

El ajuste corporal

El ajuste de la faja fue uno de los aspectos más comentados. Si bien cuatro usuarios lograron colocarse el producto por sí solos, la experiencia no fue homogénea, en la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos. Algunos encontraron que las correas eran poco intuitivas o que el producto se desajustaba con el movimiento del cuerpo y el peso del canasto.

El usuario 1, por ejemplo, reporta que el sistema de ajuste derecho se soltaba, lo cual generó inseguridad durante el uso. Otros usuarios requirieron más tiempo del esperado para ajustarlo correctamente o sintieron que no se acomodaba a su cuerpo, ya que la cobertura en la zona lumbar era excesiva. Por otro lado, la mayoría coincidió en que el producto se encenderá en el costado derecho del cinturón. Por lo que el sistema de ajuste necesita ser rediseñado para adaptarse con mayor rapidez y seguridad, manteniendo el soporte sin sacrificar libertad de movimiento.

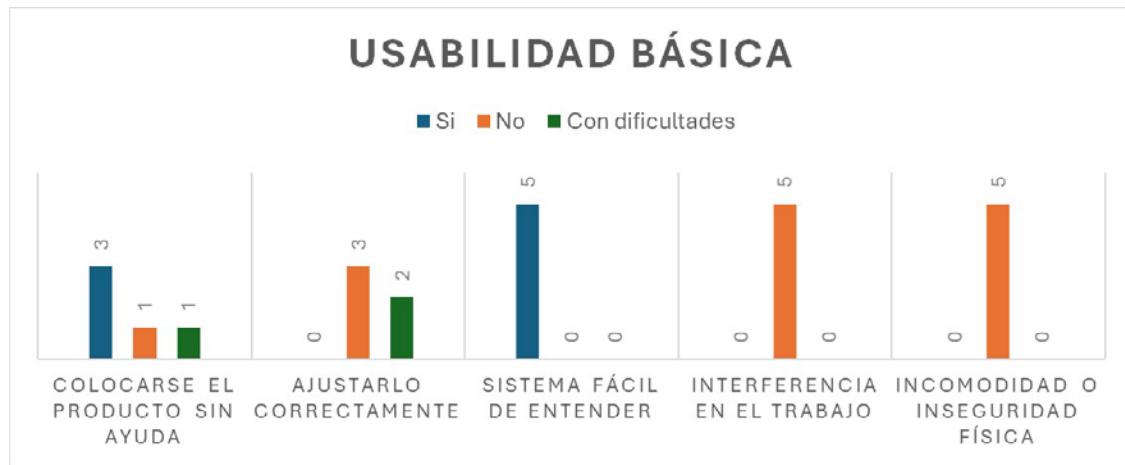


Fig. 6. Respuestas de los usuarios sobre estudio de usabilidad básica.

Colocación invertida como reinterpretación funcional

Uno de los hallazgos más relevantes fue que dos de los cinco usuarios se colocaron la faja al revés respecto al planteamiento original del diseño, como se puede ver en la Figura 7; lejos de considerarse un simple error, este fenómeno revela dos asuntos: por un lado, la falta de un lenguaje visual claro que guíe de forma intuitiva la colocación y, por otro, la capacidad de los usuarios de adaptar el diseño a sus necesidades reales, encontrando incluso una mejor funcionalidad en esa reinterpretación. Además, un aporte interesante fue el consejo de usar un color distinto para el lado interno del cinturón para indicar mejor su colocación.



Fig. 7. (a) y (b) Usuario 2 usando cinturón al revés y usuario 1 usándolo en el sentido predeterminado.

La vibración como canal de alerta más efectivo

Todos los participantes identificaron correctamente la alerta vibratoria, lo que valida su funcionalidad básica. Sin embargo, tres de los usuarios indicaron que la vibración era más efectiva cuando el dispositivo estaba bien ajustado al cuerpo. Esta observación resalta que una función inteligente no es independiente de la forma física del objeto, es decir, el diseño

estructural afecta la efectividad tecnológica. En otras palabras, la vibración funciona cuando el cuerpo y el objeto están conectados correctamente.

Además, el hecho de que la vibración es más clara que un posible sonido fue una afirmación clave. En ambientes agrícolas, donde las personas están escuchando la radio o con audífonos, lo táctil supera lo auditivo, lo cual es un hallazgo valioso para futuros productos de este tipo.

Estética

Visualmente, el producto fue percibido como técnico y confiable, pero su función no fue clara para todos. Su apariencia robusta generó confianza, aunque también se asoció con calor, incomodidad y complejidad. También lo asociaron con las fajas que se usan en los gimnasios, con un producto ortopédico y con fajas para embarazadas.

Los resultados de la encuesta basada en *renders* del prototipo evidencian una valoración mayormente positiva hacia el diseño del prototipo. En una escala del 1 al 5 (1 siendo la peor calificación, 5 siendo la mejor calificación), el 66,7 % de los encuestados calificó con un 4 su percepción de innovación y el 50 % lo ubicó en un intermedio entre simple y complejo. El 58,3 % consideró claro el funcionamiento del producto y valoró como adecuada la combinación de colores utilizada. Un 66,7 % percibió que el dispositivo se ve cómodo de usar. La totalidad de los participantes consideró apropiadas las líneas curvas y orgánicas del diseño. También la facilidad para entender los íconos e indicadores a simple vista.

Además, destacaron la buena apariencia general del diseño y su potencial innovador, sin embargo, mencionaron la necesidad de mejorar la comodidad en la zona lumbar, mejor ventilación y que el producto se pueda lavar. También, se sugirió el uso de colores más claros para bajar la sensación térmica. Aunque en general la estética fue bien valorada, mostrando una percepción positiva del diseño.

Distribución de peso en la espalda y caderas

Los usuarios coincidieron en que el objetivo principal del producto, la reducción del esfuerzo físico, se logró efectivamente, ya que percibieron una mejor distribución del peso en lugar de una acumulación en un solo punto en la zona lumbar, lo que les generó una sensación de alivio durante su uso. Además, destacaron la utilidad del cinturón en su vida diaria, expresando satisfacción y reconocimiento sobre su potencial para prevenir lesiones relacionadas con la carga física.

En cuanto a las funciones y posibles mejoras, los usuarios sugirieron añadir más relleno para incrementar el apoyo ergonómico y proponer un diseño más eficiente para la conexión del cinturón a la canasta de recolección. Estos resultados se reflejan en la Figura 8, donde se resumen las respuestas y percepciones recogidas durante la evaluación del producto.



Fig. 8. Respuestas de los usuarios sobre estudio de funcionamiento.

Comparación con soluciones existentes

Los recolectores de café actualmente utilizan soluciones rudimentarias como sacos, para improvisar cinturones y un sistema de ajuste con un palo, los cuales no ofrecen ningún tipo de soporte estructural ni retroalimentación sobre el peso cargado. Estas soluciones son ligeras y rápidas de usar, pero generan dolores recurrentes en la zona lumbar, fatiga prematura y riesgo de lesión.

