

**UX para la inclusión digital: accesibilidad para personas con discapacidad desde la
perspectiva del diseño industrial**

Juan David Vilorio Torres

Asesor

Diego Luis García Estefan

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI
Diseño Industrial
2026

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a Dios, por ser guía y fortaleza en cada etapa de este proceso. A quienes han tenido que adaptarse a un mundo que rara vez fue diseñado pensando en ellos, enfrentando barreras que no deberían existir. En una sutil paradoja, no es el cuerpo el que falla, sino el entorno el que aún no aprende a comprenderlo.

A mi familia, por su apoyo constante y silencioso, ese que sostiene incluso en los momentos de mayor incertidumbre. Y a quienes creen que el diseño puede ser algo más que forma o función, entendiendo que, entre la indiferencia y la empatía, cada decisión proyectual define el mundo que habitamos.

Agradecimientos

A Dios, por brindar la claridad y la fortaleza necesarias para culminar este proceso, incluso en aquellos momentos en los que las respuestas parecían esquivas.

A mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y su presencia constante. Su respaldo ha sido un pilar fundamental a lo largo de este camino, recordándome aun en los días más exigentes que ningún esfuerzo es completamente individual.

A los docentes y profesionales que orientaron esta investigación, por sus aportes, observaciones y exigencia académica, que no solo enriquecieron el contenido del trabajo, sino también la forma de comprender el diseño como una disciplina crítica y comprometida.

Asimismo, a las personas y contextos que, directa o indirectamente, inspiraron esta reflexión sobre la accesibilidad y la inclusión. Porque, en muchos casos, son las realidades cotidianas a veces invisibles las que revelan con mayor claridad aquello que aún debe transformarse.

Resumen

La presente monografía analiza el papel del diseño industrial en la construcción de entornos y productos inclusivos que favorecen la accesibilidad digital de personas con discapacidad. El estudio adopta como eje la experiencia de usuario (UX) entendida desde la materialidad del diseño industrial, esto es, en relación con dispositivos físicos, mobiliario y sistemas de apoyo que median la interacción de los usuarios con las tecnologías digitales.

A partir de la revisión de referentes académicos, normativos y de casos de estudio, se examina cómo la aplicación de la antropometría, la ergonomía física y cognitiva, así como el diseño participativo, posibilitan soluciones inclusivas y sostenibles. Ejemplos como el rediseño de cajeros automáticos en México, con base en criterios antropométricos (Ruiz-Domínguez *et al.*, 2014), o la adecuación de sistemas de trabajo para la comunidad Emberá Chamí en Colombia (Ángel Zapata, 2018), demuestran que el diseño industrial no solo puede, sino que debe, contribuir activamente a la inclusión digital.

En este contexto, la investigación busca identificar barreras de accesibilidad y proponer lineamientos que orienten a diseñadores industriales y profesionales de áreas afines en la creación de productos que amplíen las oportunidades de participación social, laboral y educativa de las personas con discapacidad. De esta manera, se resalta la responsabilidad ética, social y cultural del diseño industrial como disciplina capaz de promover procesos de innovación social y contribuir al desarrollo sostenible. Asimismo, se plantea la necesidad de fortalecer enfoques de diseño centrados en el usuario que reconozcan la diversidad de capacidades humanas como un factor fundamental en la configuración de entornos accesibles. Esto implica considerar de manera integral los aspectos físicos, cognitivos y sociales que intervienen en la interacción con la

tecnología. De este modo, el diseño de productos se posiciona como una herramienta estratégica para fomentar sociedades más equitativas, inclusivas y participativas.

Palabras clave: Diseño, accesibilidad, ergonomía, inclusión, innovación.

Abstract

This monograph analyzes the role of industrial design in the construction of inclusive environments and products that promote digital accessibility for people with disabilities. The study adopts User Experience (UX) as its central focus, understood from the perspective of industrial design's materiality that is, in relation to physical devices, furniture, and support systems that mediate user interaction with digital technologies.

Based on a review of academic and regulatory references, as well as case studies, the paper examines how the application of anthropometry, physical and cognitive ergonomics, and participatory design enables inclusive and sustainable solutions. Examples such as the redesign of ATMs in Mexico based on anthropometric criteria (Ruiz-Domínguez *et al.*, 2014), or the adaptation of work systems for the Embera Chamí community in Colombia (Zapata, 2018), demonstrate that industrial design not only can, but must, actively contribute to digital inclusion.

In this context, the research aims not only to identify accessibility barriers but also to propose guidelines that orient industrial designers toward creating products that expand opportunities for social, professional, and educational participation for people with disabilities. In doing so, the study highlights the ethical, social, and cultural responsibility of industrial design as a discipline capable of promoting processes of social innovation and contributing to sustainable development. It also emphasizes the importance of strengthening user-centered design approaches that recognize the diversity of human abilities as a fundamental factor in the configuration of accessible environments. This perspective requires considering the physical, cognitive, and social dimensions involved in interactions with technology. In this way, industrial design emerges as a strategic tool for fostering more equitable, inclusive, and participatory societies.

Keywords: Design, accessibility, ergonomics, inclusion, innovation.

Tabla de Contenido

Introducción	13
Justificación	14
Objetivos.....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos	17
Descripción del Problema	18
Marco Metodológico.....	20
Tipo de Investigación	20
Método.....	20
Criterios de Selección del Material Documental.....	21
Justificación del Uso de Matrices de Análisis	22
Marco Conceptual y Teórico	24
Diseño Universal y Accesibilidad	25
Ergonomía Física y Cognitiva	25
Antropometría Aplicada al Diseño Inclusivo	26
Experiencia de Usuario (UX) en Productos Industriales.....	27
Diseño Participativo y Co-Creación	28
Normativas y Estándares Internacionales.....	29
Impacto Social y Económico del Diseño Inclusivo.....	30
Innovación Social y Sostenibilidad	30
Análisis Conceptual y Datos Iniciales	32

Datos Relevantes y Estadísticas Sobre Accesibilidad Digital: El Rigor del Objeto Como Pilar de la UX.....	43
Análisis de Barreras, Soluciones e Implementación del Rigor Industrial en la UX.....	53
Barreras y Soluciones Físicas: La Ergonomía del Contacto.....	54
Análisis de Exclusión por Diseño Rígido vs. Diseño Inclusivo. Barrera Motriz: Ineficiencia en la Precisión y el Alcance	55
Análisis Profundo del Caso: Cajero Automático y Órtesis.....	56
Buena Práctica: Mínima Fricción Digital	56
Barrera Sensorial: Carencia de Rigor en la Percepción.....	57
Análisis del Caso: Normativa Técnica y Diseño Inclusivo	57
Barreras y Soluciones Cognitivas: La Ergonomía de la Comprensión.....	58
Buenas Prácticas y Recomendaciones Metodológicas (Visión de Diseño Industrial).....	61
Recomendación 1: Autonomía Productiva y Diseño de Sistemas de Trabajo Adaptados	61
Recomendación 2: Rigor de la Ingeniería y Adhesión al Código de Construcción	62
Recomendación 3: Diseño Paramétrico, Estética Funcional y Personalización.....	62
Recomendación 4: Validación Objetiva y Robustez Mecánica del Producto	63
Análisis de Barreras y Soluciones desde la Ingeniería de Diseño	64
Barrera Visual: Ergonomía Sensorial y del Entorno Lumínico.....	65
Barrera Cognitiva: Carga Fisiológica y Fluidez Operativa	66
Barrera Auditiva: Multimodalidad de Alertas	68
Análisis Comparativo de Paradigmas de Intervención	69
Metodología de Concepción: Del Promedio Estadístico a la Variabilidad Humana.....	69
Validación de Eficacia: De la Percepción Subjetiva a la Biometría Objetiva.....	69

Fabricación y Tecnología: De la Serie Rígida a la Personalización Paramétrica.....	70
Análisis Integrado: Barreras, Elementos de Interfaz y Beneficios	71
Directrices Metodológicas para la Praxis del Diseño Inclusivo	74
Arquitectura de la Información Tangible (Secuenciación Lógica)	74
Redundancia Sensorial y Multimodalidad (Respuesta Sistémica)	75
Ergonomía de Proximidad y Antropometría Inclusiva.....	75
Semántica de la Interacción y Affordance.....	76
Conclusiones.....	77
Recomendaciones	79
Referencias Bibliográficas	80

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Visualización de Modelo Paramétrico y de Presión para Órtesis de Mano</i>	45
Figura 2 <i>Localización de los Diferentes Componentes de CABs</i>	46
Figura 3 <i>Localización de los Dispositivos del Cajero Automático Bancario de Lógica Interactiva</i>	47
Figura 4 <i>Sistema PIMEX en Combinación con el SenoSense</i>	48
Figura 5 <i>Colocación de los Sensores y Evaluación en Tarea de Atender/Escribir</i>	48
Figura 6 <i>Dispositivo T-Flex con la Interfaz Física Inicial</i>	49
Figura 7 <i>Limitaciones Físicas de la Interfaz</i>	50
Figura 8 <i>Secuencia de Uso del Producto</i>	51
Figura 9 <i>Registro de Problemas en Adultos Mayores</i>	52
Figura 10 <i>Análisis de Exclusión por Diseño Rígido Vs. Diseño Inclusivo.</i>	64
Figura 11 <i>Diseño de Entorno Accesible para Cajero Automático: Aplicación de Redundancia Háptica</i>	66
Figura 12 <i>Ilustración de Secuencia de Uso y Flujo Operativo del Dispositivo Terapéutico</i>	67

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Fundamentos Filosóficos y Principios de la Equidad</i>	34
Tabla 2 <i>Rigor Metodológico y las Ciencias Duras</i>	37
Tabla 3 <i>Conceptos de Aplicación Ergonómica</i>	40
Tabla 4 <i>Matriz sobre Accesibilidad Digital e Implicación Directa para la UX</i>	45
Tabla 5 <i>Matriz de Contraste: Elementos de Interfaz y Beneficios Funcionales</i>	71

Introducción

En un contexto de constante transformación social y tecnológica, el acceso a los entornos y productos que configuran la vida cotidiana continúa siendo, paradójicamente, un privilegio y no una condición garantizada. Mientras el discurso contemporáneo exalta la innovación y la inclusión, millones de personas siguen enfrentando barreras físicas que limitan su autonomía. En una ironía difícil de ignorar, no es el individuo quien falla, sino un entorno diseñado bajo la ilusión de un “usuario promedio” que rara vez existe.

En este escenario, el diseño industrial adquiere un papel crucial como mediador entre las necesidades humanas y las soluciones materiales. Este trabajo analiza la relación entre diseño, accesibilidad e inclusión, con énfasis en aquellas barreras físicas que dificultan la interacción con productos y entornos. A partir de una revisión teórica, datos actuales y análisis de casos, se abordan estas limitaciones desde criterios ergonómicos, antropométricos y de experiencia de uso, integrando distintas disciplinas para comprender el problema en su complejidad.

A lo largo del documento se desarrollan los conceptos clave, su evolución y su estado actual, con el propósito de aportar una lectura crítica que dialogue con el ámbito académico y profesional. Más que cerrar el tema, este trabajo abre una inquietud necesaria: repensar el diseño no como una respuesta estándar, sino como una práctica capaz de reconocer y responder a la diversidad real de quienes habitan el mundo.

Justificación

La pertinencia de este trabajo radica en la necesidad de abordar la inclusión digital desde el campo del diseño industrial, disciplina en la que el compromiso con la ergonomía, la antropometría y la innovación social puede transformar sustancialmente la forma en que las personas con discapacidad interactúan con las tecnologías. En este sentido, su relevancia se sostiene, en primer lugar, en una dimensión social y ética, en la medida en que la accesibilidad digital constituye un derecho humano fundamental, estrechamente vinculado con la equidad, la autonomía y la participación plena en la vida social, laboral y educativa.

En este sentido, el diseño industrial se configura como un agente clave para eliminar las barreras que persisten en los productos físicos que median el acceso a lo digital. Dispositivos como teclados adaptados, mouses ergonómicos, mobiliario accesible para aulas digitales o sistemas de control alternativo (voz, gesto o lectura táctil) resultan esenciales para garantizar una experiencia digital verdaderamente universal. La ausencia de estas herramientas limita la autonomía y la participación de las personas con discapacidad, profundizando los escenarios de exclusión social.

Por ello, este trabajo se justifica en la dimensión ética de diseñar para todos. No se trata únicamente de cumplir con normativas o estándares internacionales, sino de asumir la responsabilidad social del diseño industrial como disciplina orientada a generar equidad y justicia social. El diseño inclusivo no debe considerarse un beneficio accesorio, sino un derecho que posibilita la integración plena en una sociedad cada vez más digitalizada.

Ahora bien, más allá de su dimensión social, este trabajo adquiere relevancia en el ámbito académico y disciplinar, particularmente para el programa de Diseño Industrial de la UNAD, esta investigación constituye una oportunidad estratégica para consolidar el vínculo entre la

teoría y la práctica del diseño inclusivo. El análisis de referentes demuestra que el diseño industrial no solo aporta soluciones funcionales, sino que también puede integrar factores antropométricos, ergonómicos, culturales y sociales en el desarrollo de productos innovadores.

