

Product and Process Engineering Applied to the Development of a Vestibular-Sensory Chair for Intervention in Children with Autism Spectrum Disorder

Fátima Angelina Vallejo-Llanos¹ ; Monica Yadhira Rodriguez-Cordova¹ ; Xiomara Nicole Ñuñuvera-Julca¹ ; Norka Valerin Loyola Gonzales¹ ; Fabrizio Sebastián Dávila Cabanillas¹ ; Lucero Angie Bolaños-Briceño¹ ; Candy Vanessa Veneros-Castro, Dr¹ 

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00365220@upn.pe; N00383066@upn.pe; N00372816@upn.pe; N00361999@upn.pe; N0039408@upn.pe; N00229744@upn.pe; candy.veneros@upn.pe

Abstract– A vestibular-sensory chair for children with Autism Spectrum Disorder (ASD) was designed to support sensory regulation and emotional containment. The prototype features a cocoon-like structure, textured cushions, and hypoallergenic materials. Validation was conducted by experts in inclusive education and occupational therapy, focusing on safety, ergonomics, and therapeutic potential. Methodologies such as the Critical to Quality (CTQ) Tree, House of Quality (QFD), and Systematic Layout Planning (SLP) were applied in the design and production process. The project addresses the lack of accessible therapeutic furniture in public institutions and aligns with SDG 4 on inclusive education.

Keywords: sensory chair, autism, sensory integration, inclusive design, therapeutic furniture.

Ingeniería de Productos y Procesos Aplicada al Desarrollo de una Silla Vestibular-Sensorial para la intervención en niños con Trastorno del Espectro Autista

Resumen– Se diseñó una silla vestibular-sensorial para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA), incorporando estimulación vestibular activa, estructura tipo capullo, cojines texturizados y materiales hipoalergénicos. La validación fue realizada por especialistas en educación inclusiva y terapia ocupacional, quienes evaluaron su seguridad, ergonomía y potencial terapéutico. Se aplicaron metodologías como el Árbol Crítico de Calidad (CTQ), la Casa de la Calidad (QFD) y el método SLP para el diseño del proceso productivo. Esta propuesta busca atender la carencia de mobiliario terapéutico accesible en instituciones públicas, promoviendo la inclusión educativa y alineándose con el ODS 4.

Palabras clave: silla sensorial, autismo, integración sensorial, inclusión, diseño terapéutico.

I. INTRODUCCIÓN

El Trastorno del Espectro Autista se caracteriza por una amplia heterogeneidad en manifestaciones clínicas, donde la severidad del cuadro y el perfil cognitivo del niño determinan en gran medida la respuesta a las intervenciones terapéuticas. Estudios recientes señalan que más del 90% de la población con Trastorno del Espectro Autista presenta alteraciones en la integración sensorial, que se manifiestan como hipersensibilidad o hiposensibilidad a estímulos, afectando significativamente su aprendizaje, conducta y adaptación social [1].

Diversos estudios coinciden en que la estimulación sensorial, aplicada de forma estructurada y basada en evidencia, puede generar mejoras significativas en la autorregulación emocional y la comunicación funcional de los niños con Trastorno del Espectro Autista. Esto se debe a que la estimulación controlada permite reorganizar la manera en que el sistema nervioso procesa la información sensorial, reduciendo las respuestas de sobresaturación o desconexión frente a estímulos ambientales comunes. Así, la intervención sensorial no solo actúa sobre el comportamiento observable, sino también sobre los procesos neurobiológicos subyacentes. [2].

Desde la perspectiva económica y social, el desarrollo de soluciones sensoriales accesibles también representa una estrategia para reducir desigualdades. En contextos como el peruano, donde el acceso a servicios de salud y educación inclusiva está condicionado por el nivel socioeconómico, el diseño de bajo costo y alta eficacia terapéutica permite democratizar el acceso a intervenciones esenciales. Además, la producción local de mobiliario terapéutico puede dinamizar

economías regionales e impulsar la innovación tecnológica desde un enfoque socialmente responsable. [3].

La implementación de mobiliario sensorial debe estar acompañada de capacitación continua para docentes, cuidadores y personal terapéutico. La eficacia de estos dispositivos depende del uso adecuado, la comprensión de sus funciones y la integración coherente dentro de las rutinas estructuradas. [4].

En Trujillo, la limitada infraestructura y escasez de personal especializado en escuelas públicas dificultan la aplicación de estrategias sensoriales inclusivas. Menos del 10 % cuenta con equipamiento adecuado, lo que obliga a muchas familias a buscar terapias privadas y amplía la brecha de acceso a una educación inclusiva [3].

Ante esta situación, desde la ingeniería de productos con enfoque inclusivo y accesible, el diseño de mobiliario sensorial surge como una alternativa para mejorar la regulación sensorial, el bienestar y la inclusión educativa de niños con TEA mediante soluciones seguras y adaptables. [5].

II. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Diseñar una silla vestibular-sensorial ergonómica para niños con TEA que promueva la autorregulación emocional y la orientación espacial.

B. Objetivos Específicos

- Identificar las necesidades físicas, sensoriales y posturales de niños con TEA.
- Diseñar una estructura ergonómica, segura y funcional de la silla vestibular-sensorial.
- Evaluar la funcionalidad y aceptación de la silla mediante pruebas piloto en contextos terapéuticos y educativos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Enfoque Metodológico

La investigación adopta un enfoque aplicado orientado al desarrollo tecnológico de una silla vestibular-sensorial para niños con TEA, bajo el supuesto de que la estimulación sensorial controlada favorece la autorregulación emocional sin generar sobrecarga. Se utilizó un diseño no experimental, con validación mediante juicio de expertos y simulaciones de uso. Se establecieron criterios de evaluación como ergonomía ($\geq 8/10$), seguridad estructural (resistencia mínima de 50 kg) y

aceptación funcional, los cuales guiaron el diseño y validación del dispositivo.

B. Población o usuarios objetivo

El producto está dirigido a niños de 3 a 6 años diagnosticados con Trastorno del Espectro Autista, pertenecientes al Colegio de Educación Básica Especial (CEBE) “Tulio Herrera León” de la ciudad de Trujillo. La población total del colegio está conformada por 50 niños. Para la muestra, se trabajará únicamente con el nivel inicial, que asciende a 15 niños. Las validaciones fueron realizadas con especialistas de dicha institución, así como con expertos en educación inclusiva, psicología infantil y terapia ocupacional.