Algunas empresas se han dedicado a producir modelos que le permitan algún grado de comodidad a los recolectores de café, sin embargo, estos no pasan de arneses que no pueden cargar mucho peso [5]. Además, estos no contienen componentes electrónicos que permitan alguna optimización durante las jornadas laborales para los recolectores.

Así mismo, estos modelos no incluyen componentes electrónicos que optimicen las jornadas laborales. Los sensores de peso, por ejemplo, pueden monitorear la carga en tiempo real y alertar al recolector cuando se alcanza un límite seguro, evitando lesiones por sobrecarga. Sin esta tecnología, los sistemas actuales no ofrecen retroalimentación que ayude a gestionar mejor el esfuerzo físico ni a mejorar la productividad y seguridad del trabajador.

Conclusiones

El desarrollo de la faja lumbar inteligente constituye el resultado principal de este proyecto, creado con el propósito de mejorar la seguridad y prevenir lesiones musculoesqueléticas en los recolectores de café mediante la integración de funciones ergonómicas y tecnologías inteligentes. El diseño del gadget responde directamente al objetivo general del proyecto y se sustenta en un análisis de las condiciones laborales y físicas del usuario final.

Por medio de las técnicas de validación, se determinó que la necesidad principal del usuario radica en la redistribución del peso en la zona lumbar. Por este medio, se ofrece una solución innovadora para el sector laboral tradicionalmente desatendido como lo es el cafetalero. Esta investigación aporta conocimiento sobre cómo la combinación de análisis ergonómico y tecnologías pueden mejorar la seguridad y el bienestar de los usuarios en actividades físicas exigentes.

Habiendo identificado las posturas de riesgo en la labor, se obtienen datos concretos para el diseño del dispositivo. La incorporación de un sistema de monitoreo activo y alertas hapticas representa una mejora funcional que supera las soluciones actuales en el mercado, las cuales carecen de retroalimentación y soporte estructural adecuado.

El prototipo creado puede proporcionar un punto de partida en la industria cafetalera, la cual se destaca por la recolección en jornadas exhaustivas y repetitivas de alta demanda física, brindando así una oportunidad de cambio para los trabajadores. Por medio de estudios de mayor exactitud y la implementación de nuevas tecnologías, se puede evitar la fatiga física no solo en este, sino en múltiples disciplinas laborales de alto impacto.

Como futuras líneas de investigación, se recomienda profundizar en estudios de costos asociados a los materiales y a las cantidades de producción, así como en el seguimiento, control y monitoreo del uso del dispositivo durante jornadas completas y periodos prolongados, por ejemplo, de un mes, como parte de los indicadores de desempeño. Asimismo, se sugiere analizar el impacto del uso del dispositivo en el estado físico y emocional de los caficultores, así como los beneficios generados tanto para el trabajador como para la empresa cafetalera a corto, mediano y largo plazo.

Adicionalmente, se propone continuar el desarrollo de materiales más frescos, ligeros y resistentes, con bajo índice de absorción de calor, que mejoren la comodidad térmica del usuario, junto con la optimización de los sistemas de ajuste para facilitar la colocación sin asistencia. Finalmente, se recomienda explorar la integración de tecnologías inalámbricas para la recopilación de datos en tiempo real y su conexión a bases de datos, lo que permitiría un monitoreo remoto y efectivo del desempeño del usuario durante la actividad cafetalera.

Referencias

- [1] “Historia del café de costa rica”. ICAFE. Consultado: 20 jun, 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.icafe.cr/nuestro-cafe/historia/>
- [2] “La lumbalgia: Definición y tratamientos”. Clínica Élite. Consultado: 25 mayo, 2025. [En línea]. Disponible: <https://clinicaelite.es/lumbalgia-definicion-causas-sintomas-y-tratamientos/>
- [3] K. Valencia. “En riesgo de perderse cosecha de café en Santa Bárbara por falta de mano de obra”. NCR Noticias - Noticias Costa Rica. Consultado: 20 de jun, 2025. [En línea]. Disponible: <https://ncrnoticias.com/nacionales/en-riesgo-de-perderse-cosecha-de-cafe-en-santa-barbara-por-falta-de-mano-de-obra/>
- [4] G. Errico. “Me parte el corazón: Las comunidades que cultivan el café de Costa Rica, amenazadas por el cambio climático”. Climática, el medio especializado en clima y biodiversidad. Consultado: 20 jun, 2025. [En línea]. Disponible: <https://climatica.coop/cafe-costa-rica-cambio-climatico/>

- [5] "Arnés para Coco Recolector de Café" Todoparacafe Consultado: 29 mayo, 2025. [En línea] Disponible: <https://todoparacafe.com/shop/arnes-para-coco-recolector-de-cafe>.
- [6] "I.safe MOBILE GmbH". Zertifizierte Smartphones, Tablets und Mobiltelefone für IECEX und ATEX Zonen. Accedido el 4 de junio de 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.isafe-mobile.com/es/conocimientos-tecnologicos/glosario/producto-inteligente-y-servicio-inteligente#:~:text=Un%20producto%20inteligente%20es%20un%20producto%20digital,y,%20a%20menudo,%20interactuar%20con%20otros%20dispositivos>.
- [7] N. Braga. "Conozca los sensores de fuerza FSR (ART728S)". Instituto Newton C. Braga. Consultado: 28 feb, 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.incb.com.mx/index.php/articulos/53-como-funcionan/4920-conozca-los-sensores-de-fuerza-fsr-art728s>
- [8] "FL45-00 Piezoelectric Buzzer Series" FL45-00, BeStar Technologies, Inc., China, 2015. [En línea]. Disponible: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Robotics/B1034.FL45-00-015.pdf>
- [9] L. C. Araya-Rojas, "Objetos inteligentes: un paso de lo tradicional a nuevas formas de interacción," *Actas de Diseño*, vol. 40, pp. 46–51, Jul. 2022. [Online]. Available: <https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/actas/article/view/18739>
- [10] Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Guía de salud ocupacional en la agricultura para las personas inspectoras del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Costa Rica, 1. ed., San José, Costa Rica: MTSS, 2018. [En línea]. Disponible: https://www.mtss.go.cr/elministerio/biblioteca/documentos/guia_salud_ocupacional_agricultura.pdf
- [11] L. Araya Rojas. "Etapa 2 – Definiendo la forma", presentado en Diseño 5, Cartago, Costa Rica, 2025, pp. 33-51.
- [12] L. Araya Rojas. "Etapa 3 – Definiendo la funcionalidad", presentado en Diseño 5, Cartago, Costa Rica, 2025, pp. 16-22.
- [13] Jeffs, Shaun B., "The Passive Load-Bearing Capacity of the Human Lumbar Spine in the Neutral Standing Posture" (2011). Theses and Dissertations. 2638. <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/2638>
- [14] G. Gómez, D. Quesada y R. Monge, "Perfil antropométrico y prevalencia de sobrepeso y obesidad en la población urbana de Costa Rica entre los 20 y 65 años agrupados por sexo: resultados del Estudio Latino Americano de Nutrición y Salud," *Nutr. Hosp.*, vol. 37, no. 3, art. no. 2, abr., 2020. Consultado: 3 abr. 2025. [En línea]. Disponible: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112020000400017
- [15] J. A. Diego-Mas, "Evaluación postural mediante el método OWAS." *Ergonautas*, Universidad Politécnica de Valencia. Consultado: 2 abr., 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php>.