El caso del desarrollo de cajeros automáticos accesibles en México es un referente paradigmático: la aplicación rigurosa de datos antropométricos y normativas de accesibilidad permitió crear productos que, además de cumplir con su función básica, ofrecieron experiencias seguras y cómodas para usuarios con diferentes capacidades (Ruiz-Domínguez et al., 2014). De manera similar, la experiencia de diseño participativo con la comunidad Embera Chamí en Colombia evidencia la capacidad del diseño industrial para adaptar productos al contexto cultural y a las condiciones ergonómicas reales de los usuarios (Zapata, 2018)

Ambos casos confirman que el diseño industrial, al apoyarse en la ergonomía y la antropometría, no solo resuelve problemas técnicos, sino que también genera impactos sociales significativos. Este proyecto, en consecuencia, busca fortalecer la formación académica al mostrar cómo la disciplina puede y debe proyectarse hacia la creación de dispositivos físicos que favorezcan la inclusión digital, un campo todavía incipientemente explorado en el diseño industrial colombiano.

La inclusión digital no constituye únicamente un imperativo social, sino también una oportunidad de innovación económica y sostenible. Los productos accesibles amplían la base de usuarios y mercados al responder a una demanda creciente de dispositivos que permitan a las personas con discapacidad desenvolverse de manera autónoma en entornos digitales.

Desde la perspectiva económica, el diseño de dispositivos inclusivos reduce los costos asociados a procesos de adaptación o a soluciones secundarias, al ofrecer alternativas funcionales y eficientes desde su concepción. Desde la perspectiva ambiental y social, los productos

inclusivos y sostenibles prolongan su vida útil, facilitan el mantenimiento y se alinean con los principios de la economía circular (Rosal López, 2011).

En este sentido, diseñar bajo principios de inclusión y sostenibilidad no representa únicamente un compromiso ético, sino también una estrategia de innovación industrial que combina justicia social con eficiencia económica. El diseñador industrial se posiciona, así, como mediador entre tecnología, sociedad y medio ambiente, contribuyendo a la construcción de un futuro más equitativo y sostenible.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la integración de la experiencia de usuario (UX) en el diseño industrial orientado al desarrollo de productos y entornos accesibles, a partir de criterios de ergonomía, antropometría y diseño centrado en el usuario, con el fin de comprender su contribución a la inclusión digital de personas con discapacidad.

Objetivos Específicos

Identificar los fundamentos conceptuales y normativos que sustentan la accesibilidad, la inclusión digital y la experiencia de usuario, destacando su pertinencia en el campo del diseño industrial y su relación con los contextos académicos, sociales y tecnológicos donde se aplica.

Explorar casos y experiencias documentadas en los que el diseño industrial aplicado a productos y entornos físicos ha favorecido la participación digital de personas con discapacidad, integrando tanto referentes internacionales como aproximaciones locales que resulten significativas.

Evidenciar, a partir del análisis documental, las estrategias más relevantes que orientan al diseño industrial en la integración de principios de accesibilidad y experiencia de usuario, con el propósito de reflexionar sobre sus alcances y limitaciones en la construcción de entornos digitales inclusivos

Descripción del Problema

La problemática de la exclusión en el entorno material y técnico no es un hecho aislado, sino una falla sistémica en los procesos de diseño. De acuerdo con el *Informe mundial sobre la discapacidad* (Organización Mundial de la Salud [OMS] y Banco Mundial, 2011), más de mil millones de personas, aproximadamente el 15 % de la población mundial viven con algún tipo de discapacidad y enfrentan barreras físicas que limitan su autonomía. En este contexto, los estándares de diseño deben alinearse con las *Pautas de Accesibilidad al Contenido en la Web* (World Wide Web Consortium [W3C], 2018), las cuales establecen que la accesibilidad no constituye un valor añadido, sino un requisito técnico indispensable para garantizar que los entornos, tanto materiales como digitales, sean funcionales para la diversidad humana. Para el diseño industrial, estas directrices implican superar el paradigma del “usuario promedio” y adoptar criterios que conviertan al objeto en un facilitador de la equidad social.

En este marco, la inclusión digital constituye actualmente un eje fundamental para la participación social, laboral y educativa. No obstante, persisten barreras de accesibilidad que afectan a personas con discapacidades físicas, sensoriales o cognitivas. Aunque se han desarrollado avances significativos en software accesible, gran parte de la dificultad se concentra en la ausencia de productos físicos que faciliten la interacción efectiva con entornos digitales. Dispositivos como teclados, mouse, pantallas táctiles, mobiliario para aulas digitales o sistemas de control por voz y gesto no siempre consideran las variaciones antropométricas y ergonómicas de la población con discapacidad. Esta omisión perpetúa la dependencia, limita la autonomía individual y refuerza dinámicas de exclusión social.

Este interés surge al reconocer que la problemática de la exclusión en el diseño de productos industriales no puede explicarse únicamente como una falta de sensibilidad social,

sino también como una limitación metodológica. Como señalan Ruiz-Domínguez et al. (2014), el mercado industrial exige productos de alta calidad, pero suele pasar por alto que la eficiencia reside en el Diseño Centrado en el Usuario (DCU). Al analizar productos como cajeros automáticos o kioscos informáticos, resulta evidente que sus dimensiones estándar no consideran alcances manuales o ángulos de visión de usuarios en silla de ruedas, generando una “discapacidad situacional” impuesta por el objeto.

Esta desconexión técnica persiste incluso ante marcos legales como la Ley 361 de 1997 en Colombia (Ley de Discapacidad), la cual obliga en su Título IV a aplicar criterios de accesibilidad en el diseño de objetos. No obstante, Herrera y Zambrano (2016) evidencian que la implementación de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) sigue siendo limitada.

Como consecuencia, las personas con discapacidad dependen de ayudas técnicas externas que, según Zapata (2018), no siempre son accesibles ni logran integrarse adecuadamente. Finalmente, frente a paradigmas que aún proyectan para un 'usuario promedio' inexistente, la manufactura aditiva (Arruda Torres y Silva Furtado, 2025) surge como una oportunidad para soluciones paramétricas y personalizadas.

Por todo lo anterior, el problema central de esta investigación se sintetiza en la siguiente

Pregunta de Investigación

¿Cómo puede el diseño industrial, desde su dimensión material y tangible, aportar al desarrollo de productos accesibles que integren criterios de ergonomía, antropometría, normativas internacionales y experiencias participativas?

Marco Metodológico

Tipo de Investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo con alcance descriptivo-analítico y se sustenta en una metodología de carácter documental. Este enfoque resulta pertinente debido a que el estudio busca comprender y examinar críticamente la relación entre el diseño industrial, la experiencia de usuario (UX) y la accesibilidad, a partir de la revisión de referentes teóricos, normativos y aplicaciones prácticas previamente documentadas.

El carácter cualitativo permite interpretar los conceptos y principios asociados al diseño inclusivo, así como analizar de manera reflexiva las variables ergonómicas y antropométricas que intervienen en la interacción entre usuarios y los productos o sistemas tecnológicos. Por otra parte, el alcance descriptivo-analítico posibilita no solo caracterizar estos elementos, sino también examinar sus relaciones, implicaciones y aportes dentro del campo del diseño industrial o de productos orientado a la accesibilidad.

La investigación documental constituye el eje metodológico del estudio, ya que permite acceder a investigaciones académicas, documentos técnicos, normativas internacionales y casos de referencia que aportan evidencia relevante sobre el desarrollo de productos accesibles y la integración de criterios de experiencia de usuario en entornos físicos y digitales.

Método

Para el desarrollo del análisis se empleó el método analítico-sintético, el cual permite abordar el fenómeno de estudio mediante dos momentos complementarios. En una primera instancia, se realizó un proceso analítico orientado a la descomposición de los elementos conceptuales y técnicos presentes en las fuentes revisadas.

Esta etapa permitió identificar variables relevantes del diseño industrial relacionadas con la antropometría, la ergonomía física y la ergonomía cognitiva, así como la influencia en la accesibilidad y en la experiencia de interacción de los usuarios.

Como parte de este proceso se examinaron documentos técnicos, investigaciones académicas y casos de referencias vinculados con el diseño de productos accesibles, entre ellos el rediseño de terminales bancarias accesibles y el desarrollo de ayudas técnicas para la movilidad. Estos ejemplos permitieron observar la aplicación concreta de criterios dimensionales, ergonómicos y operativos en contextos reales de diseño

Posteriormente se llevó a cabo una fase sintética, en la cual los hallazgos obtenidos fueron integrados con el fin de establecer relaciones entre principios teóricos revisados y las soluciones proyectuales identificadas en los casos analizados. Esta integración permitió construir una comprensión más amplia sobre cómo los criterios de accesibilidad y experiencia de usuario pueden incorporarse de manera efectiva en el desarrollo de productos industriales.

La ruta metodológica contempló una fase heurística orientada a la búsqueda y localización de fuentes relevantes, así como una fase hermenéutica destinada a la interpretación crítica de normativas y estándares internacionales de la inclusión.

Criterios de Selección del Material Documental

La selección del material documental se realizó a partir de criterios especialmente de pertinencia, relevancia y coherencia con los objetivos de la investigación. En primer lugar, se priorizaron fuentes vinculadas directamente con el campo del diseño industrial, la ergonomía, la antropometría aplicada y el diseño centrado en el usuario dado que estos ámbitos constituyen la base conceptual del estudio.

En segundo lugar, se consideró la vigencia normativa y académica de las fuentes consultadas, privilegiando investigaciones recientes, documentos técnicos especializados y referencias vinculadas con estándares internacionales de accesibilidad. Este criterio permitió garantizar que el análisis se sustentara en marcos conceptuales actualizados y experiencias documentadas relevantes para el contexto contemporáneo del diseño inclusivo.

Se incluyeron estudios y casos que abordan situaciones relacionadas con la diversidad funcional, especialmente aquellas vinculadas con limitaciones motoras y sensoriales. La incorporación de estos referentes permitió examinar cómo los principios ergonómicos y antropométricos se aplican en el desarrollo de productos y sistemas diseñados para facilitar la interacción de personas con diferentes capacidades.

Se seleccionaron documentos que presentaran evidencia verificable sobre la implementación de soluciones de diseño orientadas a mejorar accesibilidad y la experiencia de uso de contextos tecnológicos y productivos.

Justificación del Uso de Matrices de Análisis

Con el fin de organizar y sistematizar la información recopilada durante la investigación, se emplearon matrices de análisis como herramientas metodológicas de apoyo. Estas matrices permitieron estructurar de manera comparativa los principales conceptos, variables de diseño, casos de estudio y aportes identificados en las fuentes revisadas.

El uso de matrices facilitó la clasificación de la información y permitió establecer relaciones entre los requerimientos técnicos del diseño y las capacidades funcionales de los usuarios. De esta manera, fue posible identificar patrones, similitudes y diferencias entre los distintos enfoques de accesibilidad analizados, así como reconocer las principales barreras y oportunidades presentes en el diseño de productos orientados a la inclusión.

Las matrices de análisis contribuyeron al proceso de triangulación de la información, al permitir contrastar los fundamentos teóricos, los criterios normativos y los ejemplos prácticos abordados en la investigación. Esta herramienta favoreció una lectura más organizada de los datos y permitió identificar con mayor claridad las brechas de accesibilidad que la monografía busca evidenciar.

La utilización de matrices no solo facilitó la organización del material documental, sino que también fortaleció la coherencia analítica del estudio y permitió establecer vínculos claros entre la revisión conceptual, los casos examinados y las conclusiones derivadas del trabajo investigativo.

Marco Conceptual y Teórico

El diseño industrial ha tenido históricamente la misión de transformar la relación entre las personas y los objetos, articulando aspectos funcionales, estéticos y productivos. No obstante, en las últimas décadas su campo de acción se ha ampliado hacia la generación de soluciones que reconozcan la diversidad humana, con el propósito no solo de atender necesidades prácticas, sino también de promover la equidad y la inclusión social. En este horizonte, el diseño inclusivo y la accesibilidad se consolidan como principios fundamentales para garantizar la participación plena de las personas con discapacidad en un mundo progresivamente digitalizado.

La inclusión digital, entendida como el acceso equitativo a tecnologías, plataformas y servicios, se vincula estrechamente con las condiciones materiales que posibilitan la interacción. De ahí que el diseño industrial adquiera un papel esencial: resulta insuficiente que los sistemas virtuales sean técnicamente accesibles si los productos físicos que median la interacción presentan barreras ergonómicas, antropométricas o cognitivas que terminan excluyendo ciertos sectores de la población (International Ergonomics Association [IEA], 2000).

Las categorías conceptuales que orientan esta investigación incluyen: diseño universal y accesibilidad; ergonomía física y cognitiva; antropometría aplicada al diseño inclusivo; experiencia de usuario (UX) en productos industriales; diseño participativo y co-creación; normativas y estándares internacionales; impacto social y económico del diseño inclusivo; e innovación social y sostenibilidad. Cada una de estas dimensiones se desarrolla a partir de referentes teóricos y de casos prácticos, con el fin de evidenciar cómo el diseño industrial aporta a la creación de productos accesibles, innovadores y culturalmente pertinentes.

Diseño Universal y Accesibilidad

El diseño universal, formalizado en los años ochenta por Ron Mace, plantea que los productos y entornos deben ser utilizables por la mayor cantidad posible de personas, sin necesidad de adaptaciones específicas. Este enfoque parte de la premisa de que toda persona, independientemente de sus condiciones físicas, sensoriales o cognitivas, debe acceder de manera equitativa a bienes y servicios.