C. Herramientas tecnológicas utilizadas

Tabla 1.

Herramientas tecnológicas y materiales aplicados para el diseño de la silla sensorial

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Hardware y materiales	-Estructura metálica tapizada, resistente y confortable. -Cojines sensoriales desmontables con diversas texturas. -Correas ajustables con fundas protectoras de seguridad. -Bandeja ergonómica desmontable para actividades sensoriales. -Caja organizadora para materiales didácticos y sensoriales. -Diseño estructural 2D elaborado en AutoCAD.
Software (validación y difusión)	- Instrumentos de evaluación diseñados en Microsoft Excel y OneDrive. - Cuestionarios impresos validados por expertos, utilizando escalas cualitativas de aceptación funcional. - Registro y organización de resultados en plataformas digitales para análisis posterior.

A. Arquitectura del sistema

No aplica arquitectura cliente-servidor o digital; sin embargo, se contempla una estructura modular física dividida en:

- Módulo de estimulación vestibular (balanceo y movimiento rítmico).
- Módulo de estimulación táctil (cojines y bandejas sensoriales).
- Módulo de contención emocional (estructura tipo capullo).

B. Implementación del sistema

El desarrollo del proyecto se realizó en fases:

- Diseño inicial: bocetado manual y digital.
- Consulta con expertos: retroalimentación clínica y educativa.
- Mejoras y prototipado: incorporación de bandejas, texturas, y correas de sujeción.

C. Formación del equipo

Se realizaron validaciones mediante observación directa, entrevistas y revisión de prototipos por especialistas como licenciadas, psicólogo e ingenieros. Los criterios evaluados incluyeron:

- Ergonomía (evaluación promedio $\geq 8/10$). Seguridad estructural (resistencia mínima: 50 kg).
- Impacto terapéutico (reducción de ansiedad sensorial $\geq 80\%$, según validación referencial).
- Facilidad de limpieza y portabilidad

D. Aspectos éticos y legales

La validación se realizó sin intervención directa con niños, enfocándose en la consulta a expertos. Se garantizó el uso de materiales seguros y el cumplimiento de criterios diseño inclusivo, en concordancia con el ODS 4 de la ONU sobre educación inclusiva y de calidad.

IV. METODOLOGÍA

El proceso metodológico se estructuró en nueve etapas secuenciales, desarrolladas desde el análisis de la problemática hasta la validación final del prototipo. Cada fase incorporó decisiones técnicas, funcionales y conceptuales orientadas a garantizar seguridad, pertinencia terapéutica, viabilidad productiva e inclusión del usuario final.

Tabla 2.

Etapas del proceso metodológico para el Desarrollo del producto

ETAPAS	ACTIVIDADES
ETAPA 1: ANALISIS DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1.1. Revisión de literatura sobre TEA y sistemas sensoriales. 1.2. Identificación de barreras educativas, económicas y normativas. 1.3. Análisis de políticas públicas y contexto local (Trujillo).
ETAPA 2: DETECCIÓN DE NECESIDADES Y PROPUESTA DE VALOR	2.1. Análisis de los 3C's (cliente, competencia, capacidades). 2.2. Segmentación del mercado objetivo. 2.3. Determinación de población con TEA. 2.4. Declaración de misión y propuesta de valor.
ETAPA 3: GENERACIÓN Y FILTRADO DE IDEAS	3.1. Creación de 15 ideas innovadoras. 3.2. Etiquetado “Label It” y priorización de ideas. 3.3. Evaluación con Técnica de los Ocho Factores.
ETAPA 4: DESARROLLO Y FILTRADO DE CONCEPTOS	4.1. Definición de conceptos de producto. 4.2. Evaluación de criterios técnicos y terapéuticos. 4.3. Selección del concepto principal: silla tipo capullo multisensorial.
ETAPA 5: DISEÑO DETALLADO DEL PRODUCTO	5.1. Desarrollo de bocetos iniciales y finales. 5.2. Validación con expertos. 5.3. Determinación de materiales y

	componentes sensoriales. 5.4. Diseño de la bandeja desmontable y accesorios. 5.5. Redacción del árbol crítico de calidad (CTQ).
ETAPA 6: PROTOTIPADO Y VALIDACIÓN	6.1. Fabricación del prototipo final. 6.2. Pruebas de ergonomía y resistencia. 6.3. Validación terapéutica con usuarios y expertos.
ETAPA 7: DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO Y SLP	7.1. Descripción del proceso productivo 7.2. Diagramas de flujo y diagrama de operaciones. 7.3. Caracterización detallada de subprocesos. 7.4. Aplicación del método SLP: definición de las áreas del proceso 7.5. Parámetros de control y de calidad. 7.6 Análisis técnico – económico
ETAPA 8: DISEÑO PARA EL AMBIENTE Y EMBALAJE	8.1. Análisis del ciclo de vida del producto. 8.2. Estrategias de sostenibilidad y reducción de residuos. 8.3. Diseño del embalaje ecológico y etiquetas biodegradables.
ETAPA 9: GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN Y DIFUSIÓN	9.1. Aplicación del Modelo de Difusión de Rogers. 9.2. Creación de personalidad de marca (SensiKids). 9.3 Estrategias de marketing y sensibilización. 9.4. Plan de escalabilidad y sostenibilidad.

La Tabla 2, El proceso de diseño se desarrolló de manera sistemática mediante decisiones técnicas y conceptuales orientadas por criterios de funcionalidad terapéutica, ergonomía, seguridad, viabilidad productiva e inclusión, permitiendo que cada etapa del proyecto responda a necesidades reales del usuario y a principios de ingeniería aplicada.

ETAPA 1: ANÁLISIS DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

1.1 REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE TEA Y SISTEMAS SENSORIALES.

Los niños con TEA presentan dificultades en su equilibrio y autorregulación sensorial. Las sillas vestibulares ayudan a mejorar su concentración y comportamiento en el aula.