Diseño de un dispositivo inteligente que optimiza la productividad, la concentración y el bienestar digital de los trabajadores de escritorio

Design of a smart device that optimizes productivity, concentration, and digital well-being for desk workers

Diana Obando-Chacón¹, María J. Gómez-Rey², Nardo J. Pérez-Godínez³

D. Obando-Chacón, M. J. Gómez-Rey, N. J. Pérez-Godínez, "Diseño de un dispositivo inteligente que optimiza la productividad, la concentración y el bienestar digital de los trabajadores de escritorio," *IDI+*, vol. 8, no 2, pp. 78-93, Ene., 2026.

 <https://doi.org/10.18845/ridip.v8i2.8432>

Fecha de recepción: 27 de junio de 2025
Fecha de aprobación: 2 de diciembre de 2025

1. Diana Obando-Chacón
Estudiante de Ingeniería en
Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
diobando@estudiante.cr
ID 0009-0007-2556-9307

2. María J. Gómez-Rey
Estudiante de Ingeniería en
Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
mar-gomez@estudiante.cr
ID 0009-0009-7419-9052

3. Nardo J. Pérez-Godínez
Estudiante de Ingeniería en
Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
nperez@estudiante.cr
ID 0009-0009-6861-2541

Resumen

En un contexto contemporáneo marcado por el teletrabajo, la hiperconectividad digital y la constante exposición a pantallas, mantener la concentración, la productividad y el equilibrio emocional se ha convertido en un desafío cotidiano para muchas personas. A partir de esta problemática, surgió la propuesta de Mindu: The Pomodoro Box, un dispositivo físico e inteligente que busca guiar a los usuarios en una gestión más saludable y equilibrada de su tiempo frente al computador, fomentando pausas conscientes y hábitos sostenibles de trabajo.

La investigación se desarrolló bajo una metodología de diseño centrado en el usuario, estructurada en fases de exploración, ideación, prototipado y pruebas de usabilidad. El resultado fue un gadget que combina tecnología tangible, sensores de interacción y retroalimentación sensorial para acompañar al usuario en ciclos equilibrados de trabajo, descanso y bienestar. Dicho dispositivo integra de manera coherente la técnica Pomodoro con prácticas de atención plena, generando una experiencia que trasciende la productividad tradicional.

Las pruebas realizadas evidenciaron una interfaz simple e intuitiva, una percepción visual positiva y una respuesta emocional favorable. Mindu no solo promovió una productividad más consciente, sino que también fortaleció la conexión emocional con el dispositivo. De esta forma, el diseño industrial aportó al cuidado de la salud mental desde un enfoque funcional y estético, reafirmando el potencial del diseño como puente entre la tecnología, el comportamiento humano y el bienestar en la vida cotidiana.

Palabras clave

Gestión del tiempo; Pomodoro; trabajo de escritorio; bienestar digital; interfaz física.

Abstract

In today's context, characterized by remote work, digital hyper-connectivity, and constant exposure to screens, maintaining focus, productivity, and emotional balance has become a daily challenge for many individuals. From this issue emerged the proposal of Mindu: The Pomodoro Box, a physical and intelligent device designed to guide users toward a healthier and more balanced management of their time in front of the computer, encouraging mindful breaks and sustainable work habits.

The research was carried out through a user-centered design methodology, structured in phases of exploration, ideation, prototyping, and usability testing. The outcome was a gadget that combines tangible technology, interactive sensors, and sensory feedback to accompany users in balanced cycles of work, rest, and well-being. This device integrates the Pomodoro technique with mindfulness practices in a coherent way, generating an experience that goes beyond traditional notions of productivity.

The tests revealed a simple and intuitive interface, positive visual perception, and favorable emotional responses. Mindu not only fostered more conscious productivity but also strengthened the emotional connection between users and the device. In this way, industrial design contributed to supporting mental health from both a functional and aesthetic perspective, reaffirming the potential of design as a bridge between technology, human behavior, and everyday well-being.

Keywords

Time management; Pomodoro; desktop work; digital wellbeing; physical interface.

Introducción

El acceso ilimitado a la información trae problemas en las rutinas laborales y personales, con factores como la sobrecarga de la información, la adicción a los dispositivos y el impacto en personas con trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH). Además, el exceso de datos afecta la atención, el bienestar emocional y la concentración, convirtiéndose en un desafío para las personas en los entornos de teletrabajo modernos.

Según la segmentación de mercado realizada para este proyecto, se revela que existe un mercado de teletrabajadores con TDAH en Costa Rica, con un tamaño estimado de 7000 personas. Si bien la segmentación toma en cuenta la prevalencia del TDAH, la investigación también considera a los trabajadores no diagnosticados, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) [1], se estima que aproximadamente el 13% de asalariados en Costa Rica teletrabajaron durante el 2022.

Este sector, al igual que otros profesionales en modalidad remota, se ve particularmente expuesto a la sobrecarga de información. Bawden y Robinson [2] explican que esta ocurre cuando una persona recibe más datos de los que puede procesar, fenómeno que se intensifica con el uso constante de plataformas digitales. Hoy en día, el alto volumen de datos en redes sociales, correos electrónicos, noticias y entretenimiento dificulta la concentración, genera fatiga cognitiva, además, afecta la memoria y el procesamiento de información.

En este contexto, se plantea la necesidad del desarrollo de soluciones tecnológicas que no aumenten la sobrecarga de información, sino que la gestionen de manera más eficiente. Ahí es donde los gadgets surgen como solución, ya que, según Cambridge Dictionary [3], se definen como dispositivos pequeños o piezas de equipo electrónico con un propósito particular, asociados generalmente a innovaciones recientes y de uso práctico en la vida cotidiana. Los cuales se asocian al entorno de trabajo de los usuarios del proyecto, los teletrabajadores, donde la sobrecarga de información es cada vez más evidente.

Una de las principales fuentes de dicha sobrecarga es el teléfono celular, actualmente, el

medio más utilizado para acceder a información. Erten y Özdemir [4] señalan que la adicción a los teléfonos representa una preocupación creciente, ya que los usuarios pueden llegar a revisarlos hasta 900 veces al día, lo que genera agotamiento digital, disminuye la productividad y dificulta el control de las emociones.