En el ámbito del diseño industrial, el diseño universal se materializa en mobiliario accesible, dispositivos de apoyo y sistemas de interacción que eliminan barreras. Entre los ejemplos destacan los cajeros automáticos accesibles, las rampas integradas, los pupitres regulables en altura o los dispositivos de lectura táctil.

Por su parte, el concepto de accesibilidad trasciende lo físico e incluye dimensiones como la usabilidad, la seguridad y la experiencia positiva del usuario. Ejemplo de ello son las guías de la *Americans with Disabilities Act* (ADA) en Estados Unidos y las recomendaciones de la Asociación de Banqueros de Australia, que orientaron el diseño de cajeros automáticos accesibles (Ruiz-Domínguez *et al.*, 2014).

Ergonomía Física y Cognitiva

La ergonomía física estudia cómo las dimensiones y capacidades del cuerpo humano se relacionan con el diseño de productos, con el fin de prevenir posturas forzadas, esfuerzos excesivos o lesiones. Mora Medina *et al.* (2024) demuestran que los riesgos musculoesqueléticos en docentes universitarios aumentan significativamente cuando no se consideran factores como la altura del mobiliario o la disposición de herramientas de trabajo.

En contraste, la ergonomía cognitiva se enfoca en procesos como la percepción, la atención y la memoria, buscando que las interacciones sean comprensibles y reduzcan la carga

mental del usuario. Un ejemplo paradigmático lo constituye el desarrollo de un mouse ocular para personas con limitaciones motoras: el desafío no fue únicamente captar el movimiento visual, sino garantizar que la interfaz resultara intuitiva y de fácil aprendizaje (Dos Santos *et al.*, 2015).

Ambas perspectivas se integran en proyectos inclusivos: la accesibilidad física sin comprensión cognitiva produce frustración, mientras que la claridad cognitiva sin adaptación física excluye a quienes no pueden acceder al dispositivo. El caso de la comunidad Embera Chamí evidencia esta complementariedad: la falta de ergonomía en las posturas de trabajo limitaba la productividad y causaba problemas de salud, lo que condujo a un rediseño que incluyó ajustes físicos y una organización espacial más comprensible (Zapata, 2018).

Antropometría Aplicada al Diseño Inclusivo

La antropometría, entendida como el estudio de las medidas y proporciones corporales, constituye una herramienta fundamental para el diseño industrial, en tanto garantiza que los productos se adapten a la diversidad de cuerpos humanos. Ruiz-Domínguez *et al.* (2014) señalan que, en el caso del diseño de cajeros automáticos accesibles, se definió un espacio disponible que permitiera el alcance de los controles por parte de usuarios en silla de ruedas, asegurando un uso eficiente y seguro. Este ejemplo ilustra cómo la consideración de datos antropométricos no solo responde a una necesidad técnica, sino que también genera condiciones de equidad en la interacción con productos de uso cotidiano.

La aplicación de la antropometría, sin embargo, trasciende los dispositivos mecánicos. Echeverri *et al.* (2017) desarrollaron vestimentas adaptadas a niños con discapacidad cognitiva, demostrando que prever variaciones corporales no solo mejora el ajuste de las prendas, sino que también facilita la movilidad y disminuye la dependencia de terceros. Este tipo de propuestas

reflejan el potencial de la antropometría como recurso para mejorar la autonomía y la calidad de vida de los usuarios.

Asimismo, Rosal López (2011) destaca que integrar la antropometría con criterios de ecodiseño en mobiliario escolar no solo optimiza la usabilidad y la comodidad, sino que también fomenta la sostenibilidad y la equidad en entornos educativos. Esto demuestra que la antropometría no se limita a una dimensión técnica, sino que se erige como un recurso social y ambiental, capaz de responder a la diversidad humana sin comprometer la durabilidad, la accesibilidad universal ni el impacto ecológico.

En síntesis, la antropometría aplicada al diseño inclusivo contribuye a crear productos que reconocen la variabilidad del cuerpo humano, minimizan barreras de uso y, al mismo tiempo, potencian la equidad, la autonomía y la sostenibilidad en distintos contextos de la vida cotidiana.

Experiencia de Usuario (UX) en Productos Industriales

Si bien la experiencia de usuario (UX) suele asociarse al diseño digital, en el campo del diseño industrial este concepto se refiere a la interacción física, sensorial y emocional entre las personas y los productos. La UX busca asegurar que, más allá de cumplir con una función técnica, el producto proporcione al usuario comodidad, seguridad, confianza y autonomía en su uso. García et al. (2019) evidencian que, en el diseño de interfaces para órtesis robóticas, la experiencia del usuario dependía tanto de la precisión técnica como de la percepción de confianza y adaptabilidad. De manera similar, Santaella (2023) mostró que, en el diseño de un dispositivo de terapia física para adultos mayores, la simplicidad de uso y la claridad de las instrucciones resultaban tan relevantes como los aspectos mecánicos del aparato. Estos hallazgos

refuerzan la idea de que la efectividad de un producto inclusivo no puede evaluarse únicamente desde la funcionalidad objetiva, sino desde la experiencia integral que genera en el usuario.

De esta manera, la UX se convierte en un criterio esencial para medir la calidad del diseño industrial inclusivo, ya que permite identificar y reducir frustraciones, potenciar la confianza en la tecnología y promover la autonomía. Esto es particularmente relevante en productos destinados a personas con discapacidad, donde la interacción debe ser intuitiva, clara y accesible, garantizando así que la innovación no solo sea funcional, sino también significativa para la vida cotidiana del usuario.

Diseño Participativo y Co-Creación

El diseño participativo constituye una estrategia metodológica y ética que busca integrar a los usuarios en todas las fases del proceso de diseño, desde la identificación del problema hasta la validación de las soluciones. Este enfoque parte de la premisa de que los productos inclusivos deben responder a necesidades reales, y no a supuestos formulados desde perspectivas externas al contexto de uso.

Echeverri et al. (2017) evidencian esta lógica en su investigación sobre el diseño de prendas adaptadas para niños con discapacidad cognitiva. Al involucrar tanto a los niños como a sus cuidadores en el proceso de diseño, lograron generar productos funcionales, culturalmente aceptados y mejor adaptados a la realidad cotidiana de los usuarios. Este caso pone de relieve la importancia de la participación activa como medio para garantizar pertinencia, usabilidad y apropiación social.

Asimismo, la co-creación amplía el alcance del diseño participativo, al integrar no solo a los usuarios finales, sino también a comunidades, instituciones y otros actores sociales en la construcción de soluciones colectivas. El caso de la comunidad Embera Chamí en Colombia

constituye un ejemplo paradigmático: la adaptación de un sistema de carga y de puestos de trabajo no solo mejoró las condiciones ergonómicas, sino que también respetó y fortaleció las prácticas culturales y productivas de la comunidad (Zapata, 2018).

En este sentido, el diseño participativo y la co-creación no deben considerarse únicamente como metodologías, sino como estrategias éticas que promueven la democratización del diseño, al tiempo que fortalecen la autonomía y la identidad cultural de los usuarios involucrados.

Normativas y Estándares Internacionales

El diseño inclusivo se ve fortalecido a través de la implementación de normativas y estándares internacionales que establecen lineamientos técnicos y de accesibilidad. Entre las más influyentes se encuentra la *Americans with Disabilities Act* (ADA, 1990), que fija estándares de accesibilidad en espacios públicos y dispositivos, así como la ISO 9241, orientada a la ergonomía en la interacción humano-computadora. Estos marcos regulatorios han servido como referencia para el diseño de productos accesibles en distintos contextos. Ruiz-Domínguez et al. (2014) señalan que dichas guías fueron decisivas en el rediseño de cajeros automáticos accesibles, al garantizar tanto su validez técnica como su aceptación social.

No obstante, la aplicación directa de estos estándares presenta limitaciones cuando no se consideran las condiciones socioculturales locales. Rivera Rosario (2025) argumenta que, en el contexto latinoamericano, resulta urgente adaptar los estándares internacionales a las realidades particulares de la región. De lo contrario, las normas pueden convertirse en barreras adicionales que dificulten la implementación de soluciones accesibles, en lugar de facilitarlas.

Por tanto, el reto no radica únicamente en aplicar normativas, sino en hacerlo con un criterio contextualizado y flexible. El diseño inclusivo requiere reconocer que las guías

internacionales constituyen un marco valioso, pero que su eficacia depende de la capacidad para ajustarlas a las condiciones sociales, culturales y económicas de cada entorno.

Impacto Social y Económico del Diseño Inclusivo

El diseño inclusivo no solo se orienta a la eliminación de barreras, sino que también genera beneficios tangibles en los ámbitos social y económico. Desde una perspectiva económica, los productos inclusivos amplían la base potencial de usuarios, reducen los costos derivados de adaptaciones posteriores y abren nuevos mercados, lo que convierte a la accesibilidad en un motor de innovación y competitividad. Ruiz-Domínguez et al. (2014) señalan que la implementación de cajeros automáticos accesibles en México no solo facilitó el uso por parte de personas con discapacidad, sino que también generó beneficios financieros al incluir a sectores previamente marginados en el sistema bancario.

En el plano social, los efectos del diseño inclusivo se traducen en una mejora de la calidad de vida y en la promoción de la autonomía de las personas con discapacidad. El rediseño participativo y ergonómico de los espacios de trabajo de la comunidad Embera Chamí, por ejemplo, permitió aumentar la productividad, reducir riesgos de salud y mejorar las condiciones de vida de los artesanos (Zapata, 2018). Este caso evidencia cómo el diseño inclusivo trasciende lo individual para convertirse en un factor de desarrollo comunitario.

En consecuencia, el impacto social y económico del diseño inclusivo se manifiesta en la creación de entornos más equitativos y en la consolidación de oportunidades que fortalecen tanto el bienestar colectivo como la sostenibilidad de las prácticas productivas.

Innovación Social y Sostenibilidad

La innovación social en el ámbito del diseño busca generar transformaciones positivas en los contextos comunitarios mediante soluciones que promuevan la equidad, la inclusión y la

cohesión social. En este marco, el diseño inclusivo se concibe como una herramienta de innovación que no solo resuelve necesidades individuales, sino que contribuye al fortalecimiento de redes sociales, culturales y productivas.

Correa y Godinho (2022) sostienen que la sostenibilidad de los productos inclusivos no puede limitarse a su durabilidad técnica, sino que debe incorporar criterios culturales y sociales, reconociendo que el éxito de un producto depende de su aceptación y apropiación en el contexto en el que se utiliza. En esta línea, el diseño sostenible implica desarrollar productos duraderos, de fácil mantenimiento y respetuosos de las prácticas culturales de los usuarios.

Rosal López (2011) demostró que la integración de criterios de ecodiseño en mobiliario escolar mejoró la usabilidad y redujo significativamente el impacto ambiental. De forma complementaria, el caso del mobiliario adaptado para la comunidad Embera Chamí mostró que la pertinencia cultural, sumada a los principios ergonómicos, aseguró que la innovación fuera apropiada, aceptada y sostenible a largo plazo (Zapata, 2018).

En definitiva, la innovación social y la sostenibilidad constituyen pilares del diseño inclusivo contemporáneo, pues permiten concebir productos y servicios que no solo cumplen funciones técnicas, sino que también responden a las dinámicas sociales, culturales y ambientales de los contextos donde se insertan.

Análisis Conceptual y Datos Iniciales

Antes de profundizar en los datos y casos que estructuran este análisis, resulta necesario precisar el enfoque desde el cual se interpretan los conceptos de accesibilidad y discapacidad. El presente análisis no parte de una visión médica ni clínica de la discapacidad, sino de una lectura ergonómica y funcional, donde las limitaciones emergen de la relación concreta entre el cuerpo, el objeto y el entorno diseñado.

Desde esta perspectiva, la accesibilidad no se concibe como una condición abstracta ni como el simple cumplimiento normativo, sino como una experiencia situada que depende del grado de ajuste entre las capacidades reales del usuario y las exigencias físicas, cognitivas y sensoriales impuestas por los productos y sistemas de interacción. Tal como señalan Herrera Herrera y Zambrano (2016), la exclusión no reside únicamente en el cuerpo, sino en el desajuste producido por entornos y objetos que no consideran la diversidad funcional de quienes los utilizan.

La ergonomía física y la ergonomía cognitiva operan como dimensiones interdependientes dentro de la experiencia de usuario. Estudios recientes evidencian que cuando los entornos, productos o sistemas imponen posturas forzadas, esfuerzos sostenidos o configuraciones visuales inadecuadas, se produce un aumento significativo de la carga mental del usuario. Esta sobrecarga cognitiva no solo afecta la eficiencia operativa, sino que incrementa el estrés, la fatiga y la probabilidad de error durante la interacción. En consecuencia, la experiencia de usuario debe evaluarse no solo desde la comodidad física o la usabilidad percibida, sino también desde la relación entre las exigencias corporales del sistema y los procesos cognitivos del usuario.

En consecuencia, los datos y matrices presentados a continuación se analizan desde una lógica cuerpo–objeto–entorno, en la que la accesibilidad se evalúa a partir de la interacción real entre las capacidades del usuario y las exigencias impuestas por el diseño. Bajo este enfoque, variables como el alcance funcional, la fuerza requerida, la precisión motriz y la comprensión operativa del sistema adquieren un papel central en el análisis, al incidir directamente en la posibilidad de uso autónomo y seguro de los productos y entornos tecnológicos.

