

Early Stimulation Device for Premature Babies

Calvo Cruz Diego Andrés¹, Benítez Muñoz Josué¹, Christian Roberto Ibáñez Nangüelú¹, Irving Roque López²

¹*Universidad Politécnica de Chiapas, Carretera Tuxtla Gutiérrez, CP. 29150.*

(e-mail: 213003, 213004, cribn@ib.upchiapas.edu.mx).

²*El Hospital de Especialidades Pediátricas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, CP. 29070.*

(e-mail: Irvingroque78@gmail.com).

Abstract: Premature birth significantly affects the neurological, motor, and emotional development of infants due to their early exposure to clinical environments with limited sensory input. To address this issue, this project presents the design of a sensory stimulation device aimed at premature babies, integrating auditory, tactile, and visual stimuli in a safe and controlled manner. The device is conceptually based on developmental neuroscience and incorporates principles from the Rood method, which postulates that appropriate sensory input to specific receptors triggers reflex motor responses and facilitates voluntary motor control. The device consists of three independent modules: the auditory module emits soft sounds such as classical music or parental voices within safe sound levels; the tactile module provides gentle vibrations through adjustable pads to promote neuromotor responses; and the visual module uses lights and simple moving shapes at brief intervals to support visual development. All modules are controlled by a Raspberry Pi 4 board, programmed to regulate the intensity, duration, and frequency of each stimulus. Environmental and proximity sensors adjust the stimuli based on surrounding conditions. Although the device has not yet been tested with infants, the project has progressed in the conceptual design, component selection, and initial prototype development. Bench tests have confirmed the individual functionality and safety of each module. This multidisciplinary approach addresses the sensory deprivation commonly experienced by premature babies in neonatal intensive care units and offers an integrated and customizable solution for hospital and home environments. The system is currently undergoing validation by neonatology professionals to determine its clinical feasibility. The ultimate goal is to contribute to the well-being and neurodevelopment of premature infants through early and targeted sensory stimulation.

Keywords: premature infants, neonatal care technology, multisensory stimulation, neuroplasticity, Raspberry Pi medical applications.

1. INTRODUCCIÓN

El nacimiento prematuro representa uno de los mayores desafíos en el ámbito de la neonatología, ya que expone a los recién nacidos a un desarrollo incompleto de órganos y sistemas, entre ellos el sistema nervioso. Estos bebés, al pasar sus primeras semanas o meses en incubadoras dentro de unidades de cuidados intensivos, se encuentran en un entorno con escasa estimulación sensorial, lo que puede afectar negativamente su desarrollo cognitivo, motor y emocional.

Estudios recientes, como los de Noé et al. (2021) y el Child Hope Center (s.f.), han demostrado que la estimulación temprana adecuada puede mitigar estos efectos y favorecer una maduración más armónica del sistema nervioso. Desde el marco teórico del desarrollo sensorial, la neuroplasticidad y el enfoque terapéutico del método Rood, se plantea que los estímulos sensoriales apropiados pueden influir positivamente en el desarrollo del movimiento y el control postural (Método Rood: Fundamentación Neurofisiológica, 2020). Este método sostiene que, mediante la aplicación de estímulos a receptores

específicos, es posible activar patrones motores reflejos presentes desde el nacimiento, los cuales pueden ser utilizados y modificados progresivamente para alcanzar un control voluntario. Investigaciones recientes han evidenciado que la estimulación multisensorial en bebés prematuros contribuye a mejorar el control postural y la integración sensorial, reduciendo el impacto de la inmadurez del sistema nervioso central (Embärek-Hernández, Gueita-Rodríguez & Molina-Rueda, 2022). Esta base guía el diseño del dispositivo y sus componentes, como las vibraciones suaves del módulo táctil, orientadas a generar respuestas neuromotoras. Estos patrones, presentes desde el nacimiento, pueden utilizarse y modificarse progresivamente a través de estímulos hasta alcanzar un control consciente a nivel cortical.

La estimulación sensorial temprana en neonatos prematuros ha demostrado efectos positivos en el desarrollo neuromotor y cognitivo a lo largo de la infancia. Estudios recientes han evidenciado que la exposición controlada a estímulos sensoriales favorece la maduración de circuitos neuronales esenciales para la regulación motora y la integración sensorial.