Por lo que el problema en este proyecto se define de la siguiente forma *el uso excesivo de dispositivos electrónicos o inteligentes reduce la retención de la atención, el procesamiento cognitivo y la productividad de los teletrabajadores.*

En el análisis de referenciales realizado, se contemplan cuatro tipos de productos: herramientas de gestión del tiempo y la productividad, dispositivos para el bienestar digital, dispositivos para la salud mental y productos de organización. En este análisis, se evidencia que, aunque muchos de los productos en el mercado son útiles como temporizadores físicos, suelen tener muchas limitaciones en cuanto a personalización, precios elevados y, sobre todo, una fuerte dependencia del uso del celular, lo cual aumenta las distracciones para los usuarios.

Sin embargo, tras este análisis, la técnica Pomodoro [5] se destaca como una referencia relevante, ya que plantea una forma diferente de percibir el tiempo que reduce la ansiedad, facilita la concentración y permite alcanzar mayor claridad de pensamiento. No obstante, para superar las limitaciones de los productos existentes, estas soluciones, como la técnica Pomodoro, deben incorporar funciones inteligentes [6], entendidas como aquellas que reconocen el contexto situacional, se adaptan a las necesidades y emociones del usuario, modifican su comportamiento según las respuestas recibidas y ofrecen una experiencia personalizada.

Debido a lo anterior, el objetivo principal en este proyecto es diseñar un dispositivo inteligente que funcione como una ayuda no intrusiva y centrada en el usuario, la cual optimice la productividad y el bienestar, se adapte a las rutinas individuales, minimice la sobrecarga digital y promueva hábitos de trabajo sostenibles. Todo esto implica la mejora del balance en la vida de los teletrabajadores y un incremento en su productividad.

Métodología

La presente investigación se realizó en el marco de la metodología Design Thinking, desarrollado en la Escuela de Diseño de Stanford, el cual es un proceso iterativo y centrado en el ser humano que busca abordar problemas complejos a través de la empatía, la ideación y la experimentación.

Design Thinking o pensamiento de diseño es un modelo de cómo enfocar la innovación en entornos inciertos de forma ágil y radical. Design Thinking tiene una serie de herramientas que se utilizan a lo largo del proceso de crear productos y servicios innovadores, en función de la fase en la que se encuentre. Se puede utilizar Design Thinking siempre, porque tiene su base en la resolución de problemas, desde el punto de vista del usuario [7].

Fases y procedimiento

El desarrollo del proyecto Mindu se llevó a cabo siguiendo una serie de etapas que, si bien se presentaron de manera secuencial para fines de descripción, es fundamental destacar que el proceso de diseño es siempre iterativo y no lineal. Esto permite la retroalimentación constante y la vuelta a fases anteriores según sea necesario, lo que facilitó la mejora continua, la adaptación a nuevos hallazgos y la mejora de las soluciones planteadas a lo largo de la investigación. A continuación, se describe el procedimiento realizado en cada una de las fases principales, especificando las técnicas empleadas para la recolección, análisis y síntesis de los datos.

Fase 1: Entender

Se centró en la comprensión profunda y análisis de los usuarios, sus necesidades, comportamientos y el contexto del problema.

En esta primera fase, se realizó una exhaustiva búsqueda y revisión de artículos, informes y estudios existentes relacionados con la productividad, manejo de las distracciones en entornos de teletrabajo y diseño de dispositivos relacionados a estas áreas. Como resultado de esta búsqueda, el enfoque del diseño tomó en cuenta los principios de Calm Technology [8] y un estudio realizado por el KTH Institute of Technology, *Designing for the Distracted: A User-Centered Approach to Explore and Act on the User Experiencies of People with Short Attention Spans* [9].

Posteriormente, se examinaron y analizaron productos similares ya presentes en el mercado. Esto incluyó dispositivos y herramientas de concentración, medición del tiempo, relajación y bienestar del usuario. El objetivo fue identificar sus funcionalidades, características, puntos fuertes y áreas de mejora que estos poseían.

Para identificar patrones recurrentes, comportamientos y rutinas de los usuarios en sus entornos naturales, se realizaron pruebas de observación de los usuarios en su entorno de teletrabajo o puesto de trabajo en el escritorio, así como una pequeña entrevista sobre sus hábitos durante horas laborales, profundizando en la conexión de la persona con su entorno y dispositivos utilizados. Dichas pruebas de observación fueron registradas mediante una grabación de video *time-lapse* (por su duración promedio de 30 min). La encuesta, por su parte, fue grabada en audio donde se escuchaba al usuario responder las preguntas planteadas.

Con base en los hallazgos y fundamentado en las problemáticas, se formuló un problema de diseño y, de acuerdo con este, se planteó una hipótesis de diseño (propuesta) sobre cómo solucionarlo.

Una vez definidos el problema y la hipótesis, se establecieron los requisitos funcionales y no funcionales que el diseño debía cumplir, sustentados por los datos recopilados en los análisis.

Dichos requisitos consideraban la mínima dependencia a una pantalla, filtro de información inteligente, características que evitarán las distracciones, refuerzos positivos de uso, diseño adaptable, un sistema de priorización de la tareas o rutina del usuario, distintos modos de uso, control intuitivo del dispositivo y ciclos cortos de interacción.

Fase 2: Explorar

Esta fase se dedicó a la ideación y conceptualización de diversas soluciones, así como el análisis de factores por considerar para la propuesta seleccionada. En primer lugar, se generaron múltiples ideas y enfoques para responder a las preguntas y problemáticas planteadas en la fase anterior. Fue así como se planteó el concepto: *Focus-enhancing and well being aid* (Ayuda para mejorar la concentración y el bienestar).

Con base en dicho concepto, se desarrollaron propuestas iniciales de diseño, abarcando diferentes alternativas para el dispositivo, intentando que estas cumplieran también con los requisitos de diseño. Esto implicó plasmar las ideas mediante bocetos (15 en total) de las potenciales soluciones, especificando las funciones que poseían, sus modos de uso y cómo estos pretendían resolver las necesidades y problemáticas planteadas. Se analizó cada propuesta según el nivel de cumplimiento de los requisitos y se seleccionó una de las 15 propuestas para replantearla en una iteración preliminar.

Considerando la interacción del usuario con el producto, se evaluó la propuesta desde la perspectiva ergonómica, asegurándose de que esta beneficiara en la comodidad, eficiencia y seguridad para el usuario, ya sea antropométrica o cognitivamente.

Se llevó a cabo un análisis de los aspectos semánticos, estéticos y formas de los productos existentes, buscando que el diseño comunicara y evocara las sensaciones correctas. Para esto, se construyó un *moodboard* que definía el estilo esperado, clasificando las imágenes según ejes semánticos establecidos, así como una selección previa de los colores, formas y grados de continuidad a considerar en el desarrollo posterior de la propuesta.

Por otra parte, se investigó la viabilidad tecnológica de la propuesta, comprendiendo e investigando aquellos componentes necesarios y las capacidades de los sistemas para materializar la idea seleccionada.