Esta lectura permite desplazar el énfasis desde las clasificaciones diagnósticas tradicionales hacia una comprensión más situada de la experiencia de usuario, donde lo relevante no es la etiqueta clínica, sino las condiciones concretas en las que se produce la interacción. De este modo, dos personas con diagnósticos similares pueden enfrentar barreras radicalmente distintas dependiendo de cómo el objeto ha sido concebido, dimensionado y dispuesto en el espacio.

Esta variabilidad funcional encuentra un correlato directo en los desarrollos contemporáneos de órtesis personalizadas mediante manufactura aditiva. Investigaciones recientes demuestran que el uso de impresión 3D y diseño paramétrico permite ajustar con precisión la geometría del dispositivo a las dimensiones anatómicas específicas del usuario, superando las limitaciones de los modelos estandarizados (Arruda Torres y Silva Furtado, 2025). Este tipo de soluciones evidencia que la accesibilidad no puede resolverse mediante tallas genéricas o configuraciones promedio, sino a través de sistemas capaces de adaptarse a la singularidad corporal. Desde la experiencia de usuario, este enfoque reduce la fricción física, mejora la comodidad y favorece la apropiación del dispositivo, reforzando la autonomía del usuario y su disposición al uso prolongado. Así, la personalización paramétrica se consolida como un criterio técnico y ético del diseño industrial inclusivo.

La antropometría aplicada al diseño industrial permite traducir las dimensiones y capacidades del cuerpo humano en parámetros técnicos verificables. Su incorporación temprana en el proceso proyectual no solo garantiza el ajuste físico del producto, sino que define el espacio real de interacción entre el usuario y el objeto. Ignorar estas variables conduce a soluciones que, aunque funcionales para una mayoría teórica, generan exclusión en poblaciones con variabilidad corporal significativa. En este sentido, los datos antropométricos no deben entenderse como un complemento técnico, sino como un criterio estructural del diseño inclusivo, ya que condicionan directamente la accesibilidad, la seguridad y la experiencia de uso desde una lógica de prevención de barreras.

Tabla 1

Fundamentos Filosóficos y Principios de la Equidad

Bloque Temático	Concepto Clave	Definición Rigurosa y Análisis de Alto Valor
Diseño universal (DU) o Diseño para todos	Mandato de Accesibilidad Intrínseca (Inherent Accessibility Mandate)	El DU es la filosofía que establece que la accesibilidad es un mandato de diseño intrínseco, no negociable y que no requiere adaptaciones especiales a posteriori (Rivera Rosario, 2025). El valor de este enfoque reside en la concepción anticipada de la diversidad. El caso del Podio Accesible, un producto físico con altura variable demuestra que el Diseño Industrial resuelve la diversidad en la fase de prototipado. Esto se traduce en UX como la exigencia de incluir

		la accesibilidad en la arquitectura de la información y el diseño de interacción inicial, asegurando que la estructura base de la aplicación digital sea inherentemente utilizable por todos.
Diseño Inclusivo y Tecnología	La Tríada de Valor: Funcionalidad, Accesibilidad y Estética	El Diseño Inclusivo es el marco de aplicación que utiliza la tecnología como herramienta para desarrollar soluciones que deben equilibrar tres dominios: accesibilidad, funcionalidad y estética (Correa y Godinho, 2022). Un análisis crítico revela que la omisión de la estética conduce a la estigmatización del usuario con discapacidad. El estudio de indumentaria y accesorios valida que la inclusión debe elevar la experiencia del usuario. Por lo tanto, en UX, esto implica que las interfaces accesibles no pueden ser percibidas como "especiales" o inferiores; la accesibilidad debe ser invisible, integrada en un diseño visualmente moderno y de alta calidad para evitar la segregación estética.

Accesibilidad (Normativa Física)	El Paralelo Riguroso de la Obligatoriedad Normativa (NTC)	La Accesibilidad Física es definida por la necesidad de eliminar barreras en el entorno mediante el cumplimiento estricto de Normas Técnicas Colombianas (NTC), como la NTC 4143 (Rampas Fijas) y la NTC 4145 (Escaleras) (Herrera y Zambrano, 2016). Este rigor es el paralelo directo al cumplimiento de las pautas WCAG. El análisis sostiene que la exigencia de pendiente máxima en una rampa es metodológicamente idéntica a la exigencia de un contraste mínimo en una interfaz, elevando el cumplimiento digital a un imperativo legal y técnico de la misma índole que la ingeniería civil.
-------------------------------------	---	--

Nota. La síntesis presentada relaciona principios de diseño universal, accesibilidad y diseño inclusivo, destacando cómo la integración de criterios normativos, funcionales y estéticos influye en la construcción de experiencias más equitativas y accesibles para diversos usuarios.

Los fundamentos filosóficos expuestos evidencian que el diseño inclusivo no surge como una adaptación posterior, sino como una responsabilidad inherente al proceso proyectual. El diseño universal, en particular, desplaza la noción de usuario promedio y reconoce la diversidad humana como punto de partida, no como excepción.

Desde una lectura ergonómica, esta postura resulta clave, ya que permite comprender que la accesibilidad no es una concesión ni un atributo adicional, sino una condición estructural del diseño. Como advierten Herrera y Zambrano (2016), cuando la accesibilidad se aborda únicamente desde la normativa, se corre el riesgo de generar soluciones formalmente correctas, pero funcionalmente excluyentes.

Tabla 2

Rigor Metodológico y las Ciencias Duras

Bloque Temático	Concepto Clave	Definición Rigurosa y Análisis
Antropometría para el Diseño Inclusivo	Diseño Paramétrico de Alcance y Contacto	La Antropometría exige ir más allá de las medidas promedio (percentil 50) para incorporar las dimensiones funcionales y rangos de movimiento de personas con discapacidad (Ruiz-Domínguez et al., 2014). El caso del rediseño de un Cajero Automático Bancario en México demuestra esta metodología: las medidas de usuarios en silla de ruedas definieron la altura de los componentes electrónicos (pantalla, teclado). En UX, esto es el fundamento de la usabilidad motriz: se traduce en la aplicación de la Ley de Fitts para definir el tamaño mínimo de los objetivos táctiles y el espaciado entre

Metodología de Ergonomía de Producto Integrada	La Validación Objetiva con el Sistema PIMEX	<p>ellos en pantallas, optimizando la interacción para usuarios con temblores o baja precisión.</p> <p>El desarrollo de productos debe ser un proceso sistemático que integre la Ergonomía (física y cognitiva) desde la etapa de concepción (Rosal López, 2011). el valor científico más significativo es el uso de sistemas de medición objetiva, como el sistema PIMEX (Pictures and IMproved EXposition), que combina observación y datos fisiológicos para validar la postura en el mobiliario escolar. Esto establece que las pruebas de accesibilidad y UX deben trascender los informes de usabilidad subjetivos y utilizar métricas cuantitativas duras (tasa de errores, tiempo de interacción, medición de la carga visual) para validar de forma objetiva la eficacia ergonómica de las soluciones digitales.</p>
--	---	---

Diseño Paramétrico y Double	Personalización	El Diseño Paramétrico es un modelo
Diamond	Radical y	avanzado que utiliza la tecnología, como
	Manufactura	la Manufactura Aditiva (Impresión 3D),
	Aditiva	para que la geometría de los productos
		(ej. órtesis de mano) se ajuste a los
		parámetros y dimensiones exactas de un
		individuo (Torres y Furtado, 2025). El
		uso del método Double Diamond asegura
		que esta personalización esté anclada en
		la investigación profunda. Esto eleva el
		estándar en UX, donde las interfaces
		deben ser capaces de una personalización
		radical y automática (no solo temas
		claros/oscuros, sino ajustes dinámicos de
		espaciado, interlineado y tamaño de
		fuente) que refleje la complejidad de los
		parámetros ergonómicos del usuario.

Nota. La información integra principios ergonómicos, antropométricos y metodológicos aplicados al diseño industrial, destacando su relación con la accesibilidad, la experiencia de uso y la validación objetiva de la interacción

El rigor metodológico presentado en esta matriz pone de manifiesto la necesidad de trasladar al diseño inclusivo los principios de validación propios de las ciencias duras. La

ergonomía, la antropometría y la medición objetiva permiten evaluar la eficacia real de un producto más allá de percepciones subjetivas o juicios estéticos.

En este sentido, la accesibilidad deja de ser una intención declarativa y se convierte en una condición verificable. Desde la visión ergonómica, evaluar la interacción implica medir esfuerzo, postura, alcance y comprensión, aspectos que, de no ser considerados, terminan reproduciendo barreras incluso en productos diseñados con fines inclusivos (Herrera y Zambrano, 2016).

Tabla 3

Conceptos de Aplicación Ergonómica

Bloque Temático	Concepto Clave	Definición Rigurosa y Análisis
Ergonomía Cognitiva y Carga Mental	Predecibilidad y Mitigación del Estrés Digital	La Ergonomía Cognitiva es fundamental para diseñar la interacción, enfocándose en la minimización de la carga cognitiva y el estrés derivado de los procesos mentales. Como señalan Mora Medina <i>et al.</i> (2024), la ergonomía cognitiva resulta fundamental para diseñar la interacción, ya que se enfoca en minimizar la carga mental y el estrés derivados de procesos como la percepción, la memoria y el razonamiento. El estudio en puestos de labor de docentes universitarios subraya que el diseño deficiente de los sistemas de información es una fuente directa

		<p>de estrés laboral. En UX, esto se aborda mediante la coherencia funcional de la interfaz, el uso de un lenguaje claro y conciso, y la reducción de pasos innecesarios para completar una tarea, asegurando que el diseño sea predecible (Principio WCAG Understandable).</p>
Confort y Mínima Fricción Digital	Extrapolación de las Interfaces Físicas Blandas	<p>El diseño industrial de dispositivos de asistencia, como la Órtesis Robótica de Tobillo (T-FLEX), prioriza la integración de interfaces físicas blandas. Según García et al. (2019), la integración de interfaces físicas blandas permite reducir la presión y fricción sobre el cuerpo del usuario, favoreciendo el confort durante la interacción. Esta búsqueda de la mínima fricción física se traduce directamente en la Mínima Fricción Digital en UX: el diseño debe ser tan eficiente que minimice el esfuerzo motriz (reducción de clics, scrolls) y la fatiga visual (control de ruido y contraste). La UX debe ser ergonómicamente cómoda para el uso</p>

		prolongado y la interacción con Tecnologías de Asistencia.
Adaptación de Sistemas y Puestos de Trabajo	El Ajuste Razonable para la Autonomía Productiva	La Adaptación del Puesto de Trabajo es el proceso de diseño que ajusta una herramienta o entorno a las capacidades específicas del usuario, un concepto legalmente vinculado al Ajuste Razonable. El caso del Sistema de Carga de Herramientas para la comunidad indígena Embera Chamí con discapacidad en miembros superiores demuestra que el Diseño Industrial no solo mejora la usabilidad, sino que posibilita la autonomía económica y la inclusión social (Zapata, 2018). Esto eleva el estándar en UX, donde las opciones de accesibilidad avanzadas (ajustes de contraste, zoom reconfigurable) se convierten en herramientas de diseño industrial digital que deben asegurar la participación productiva del usuario.

Nota. La información presentada articula principios de ergonomía cognitiva, confort de uso y adaptación funcional, resaltando cómo la reducción de carga física y mental influye directamente en la autonomía y la experiencia del usuario.

Datos Relevantes y Estadísticas Sobre Accesibilidad Digital: El Rigor del Objeto Como Pilar de la UX

Si bien las estadísticas sobre accesibilidad digital permiten dimensionar la magnitud del problema, los datos por sí solos resultan insuficientes para comprender las barreras reales de uso. Desde el diseño industrial y la ergonomía, los números adquieren sentido únicamente cuando se interpretan a la luz de la experiencia corporal y situada del usuario.

La visión ergonómica advierte que indicadores generales de acceso no reflejan necesariamente condiciones de uso efectivo. Como señalan Herrera y Zambrano (2016), la accesibilidad se materializa en la interacción cotidiana con objetos y entornos específicos, donde variables como el esfuerzo requerido, la postura y la comprensión del sistema determinan la posibilidad real de participación.

La accesibilidad digital no es, fundamentalmente, un ejercicio de programación, sino una disciplina de diseño con un profundo anclaje en la ingeniería y las ciencias exactas. Este enfoque se establece a partir de la práctica del Diseño Industrial, donde la única forma de garantizar la inclusión es mediante la aplicación de un rigor científico y metodológico que prioriza el producto tangible. Los datos presentados a continuación cuestionan la idea de que la accesibilidad es un "extra" o una "adaptación", y la elevan al nivel de un imperativo funcional, medible y obligatorio.

La urgencia por una mejor Experiencia de Usuario (UX) inclusiva se sustenta en la aplicación de las ciencias de la medición humana. La disciplina del diseño de objetos nos enseña que el desarrollo exitoso para la diversidad funcional requiere el uso de la Antropometría y la Ergonomía para definir parámetros de alcance, fuerza y precisión. Este nivel de personalización extrema, perfeccionado en el diseño de dispositivos de asistencia física, establece el estándar que

las interfaces digitales deben alcanzar: una adaptabilidad que va más allá de lo superficial y llega a la configuración dinámica de cada elemento de interacción para reflejar la diversidad funcional del usuario.