Según Cordón Lemus (2024), la estimulación sensorial en los primeros años de vida influye en la formación de conexiones neuronales, mejorando habilidades cognitivas como la memoria y la atención. Asimismo, Puente Perpiñan et al. (2020) encontraron que la intervención sensorial en los primeros meses de vida contribuye a la evolución favorable de los neonatos, reduciendo la incidencia de alteraciones motoras como la hipotonía.

En este contexto, se propone el diseño de un dispositivo de estimulación sensorial dirigido a bebés prematuros, el cual integra de forma segura estímulos auditivos, táctiles y visuales. Este enfoque multidimensional busca replicar, en la medida de lo posible, las condiciones sensoriales que el feto experimenta en el útero materno, adaptándolas al contexto clínico (Villamizar Carvajal et al., 2019). Actualmente, la investigación se encuentra en la fase de propuesta técnica y validación profesional, con avances significativos en el diseño conceptual del dispositivo y la definición de los parámetros de estimulación. Se espera que, con el aval de especialistas, esta herramienta pueda implementarse en entornos hospitalarios y domiciliarios, contribuyendo al bienestar y desarrollo de esta población vulnerable.

Dentro de las principales patologías que se busca atender se encuentran:

- **- Inmadurez del sistema nervioso central (SNC):** Condición común en bebés prematuros, en la cual el cerebro aún no ha terminado de desarrollarse, especialmente en áreas como visión, audición y control motor. Esta inmadurez puede ocasionar desorganización sensorial o respuestas exageradas o muy débiles frente a los estímulos. La aplicación de estímulos visuales suaves tiene como finalidad favorecer la maduración de la corteza visual, mejorar la capacidad de seguimiento visual y ayudar al bebé a organizar su percepción del entorno (Hospital Clínic de Barcelona, 2023).
- **Trastornos de integración sensorial (TIS):** Aunque suelen diagnosticarse más adelante, en etapas tempranas pueden prevenirse. En estos casos, el sistema nervioso del bebé no interpreta correctamente los estímulos, generando respuestas inadecuadas que pueden derivar en dificultades de aprendizaje, conducta o coordinación motora en el futuro. La exposición gradual y repetitiva a estímulos suaves contribuye a entrenar al sistema nervioso para responder de manera más adecuada y tolerante (Child Mind Institute, s.f.; Intermountain Health, s.f.; Cigna, s.f.).
- **Alteraciones del tono muscular (hipotonía o hipertonia leve):** Estas pueden estar asociadas a inmadurez de las vías motoras o lesiones cerebrales leves, lo que provoca que el bebé presente un tono muscular excesivamente bajo (flojo) o alto (rígido). Esto afecta la movilidad, la postura y la autorregulación. El estímulo sensorial, como

vibraciones suaves o estímulos visuales adaptados, puede contribuir a regular el tono muscular y favorecer una mejor autorregulación neurológica (Sociedad Argentina de Pediatría, 2015).

El enfoque propuesto se compara con tecnologías actuales como el Babybe System, un sistema que transmite el latido, la respiración y la voz materna al bebé dentro de la incubadora, favoreciendo la conexión emocional y el desarrollo neurológico (Babybe, s.f.). De manera similar, el Giraffe Omnibed (GE Healthcare) proporciona un ambiente controlado para reducir el estrés sensorial y mejorar la regulación térmica de los neonatos (GE Healthcare, s.f.). En el ámbito doméstico, el Snoo Smart Sleeper aplica estimulación automática mediante sonido y movimiento para optimizar el sueño y regular el sistema nervioso (Happiest Baby, s.f.). La propuesta busca integrar estas estrategias en una herramienta accesible para entornos hospitalarios y domiciliarios, proporcionando una estimulación sensorial adaptada a las necesidades de los bebés prematuros.

2. METODOLOGÍA

El presente estudio adopta un enfoque de diseño y validación tecnológica, enfocado en el desarrollo de un dispositivo de estimulación sensorial temprana para bebés prematuros. La metodología se estructura en tres etapas principales: análisis de requerimientos clínicos, diseño del dispositivo, y validación profesional del prototipo.

En la primera etapa, se realizó una revisión documental de estudios en neurodesarrollo neonatal, estimulación sensorial y terapias neuromotoras, incluyendo el método de Rood. Este último plantea que la estimulación sensorial, aplicada al receptor adecuado, puede inducir respuestas motrices reflejas que favorecen la maduración de los patrones motores (Fisiocampus, 2023).