Fase 3: Materializar

Esta fase se enfocó en la creación de una primera iteración del prototipo y la validación de dicha solución con usuarios. Se realizó una primera aproximación a la idea seleccionada, que sería luego modelada en 3D, mediante el software SolidWorks. Seguidamente, se definieron y diseñaron las funcionalidades específicas del prototipo, asegurando que cumpliera con los requisitos establecidos. Es así como se construyó un prototipo del diseño final y se programaron las funciones básicas que este debía contemplar, utilizando un ESP32 y la escritura de código

en Arduino IDE. La elaboración de esta primera iteración permitió una representación tangible del gadget para la posterior etapa de pruebas.

La principal técnica utilizada en la etapa de pruebas fue la prueba de usuarios, donde los participantes interactuaron con el prototipo mientras se encontraban en su entorno de trabajo (escritorio o similar) y llevaban a cabo una lista de tareas. La edad de los usuarios seleccionados iba de los 22 a 48 años, siendo 4 usuarios en total (tres hombres y una mujer). De estos, dos eran estudiantes y dos trabajadores.

Las observaciones se registraron gracias a una hoja de tareas predefinida y una grabación en video de cada prueba. Adicionalmente, se les aplicó una encuesta oral al momento de finalizar las pruebas para capturar percepciones y valoraciones generales de la experiencia de uso.

Como era necesario evaluar el lenguaje visual del prototipo y su impacto en la comprensión y experiencia del usuario, se les presentó a las personas un formulario con distintos materiales, colores y combinaciones de estos aplicados al dispositivo en *renders*, para determinar si cumplían con los ejes semánticos y con el propósito general de la propuesta.

De acuerdo con los hallazgos de las pruebas de usuario, se identificaron los cambios y mejoras necesarias para el prototipo, las cuales eran principalmente el sentido de rotación y tamaño de la perilla; la ubicación, selección e identificación de los modos de uso en el selector y la apariencia física del prototipo (aplicando los resultados del análisis del lenguaje visual).

Fase 4: Implementación

Durante esta fase, se realizaron las modificaciones necesarias al diseño basándose en la retroalimentación de las pruebas, buscando optimizar la funcionalidad y la experiencia de usuario.

Una vez establecidos y hechos los ajustes, se procedió a la impresión de la carcasa en 3D, la elaboración en madera de la base para celular y la obtención de otros materiales necesarios para su ensamblaje (como lo son tornillos y las patas de goma). Con dichas partes listas, se organizaron los componentes internos del diseño para asegurar un encaje y ubicación adecuados, así como la funcionalidad deseada.

Finalmente, se detallaron los diferentes pasos para ensamblar las partes de Mindu y se procedió a la ubicación y ajuste de los componentes, así como cableado de estos y la sujeción de las partes de la carcasa. Se realizó así la verificación final para que todos los elementos y el prototipo funcionaran correctamente.

Equipo e instrumentos utilizados

Para el desarrollo de las diferentes fases de la investigación, se utilizaron los siguientes equipos e instrumentos:

Herramientas: computadora, utilizada para la búsqueda de información, análisis de datos, diseño de prototipos digitales, programación en Arduino IDE, creación de encuestas y documentación general del proyecto; celular, empleado para la comunicación, registro de audio/video (con consentimiento) durante entrevistas o sesiones de observación; prototipo, el objeto de las pruebas de usuario, desarrollado primeramente con acrílico para la carcasa y los componentes electrónicos internos.

Instrumentos: hoja de tareas, documento utilizado durante las pruebas de usuario para llevar control de las tareas realizadas por el participante; encuestas, un cuestionario estructurado presencial aplicado a los participantes después de las pruebas de usuario para recopilar información sobre su satisfacción, usabilidad percibida y comentarios adicionales. Además de un cuestionario digital aplicado a potenciales usuarios para determinar puntos de mejora en el lenguaje visual del dispositivo.

Resultados

Derivado del proceso de investigación y análisis de la problemática, así como de la evaluación de su impacto en el contexto contemporáneo y de las estrategias actualmente implementadas para su abordaje, se desarrolló *Mindu: The Pomodoro Box*, una solución física e inteligente que constituyó una propuesta orientada a fomentar una gestión más saludable del tiempo y del entorno digital. Su diseño estuvo dirigido a personas que desempeñan labores frente al computador, con especial atención a quienes se encuentran en contextos de teletrabajo. En la Figura 1, se ilustró el dispositivo en su conjunto, mientras que, en las Figuras 2 y 3, se muestran sus principales puntos de interacción: el control deslizante para seleccionar el modo de uso y la perilla giratoria para ajustar la duración de las sesiones.



Fig. 1. Mindu: The Pomodoro Box

El diseño de Mindu partió del concepto de una herramienta tangible que guiaba al usuario a través de ciclos de trabajo y descanso, fomentando la concentración y reduciendo el uso de celular, haciendo consciente al usuario de sus distracciones. Mindu logró esto mediante estrategias sensoriales no intrusivas y generando hábitos estructurados haciendo uso de la técnica de productividad Pomodoro [6]. El gadget funcionaba en sesiones predeterminadas, adaptables a las necesidades de cada usuario.

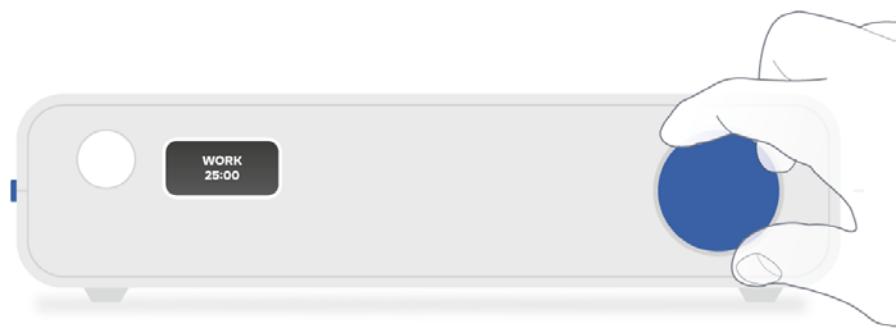


Fig. 2. Interacción con perilla, configuración de duración de las sesiones

El funcionamiento del dispositivo se organizó a través de tres modos de uso: *Work*, *Break* y *Zen*, cada uno con objetivos específicos. El modo *Work* se basó en la técnica de productividad Pomodoro [6], estructurada en ciclos de trabajo y descanso. Al iniciar una sesión, el usuario definía previamente tanto el tiempo de trabajo como el de recreo entre sesiones, a través de la perilla de tiempo ubicada en la parte frontal del dispositivo (ver figura 2). Cada ciclo constaba de cuatro sesiones de trabajo, con sus respectivos descansos intermedios, siguiendo la lógica clásica del método Pomodoro [6]. Durante este modo, la pantalla mostraba una cuenta regresiva en tiempo real, permitiendo al usuario visualizar de forma constante el tiempo restante de cada sesión.