El diseño de interfaces físicas para órtesis robóticas refuerza esta lógica desde una perspectiva material. La evaluación ergonómica de sistemas como la órtesis T-FLEX demuestra que la reducción de presión, fricción y rigidez en los puntos de contacto entre el cuerpo y el dispositivo no solo incrementa el confort, sino que mejora la aceptación y continuidad de uso por parte del usuario (García *et al.*, 2019).

Este principio de mínima fricción física encuentra un paralelo directo en la experiencia de usuario digital: una interfaz que exige esfuerzos innecesarios, múltiples pasos o altos niveles de precisión reproduce, en el plano cognitivo, las mismas barreras que una interfaz rígida impone al cuerpo. De este modo, la ergonomía de interfaces físicas aporta criterios transferibles al diseño UX, donde la comodidad, la fluidez y la reducción del esfuerzo se convierten en indicadores de calidad inclusiva.

El punto de inflexión metodológico se encuentra en los sistemas de validación objetiva. El Diseño Industrial exige pruebas que trascienden la subjetividad, utilizando sistemas para medir la carga fisiológica y cognitiva del usuario durante la interacción. Este rigor es la única vía para que la accesibilidad digital evolucione: las pruebas de usabilidad y accesibilidad deben incorporar métricas cuantitativas duras (tasa de errores, tiempo de interacción, carga cognitiva) para validar científicamente la eficacia de una interfaz. En resumen, los hallazgos cruciales que siguen demuestran que el verdadero avance en la accesibilidad digital se encuentra al adoptar el lenguaje de la medición y la validación que el Diseño Industrial ha perfeccionado en el desarrollo de sus productos tangibles.

Tabla 4

Matriz sobre Accesibilidad digital e Implicación Directa para la UX

Hallazgo	Dato/Criterio	Implicación Directa para la UX Digital
Clave	Cuantificable	
Órtesis de Mano	Diseño Paramétrico y Manufactura Aditiva (3D) para ajuste a la forma y dimensiones exactas de la mano del usuario.	La Personalización Extrema es un imperativo que desafía el modelo <i>one-size-fits-all</i> (Talla única). La UX debe incorporar el enfoque paramétrico para adaptar la geometría funcional (tamaño de tap targets, espaciado, interlineado) a los parámetros motrices y visuales específicos del usuario, asegurando que la interfaz digital funcione como una extensión tecnológica ajustada individualmente.

Figura 1

Visualización de Modelo Paramétrico y de Presión para Órtesis de Mano



Nota. Modelo paramétrico aplicado al desarrollo de órtesis impresas en 3D, utilizado para adaptar dimensiones y zonas de presión según las

características físicas del usuario. Adaptado de Torres y Furtado (2025).

Cajero Automático Antropometría Inclusiva (silla de ruedas) para definir la altura máxima de la pantalla y la disposición ergonómica de los componentes de contacto.

La Medición de Alcance y Contacto se convierte en el fundamento para aplicar la **Ley de Fitts** en el diseño digital. Esto exige establecer con precisión los márgenes de seguridad y tamaños mínimos de los elementos interactivos en pantalla, minimizando la fatiga motriz y los errores de selección en interacciones táctiles o con punteros.

Figura 2

Localización de los Diferentes Componentes de CABs

Alturas y profundidades de los dispositivos en interacción con el usuario										
	Touch	Cash Exit	Envelope	Card	Keypad	Keypad	Keypad	Keypad	Keypad	Keypad
	Screen	Entry	Exit slot	Reader	Keypad	Keypad	Keypad	Keypad	Keypad	Keypad
	Height	Depth	Entry	Exit slot	Keypad	Keypad	Keypad	Keypad	Keypad	Keypad
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Personas 70+	1200	1144	846	802	846	802	846	802	846	802
Height (from base of ATM)	141.28 in	45.04 in	33.31 in	31.58 in	33.31 in	31.58 in	33.31 in	31.58 in	33.31 in	31.58 in
Depth (from front of shell)	240	266	170	84	150	150	177	177	177	177
mm	9.45 in	10.47 in	6.70 in	3.31 in	5.91 in	5.91 in	6.99 in	6.99 in	6.99 in	6.99 in
Personas 150+	1100	1120	812	786	812	800	804	804	804	804
Height (from base of ATM)	43.31 in	44.1 in	32.0 in	31.0 in	32.0 in	31.5 in	31.7 in	31.7 in	31.7 in	31.7 in
Depth (from front of shell)	220	244	170	80	150	150	170	170	170	170
mm	8.66 in	9.61 in	6.70 in	3.15 in	5.91 in	5.91 in	6.70 in	6.70 in	6.70 in	6.70 in
Personas 170+	1000	1000	786	758	786	786	786	786	786	786
Height	39.37 in	39.37 in	31.0 in	30.2 in	31.0 in	31.0 in	31.0 in	31.0 in	31.0 in	31.0 in
Depth (from front of shell)	186	186	170	76	150	150	170	170	170	170
mm	7.32 in	7.32 in	6.70 in	3.0 in	5.91 in	5.91 in	6.70 in	6.70 in	6.70 in	6.70 in

Nota. Distribución ergonómica de los componentes de interacción en cajeros automáticos accesibles, considerando criterios antropométricos y rangos de alcance del usuario. Adaptado de Ruiz-Domínguez et al. (2014).

Figura 3

Localización de los Dispositivos del Cajero Automático Bancario de Lógica Interactiva



Nota. Organización espacial de dispositivos interactivos en cajeros automáticos, orientado a mejorar accesibilidad y facilidad de uso. Adaptado de Ruiz-Domínguez *et al.* (2014).

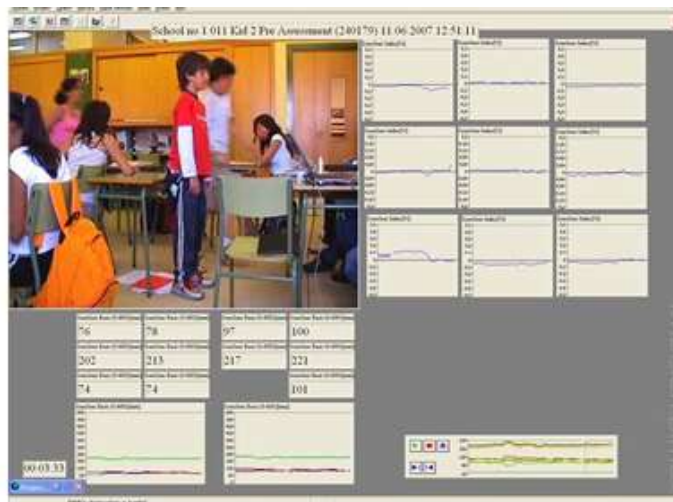
Mobiliario	Validación	El Rigor de la Validación (Metodología) debe
Escolar	Objetiva con Sistema PIMEX (Pictures and IMproved EXposition) para medir la postura y	adoptarse en la UX. Las pruebas de accesibilidad deben trascender los informes subjetivos e integrar métricas de rendimiento y biométricas (tasa de errores, eye-tracking, carga mental) para cuantificar objetivamente la eficiencia y la carga cognitiva de la interacción.

carga fisiológica de Sistema PIMEX en combinación con el senoSens.

forma continua **Figura 4**

(usando sensores *Sistema PIMEX en Combinación con el SenoSens*

como el senoSens).



Nota. Sistema de evaluación ergonómica utilizado para analizar postura, movimiento y carga fisiológica durante la interacción con productos y entornos de uso. Adaptado de Rosal López (2011).

Figura 5

Colocación de los Sensores y Evaluación en Tarea de Atender/Escribir



Nota. Aplicación de sensores ergonómicos para el análisis de esfuerzo físico y comportamiento postural durante actividades operativas. Adaptado de Rosal López (2011).

<p>Órtesis Robótica T- FLEX</p>	<p>Evaluación Ergonómica de Interfaces Físicas Blandas para minimizar la presión, la fricción y maximizar el confort en el contacto piel- dispositivo.</p>	<p>La Mínima Fricción Digital es un criterio ergonómico de calidad. La UX debe optimizar la interfaz para reducir el esfuerzo motriz (minimizar clics, scrolls innecesarios) y la fatiga visual (control de ruido, contraste), vital para usuarios de Tecnologías de Asistencia que ya manejan una fricción inherente al dispositivo.</p>
---	--	---

Figura 6

Dispositivo T-Flex con la Interfaz Física Inicial



Nota. Evaluación de interfaz física blanda orientada a disminuir presión y fricción en el contacto entre dispositivo y usuario, favoreciendo el confort durante la interacción. Adaptado de Rodríguez García *et al.* (2019).

Figura 7

Limitaciones Físicas de la Interfaz



Nota. Representación de restricciones físicas presentes en la interacción usuario-producto, asociadas a alcance, postura y esfuerzo motriz. Adaptado de Ruiz-Domínguez *et al.* (2014).

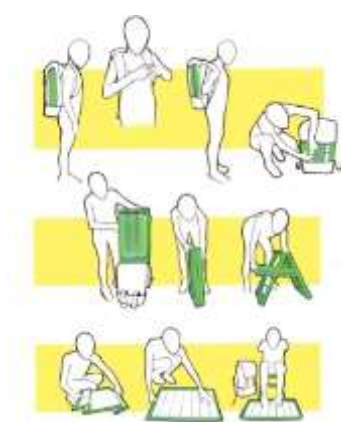
Sistema de Carga Embera Chamí	Diseño de un Puesto de Trabajo Adaptado y	El objetivo final es la Autonomía Productiva y la Inclusión Social. La UX debe asegurar que las Opciones de Accesibilidad Avanzadas (como el
-------------------------------	---	--

Sistema de Carga para comunidad indígena, demostrando un Ajuste Razonable para la discapacidad en miembros superiores.

remapeo completo de teclado o el ajuste fino de visualización) se comporten como herramientas de diseño industrial digital que posibilitan la participación laboral plena y la independencia económica.

Figura 8

Secuencia de Uso del Producto



Nota. Secuencia funcional del sistema de carga adaptado para usuarios con discapacidad en miembros superiores, enfocado en mejorar autonomía y condiciones de uso. Adaptado de Zapata (2018).

Dispositivo ADTIDMOD Desarrollo de un dispositivo enfocado en la población adulta mayor, lidiando

Diseño para la Resiliencia Humana. La UX debe integrar criterios de para mitigar las deficiencias asociadas al envejecimiento y a las limitaciones funcionales temporales o permanentes.

con desafíos de fragilidad, precisión motriz reducida y riesgo de caída.

Figura 9

Registro de Problemas en Adultos Mayores

Poca movilidad durante el Día



Nota. Identificación de dificultades físicas y operativas presentes en adultos mayores durante actividades de interacción y movilidad asistida. Adaptado Mogollón (2023).

Nota. La matriz relaciona casos de referencia con principios aplicables a la experiencia de usuario, evidenciando cómo factores ergonómicos, antropométricos y funcionales pueden transferirse al diseño de interfaces accesibles.

La aplicación de principios ergonómicos en el diseño inclusivo evidencia que las barreras no son únicamente físicas, sino también cognitivas y operativas. Un producto puede responder adecuadamente a criterios dimensionales y, aun así, generar exclusión cuando su lógica de uso resulta compleja o demandante para el usuario.

Desde esta perspectiva, la ergonomía cognitiva adquiere un papel central en la experiencia de interacción, ya que aspectos como la carga mental, la claridad funcional y la predecibilidad influyen directamente en la autonomía y participación de las personas.

Análisis de Barreras, Soluciones e Implementación del Rigor Industrial en la UX

El análisis de barreras que se presenta a continuación parte de una comprensión relacional de la discapacidad, en la que las limitaciones no se atribuyen exclusivamente al cuerpo del usuario, sino al modo en que los objetos, sistemas y entornos han sido concebidos. Desde esta perspectiva, la discapacidad emerge cuando el diseño impone exigencias físicas, sensoriales o cognitivas que superan las capacidades funcionales de la persona, transformando la interacción cotidiana en una experiencia restrictiva.

Desde la ergonomía, una barrera se define como cualquier condición del producto o del entorno que demanda un nivel de esfuerzo, precisión, alcance o comprensión superior al que el usuario puede ejercer de manera segura y autónoma. Esta definición desplaza la responsabilidad desde el individuo hacia el diseño, reconociendo que es el objeto y no el cuerpo el que puede generar exclusión cuando ignora la diversidad funcional.

En este sentido, identificar barreras motrices, sensoriales y cognitivas implica analizar críticamente el diseño industrial como mediador directo de la experiencia de usuario. No se trata únicamente de constatar la presencia de obstáculos visibles, sino de examinar cómo la disposición espacial, la lógica de interacción, la retroalimentación del sistema y las demandas operativas influyen en la posibilidad real de uso. Tal como sostienen Herrera y Zambrano (2016), un entorno mal diseñado no solo limita la acción, sino que incrementa la dependencia y reduce la autonomía, incluso en contextos donde existe acceso formal a la tecnología.

Bajo esta lógica, el análisis que sigue busca evidenciar cómo determinadas decisiones de diseño aparentemente neutras o estandarizadas pueden convertirse en factores de exclusión, y cómo el diseño industrial, cuando incorpora criterios ergonómicos rigurosos, tiene la capacidad de transformar dichas barreras en oportunidades de interacción inclusiva.