La segunda etapa consistió en el desarrollo conceptual y técnico del dispositivo, dividido en tres módulos independientes:

- **Estimulación auditiva:** A partir de altavoces de alta fidelidad capaces de reproducir sonidos suaves, como ruido blanco y grabaciones de la voz de los padres, en un rango seguro de 45 a 60 dB con sesiones personalizables.
- **Estimulación táctil:** Se diseñan almohadillas vibratorias con intensidad ajustable, que permiten la aplicación de microvibraciones suaves durante sesiones breves (5 a 10 minutos), controladas por temporizadores y sensores. Este tipo de estímulo busca activar reflejos neuromotores asociados al contacto físico, en línea con los principios del método de Rood.
- **Estimulación visual:** Una sesión personalizable en la que se muestran figuras simples en movimiento en cortos intervalos de 20 segundos por cada 30

segundos de sesión con un tiempo total de sesión de 2 a 5 minutos.

El dispositivo se controla mediante una Raspberry Pi 4 Model B con 4 GB de RAM, ejecutando Raspberry Pi OS (Debian-based) y programado en Python 3, lo que permite una gestión eficiente de los estímulos sensoriales. Se ha elegido esta plataforma por varios factores clave:

- Capacidad de procesamiento: La Raspberry Pi 4 ofrece una potencia de cómputo superior frente a alternativas como Arduino, facilitando la ejecución simultánea de estímulos auditivos, táctiles y visuales con alta precisión.
- Flexibilidad en integración de periféricos: Su arquitectura permite conectar sensores ambientales, pantallas táctiles y dispositivos de almacenamiento, lo que optimiza el control del sistema.
- Compatibilidad y facilidad de programación: Python 3 es un lenguaje ampliamente utilizado en aplicaciones biomédicas, lo que facilita la implementación de algoritmos para la gestión del dispositivo.
- Costo y accesibilidad: Otras plataformas como BeagleBone y NI myDAQ fueron consideradas debido a sus capacidades de adquisición biomédica, pero presentan costos significativamente más altos y menor flexibilidad para el desarrollo de interfaces interactivas.
- Optimización gráfica: A diferencia de Arduino, que está orientado principalmente a la adquisición de datos y control básico de hardware, la Raspberry Pi 4 permite procesamiento gráfico avanzado, lo cual es esencial para la estimulación visual en neonatos.

Alternativas como BeagleBone y NI myDAQ, diseñadas para adquisición biomédica, fueron descartadas debido a su costo elevado y menor flexibilidad en el desarrollo de interfaces interactivas y procesamiento de estímulos en tiempo real. La Raspberry Pi 4 proporciona una solución accesible, adaptable y con amplia documentación técnica, permitiendo la optimización del sistema sin comprometer la seguridad y funcionalidad clínica. Además, el dispositivo incluye una pantalla táctil de 11 pulgadas, utilizada para la visualización de estímulos visuales y el ajuste de los módulos sensoriales de manera intuitiva.

La tercera etapa implica la validación profesional del prototipo, en la cual especialistas en neonatología evalúan la seguridad y eficacia del dispositivo, determinando su viabilidad clínica para su aplicación en unidades de cuidados intensivos y entornos domiciliarios.

3. RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

Hasta el momento, el diseño del dispositivo de estimulación sensorial temprana para bebés prematuros ha avanzado notablemente en su etapa técnica y funcional. El sistema ya cuenta con una pantalla LCD con soportes ajustables, la cual cumple una doble función: por un lado, sirve como interfaz de usuario para configurar y controlar los distintos módulos de estimulación; por otro lado, actúa como elemento visual, desplegando figuras sencillas y patrones en movimiento que constituyen el estímulo sensorial visual, con tiempos e intensidades regulables. Esta estimulación está orientada a favorecer el desarrollo de la corteza visual en neonatos con inmadurez del sistema nervioso central (ver Figura 1 y Figura 2).



Figura 1. Pantalla táctil ajustable modelo XPT2046, resolución 1024x600 píxeles. Función principal: interfaz de usuario y estimulación visual mediante patrones en movimiento.



Figura 2. Ejemplo de estímulos visuales generados en la pantalla. Se muestran figuras contrastantes y movimientos suaves para favorecer la activación de la corteza visual.