1.2. IDENTIFICACIÓN DE BARRERAS EDUCATIVAS, ECONÓMICAS Y NORMATIVAS.

Existen obstáculos económicos, falta de capacitación docente y escasa implementación de mobiliario sensorial, lo que limita la inclusión en las escuelas públicas.

1.3. ANÁLISIS DE POLÍTICAS PÚBLICAS Y CONTEXTO LOCAL (TRUJILLO).

Menos del 10% de instituciones públicas en Trujillo tienen infraestructura o profesionales adecuados para atender a niños con TEA. Las familias deben recurrir a terapias privadas, lo que aumenta la desigualdad.

ETAPA 2: DETECCIÓN DE NECESIDADES Y PROPUESTA DE VALOR

2.1. ANÁLISIS DE LOS 3C'S (CLIENTE, COMPETENCIA, CAPACIDADES.

El cliente son los padres y especialistas en TEA. La competencia son marcas extranjeras. El equipo cuenta con profesionales capacitados y un diseño funcional.

2.2. SEGMENTACIÓN DEL MERCADO OBJETIVO.

Niños de 3 a 6 años con TEA, principalmente en zonas urbanas como Trujillo. Padres, docentes y terapeutas ocupacionales son los principales compradores.

2.3. DETERMINACIÓN DE POBLACIÓN CON TEA.

En La Libertad, hay cerca de 16,873 niños con TEA. Se calculó una muestra representativa de 376 niños para validar la necesidad del producto.

2.4. DECLARACIÓN DE MISIÓN Y PROPUESTA DE VALOR.

La misión es mejorar la calidad de vida de niños con TEA. La silla sensorial busca reducir ansiedad, mejorar la atención y apoyar la inclusión educativa.

ETAPA 3: GENERACIÓN Y FILTRADO DE IDEAS

3.1 CREACIÓN DE 15 IDEAS INNOVADORAS.

1. Juguetes interactivos con inteligencia artificial
2. Juegos de realidad aumentada
3. Robots sociales para interacción emocional
4. Juguetes con sensores táctiles
5. Juegos de imitación con animales de peluche
6. Plataformas de retroalimentación para padres y terapeutas
7. Juguetes configurables para inteligencia espacial
8. Juguetes con texturas variables
9. Juguetes con luces y sonidos programables
10. Juegos de memoria adaptativos
11. Juguetes para el desarrollo motor
12. Plataformas de juego colaborativo
13. Asiento vestibular-sensorial para niños con TEA
14. Juguetes que simulan emociones
15. Guantes de estimulación táctil

3.2 ETIQUETADO "LABEL IT" Y PRIORIZACIÓN DE IDEAS.

Se aplicó la técnica "Label It" con las siguientes categorías:

- Excelente (es casi seguro que tenga éxito)
- Probable (necesita un futuro perfilamiento)
- Oportunidad posible (necesita mejora)
- 50/50 (podría ir de cualquier manera)
- Apuesta arriesgada (remota posibilidad de éxito)

Resultados del etiquetado:

Tabla 3.

Priorización de ideas mediante la técnica "Label It"

IDEA	ETIQUETA
Juguetes interactivos con inteligencia artificial	50/50
Juegos de realidad aumentada	Apuesta arriesgada
Robots sociales	50/50
Juguetes con sensores táctiles	Oportunidad posible
Juegos de imitación con animales de peluche	Excelente
Plataformas de retroalimentación	Apuesta arriesgada
Juguetes configurables para inteligencia espacial	Apuesta arriesgada
Juguetes con texturas variables	Excelente
Juguetes con luces y sonidos programables	Excelente
Juegos de memoria adaptativos	Excelente
Juguetes para el desarrollo motor	Oportunidad posible
Plataformas de juego colaborativo	Probable
Asiento vestibular-sensorial para niños con TEA	Excelente
Juguetes que simulan emociones	50/50
Guantes de estimulación táctil	Oportunidad posible

Interpretación:

- Las 5 ideas "Excelente" son candidatas inmediatas para prototipado:
 - Asiento vestibular-sensorial
 - Juegos de imitación
 - Juguetes con luces, sonidos y texturas
 - Juegos de memoria
- Las de "Probable" y "Oportunidad posible" deben ser validadas en estudios piloto.
- Las de "Apuesta arriesgada" y "50/50" tienen riesgo alto pero potencial innovador disruptivo.

3.3 EVALUACIÓN CON TÉCNICA DE LOS OCHO FACTORES.

Se aplicó esta técnica con una matriz de evaluación que pondera 8 criterios:

- Valor terapéutico
- Nivel de innovación
- Grado de desarrollo técnico requerido
- Viabilidad económica
- Escalabilidad
- Aceptación del usuario
- Impacto social
- Compatibilidad con el mercado actual

Tabla 4

Evaluación comparativa con la técnica de los Ocho Factores

IDEA	PUNTAJE /100
ASIENTO VESTIBULAR-SENSORIAL	100
JUGUETES CON TEXTURAS VARIABLES	90
JUEGOS DE IMITACIÓN CON PELUCHES	80
JUEGOS DE MEMORIA ADAPTATIVOS	78
JUGUETES PROGRAMABLES (LUCES Y SONIDOS)	68

Conclusión de la técnica de los ocho factores:

El asiento vestibular-sensorial destaca la selección del concepto priorizado respondió a una evaluación sistemática basada en criterios técnicos, terapéuticos, económicos y de impacto social, orientando objetivamente la toma de decisiones del diseño.

ETAPA 4: DESARROLLO Y FILTRADO DE CONCEPTOS

4.1 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS DE PRODUCTO.

En esta etapa se definieron cinco conceptos preliminares para el producto, todos centrados en estimular el sistema vestibular y sensorial de niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA), pero con enfoques variados según tipo de estimulación y estructura:

Tabla 5.