Barreras y Soluciones Físicas: La Ergonomía del Contacto

Las barreras físicas digitales se presentan en la interacción motriz y sensorial, y son equivalentes a un entorno arquitectónico mal diseñado que impide el movimiento o la percepción. La solución siempre pasa por la medición y la adaptabilidad. Sin embargo, estas barreras no se limitan a la imposibilidad de ejecutar una acción concreta, sino que se manifiestan en la fricción constante entre el cuerpo del usuario y los sistemas de interacción que no reconocen su diversidad funcional. Tal como ocurre en la arquitectura excluyente, cuando un producto o interfaz exige movimientos precisos, posturas sostenidas o rangos de alcance estandarizados, el diseño deja de ser una herramienta y se convierte en un obstáculo.

Desde la ergonomía de producto, estas limitaciones se comprenden como desajustes entre las capacidades físicas reales del usuario y las exigencias biomecánicas impuestas por el objeto o sistema. Estudios en ergonomía aplicada demuestran que la ausencia de adaptación dimensional, de retroalimentación sensorial adecuada o de alternativas de interacción genera un incremento en la fatiga, el error y el abandono del uso, especialmente en personas con discapacidad física o movilidad reducida (Herrera y Zambrano, 2016). en este sentido, la barrera no reside únicamente en el usuario, sino en un diseño que presupone un cuerpo normativo y homogéneo.

La medición ergonómica se posiciona como una estrategia fundamental para la eliminación de estas barreras, al permitir traducir las capacidades corporales en criterios técnicos verificables. La antropometría, el análisis del movimiento y la evaluación del contacto físico entre usuario y producto permiten anticipar zonas de esfuerzo, incomodidad o inaccesibilidad, transformando la experiencia de uso en un fenómeno controlable y no intuitivo (Ruiz-Domínguez et al., 2014). Esta lógica se refuerza cuando el diseño incorpora principios de

adaptabilidad, entendida no como una solución genérica, sino como la capacidad del producto de ajustarse a diferentes cuerpos, contextos y condiciones de uso.

Asimismo, el desarrollo de tecnologías de apoyo y dispositivos asistidos evidencia que la ergonomía del contacto no se limita a la forma del objeto, sino a la manera en que este dialoga con el cuerpo del usuario. Investigaciones centradas en interfaces físicas y tecnologías de asistencia muestran que cuando el diseño reduce la exigencia motriz y optimiza los puntos de contacto, se amplían las posibilidades de interacción autónoma y se fortalece la experiencia de usuario, incluso en contextos de limitación severa del movimiento (Bitencourt et al., 2015). De este modo, la ergonomía se consolida como un puente entre accesibilidad y experiencia de usuario, donde el rigor industrial permite que el contacto entre cuerpo y producto deje de ser una fuente de exclusión y se convierta en un medio de participación efectiva.

Análisis de Exclusión por Diseño Rígido vs. Diseño Inclusivo. Barrera Motriz: Ineficiencia en la Precisión y el Alcance

Esta barrera se manifiesta cuando el diseño digital impone requisitos de precisión motriz, esfuerzo o alcance que superan las capacidades del usuario (Ley de Fitts). Los objetivos interactivos pequeños, los requerimientos de movimientos complejos o los tiempos de respuesta limitados son sus síntomas.

El desarrollo de tecnologías de apoyo basadas en seguimiento ocular evidencia que la interacción con sistemas digitales no depende exclusivamente de la destreza manual. Estos dispositivos permiten que personas con movilidad limitada operen interfaces mediante movimientos oculares, reduciendo la exigencia motriz y ampliando las posibilidades de control autónomo. Desde la experiencia de usuario, este tipo de soluciones confirma que la accesibilidad no radica en adaptar al usuario a la interfaz, sino en adaptar la interfaz a las capacidades reales

del usuario. Así, la UX se consolida como un ejercicio de precisión técnica y empatía funcional, donde el diseño elimina barreras sin introducir mecanismos intrusivos o complejos.

Análisis Profundo del Caso: Cajero Automático y Órtesis

Fundamento Antropométrico: El diseño de un Cajero Automático incluyó la Antropometría de personas con discapacidad para definir la altura máxima de la pantalla, la inclinación y la disposición de los componentes de contacto (Ruiz-Domínguez *et al.*, 2014) Este análisis físico estableció parámetros absolutos de alcance. La barrera en la UX se da cuando el diseñador ignora estas mediciones, estableciendo elementos táctiles arbitrarios que son imposibles de seleccionar con un joystick (palanca de mando), un puntero de cabeza o el dedo en condiciones de temblor.

Fundamento de Personalización: El desarrollo de órtesis de mano mediante Diseño Paramétrico y Manufactura Aditiva (3D) demuestra que el producto debe ajustarse a las dimensiones exactas de la mano (Arruda Torres y Silva Furtado, 2025). La solución en la UX no es un tamaño de botón único, sino la adaptabilidad paramétrica: la interfaz debe permitir al usuario modificar la geometría funcional de los elementos (tamaño y espaciado) de forma dinámica, convirtiendo el software en una extensión tecnológica individualmente ajustada.

Buena Práctica: Mínima Fricción Digital

La interfaz debe optimizarse para la Mínima Fricción Digital. Inspirada en la Evaluación Ergonómica de Interfaces Físicas Blandas de la Órtesis Robótica T-FLEX (García *et al.*, 2019) que busca reducir la presión y el roce físico, la UX debe reducir el número de clics o scrolls innecesarios y ofrecer amplias zonas de acción para minimizar la fatiga.

Barrera Sensorial: Carencia de Rigor en la Percepción

La barrera sensorial se manifiesta cuando el diseño asume que todos los usuarios perciben la información de la misma manera, con la misma agudeza visual, auditiva o sensorial. En estos casos, la experiencia de usuario se ve comprometida no por la complejidad del sistema, sino por la forma en que la información es presentada. Cuando un mensaje, una alerta o una acción depende exclusivamente de un único canal sensorial, el diseño deja de comunicar y comienza a excluir silenciosamente.

Esta barrera suele pasar desapercibida porque, en apariencia, la información está presente y el sistema funciona correctamente. Sin embargo, para usuarios con limitaciones visuales, auditivas o con condiciones asociadas al envejecimiento, la percepción se vuelve fragmentada e incompleta. El problema no reside en la falta de información, sino en la ausencia de criterios que garanticen su correcta interpretación. En este sentido, la percepción no es un acto pasivo, sino un proceso activo que requiere claridad, refuerzo y coherencia entre los distintos estímulos sensoriales.

Desde la ergonomía y el diseño accesible, la percepción debe abordarse con el mismo rigor que la forma o la función. Diseñar para percibir implica reconocer que la información relevante debe ser comprensible a través de múltiples vías, reduciendo la dependencia de un solo estímulo y fortaleciendo la experiencia de usuario mediante la redundancia sensorial.

Análisis del Caso: Normativa Técnica y Diseño Inclusivo

Fundamento Normativo: La existencia de Normas Técnicas Colombianas (NTCs) específicas y rígidas para rampas, escaleras y corredores (Herrera y Zambrano, 2016). demuestra que la accesibilidad física es un código de construcción exacto, no una sugerencia. La barrera en

la UX se presenta cuando el diseñador trata las ratios de contraste y el etiquetado semántico como elementos opcionales.

Fundamento de Redundancia: El diseño inclusivo de productos, como el Podio Accesible, garantiza el uso operacional a pesar de las limitaciones visuales o motrices (Rivera Rosario, 2025). La solución en la UX es la aplicación estricta del WCAG (Principio Perceptible), que exige que el contraste tipográfico cumpla con las ratios matemáticas establecidos (4.5:1), mitigando el Estrés Visual asociado al uso prolongado de pantallas (Mora Medina et al., 2024). El etiquetado semántico (texto alternativo y etiquetas ARIA) garantiza que la información sea redundante a través del lector de pantalla.

Barreras y Soluciones Cognitivas: La Ergonomía de la Comprensión

Las barreras cognitivas se relacionan directamente con el principio Understandable de las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (**WCAG**), el cual establece que la información y la operación de una interfaz deben ser comprensibles y predecibles para el usuario. Desde esta perspectiva, una barrera cognitiva no surge por falta de capacidad del usuario, sino como consecuencia de decisiones de diseño que imponen una carga cognitiva excesiva, generando confusión, estrés e imprevisibilidad durante la interacción.

Una de las manifestaciones más frecuentes de esta barrera es la falta de predecibilidad y tolerancia a errores. Se caracteriza por navegaciones inconsistentes, uso de lenguaje técnico o ambiguo, ausencia de retroalimentación clara ante fallos y secuencias de uso poco intuitivas. Estas condiciones obligan al usuario a realizar un esfuerzo mental desproporcionado para comprender el funcionamiento del sistema, incrementando la probabilidad de error y deteriorando la experiencia de usuario. En contextos de discapacidad o envejecimiento, esta

sobrecarga cognitiva no solo afecta la usabilidad, sino que puede derivar en abandono del sistema y pérdida de autonomía.

El desarrollo del dispositivo de terapia física ADTIDMOD, orientado a la población adulta mayor, evidencia la necesidad de abordar estas barreras desde un enfoque gerontológico del diseño. Este caso demuestra que el diseño inclusivo no debe considerar únicamente limitaciones permanentes, sino también condiciones asociadas al envejecimiento, como la disminución de la precisión motriz, la fragilidad y el aumento del riesgo de error durante la interacción (Mogollón, 2023). En estos escenarios, la experiencia de usuario depende en gran medida de la claridad de la secuencia de uso, la simplicidad operativa y la presencia de retroalimentación inmediata.

El diseño gerontológico plantea que una interfaz tolerante a errores, con lenguaje sencillo, feedback claro e inmediato y reducción de decisiones innecesarias, no solo mejora la usabilidad, sino que mitiga la ansiedad tecnológica y favorece la autonomía del usuario. Este enfoque resulta directamente transferible al diseño de interfaces digitales accesibles, donde la comprensión operativa y la predecibilidad se consolidan como condiciones indispensables para una inclusión efectiva.

Desde una perspectiva de evaluación objetiva, la ergonomía aporta herramientas para cuantificar el esfuerzo impuesto al usuario durante la interacción. Sistemas de medición como PIMEX, utilizados en la evaluación postural y de carga fisiológica continua, demuestran la importancia de respaldar el diseño con métricas verificables (Rosal López, 2011). En el ámbito de la experiencia de usuario, la barrera cognitiva se intensifica cuando las pruebas de usabilidad se limitan a percepciones subjetivas, sin considerar indicadores como la tasa de errores, el tiempo

de finalización de tareas o la frecuencia de retrocesos. La incorporación de estas métricas permite identificar y reducir de manera objetiva la carga cognitiva generada por la interfaz.

Bajo esta lógica, el análisis que sigue busca evidenciar cómo determinadas decisiones de diseño, aparentemente neutras, estandarizadas o técnicamente correctas, pueden convertirse en factores de exclusión en la práctica. Al mismo tiempo, se plantea que el diseño industrial, cuando incorpora criterios ergonómicos rigurosos y una comprensión profunda de la experiencia de usuario, tiene la capacidad de transformar dichas barreras cognitivas en oportunidades de interacción inclusiva, fortaleciendo la autonomía, la seguridad y la participación de las personas con discapacidad.

Buenas Prácticas y Recomendaciones Metodológicas (Visión de Diseño Industrial)

La garantía de la accesibilidad requiere la aplicación de principios de ingeniería que prioricen la función, la medición y la durabilidad del objeto tangible. Estos puntos delimitan un marco de trabajo para el desarrollo de productos inclusivos.

Recomendación 1: Autonomía Productiva y Diseño de Sistemas de Trabajo Adaptados

El objetivo del diseño no es solo la asistencia, sino la posibilidad de participación plena y productiva del usuario. La solución de diseño debe constituirse como un sistema que habilita la labor independiente.

El diseño del sistema de carga de herramientas desarrollado para la comunidad Embera Chamí con discapacidad en miembros superiores constituye un ejemplo claro de cómo el diseño industrial puede operar como un ajuste razonable tangible. Lejos de limitarse a una solución asistencial, el proyecto permitió reorganizar el puesto de trabajo y el sistema de manipulación de herramientas, reduciendo el esfuerzo físico y posibilitando una participación productiva autónoma (Zapata, 2018).

Este tipo de intervención demuestra que la accesibilidad adquiere pleno sentido cuando se traduce en capacidad real de acción. Desde la experiencia de usuario, la inclusión no se mide únicamente en términos de facilidad de uso, sino en la posibilidad de desempeñar actividades laborales y sociales sin dependencia constante de terceros.

Fundamento de Caso: El proyecto para la comunidad Embera Chamí demostró cómo el diseño de un Puesto de Trabajo Adaptado y un Sistema de Carga para personas con discapacidad en miembros superiores es un Ajuste Razonable tangible (Zapata, 2018). Este sistema no es un "producto de ayuda", sino una herramienta de trabajo que devuelve la autonomía productiva.

Buena Práctica: Los diseñadores deben enfocar los proyectos de asistencia como el desarrollo de sistemas de apoyo laboral y vital. La recomendación es priorizar la creación de equipos y mobiliario especializado (como el nuevo mobiliario escolar rediseñado, (Rosal López, 2011). que se integren al entorno físico para posibilitar la realización de tareas laborales, académicas o domésticas, garantizando la independencia económica y social.