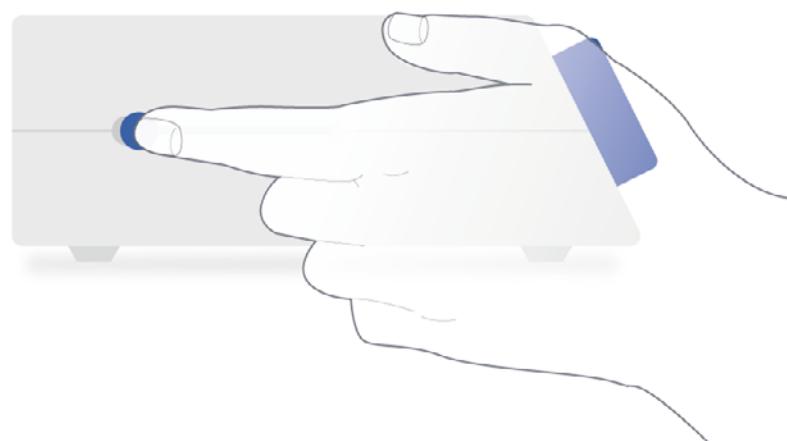


Fig. 3. Interacción con slider seleccionador de Modos de Uso

El dispositivo incorporó estrategias que refuerzan la concentración. Un sensor de movimiento *Passive Infrared Sensor* (PIR) detectaba la presencia del usuario frente al escritorio y un sensor ultrasónico verificaba que el celular se mantuviera sobre la base. Si durante una sesión el usuario se ausentaba o retiraba el teléfono, el temporizador se detenía automáticamente y se activaba una señal sonora de alerta, generando una interrupción consciente con el propósito de retomar el enfoque. Esta interacción buscó romper patrones de distracción digital, promoviendo una relación más intencional con el tiempo de trabajo.

El modo *Break* ofreció pausas intencionadas para el descanso entre sesiones de trabajo. Durante este tiempo, los sensores se desactivaban, permitiendo un espacio libre de interrupciones. La pantalla mostraba una cuenta progresiva del tiempo de descanso y, al concluir la pausa, el dispositivo emitía una señal sonora para indicar el fin del periodo. Visualmente, este modo se comunicaba mediante una iluminación en color verde en la base inferior del gadget, seleccionada específicamente por su asociación con la relajación y el equilibrio, creando un entorno propicio para la recuperación mental sin recurrir a estímulos visuales complejos.

El modo *Zen* se diseñó para promover el bienestar emocional y el autocuidado del usuario. Al activarlo, la persona podía escoger entre dos enfoques de *mindfulness*: el primero era una técnica de respiración guiada, en la cual tanto la pantalla como las luces led proporcionaban un ritmo visual que acompañaba el proceso de inhalación y exhalación; el segundo consistía en un espacio de escritura reflexiva, con una duración establecida de 10 minutos, que invitaba al usuario a escribir conscientemente y reconnectar consigo mismo. Este modo buscó ofrecer una pausa de introspección y conciencia plena, integrando el bienestar mental como parte del ciclo productivo.

El dispositivo permitía seleccionar el modo mediante un potenciómetro deslizante (Fig. 2) y ajustar la duración de las sesiones a través de una perilla giratoria (Fig. 3). Estos controles se integraron en un lenguaje de interacción basado en modelos mentales familiares, lo que facilitó su uso incluso para usuarios sin experiencia previa. La parte superior del dispositivo, fabricada en madera, funcionaba como base para colocar el celular. Esta acción activaba el monitoreo del modo *Work* y actuaba como un gesto simbólico de compromiso con la concentración.

El lenguaje visual de *Mindu* se diseñó para generar una experiencia calmada y accesible. Los materiales empleados incluyen PLA blanco texturizado y madera natural, los cuales no solo aportaron calidad estética, sino que comunicaban serenidad y calidez. La forma del dispositivo, con bordes redondeados y superficie mate, reforzó esta sensación. Según David Bramston [10], el lenguaje visual debe comunicar tanto la función como el propósito del objeto y, en este caso, el dispositivo expresaba visualmente su intención de ser una herramienta de apoyo sin generar fricción.

Bajo los principios de la *Calm Technology* [8], la interfaz se diseñó para ser no invasiva. Utilizando una pantalla OLED pequeña que muestra únicamente la información esencial, evitaba la sobrecarga visual. La retroalimentación visual se ofrecía mediante una tira LED RGB, que cambiaba de color según el modo de uso (verde para *Work*, ámbar para *Break* y azul para *Zen*). La retroalimentación auditiva, por su parte, se limitó a eventos clave, como interrupciones de sesión o finalización de ciclo, de modo que el dispositivo no interferiría en el flujo atencional del usuario.

Desde una perspectiva ergonómica, el dispositivo consideró tanto la ergonomía física como la cognitiva. El ángulo de inclinación de la pantalla se calculó para garantizar la visibilidad desde una postura neutra de trabajo sentado, con la espalda erguida y la mirada ligeramente hacia abajo, lo cual es común en entornos de trabajo de escritorio. La perilla giratoria se diseñó con dimensiones que permitieron su manipulación sin esfuerzo. Además, la lógica de interacción redujo la carga cognitiva al presentar opciones claras y funciones previsibles, lo que favoreció un aprendizaje intuitivo.

El sistema del dispositivo consistía en cuatro subsistemas interrelacionados. El primero se refería a la estructura física, que incluye la carcasa en PLA y la base para celular de madera. El segundo abarcaba la interfaz de interacción: pantalla, perilla y potenciómetro deslizador. El tercero correspondía al sistema de procesamiento, basado en un microcontrolador ESP32 DevKit que gestiona entradas, salidas y la lógica de funcionamiento y los sensores. Finalmente, el cuarto subsistema comprendió la retroalimentación visual y auditiva, diseñada para integrarse sutilmente en la experiencia de uso sin convertirse en fuente de distracción.

arquitectura del sistema

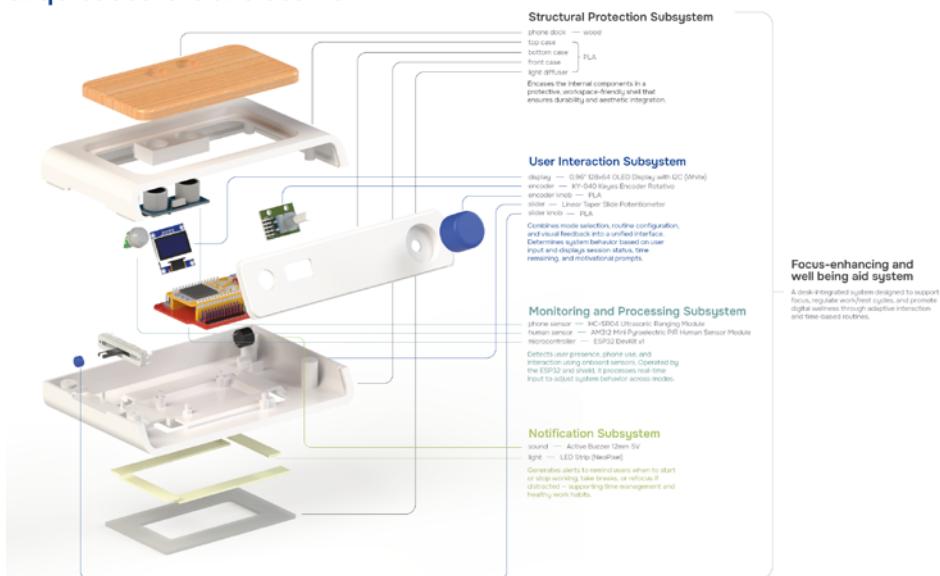


Fig. 4. Esquema de sistema y subsistemas de Mindu.