El módulo de estimulación táctil se compone de cuatro juegos de dos motores vibradores cada uno, colocados estratégicamente dentro de un colchón diseñado para adaptarse a la posición del neonato. Cada juego corresponde a una extremidad (brazos y piernas), permitiendo la aplicación de microvibraciones suaves y localizadas. Esta configuración busca generar respuestas reflejas y mejorar la organización sensorial y neuromotora, en línea con los principios del método Rood. Además, la vibración controlada puede contribuir a regular el tono muscular en casos de hipotonía o hipertonia leve (ver Figura 3 y Figura 4).

Para el control preciso del módulo de estimulación táctil, se implementó un puente H mini, que permite la activación y regulación de motores de corriente continua mediante señales PWM generadas por la Raspberry Pi 4. Este sistema brinda la capacidad de ajustar la intensidad de la vibración en función de las necesidades del bebé, asegurando una estimulación

adaptable y segura. La arquitectura del puente H mini facilita el cambio de dirección del motor y su activación progresiva, lo que es esencial para evitar sobrecargas y garantizar una distribución uniforme de los estímulos sensoriales en cada extremidad. Además, este control ofrece una respuesta flexible y optimizada para aplicaciones terapéuticas, asegurando que la vibración sea suficientemente suave para inducir respuestas neuromotoras sin generar incomodidad o sobresaturación sensorial.

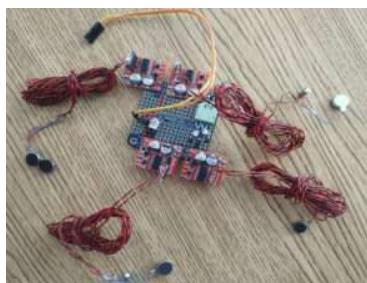


Figura 3. Circuito electrónico del módulo de estimulación táctil, que controla los motores vibradores y regula la intensidad de la estimulación.



Figura 4. Colchón de estimulación con motores vibradores incorporados. Diseñado para adaptarse a la posición del neonato y proporcionar vibraciones suaves localizadas.

En cuanto al módulo de estimulación auditiva, se han incorporado dos altavoces con capacidad para reproducir audios preconfigurados como sonidos de la naturaleza, voz materna grabada y música suave con un volumen controlado de hasta 40 dB, rango seguro para neonatos. Este estímulo tiene como objetivo mejorar la respuesta auditiva y facilitar la organización del sistema sensorial, especialmente en neonatos que presentan señales tempranas de trastornos de integración sensorial.

Para garantizar un control preciso de la presión sonora del sistema, se integró el módulo amplificador TPA3118, un circuito altamente eficiente que permite una modulación estable de la salida de audio sin distorsiones. Este módulo cuenta con tecnología de amplificación de clase D, lo que reduce significativamente el consumo de energía y la generación de calor, aspectos críticos en dispositivos

destinados a la atención neonatal. Con este sistema, se puede regular el volumen de los estímulos auditivos con gran exactitud, manteniendo los niveles dentro del rango recomendado para neonatos. Además, la implementación del TPA3118 permite asegurar una calidad de sonido óptima, evitando fluctuaciones en la intensidad sonora y mejorando la experiencia sensorial del bebé durante la intervención terapéutica.



Figura 5. Módulo amplificador TPA3118.

Los resultados obtenidos hasta esta fase de desarrollo indican que el dispositivo es funcional (ver Figura 6), seguro y adaptable, aunque aún no ha sido probado en contexto clínico real. En comparación con estudios anteriores, como los reportados por Noé et al. (2021) y NeuroClass (2021), los avances coinciden con las recomendaciones sobre estimulación temprana en bebés con riesgo neurológico. Sin embargo, se identifican algunas limitaciones, como la necesidad de pruebas con especialistas clínicos, la validación de los efectos individuales de los estímulos y la integración futura de sensores biométricos para personalizar la respuesta del sistema según la condición del neonato.



Figura 6. Diseño final del dispositivo que incluye la pantalla táctil, los altavoces y la almohadilla

A futuro, se proyecta una fase de validación con profesionales en neonatología, terapia física y ocupacional para determinar la viabilidad clínica del dispositivo en contextos hospitalarios y domiciliarios. También se planea el desarrollo de una interfaz más amigable y la posibilidad de registrar las respuestas del bebé para ajustes terapéuticos más precisos.