Conceptos preliminares de diseño para la silla vestibular-sensorial

CÓDIGO	CONCEPTO DE PRODUCTO
A	Silla giratoria con contención sensorial y motriz: Proporciona movimiento circular controlado para estimular el equilibrio, con respaldo acolchado envolvente.
B	Asiento tipo capullo con estimulación vestibular: Estructura envolvente que genera un efecto de contención emocional, diseñada para orientación espacial.
C	Cojín de aire sensorial con presión profunda: Dispositivo portátil que genera presión distribuida para reducir ansiedad y mejorar foco.
D	Silla con respaldo envolvente y peso integrado: Combina ergonomía con peso adicional para generar una experiencia calmante multisensorial.
E	Asiento texturizado con balanceo ligero: Incluye superficie texturizada y base móvil para estimulación propioceptiva y vestibular.

4.2 EVALUACIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS Y TERAPÉUTICOS.

Para seleccionar el mejor concepto, se aplicaron criterios técnicos y terapéuticos relevantes, comparando los conceptos frente a una referencia de mobiliario multisensorial existente en el mercado (ej. silla TOBE).

Tabla 6.

Evaluación técnica y terapéutica de los conceptos propuestos

Criterio Evaluado	A	B	C	D	E
Estimula el sistema vestibular	+	+	–	+	+
Proporciona seguridad al niño	+	0	–	+	0
Estimulación propioceptiva	0	+	+	+	+
Diseño atractivo para el niño	+	+	–	+	+
Facilidad de transporte	–	0	+	0	+
Estimulación multisensorial	0	–	–	+	+
Apoyo emocional/calmante	–	+	0	+	+
Contribuye al enfoque y atención	+	0	+	+	+
Total "+"	4	4	3	7	7
Total "0"	2	3	4	1	1
Total "–"	2	1	1	0	0
Evaluación Neta (+ menos –)	2	3	2	7	7

Interpretación:

Los conceptos D y E alcanzaron la mayor puntuación neta, evidenciando alto potencial terapéutico y adecuada aceptación técnica. No obstante, el concepto B (silla tipo capullo) destacó por su aporte en seguridad emocional, estimulación vestibular y diseño atractivo. Asimismo, la retroalimentación clínica señaló

que la forma envolvente tipo capullo favorece la autorregulación sensorial sin requerir movimiento continuo, reduciendo la sobreestimulación y el desgaste del sistema.

4.3 SELECCIÓN DEL CONCEPTO PRINCIPAL: SILLA TIPO CAPULLO MULTISENSORIAL.

La elección del concepto final integró análisis comparativo y decisiones conceptuales centradas en seguridad emocional, funcionalidad terapéutica y viabilidad de implementación. Tras el análisis comparativo, aunque el análisis numérico favorecía a D y E, se seleccionó el Concepto B: Silla tipo capullo multisensorial como el más adecuado para continuar con el diseño detallado y prototipado.

Justificación de selección:

- Envolve emocional: Proporciona una sensación de contención tipo “nido” o “espacio seguro” altamente valorada por terapeutas y padres.
- Estimulación vestibular directa: Permite controlar el balanceo, favoreciendo la regulación del equilibrio y la postura.
- Personalización sensorial: Se pueden añadir cojines con texturas, bandejas desmontables, luces suaves o sonidos relajantes.
- Alta aceptación por especialistas: Validada por expertos y terapeutas ocupacionales del CEBE “Tulio Herrera León”.

ETAPA 5: DISEÑO DETALLADO DEL PRODUCTO

5.1 DESARROLLO DE BOCETOS INICIALES Y FINALES

El proceso inició con bocetos propuestos por la alumna Fátima Vallejo, los cuales mostraban un diseño envolvente tipo capullo, pensado para brindar contención emocional. Inicialmente se propuso una estructura de madera, esta decisión técnica respondió a criterios de resistencia estructural, adaptabilidad ergonómica y seguridad funcional, pero tras evaluaciones técnicas se descartó por su limitada curvatura y menor resistencia. Se optó por una estructura metálica tubular, robusta y duradera, recubierta con tapizado acolchado que mejora la ergonomía y seguridad. El diseño final incluye además una mesa desmontable, correas ajustables tipo mochila y componentes sensoriales estratégicos.



Fig. 1,

Prototipo de la silla vestibular-sensorial tipo capullo

5.2. VALIDACIÓN CON EXPERTOS

La validación del diseño fue realizada mediante reuniones con especialistas en psicología infantil, terapia ocupacional y educación inclusiva. Entre ellos, la docente Leydi Karen Soriano Ayay brindó aportes esenciales para mejorar la

seguridad, seleccionar materiales adecuados y reforzar la utilidad sensorial del producto. Se sugirió eliminar superficies rígidas como melamina, usar telas suaves y seguras, incorporar texturas estimulantes y garantizar estabilidad. Estas observaciones permitieron perfeccionar el diseño antes de su ejecución.

5.3. DETERMINACIÓN DE MATERIALES Y COMPONENTES SENSORIALES

Se eligió estructura metálica tubular por su resistencia y recubrimiento con telas hipoalergénicas. Los cojines sensoriales incluyen texturas como felpa, lentejuelas y napa. Todo es desmontable y lavable.

5.4. DISEÑO DE LA BANDEJA DESMONTABLE Y ACCESORIOS

La bandeja se diseñó cóncava para contener materiales como arroz, plastilina o pompones. Es desmontable, segura y útil para actividades sensoriales y motrices dentro del aula.

5.5 REDACCIÓN DEL ÁRBOL CRÍTICO DE LA CALIDAD (CTQ)

Se elaboró un Árbol Crítico de Calidad para asegurar que el diseño cumpla requisitos clave de seguridad, ergonomía y aceptación clínica, priorizando resistencia estructural, materiales seguros y facilidad de uso como criterios centrales en la toma de decisiones de diseño.

Tabla 7.