Recomendación 2: Rigor de la Ingeniería y Adhesión al Código de Construcción

La accesibilidad física debe tratarse como un requisito normativo ineludible, cuya violación implica un defecto de construcción o diseño.

Fundamento Normativo: La existencia de Normas Técnicas Colombianas (NTCs) específicas y de obligado cumplimiento para elementos arquitectónicos como rampas, escaleras y corredores (NTC 4143, NTC 4145, NTC 4140) confirma que la inclusión se basa en parámetros de ingeniería exactos (Herrera y Zambrano, 2016).

Buena Práctica: Todo proyecto de diseño de producto debe adherirse a la rigidez de las normas de construcción y antropometría aplicable (Ruiz-Domínguez *et al.*, 2014). Además, el proceso de desarrollo debe adoptar el enfoque holístico de la Ergonomía, que abarca la dimensión Física (dimensiones, fuerza), Cognitiva (uso intuitivo, señalización) y, vitalmente, Organizacional (procesos de producción y calidad), garantizando que el diseño cumpla con los requisitos desde su concepción, sin consideraciones opcionales.

Recomendación 3: Diseño Paramétrico, Estética Funcional y Personalización

El producto inclusivo no debe ser estigmatizante ni genérico, sino un objeto de diseño de alta calidad, individualizado y estético.

Fundamento Estético y de Caso: El diseño de indumentaria inclusiva demuestra que la funcionalidad y la estética deben ser cualidades integradas, eliminando la idea de que la ropa o

los accesorios adaptados deben ser burdos o segregados (Correa y Godinho, 2022). De igual forma, el desarrollo de órtesis mediante manufactura aditiva (3D) utiliza el Diseño Paramétrico para un ajuste exacto al cuerpo y permite explorar la estética y la personalización de colores, aumentando la aceptación por parte del usuario (Arruda Torres y Silva Furtado, 2025).

Buena Práctica: Se debe priorizar el Diseño Paramétrico y el uso de tecnologías de fabricación avanzada (como la impresión 3D) para crear productos que se adapten con precisión a las dimensiones individuales y funcionales del usuario. El diseño debe ser funcionalmente superior y estéticamente deseable, eliminando el estigma asociado a los productos de asistencia.

Recomendación 4: Validación Objetiva y Robustez Mecánica del Producto

La calidad y la fiabilidad del producto se demuestran a través de la medición objetiva del rendimiento.

Fundamento de Validación: La metodología empleada en el diseño de mobiliario escolar utilizó el Sistema PIMEX para medir de forma continua y objetiva la postura y la carga fisiológica (Rosal López, 2011). Este es el estándar de rigor.

Buena Práctica: Se debe incorporar la validación objetiva con métricas cuantificables (tiempo de operación, fuerza requerida, tasa de error) en todas las fases del desarrollo de un producto. La Robustez debe ser entendida como la garantía técnica y mecánica de que el producto mantendrá su funcionalidad y calidad a largo plazo, resistiendo el uso intenso y la integración con otros sistemas de apoyo, tal como se plantea en la ingeniería de sistemas para la Órtesis Robótica (García *et al.*, 2019).

Análisis de Barreras y Soluciones desde la Ingeniería de Diseño

El diseño industrial contemporáneo entiende que la "discapacidad" surge en la interacción fallida entre el cuerpo y el objeto. Este informe desglosa cómo la falta de rigor en parámetros antropométricos y ergonómicos construye barreras que limitan la autonomía humana.

Barrera Motriz: Biomecánica del Alcance y Demandas de Esfuerzo

La barrera motriz no se limita a la imposibilidad de movimiento, sino a la ineficiencia mecánica impuesta por el objeto.

Análisis de la Antropometría Funcional: Según los estudios de Ruiz-Domínguez *et al.* (2014), el error sistemático en el diseño de productos de uso público (como cajeros o terminales) es el uso de promedios estadísticos que ignoran los radios de alcance funcional de usuarios en silla de ruedas. Un objeto diseñado para un usuario de pie impone una barrera insalvable al situar los controles fuera de las zonas de alcance cómodo (ZAC), obligando a posturas de riesgo o impidiendo el acceso total.

Figura 10

Análisis de Exclusión por Diseño Rígido Vs. Diseño Inclusivo



Nota. Ilustración basada en los criterios de diseño inclusivo y variabilidad humana. Adaptado de Correa y Godinho (2022).

Déficit de Ajuste Paramétrico: En el desarrollo de dispositivos de soporte, como las órtesis, la barrera principal es la rigidez del material y la falta de coincidencia con la anatomía individual. Arruda Torres y Furtado (2025) exponen que una órtesis mal ajustada no solo es ineficiente, sino que genera lesiones dérmicas y rechazo psicológico, lo que subraya la necesidad de una personalización extrema a través de manufactura aditiva.

Demandas de Torque y Presión: El diseño de herramientas que exige una pinza digital fina o una fuerza de torsión elevada excluye a personas con discapacidad en miembros superiores, como se analizó en el caso de la comunidad Emberá Chamí (Zapata, 2018), donde la herramienta estándar se convierte en una barrera por su peso y centro de gravedad desequilibrado.

Barrera Visual: Ergonomía Sensorial y del Entorno Lumínico

La barrera visual se define por la incapacidad del producto para transmitir información de estado y forma a través de canales no visuales.

Contraste Lumínico y Estrés Visual: El contraste lumínico y el estrés visual son factores críticos en la interacción tangible. Mora et al. (2024) identifican que superficies con altos índices de reflexión o bajo contraste cromático provocan fatiga visual y errores operativos. En productos tangibles, el uso de acabados especulares (brillantes) en paneles de control dificulta la discriminación de iconos y relieves.

Carencia de Redundancia Háptica: La normativa técnica colombiana (NTC 4140, 4143, 4145) establece que la accesibilidad física depende de la señalización por tácil y relieves diferenciados. Un producto que depende únicamente de una luz o una pantalla plana (sin texturas) para indicar su funcionamiento es, por definición, excluyente para personas con baja visión o ceguera (Rivera, 2025).

Figura 11

Diseño de Entorno Accesible para Cajero Automático: Aplicación de Redundancia Háptica



Nota Ilustración basada en los parámetros de ergonomía para terminales de autoservicio.

Adaptado de Ruiz-Domínguez *et al.* (2014).

Barrera Cognitiva: Carga Fisiológica y Fluidez Operativa

La barrera cognitiva se manifiesta en el esfuerzo mental y fisiológico que el usuario debe invertir para comprender y operar un objeto o sistema. Este tipo de barrera no se limita a la dificultad de interpretación de la interfaz, sino que está estrechamente vinculada a las exigencias físicas que el diseño impone durante la interacción. Cuando un objeto requiere posturas incómodas, esfuerzos sostenidos o movimientos poco naturales, el cuerpo entra en un estado de fatiga que compromete directamente los procesos cognitivos necesarios para una operación fluida.

Esta relación ha sido evidenciada mediante herramientas de evaluación como el sistema PIMEX, utilizado en investigaciones ergonómicas para analizar la carga fisiológica asociada al uso de productos y mobiliario. En su estudio sobre diseño de mobiliario escolar, Rosal López

(2011) demuestra que un mal diseño físico incrementa significativamente indicadores como el ritmo cardíaco y la tensión muscular. Esta sobrecarga fisiológica no solo afecta el confort corporal, sino que se traduce en una disminución de la capacidad de atención, un aumento de la frustración y una menor disposición cognitiva para resolver tareas operativas.

Estos hallazgos confirman que la ergonomía física y la ergonomía cognitiva no operan como dimensiones independientes, sino como sistemas interdependientes. Un diseño que ignora la carga fisiológica termina imponiendo una barrera cognitiva indirecta, ralentizando la interacción, aumentando los errores y deteriorando la experiencia de usuario. En consecuencia, la fluidez operativa depende tanto de la claridad de la interfaz como de la capacidad del diseño para minimizar el esfuerzo corporal innecesario.

Inconsistencia y Ansiedad Tecnológica: Para poblaciones vulnerables como el adulto mayor, los dispositivos que no ofrecen una secuencia de uso lógica y predecible actúan como barreras de exclusión social. El diseño del dispositivo ADTIDMOD (Mogollón, 2023) soluciona esto mediante interfaces de contacto simplificadas que reducen la carga de memoria de trabajo.

Figura 12

Ilustración de Secuencia de Uso y Flujo Operativo del Dispositivo Terapéutico



Nota. Ilustración basada en los principios de diseño gerontológico para la reducción de la carga cognitiva. Adaptado de Mogollón (2023).

Barrera Auditiva: Multimodalidad de Alertas

Aislamiento Sensorial: Ocurre cuando el producto utiliza el canal auditivo como vía única de comunicación de emergencias o fin de ciclo. La solución industrial requiere la integración de interfaces vibratorias o lumínicas de alta intensidad que aseguren que la información sea percibida independientemente de la agudeza auditiva

Análisis Comparativo de Paradigmas de Intervención

La evolución de la intervención del diseño industrial en materia de accesibilidad no ha sido únicamente técnica, sino también ontológica. Se ha pasado de "corregir" una limitación biológica a "optimizar" el sistema de interacción entre el usuario y el objeto. Este análisis contrasta el paradigma tradicional frente al enfoque sistémico propuesto en las investigaciones de vanguardia.

Metodología de Concepción: Del Promedio Estadístico a la Variabilidad Humana

El modelo tradicional ha operado históricamente bajo la falacia del "Usuario Promedio", utilizando percentiles estandarizados (generalmente el percentil 50) que ignoran las asimetrías y necesidades de los extremos poblacionales. Este enfoque produce objetos que, aunque funcionales para una mayoría teórica, excluyen sistemáticamente a personas con diversidad motriz o sensorial.

En contraste, el Diseño Inclusivo Sistémico adopta la metodología de "Diseño para Usuarios Extremos". Como sugieren Ruiz-Domínguez *et al.* (2014), la intervención comienza con el análisis de los radios de alcance funcional y la antropometría específica de la discapacidad. Aquí, el objeto no se impone al cuerpo; se parametriza según sus arcos de movilidad reales, garantizando que la geometría del producto sea una extensión de las capacidades del individuo y no una restricción.

Validación de Eficacia: De la Percepción Subjetiva a la Biometría Objetiva

Históricamente, la eficacia de un producto accesible se validaba mediante pruebas de usabilidad basadas en la opinión del usuario o en el simple cumplimiento de criterios de seguridad básicos. Este paradigma es reactivo y carece de precisión métrica.

El nuevo paradigma introduce la Validación Fisiológica Objetiva. Utilizando herramientas como el Sistema PIMEX, analizado por Rosal López (2011), el diseño industrial ahora puede cuantificar el impacto real del objeto en el cuerpo. Esta metodología permite medir la frecuencia cardíaca, la carga muscular y el gasto metabólico durante la interacción. Un producto se considera exitoso solo si demuestra una reducción significativa en la carga fisiológica del usuario, transformando la "comodidad" en una métrica de ingeniería verificable.

Fabricación y Tecnología: De la Serie Rígida a la Personalización Paramétrica

La manufactura tradicional, basada en moldes estáticos y producción en serie, ha limitado la accesibilidad a "tallas" o adaptaciones genéricas que a menudo resultan incómodas o ineficaces a largo plazo. La intervención sistémica aprovecha la Manufactura Aditiva (3D) y el Diseño Paramétrico. Según Arruda Torres y Silva Furtado (2025) esta tecnología permite que el producto (por ejemplo, una órtesis o una interfaz de contacto) se genere a partir de algoritmos que traducen la anatomía exacta del usuario en estructuras geométricas optimizadas. Esto elimina barreras físicas críticas como la fricción y la presión excesiva, permitiendo la creación de Interfaces Físicas Blandas que se adaptan dinámicamente al cuerpo, un concepto reforzado por la investigación de García *et al.* (2019) sobre sistemas robóticos flexibles.

Análisis Integrado: Barreras, Elementos de Interfaz y Beneficios

Este análisis vincula las deficiencias detectadas en el medio físico con los elementos de interfaz que, bajo la normativa técnica (NTC), actúan como mitigadores de exclusión social y ansiedad tecnológica. A partir de esta relación, se reconoce que las barreras no solo se manifiestan en la ausencia de acceso, sino también en la forma en que los sistemas de interacción responden o no a las capacidades reales de los usuarios.