Discusión

Prueba de usabilidad

La prueba de usabilidad se desarrolló de manera individual a cuatro participantes, mientras se registraron tiempos de ejecución, errores, comentarios y reacciones espontáneas mediante una grabación de video. Después, se les realizó una breve entrevista para complementar lo recopilado en la prueba. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla I.

Todos los usuarios lograron ejecutar las tareas sin errores graves. En general, el dispositivo se percibió como fácil de utilizar, con una curva de aprendizaje corta. La detección de presencia o ausencia del celular y del usuario fue uno de los aspectos más apreciados, destacada como útil, a pesar de que algunas personas la percibieron como restrictiva. También se valoró el modo meditación como herramienta de relajación.

Por otra parte, los tiempos para encontrar y programar las funciones fueron consistentes entre participantes y se mantuvieron en rangos aceptables, lo que refuerza la idea de una interfaz simple, un objetivo clave del producto.

TABLA I
RESULTADOS DE PRUEBA DE USABILIDAD

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Tiempo de ejecución	<p>Tarea 1: 7 s en encontrar y programar la función y 20 s completando la tarea.</p> <p>Tarea 2: 16 s en buscar y programar la función y 10 min completando la tarea.</p> <p>Tarea 3: 17 s en buscar e iniciar la función y 15 min en completar la tarea.</p> <p>Tarea 4: no requiere tiempo de ejecución.</p>	<p>Tarea 1: 20 s en buscar y programar la función y 20 s completando la tarea.</p> <p>Tarea 2: 20 s en buscar e iniciar la función y 10 min completando la tarea.</p> <p>Tarea 3: 20 s en buscar e iniciar la función y 15 min en completar la tarea.</p> <p>Tarea 4: no requiere tiempo de ejecución.</p>	<p>Tarea 1: 23 s en buscar y programar la función y 20 s completando la tarea.</p> <p>Tarea 2: 11 s en buscar e iniciar la función y 10 min completando la tarea.</p> <p>Tarea 3: 18 s en buscar e iniciar la función y 15 min en completar la tarea.</p> <p>Tarea 4: no requiere tiempo de ejecución.</p>	<p>Tarea 1: 10 s en buscar y programar la función y 20 s completando la tarea.</p> <p>Tarea 2: 21 s en buscar e iniciar la función y 10 min completando la tarea.</p> <p>Tarea 3: 14 s en buscar e iniciar la función y 15 min en completar la tarea.</p> <p>Tarea 4: no requiere tiempo de ejecución.</p>
Errores	No se detectó ningún error.	No se detectó ningún error.	No se detectó ningún error.	<p>Desconectó el gadget sin querer haciendo que se reiniciara el <i>timer de break</i>.</p> <p>Al presionar la perilla cambió los minutos de 5 a 10.</p>

TABLA I (CONTINUACIÓN)
RESULTADOS DE PRUEBA DE USABILIDAD

Dudas manifestadas	No manifestó ninguna duda.	Consultó si debía aguardar a que terminaran los 10 min de la Tarea 2 antes de comenzar con la Tarea 3. Preguntó la forma de colocación del celular en la base. Consultó con el moderador la razón por la que se activó el sensor humano.	Confundió los estados de descanso y bienestar.	Preguntó con qué componente se cambiaban los estados. Preguntó cómo pasar a configurar el <i>break</i> en la zona de trabajo. Preguntó cómo se configuraba el temporizador.
Comentarios	Pareció gustarle (expresión corporal: sonrisa) la función de detección de presencia o ausencia tanto del celular como del usuario.	Se interesó en la detección de presencia o ausencia tanto del celular como del usuario, siendo este último "muy bueno". Quiso utilizar el teléfono manteniéndolo en la base. Probó colocar otra cosa encima de la base para "engaños" al dispositivo.	No utilizó el levantar el celular en ningún momento.	Se levantó en dos ocasiones y el gadget le avisó correctamente volver a la posición de trabajo. Y al volver se reanudó el temporizador correctamente.
Retroalimentación	Le pareció fácil de utilizar y útil, aunque "molesto", las funciones de detección y ausencia, pues la fuerzan a mantenerse enfocada. Indicó que el <i>slider</i> no debería ser tan sensible. Opina que el modo meditación sí ayuda a relajarse, ya sea antes o después de trabajar.	Le parece que la zona 1 debería estar "de primera" de adelante hacia atrás al deslizar el <i>slider</i> . Opina que la forma de agregar o restar minutos debería funcionar en el sentido contrario. Indicó que fue sencillo de utilizar y que las funciones de detección promueven la concentración, mientras que la de meditación sí ayuda a relajarse.	Le parece fácil de usar. El potenciómetro le pareció poco preciso. También comentó que no sabía cómo identificar en qué posición del <i>slider</i> estaba cada zona.	Le parece fácil de usar, sin embargo, se le dificultaron algunos pasos. Indicó que se podría mejorar la precisión de la perilla.

Nota: Se muestran los resultados de la prueba de usabilidad realizada a cuatro testers.



Aunque no hubo errores frecuentes, un usuario desconectó el *gadget* accidentalmente, iniciando el temporizador, lo que indica que el sistema es vulnerable ante desconexiones físicas no intencionales. Varias dudas surgieron en torno a cómo usar la perilla y el *slider*, específicamente para cambiar de estado o configurar tiempos, lo que sugiere que la interfaz no siempre comunica claramente su función en el prototipo donde se realizaron las pruebas.

Tomando en cuenta la retroalimentación y las observaciones después de la prueba, se consideraron los siguientes cambios en el prototipo: se debe disminuir el diámetro de la perilla para mejorar el control del usuario y reducir la sensibilidad del potenciómetro para facilitar un ajuste más preciso; se recomienda agregar iconografía para cada modo del *slider* (*Work*, *Break* y *Zen*) y su zona de interacción, aunque el *slider* no requiere interacción frecuente, es importante que su función y estados sean evidentes. Se debe incluir una guía visual en pantalla o en formato físico para explicar cómo colocar el celular correctamente y cómo alternar entre modos. Por último, se deben incorporar indicadores led y textos en pantalla que señalen de mejor manera en qué estado está el *gadget*, para evitar confusión entre estados.

Prueba de lenguaje visual

Por otro lado, también se deseaba analizar la percepción del lenguaje visual y estética general del dispositivo. Para esto, se diseñó y aplicó una encuesta en Google Forms a 10 participantes entre los 21 y 29 años, todos con rutinas de estudio o trabajo frente al computador. El propósito principal fue comprender cómo los usuarios perciben visualmente el *gadget* a partir de *renders* estáticos y si este comunica su enfoque en el autocuidado, la organización y la gestión del tiempo.