Árbol critico de calidad para el diseño de la silla sensorial

NECESIDAD DEL CLIENTE	CONDUCTO R DE CALIDAD	CTQS (MÉTRICAS DE CALIDAD)
Seguridad durante el uso	Movimiento controlado	Movimiento rítmico sin interrupciones (evaluación por terapeuta >= 8/10)
Seguridad durante el uso	Estabilidad y estructura Reforzada	Soporta mínimo 50 kg sin volcadura o rotura (prueba de resistencia superada al 100%)
Comodidad ergonómica	Diseño ergonómico	Evaluación de comodidad >= 8/10 por usuarios (padres y terapeutas)
Materiales no tóxicos y suaves al tacto	Selección de materiales Adecuados	Certificación hipoalergénica y libre de BPA (según norma ISO)
Durabilidad y resistencia al uso intensivo	Calidad de los componentes	Garantía de uso por 1 año mínimo sin fallas estructurales
Estímulo vestibular efectivo	Incorporación de base móvil o columpio	Validado por profesional de terapia ocupacional (evaluación por impacto terapéutico >=8/10 por cuidadores)
Facilidad de limpieza y mantenimiento	Superficie lavable y modular	Superficie antibacteriana y fácil desmontaje (evaluación >= 7/10 por cuidadores)

ETAPA 6: PROTOTIPADO Y VALIDACIÓN

6.1. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO FINAL

Se construyó una silla tipo capullo con estructura metálica, tapizado hipoalergénico y componentes sensoriales intercambiables, priorizando ergonomía, seguridad infantil y materiales resistentes y lavables.

6.2. PRUEBAS DE ERGONOMÍA Y RESISTENCIA

Se realizaron pruebas funcionales de estabilidad, confort y resistencia estructural mediante evaluación técnica y observación especializada, verificando soporte seguro de hasta 50 kg, postura adecuada, comodidad durante el uso y respuesta frente a la estimulación sensorial. Los resultados evidenciaron alta aceptación en criterios de seguridad, ergonomía y funcionalidad terapéutica.

6.3. VALIDACIÓN TERAPÉUTICA CON USUARIOS Y EXPERTOS

La validación realizada en el CEBE ‘Tulio Herrera León’ incluyó observación guiada y evaluación por especialistas, considerando criterios de ergonomía, seguridad, funcionalidad y estimulación sensorial. Se analizaron aspectos como comodidad, adaptación postural y potencial de autorregulación, fortaleciendo la pertinencia terapéutica y educativa del dispositivo.

ETAPA 7: DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO Y SLP

7.1. DESCRIPCIÓN COMPLETA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Tabla 8.

Proceso de Producción

1	Diseño y conceptualización	• Producto ergonómico, terapéutico y sensorial para niños con TEA. • Consulta con psicólogos, docentes y terapeutas • Diseño tipo “capullo” que brinde contención emocional. • Inclusión de bandejas desmontables, cojines sensoriales y sistema de sujeción. • Desarrollo de bocetos y validación con especialistas.
2	Selección de materiales	• Estructura: Metálica fija, tapizado acolchado. • Cojines: Felpa, fieltro, napa, lentejuelas reversibles, lavables. • Correas: Tipo mochila, acolchadas y ajustables. • Mesa: Plástico resistente o madera ligera, cóncava. • Tapizado: Telas hipoalergénicas, libres BPA. • Embalaje: Ecológico, cartón reciclado.
3	Fabricación de la estructura	• Corte CNC de tubos metálicos • Soldadura tipo capullo y verificación de resistencia (≥ 50 kg). • Pintura electrostática no tóxica. • Tapizado ergonómico con acolchado sensorial.
4	Confección de componentes sensoriales	• Cojines: Doble costura, texturas suaves, desmontables. • Correas: Relleno suave, no irritan, ajustable. • Bandeja: Cóncava, desmontable, para actividades sensoriales.
		• Integración de estructuras, cojines, correas y

5	Ensamblaje	- bandeja. • Verificación de estabilidad, confort y balanceo. • Pruebas de montaje/desmontaje.
6	Control de calidad (CTQ)	• Movimiento controlado evaluado por terapeutas ($\geq 8/10$). • Soporte ≥ 50 kg sin riesgo de volcadura. • Evaluación ergonómica por padres y docentes. • Uso de materiales certificados e hipoalergénicos. • Textiles seguros y lavables. • Cumplimiento de normas de seguridad infantil.
7	Embalaje y distribución	• Embalaje ecológico y etiquetas biodegradables. • Instrucciones de uso y guía para padres/docentes. • Distribución a escuelas, hogares o centros terapéuticos con logística sostenible.

La Tabla 8 detalla el proceso de producción de la silla, desde el diseño conceptual hasta su distribución. Cada etapa contempla criterios técnicos, materiales seguros, fabricación estructural y control de calidad, destacando la validación de la ergonomía, funcionalidad terapéutica y sostenibilidad, con un enfoque integral de desarrollo. Cada fase productiva fue estructurada para mantener coherencia entre diseño conceptual, funcionalidad terapéutica y eficiencia técnica.

7.2. DIAGRAMA DE FLUJO Y DIAGRAMA DE OPERACIONES

A. Diagrama de flujo



Fig. 2,
Diagrama de flujo

La Ilustración 2 muestra el flujo general del proceso productivo, desde el diseño hasta el control de calidad. Permite visualizar la secuencia de actividades y sus conexiones, destacando puntos críticos como el ensamblaje y la validación estructural.

B. Diagrama de operaciones (DOP)

El DOP emplea simbología estandarizada para representar el flujo del proceso, donde el círculo indica operaciones de transformación o valor agregado y el cuadrado

corresponde a inspecciones de control de calidad en etapas claves del producto.



Fig. 3,
Diagrama de Operaciones (DOP)

En la Ilustración 3 se presenta el DOP, que detalla las operaciones manuales y automáticas en el proceso de producción. Permite visualizar cuántas actividades implican intervención humana y cuáles requieren equipos o herramientas, optimizando tiempos y recursos.

7.3. CARACTERIZACIÓN DETALLADA DE SUBPROCESOS.
La tabla resume los subprocesos clave del diseño, fabricación y ensamblaje, incorporando controles técnicos y validación especializada, con énfasis en la seguridad infantil y el cumplimiento de la norma ISO 7175.