En este sentido, los elementos de interfaz dejan de entenderse como componentes meramente informativos o estéticos y se consolidan como mediadores funcionales entre el usuario y el entorno tecnológico. Cuando estos elementos se diseñan conforme a criterios normativos y ergonómicos, contribuyen a reducir la incertidumbre, mejorar la comprensión operativa y favorecer experiencias de uso más seguras y autónomas. Así, la normativa técnica no solo establece parámetros de cumplimiento, sino que se convierte en una herramienta clave para traducir principios de accesibilidad en beneficios funcionales concretos, los cuales se analizan de manera comparativa en la matriz que se presenta a continuación en la Tabla 5:

Tabla 5

Matriz de Contraste: Elementos de Interfaz y Beneficios Funcionales

Objeto/entorno	Barrera de Diseño (exclusión)	Elemento de Interfaz Accesible (Solución)	Beneficio Funcional y Cognitivo
Terminales de Pago / Cajeros	Superficies táctiles lisas (vidrio) que carecen de respuesta háptica, impidiendo la localización de	Botones con Relieve y Macrotipos: Uso de símbolos cóncavos/convexos y Braille integrados	Fomenta la independencia y privacidad, permitiendo la identificación táctil inequívoca antes de la ejecución de la orden.

	mandos para usuarios con baja visión o ceguera.	según los parámetros de la NTC 4144.	
Entorno Urbano y Mobiliario	Desorientación en la aproximación debido a la falta de guías físicas que vinculen el espacio con el punto de interacción.	Pavimentos Podotáctiles: Franjas de puntos para advertencia (peligro) y barras para dirección segura (NTC 4143 y NTC 4145).	Actúa como un mapa sensorial pasivo que garantiza una navegación segura y predecible hacia el dispositivo.
Dispositivo ADTIDMOD	Inconsistencia en la secuencia de uso, lo que genera una carga excesiva en la memoria de trabajo y frustración en el adulto mayor.	Interfaces de Contacto Simplificadas: Reducción de pasos operativos y uso de Feedback Aero-mecánico (vibración/clic).	Neutraliza la ansiedad tecnológica al proporcionar una respuesta física inmediata que confirma el éxito de la tarea
Dispositivos de Salud / Terapia	Disposición de controles fuera de los rangos de movilidad natural, forzando	Dimensionamiento Antropométrico: Ubicación de controles basada en	Asegura la operabilidad universal, permitiendo el uso eficiente desde una

posturas que causan fatiga.	las zonas de alcance cómodo definidas en la NTC 4201.	posición sedente o con movilidad reducida.
-----------------------------	---	--

Nota. Análisis de la relación entre deficiencias de usabilidad y la aplicación de parámetros ergonómicos para la autonomía del usuario.

Directrices Metodológicas para la Praxis del Diseño Inclusivo

Hacia un modelo de interacción universal y resiliente: Para que el Diseño Industrial cumpla efectivamente su función como herramienta de inclusión social, la metodología proyectual debe trascender los criterios puramente estéticos y fundamentarse en principios que garanticen la autonomía, seguridad y usabilidad para usuarios en situación de vulnerabilidad. En este sentido, el diseño inclusivo se configura como un enfoque sistemático que integra dimensiones cognitivas, sensoriales y físicas del usuario. A continuación, se presentan cuatro pilares metodológicos fundamentales que estructuran un modelo de interacción universal y resiliente.

Arquitectura de la Información Tangible (Secuenciación Lógica)

La arquitectura de la información, aplicada al objeto físico, cumple una función esencial en la experiencia de usuario: permitir que el funcionamiento del sistema se comprenda de manera casi inmediata, sin exigir al usuario procesos complejos de razonamiento o aprendizaje previo. Cuando la secuencia de uso es clara, lineal y predecible, se reduce de forma significativa la carga cognitiva y la dependencia de la memoria de trabajo, especialmente en usuarios con limitaciones cognitivas, sensoriales o asociadas al envejecimiento.

Un diseño bien estructurado permite que el usuario reconozca la lógica del objeto a partir de su configuración formal y funcional, interpretando intuitivamente qué hacer, en qué orden y con qué resultado esperado. La organización de las etapas de interacción identificación, acción y confirmación no solo facilita la comprensión del sistema, sino que aporta una sensación de control y seguridad durante el uso. De este modo, la ansiedad asociada a la interacción con sistemas tecnológicos se ve disminuida y la experiencia de uso se vuelve más eficiente, confiable y accesible

Redundancia Sensorial y Multimodalidad (Respuesta Sistémica)

De acuerdo con las normas técnicas colombianas NTC 4140 a 5351, ningún mensaje funcional o de seguridad debe depender de un único canal sensorial. Este principio reconoce que la percepción humana es diversa y que la accesibilidad efectiva solo se alcanza cuando la información se comunica de manera simultánea a través de múltiples estímulos, como el visual, el táctil y el auditivo.

La redundancia sensorial garantiza que, ante la limitación o ausencia de un sentido, otros canales puedan compensar la pérdida de información, manteniendo la continuidad comunicativa entre el usuario y el sistema. Desde esta perspectiva, el objeto debe ofrecer una retroalimentación coherente y consistente en todas sus modalidades de respuesta, evitando contradicciones o ambigüedades. La multimodalidad no solo mejora la accesibilidad, sino que fortalece la experiencia de usuario al hacerla más robusta, confiable y adaptable a distintos contextos y capacidades sensoriales.

Ergonomía de Proximidad y Antropometría Inclusiva

La accesibilidad comienza con la correcta disposición espacial de los elementos de control y de interacción. En concordancia con la norma NTC 4201, los componentes funcionales deben ubicarse dentro de las zonas de alcance cómodo y seguro del usuario, considerando tanto posiciones sedentes como contextos de movilidad reducida. Esta disposición no responde únicamente a criterios dimensionales, sino a la comprensión del cuerpo humano en movimiento y en reposo.

Un diseño antropométricamente inclusivo respeta los límites biomecánicos del cuerpo, reduce el esfuerzo físico requerido para la operación del objeto y previene la aparición de fatiga o lesiones asociadas al uso prolongado. Al ajustar el diseño a las capacidades reales del usuario,

el entorno construido deja de imponer barreras físicas y se transforma en un facilitador de la acción, promoviendo una interacción más fluida, segura y sostenible en el tiempo.

Semántica de la Interacción y Affordance

La semántica de la interacción se refiere a la capacidad del objeto para comunicar de manera clara y explícita su modo de uso. La forma, la textura, el contraste cromático y la disposición de los componentes no son decisiones estéticas aisladas, sino recursos comunicativos que deben orientar al usuario sobre las acciones posibles y los puntos de interacción relevantes. Cuando esta semántica es clara, se minimiza la dependencia de instrucciones externas y se fortalece la comprensión intuitiva del sistema.

En este contexto, el concepto de affordance resulta central, ya que permite que el usuario interprete las funciones del objeto a partir de sus características perceptibles. El diseño inclusivo prioriza la interacción instintiva, apoyándose en la memoria visual y táctil para facilitar una operación eficaz y segura. Así, la relación entre usuario y objeto se vuelve más natural, reduciendo errores, esfuerzo innecesario y barreras en la experiencia de uso.

Conclusiones

El diseño universal se fundamenta en un principio ético y operativo claro: no pretende adaptar a las personas a entornos predefinidos, sino concebir entornos capaces de responder a la diversidad humana en toda su amplitud. Frente a modelos normativos que privilegian cuerpos, capacidades y formas de interacción específicas, el diseño universal introduce un cambio de paradigma: desplaza el foco desde la limitación individual hacia la responsabilidad estructural del entorno.

En este sentido, el diseño inclusivo no consiste en desarrollar soluciones específicas para la discapacidad como categoría aislada, sino en reconocer la dignidad y diversidad de las personas como punto de partida del proceso de diseño. Esta perspectiva reconoce que la diversidad funcional no es una anomalía, sino una constante, y que los sistemas, productos y espacios verdaderamente inclusivos son aquellos que permiten la autonomía, la participación y la libertad de acción sin requerir adaptaciones posteriores ni concesiones excepcionales. Desde otra perspectiva, el diseño universal opera como un lenguaje común: una infraestructura silenciosa que garantiza que la libertad de ser y de actuar no sea un privilegio, sino un principio estructural del mundo construido.

En última instancia, y en respuesta a la interrogante central de esta investigación, se concluye que el diseño industrial contribuye al desarrollo de productos accesibles cuando logra transformar las normativas legales, como la Ley 361 de 1997, en soluciones concretas dentro de la vida cotidiana. Al integrar criterios de ergonomía física y cognitiva con datos antropométricos de poblaciones con diversidad funcional, la disciplina deja de proyectar para un supuesto estándar de usuario y comienza a responder a la diversidad real de las personas. De este modo, el diseño industrial no solo cumple una función técnica, sino también social, al facilitar condiciones

que favorecen la autonomía y la participación. En consecuencia, la inclusión digital efectiva dependerá de la capacidad del diseño industrial para transformar la dimensión material de los objetos en un medio que facilite la interacción autónoma y significativa con la tecnología.

Recomendaciones

A partir del desarrollo de esta investigación, se proponen las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer la integración de la accesibilidad en el diseño industrial:

En primer lugar, se sugiere incorporar criterios de accesibilidad, ergonomía y antropometría desde las etapas iniciales del proceso de diseño, evitando que estos aspectos sean considerados como ajustes posteriores. Diseñar desde la diversidad no solo mejora la funcionalidad de los productos, sino que previene la generación de barreras desde su concepción.

Asimismo, se recomienda fortalecer el enfoque de diseño centrado en el usuario mediante metodologías participativas que involucren activamente a personas con discapacidad. Esta interacción directa permite comprender necesidades reales y reducir la brecha entre las soluciones proyectadas y su uso en contextos cotidianos.

En el ámbito académico, resulta pertinente promover la inclusión del diseño accesible como eje transversal en los programas de formación en diseño industrial. La integración de estos contenidos contribuirá a formar profesionales con una visión más crítica, ética y comprometida con la diversidad.

Por otra parte, se sugiere fomentar el cumplimiento efectivo de normativas y estándares de accesibilidad en el desarrollo de productos, no solo como requisito legal, sino como criterio de calidad e innovación. La supervisión y aplicación real de estas normativas continúa siendo un desafío que requiere mayor atención.

Finalmente, se recomienda impulsar el desarrollo de productos accesibles mediante el uso de tecnologías emergentes, como la manufactura aditiva, que permiten generar soluciones personalizadas y adaptables a diferentes usuarios. Este enfoque no solo favorece la inclusión, sino que también abre nuevas oportunidades de innovación dentro del diseño industrial.

Referencias Bibliográficas

- Arruda Torres, P. M., y Silva Furtado, N. (2025). *Desarrollo de órtesis para mano impresas en 3D: los casos de un abductor del pulgar y un inmovilizador de dedo*. Cuadernos Del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación, 28(256), 181–194.
<https://doi.org/10.18682/cdc.vi256.12195>
- Correa, M. E., y Godinho, S. S. (2022). *Diseño para la inclusión a partir del uso de tecnología*. Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación, 25(152), 93–103.
- Dos Santos, V. B., Pazoti, M. A., da Silva, F. A., y Pereira, D. R. (2015). *Mouse ocular para pessoas com movimentos limitados causados por problemas cervicais e/ou cerebrais*. Colloquium Exactarum, 7(2), 89–101.
- Echeverri, Á. M., Cardona, A., y Sevilla, G. A. (2017). *Productos vestimentarios para niños con discapacidad cognitiva. Proyecto funcionalidades diversas*. Repositorio Institucional UPB. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/7560>
- García, N. (2018). *Diseño y evaluación ergonómica de interfaces físicas para la órtesis robótica de tobillo (T-FLEX) a través de la integración de superficies blandas* [Trabajo de grado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1637>
- Herrera, S., y Zambrano, J. (2016). *Accesibilidad y discapacidad física desde la visión ergonómica* [Tesis de pregrado, Universidad El Bosque]. Repositorio institucional.
<https://hdl.handle.net/20.500.12495/5783>
- Mogollón, D. S. (2023). *Dispositivo de fisioterapia para adultos mayores ACTIDMOD* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional.
<http://hdl.handle.net/10554/70309>

- Mora, A. A., Cortez, R. J., y Chiriguaya, C. D. (2024). *Estudio de ergonomía física y cognitiva en puestos de labor de docentes universitarios*. Más Vita, 6(3), 75–86.
<https://doi.org/10.47606/ACVEN/MV0241>
- Organización Mundial de la Salud, y Banco Mundial. (2011). *Informe mundial sobre la discapacidad*. Ediciones OMS. <https://iris.who.int/handle/10665/75356>
- Rivera, P. D. (2025). *Diseño accesible y diseño universal: Propuestas y estrategias para generar accesibilidad e inclusión en Puerto Rico* [Tesina de pregrado, Escuela de Artes Plásticas y Diseño de Puerto Rico]. Repositorio Institucional.
<https://hdl.handle.net/20.500.14100/385>
- Rosal López, G. A. (2011). *Elaboración de metodología basada en la ergonomía de producto y ecodiseño aplicada al mobiliario escolar. Validación metodológica del producto* [Tesis doctoral, Universidad de Oviedo]. Repositorio Digibuo.
<http://hdl.handle.net/10651/12775>
- Ruiz-Domínguez, G. A., Ochoa, A., de la Vega, E., y Villarreal, C. (2014). *La antropometría en el desarrollo de nuevos productos*. En XV Congreso Internacional de Ergonomía. Sociedad de Ergonomistas de México (SEMAC).
- U.S. Department of Justice. (1990). *Americans with Disabilities Act of 1990, Public Law 101-336. Civil Rights Division*. <https://www.ada.gov/law-and-regs/ada/>
- World Wide Web Consortium. (2018). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. W3C*.
<https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
- Zapata, N. Á. (2018). *Desarrollo de un sistema de carga de herramientas y puesto de trabajo para personas con discapacidad de miembros superiores*. Caso de estudio Embera Chamí [Trabajo de grado, Universidad Católica de Pereira]. Repositorio Institucional.

<https://repositorio.ucp.edu.co/entities/publication/420c865e-5fb8-4e1f-9134-ba8ef630a2fc>