Puesto que el diseño se basa en Calm Technology y la percepción visual considera cómo se ve el *gadget* dentro del entorno de trabajo, se buscaba evaluar si el diseño es armónico, minimalista, coherente con el espacio, y si usa adecuadamente elementos como color, forma, textura y materiales; puesto que el diseño visualmente balanceado facilitó la integración con el escritorio, redujo el desorden visual y promovió un entorno favorable para la concentración.

Cuando los usuarios tienen una respuesta emocional positiva al diseño visual, se vuelven más tolerantes a pequeños problemas de usabilidad. Este efecto es una de las principales razones por las que una buena experiencia de usuario no puede ser solo funcional. Un diseño visual atractivo no es sólo agradable, sino que juega un papel crucial en cómo los usuarios perciben el producto [8].

Además, se pretendía determinar cómo el diseño del *gadget* hace sentir al usuario. Dado que su función está ligada al bienestar mental, es crucial que no transmita ansiedad, complejidad o frialdad tecnológica, sino generar emociones positivas: tranquilidad, motivación, serenidad y confianza. Validar este aspecto permite comprobar si el usuario establece una conexión emocional positiva con el dispositivo desde el primer contacto.

TABLA II
RESULTADOS DE PRUEBA DE LENGUAJE VISUAL

Reconocimiento y función	Observación
Reconocimiento y función	9 de 10 participantes identificaron correctamente 3 de 5 partes del <i>gadget</i> . Las dos partes no reconocidas corresponden a los sensores, que no son elementos con los que el usuario interactúe directamente, por lo que su no identificación no afecta la experiencia.
<i>Closed Word Choice</i>	Se repitieron “minimalista” (9), “tranquilo” (8) y “cálido” (6). Palabras como “caótico” o “confuso” fueron casi inexistentes, reforzando una percepción clara y positiva del diseño.
<i>Preference testing</i>	La opción más elegida combinó la forma de la figura 2, madera y perilla azul (50%). La forma de la figura 2 fue preferida por el 70% de las veces, mostrando una tendencia clara hacia esa configuración formal.
Emocionalidad y lenguaje de diseño	El diseño fue percibido como minimalista, armónico, discreto y más claro que confuso. La emocionalidad se mantiene incluso sin imagen, reflejando buena retención de su lenguaje visual.

Nota: Se puntuilan los resultados principales de la prueba de lenguaje visual.

Respecto a las variantes presentadas, la combinación de forma redondeada, materiales de madera y perilla azul fue la preferida, evidenciando una tendencia clara en las elecciones de los usuarios hacia esta configuración formal y cromática.

Cuando se evaluó el *gadget* sin imágenes, los usuarios mantuvieron una percepción coherente con el lenguaje visual proyectado, describiéndolo como minimalista, armónico, discreto y claro, lo que sugiere una buena retención emocional y visual del diseño tras el contacto inicial.

Conclusiones

El desarrollo de *Mindu: The Pomodoro Box* permitió generar nuevo conocimiento en torno al diseño de dispositivos físicos orientados al bienestar digital y la gestión consciente del tiempo. A partir de la integración de tecnologías tangibles, sensores contextuales y principios de *Calm Technology*, se demostró que es posible diseñar productos que promuevan hábitos saludables sin generar sobrecarga cognitiva ni visual, ofreciendo una experiencia centrada en el equilibrio entre productividad y autocuidado.

Desde una perspectiva de diseño industrial, el proyecto evidenció el valor de un lenguaje visual coherente y emocionalmente positivo. Elementos como la forma, los materiales y la interfaz tangible no solo favorecen la funcionalidad del dispositivo, sino que también influyen directamente en la percepción del usuario, generando sensaciones de calma, confianza y motivación. Esto refuerza la importancia de considerar el diseño emocional y la estética como componentes funcionales, especialmente en productos destinados al uso cotidiano en entornos de trabajo.

Los resultados obtenidos plantean una oportunidad para ampliar el rol del diseño más allá de lo utilitario, posicionándolo como una herramienta para mejorar la calidad de vida digital. Este enfoque puede aplicarse en diversas disciplinas como la interacción humano-computadora, la psicología del diseño y la educación, promoviendo una visión más humana y consciente del desarrollo tecnológico. Mindu representa, en este sentido, un caso ejemplar de cómo el diseño puede facilitar un vínculo más saludable entre las personas y la tecnología.

Referencias

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), "El 13.6% de personas asalariadas están teletrabajando," INEC, 2024. Consultado: 16 mar., 2025. [En línea]. Disponible: <https://inec.cr/noticias/el-136-personas-asalariadas-estan-teletrabajando>.
- [2] D. Bawden y L. Robinson. "Information Overload: An Introduction," *Oxford Research Encyclopedia of Politics*. Consultado: 16 mar., 2025. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228637.013.1360>
- [3] Cambridge Dictionary, "Meaning of gadget." Cambridge Dictionary. Consultado: Mar. 21, 2025. [En línea]. Disponible: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/gadget>
- [4] P. Erten and O. Özdemir, "The Digital Burnout Scale", *INUJFE*, vol. 21, no. 2, pp. 668–683, 2020. Consultado: 16 mar., 2025, doi: 10.17679/inuefd.597890. [En línea]. Disponible: <https://dergipark.org.tr/en/pub/inuefd/issue/56519/597890>
- [5] F. Cirillo, La técnica Pomodoro, 1 ed, Barcelona, España: Ed. Planeta, 2020. [En línea]. Disponible: La técnica Pomodoro_OK.indd
- [6] A. Greftegref, "Smart products an introduction for design students." Norwegian University of Science and Technology. Consultado: 16 mar., 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.ntnu.no/documents/10401/1264433962/AndreasArtikkel.pdf>
- [7] B. Vargas, L. Inga y M. Maldonado, "Design Thinking aplicado al Diseño de Experiencia de Usuario." *Revista Innovación y Software*, vol. 2, no. 1, pp. 6–19, mar.-ago. 2021. Consultado: 21 mar., 2025. [En línea]. Disponible: <https://revistas.ulassalle.edu.pe/innosoft/article/view/35/29>.
- [8] K. Moran. "The Aesthetic-Usability Effect." Nielsen Norman Group. Consultado: 3 jun., 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.nngroup.com/articles/aesthetic-usability-effect/>
- [9] M. Rydén, "Designing for the Distracted: A User-Centered Approach to Explore and Act on the User Experiences of People with Short Attention Spans," Tesis de maestría, Elec. Eng. and Comp. Sc., KTH Royal Inst. of Tech., Suecia, 2023. Consultado: 3 jun., 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1773427/FULLTEXT01.pdf>
- [10] D. Bramston, Basics Product Design 03: Visual Conversations. London, UK: Bloomsbury Publishing, 2012.