Tabla 9.
Caracterización de Subprocesos

Etapas	Objetivo y actividades clave	Entradas / Salidas	Responsables / Controles
Fabricación de la estructura (3h 30m)	Diseñar estructura estable y ergonómica: moldeado tipo cápsula, corte y ensamblaje, pulido	Entradas: planos, metal, herramientas de corte/ Salidas: estructura base	Técnicos carpintería, supervisor diseño / Verificación dimensiones y estabilidad, ISO 7175
Ensamblaje de la silla (2h)	Unir componentes y garantizar funcionalidad: montaje de la estructura.	Entradas: partes prefabricadas, cojines / Salidas: silla ensamblada	Técnicos ensambladores / Fijación, alineación, seguridad infantil
Integración de arnés (1h 30m)	Instalar sistema de sujeción cómodo y seguro: ajuste y evaluación	Entradas: correas, hebillas / Salidas: arnés funcional	Seguridad infantil / Pruebas de resistencia y ergonomía, certificación hipoalérgica

Calibración terapéutica (1h)	Ajustar la silla según necesidades del niño: evaluación respuesta, ajuste balanceo/texturas, registro perfil	Entradas: silla ensamblada, ficha niño / Salidas: silla personalizada	Terapeuta ocupacional, técnico calibración / Evaluación $\geq 8/10$, validación clínica
------------------------------	--	---	--

7.4. APLICACIÓN DEL MÉTODO SLP: DEFINICIÓN DE ÁREAS DE CORTE, ENSAMBLAJE, TAPIZADO, EMBALAJE

La distribución de áreas de trabajo según el método SLP (Systematic Layout Planning). Se definen zonas funcionales como corte, ensamblaje, tapizado y embalaje. Esta planificación espacial permite una mejor organización del taller, reduciendo tiempos de desplazamiento y aumentando la eficiencia.



Fig. 4,
Tabla Relacional

La tabla muestra los símbolos de las actividades del proceso productivo y la matriz de proximidad, que indica la cercanía entre ellas mediante códigos como “A” (absolutamente necesario).

Tabla Relacional

La tabla relacional muestra cómo cada actividad se relaciona espacialmente con las demás, usando los códigos de proximidad (A, E, I, etc.) y el motivo correspondiente (como flujo, control, supervisión o almacenamiento).

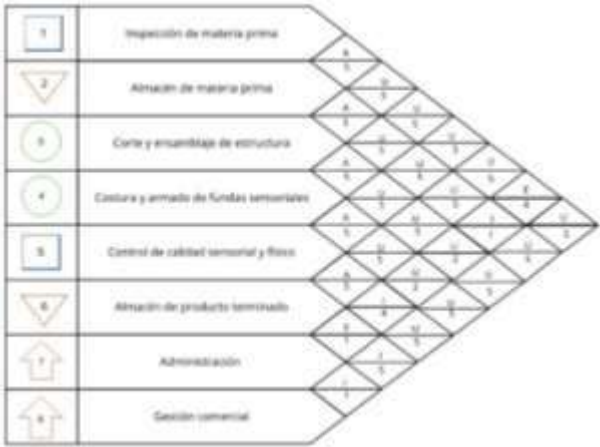


Fig. 5.
Tabla Relacional

- La actividad 1 (inspección de materia prima) tiene una relación A-S con la actividad 2 (almacén), lo que indica que deben estar obligatoriamente juntas por razones de almacenamiento eficiente

Distribución en Planta

La Figura 7 presenta una disposición preliminar de las áreas principales de la planta, considerando proximidad y espacio, incluyendo almacenes, corte y ensamblaje, costura, control de calidad y gestión comercial, sirviendo como base para el diseño detallado.



Fig.6,

Distribución en Planta

La producción de la silla sensorial-vestibular sigue un flujo lógico y secuencial de ocho etapas, iniciando con la inspección de la materia prima hasta llegar a la gestión comercial. Esta secuencia garantiza la trazabilidad, el control de calidad y la eficiencia del proceso.

7.5. PARÁMETROS DE CONTROL Y NORMAS DE CALIDAD

La Tabla 10 muestra los parámetros de calidad de la silla, enfocados en funcionalidad, seguridad y bienestar del niño con TEA, integrando criterios técnicos y terapéuticos

Tabla 10,
Parámetros de Calidad

Seguridad estructural	La estructura debe soportar al menos 50 kg sin riesgo de volcadura, validado mediante pruebas de resistencia.
Ergonomía	La evaluación por expertos debe ser con una puntuación mínima de 8/10 en comodidad y postura adecuada.
Materiales certificados	Se debe usar exclusivamente componentes hipoalergénicos, no tóxicos y libres de BPA, cumpliendo normas ISO.
Eficacia terapéutica	Debe tener validación funcional de terapeutas ocupacionales, donde se exige una reducción mínima del 80% en la ansiedad sensorial.
Calidad sensorial	Incorporación de texturas estimulantes (felpa, lentejuelas, napa) desmontables y lavables.
Facilidad de mantenimiento	Las superficies deben ser antibacterianas, desmontables y de fácil limpieza, con evaluación superior a 7/10 por cuidadores.
Normas técnica	Se tiene que cumplir ISO 7175 sobre ergonomía

aplicadas y seguridad infantil.

7.6. ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO

El proceso productivo de la silla vestibular-sensorial (corte, ensamblaje, tapizado y acabado, con metodología SLP) tiene complejidad baja a moderada, permite herramientas convencionales y mano de obra básica. Los materiales (madera, soportes, recubrimientos) buscan resistencia, seguridad y fácil mantenimiento; la distribución de planta optimiza el flujo y reduce tiempos muertos. Económicamente, se estimó el costo unitario considerando materia prima, mano de obra directa e indirectos.

Tabla 11,

Costos

Concepto	Costo (S/)
Materiales estructurales	S/ 120.00
Materiales de tapizado y acolchado	S/ 80.00
Accesorios y componentes adicionales	S/ 50.00
Mano de obra directa	S/ 100.00
Costos indirectos	S/ 30.00
Costo total estimado por unidad	S/ 380.00

El tapizado y ensamblaje son las etapas más costosas por materiales específicos y mano de obra, pero la simplicidad del proceso e insumos accesibles mantienen un costo competitivo. Frente a dispositivos importados similares, esta silla ofrece una clara ventaja económica, facilitando su adopción en escuelas, centros terapéuticos y hogares. En conjunto, es viable técnico-económicamente para contextos con recursos limitados, mejorando el acceso a herramientas para niños con TEA.

ETAPA 8: DISEÑO PARA EL AMBIENTE Y EMBALAJE

8.1. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

Se evaluaron las etapas de producción, uso y disposición final con criterios de sostenibilidad, reduciendo emisiones en soldadura, empleando pinturas no tóxicas, optimizando materiales para minimizar residuos y contemplando la recuperación de componentes al final de su vida útil.

8.2. ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD:

Se emplearon materiales reciclables y se optimizaron los procesos, promoviendo el reaprovechamiento, la reparación modular y la reutilización en instituciones terapéuticas.

8.3. DISEÑO DEL EMBALAJE ECOLÓGICO Y ETIQUETAS

BIODEGRADABLES

Se diseñó un empaque con cartón reciclado, etiquetas biodegradables y formatos compactos para reducir la huella de carbono. Incluye guía impresa en papel reciclado y QR con manual digital.

ETAPA 9: GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN Y DIFUSIÓN

9.1. APLICACIÓN DEL MODELO DE DIFUSIÓN DE ROGERS

Se aplicó el modelo de adopción de innovaciones de Rogers para evaluar el potencial de la silla en contextos educativos y terapéuticos. Aunque aún es un prototipo, su diseño favorece la adopción al apoyar la autorregulación y atención de niños con TEA, ser compatible con enfoques

inclusivos, fácil de usar y viable para pruebas piloto que generen evidencia para su implementación futura

Tabla 11.

Segmentación de usuarios según el modelo de difusión de innovadores de Rogers

Grupo	%	Usuarios (de 383)	Perfil resumido
Innovadores	2.5 %	10	Terapeutas y familias pioneras en soluciones sensoriales
Primeros adoptantes	13.5 %	52	Padres, docentes y especialistas proactivos
Mayoría temprana	34 %	130	Escuelas inclusivas y programas con respaldo técnico
Mayoría tardía	34 %	130	Instituciones conservadoras que adoptan por necesidad
Rezagados	16 %	61	Usuarios escépticos o con limitaciones de acceso

El producto debe dirigirse primero a innovadores y adoptantes tempranos, que están más dispuestos a probar nuevas soluciones.

9.2. CREACIÓN DE PERSONALIDAD DE MARCA (SENSIKIDS)
SensiKids es una marca cercana y confiable que apoya terapéuticamente a niños con autismo. Su identidad transmite empatía y seguridad, basada en calidad terapéutica, accesibilidad sensorial y conexión en entornos inclusivos.

9.3. ESTRATEGIA DE MARKETING Y SENSIBILIZACIÓN
Su estrategia combina innovación social y educación inclusiva mediante pruebas piloto, campañas con testimonios, alianzas institucionales como el CEBE “Tulio Herrera León, material educativo y respaldo de especialistas.

9.4. PLAN DE ESCALABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD
SensiKids busca crecer mediante producción modular y diseño adaptable desde Trujillo, promoviendo sostenibilidad ambiental con materiales reciclables y embalajes ecológicos, y sostenibilidad social mediante precios accesibles, formación comunitaria y alineación con el ODS 4.

V. RESULTADOS

El análisis comparativo entre la silla vestibular-sensorial desarrollada y dos modelos patentados (US20210001078A1 y US20250024947A1) permitió identificar diferencias clave que respaldan la pertinencia del diseño propuesto:

- Estimulación vestibular activa: a diferencia de las patentes que priorizan presión profunda pasiva, la silla incorpora un módulo de balanceo rítmico, esencial para la modulación sensorial en niños con TEA (Schoen et al., 2022).
- Contención emocional y seguridad: la estructura tipo capullo proporciona un entorno protector que reduce la ansiedad, en línea con las recomendaciones de la UNESCO (2017) para entornos inclusivos.
- Enfoque inclusivo y alineado con los ODS: el diseño cumple principios de accesibilidad y adaptación sensorial, contribuyendo a una educación inclusiva según el ODS 4 (Naciones Unidas, 2023).

- Versatilidad y personalización sensorial: incorpora cojines desmontables con diversas texturas, ofreciendo estimulación táctil personalizada frente a soluciones convencionales.

Tabla 12.

Comparativa con otras patentes

Característica	Silla del estudio	Patente US20210001078A1	Patente US20250024947A1
Estimulación vestibular activa	✓ (módulo de balanceo)	✗	✗
Cojines desmontables con texturas	✓	✗	✓ (limitado)
Estructura tipo capullo (contención)	✓	✗	✗
Ajuste postural personalizado	✓ (amés + forma)	✓	✓
Estímulo multisensorial	✓ (vestibular, táctil, propioceptivo)	✗	✗
Validación en contexto real	✓ (aulas, terapias)	✗	✗
Producción local y sostenible	✓ (materiales ecológicos)	✗	✗

VI. DISCUSIÓN

Desde un enfoque de ingeniería de productos aplicada a la inclusión y accesibilidad, la validación funcional de la silla vestibular-sensorial desarrollada evidenció su potencial como recurso terapéutico y educativo para niños con TEA, destacando su capacidad para reducir la ansiedad sensorial, mejorar el enfoque atencional y facilitar la aceptación del mobiliario. En comparación con las patentes estadounidenses US20210001078A1 y US20250024947A1, el presente diseño incorpora estimulación vestibular activa, estructura tipo capullo y elementos táctiles personalizables, ofreciendo un enfoque funcional, clínico y socialmente más integral. Esta característica resulta relevante, ya que diversos estudios señalan que la estimulación vestibular controlada favorece la autorregulación, mejora la atención y reduce conductas disruptivas en niños con TEA (Schoen et al., 2022)

A diferencia de la primera patente, que se basa en presión pasiva sin estimulación vestibular, y de la segunda, centrada en ajustes ergonómicos sin experiencias sensoriales activas, esta silla propone una estimulación multimodal alineada con la integración sensorial según Ayres y con los lineamientos de la UNESCO y el ODS 4. Asimismo, los resultados muestran que la estructura tipo capullo y los cojines desmontables con distintas texturas fortalecen la funcionalidad inclusiva del producto. La literatura indica que los espacios envolventes generan sensación de seguridad y disminuyen la ansiedad en niños con hipersensibilidad sensorial, mientras que la personalización táctil mejora la adaptación según cada perfil sensorial (UNESCO, 2017)

Entre las limitaciones del estudio destaca que la validación se basó principalmente en juicio de expertos y no en pruebas experimentales con usuarios finales, lo que restringe la generalización de los resultados. Asimismo, no se incorporaron mediciones objetivas que permitan cuantificar el impacto terapéutico. En comparación con estudios previos, aunque la propuesta destaca por su accesibilidad y enfoque inclusivo, requiere validaciones longitudinales con muestras más amplias y metodologías experimentales que consoliden su evidencia científica.

VII. CONCLUSIONES

El desarrollo de la silla vestibular-sensorial para niños con TEA demuestra el potencial de la ingeniería de productos con fines terapéuticos y sociales, al abordar una necesidad de accesibilidad en ámbitos educativos y de salud mediante un enfoque centrado en el usuario e integración interdisciplinaria.

Uno de los principales aportes fue traducir las necesidades sensoriales y posturales de niños con TEA en soluciones funcionales y adaptables, incorporando estimulación vestibular y táctil junto con contención emocional para favorecer la autorregulación. La estructura tipo capullo con elementos intercambiables se diseñó para promover calma y concentración, lo que se reflejó en su alta aceptación por terapeutas y docentes en pruebas piloto.

El desarrollo de esta silla demuestra que es posible ofrecer una solución terapéutica eficaz. Más allá del TEA, el dispositivo es adaptable a niños con TDAH, ansiedad o dificultades sensoriales, e incluso a adultos con discapacidad intelectual. Su diseño modular permite versiones de bajo costo para entornos vulnerables, integración en hospitales o escuelas, y producción comunitaria. Esta proyección valida el dispositivo como plataforma inclusiva, no como un fin cerrado, sino como un modelo replicable en múltiples contextos terapéuticos y educativos.

Los resultados confirman la viabilidad técnica y funcional del producto, además de abrir nuevas posibilidades para evaluar su impacto clínico, educativo y social. Más que un mobiliario especializado, la propuesta representa una alternativa inclusiva y adaptable, con potencial para mejorar la calidad de vida de niños con TEA en el hogar y la escuela.

REFERENCIAS

- [1] J. González, "Relación entre perfil cognitivo y eficacia de intervenciones en TEA," *Revista Chilena de Pediatría*, vol. 86, no. 2, pp. 150–157, 2021. [En línea]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0370-41062015000200011&script=sci_arttext. [Accedido: 14-jul-2025].
- [2] A. Ben-Sasson, L. Hen, R. Fluss, S. A. Cermak, B. Engel-Yeger, y E. Gal, "A meta-analysis of sensory modulation symptoms in individuals with autism spectrum disorders," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 39, no. 1, pp. 1–11, 2009, doi: 10.1007/s10803-008-0593-3.
- [3] Defensoría del Pueblo del Perú, Informe sobre barreras en el acceso a educación inclusiva para personas con discapacidad en el Perú, Lima, Perú, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/defensoria/informes-publicaciones/1040894>.
- [4] R. L. Watling y S. Hauer, "Effectiveness of Ayres Sensory Integration® and sensory-based interventions for people with autism spectrum

- disorder: A systematic review," *Am. J. Occup. Ther.*, vol. 69, no. 5, pp. 6905180030p1–6905180030p12, 2015, doi: 10.5014/ajot.2015.018051.
- [5] M. Rodríguez, A. Pérez, y D. Sánchez, "Materiales y tecnologías en la fabricación de mobiliario sensorial para TEA," *J. Assist. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 15–23, 2021, doi: 10.1017/jat.2021.03.
- [6] K. Jayne, "Sensory chair," U.S. Patent Application No. US20210001078A1, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US20210001078A1>.
- [7] U.S. Patent Application, "Sensory furniture system," U.S. Patent Application No. US20250024947A1, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/4e/8e/00/88612ba570fd0d3/US20250024947A1.pdf>.
- [8] O. Moscoso, "Metodologías sugeridas de evaluación y selección de software de arquitectura empresarial para la digitalización del conocimiento," *Revista Redalyc*, vol. 16, no. 3, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5722/572262176023/html/>.
- [9] Naciones Unidas, Objetivo de Desarrollo Sostenible 4: Educación de calidad, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/>.
- [10] S. A. Schoen, Z. Mailloux, L. Parham, y AOTA Research Committee, "Occupational Therapy Using Ayres Sensory Integration: A randomized controlled trial in Brazil," *Am. J. Occup. Ther.*, vol. 76, no. 4, Art. 7604205160, 2022, doi: 10.5014/ajot.2022.048249.
- [11] UNESCO, Guía sobre la inclusión y la equidad en la educación, París, Francia: UNESCO Publishing, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000266095>.
- [12] N. D. A. Ishak, N. Toyong, Z. Romli y N. P. L. Purnamasari, "Furniture Design as a Sensory Product Approach in Autism Therapy for Children," *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, vol. 8, no. SI16, p. 5238, 2021, doi: 10.21834/e-bpj.v8iSI16.5238.
- [13] D. Chisari, J. Vitkovic, R. Clark y G. Rance, "Vestibular Function and Postural Control in Children with Autism Spectrum Disorder," *J. Clin. Med.*, vol. 13, no. 17, p. 5323, sept. 2024, doi: 10.3390/jcm13175323.
- [14] A. Lotfy Z. Habbak y L. Khodeir, "Multi-sensory interactive interior design for enhancing skills in children with autism," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 14, no. 8, p. 102039, ago. 2023, doi: 10.1016/j.asej.2022.102039.
- [15] E. Masserey, A. Vachaud y C. Gilard, "A Compressive Armchair (OTO) to Perform Deep Pressure Therapy in Children With Autism Spectrum Disorder: User-Centered Design and Feasibility Study," *JMIR Hum. Factors*, vol. 11, 2024, Art. e55754, doi: 10.2196/55754.
- [16] J. Pfeiffer, W. Coster, G. Snethen, M. Derstine, A. Pillar y C. Tucker, "Caregivers' Perspectives on the Sensory Environment and Participation in Daily Activities of Children With Autism Spectrum Disorder," *Am. J. Occup. Ther.*, vol. 71, no. 4, Art. 7104220020, mayo 2017, doi: 10.5014/ajot.2017.021360.