Además, los principios utilizados en esta propuesta coinciden con técnicas de estimulación multisensorial descritas en la literatura reciente, como las recopiladas por Embarek-Hernández, Gueita-Rodríguez y Molina-Rueda (2022), quienes destacan la efectividad de los estímulos sensoriales controlados para promover el desarrollo psicomotor y funcional en neonatos prematuros.

4. CONCLUSIONES

Hasta el momento, se ha logrado la implementación de un prototipo funcional del módulo auditivo, capaz de reproducir sonidos pregrabados a niveles controlados, garantizando una estimulación segura y adaptada a los neonatos. Asimismo, se ha desarrollado un sistema de vibración de baja intensidad, utilizando motores de microvibración con control preciso de tiempo e intensidad mediante un microcontrolador, asegurando una estimulación táctil progresiva y adaptable a las necesidades individuales de los bebés prematuros.

La importancia de estos avances se fundamenta en estudios previos que evidencian los beneficios de la estimulación sensorial controlada en neonatos, mostrando mejoras en la frecuencia cardíaca, el sueño y la regulación emocional cuando los bebés prematuros son expuestos a sonidos suaves y contacto físico delicado. Sin embargo, a diferencia de otras soluciones aisladas, este dispositivo integra de manera multidimensional estímulos auditivos, táctiles y visuales en un solo sistema adaptable, lo que representa una innovación significativa en la estimulación neonatal.

La revisión teórica y clínica confirma que la inmadurez del sistema nervioso central, los trastornos del procesamiento sensorial y las alteraciones del tono muscular son condiciones frecuentes en esta población y que pueden ser abordadas eficazmente mediante estímulos controlados, suaves y repetitivos. La integración de tecnologías avanzadas, como la Raspberry Pi para la gestión de los módulos sensoriales, proporciona un mecanismo seguro y adaptable para replicar condiciones sensoriales semejantes a las del útero materno. Además, este enfoque se alinea con principios terapéuticos como el método Rood, promoviendo respuestas reflejas que contribuyen a la maduración neuromotora del bebé.

Aunque el dispositivo aún se encuentra en fase de diseño técnico, los avances logrados hasta el momento representan un paso significativo en el desarrollo de herramientas accesibles y científicamente fundamentadas para mejorar la calidad de vida de los neonatos con riesgo neurológico.

Entre las principales limitaciones actuales, se destaca la falta de validación clínica directa con recién nacidos, así como la necesidad de evaluar la respuesta fisiológica y emocional de los bebés ante los estímulos aplicados. Para futuras etapas, se plantea la realización de pruebas piloto en entornos hospitalarios controlados, con la colaboración de especialistas en neonatología, terapia física y ocupacional, permitiendo ajustes personalizados en los parámetros del dispositivo.

El desarrollo de este sistema no solo busca optimizar la estabilización sensorial y neuromotora de los neonatos, sino que también abre la posibilidad de establecer nuevas estrategias terapéuticas basadas en evidencia científica, contribuyendo al avance de la estimulación sensorial temprana en neonatología y a la mejora del bienestar en esta población vulnerable.

REFERENCIAS

- Babybe. (s.f.). Babybe System: Estimulación auditiva y táctil para bebés prematuros. Recuperado de <https://hcsba.cl/sitio/2014/12/22/proyecto-babybe-acercando-a-los-papas-a-sus-bebes-prematuros/>
- Child Hope Center. (s.f.). Inmadurez del sistema nervioso central y la estimulación temprana. <https://www.childhopecenter.com/blog/inmadurez-del-sistema-nervioso-central-y-la-estimulacion-temprana>
- Child Mind Institute. (s.f.). Problemas del procesamiento sensorial explicados. <https://childmind.org/es/articulo/problemas-de-procesamiento-sensorial-explicados>
- Cigna. (s.f.). Trastorno del procesamiento sensorial. <https://www.cigna.com/es-us/knowledge-center/hw/temas-de-salud/trastorno-del-procesamiento-sensorial-te7831>
- Embarek-Hernández, M., Gueita-Rodríguez, J., & Molina-Rueda, F. (2022). Multisensory stimulation to promote feeding and psychomotor development in preterm infants: A systematic review. *Pediatr Neonatol*, 63(5), 452-461. <https://hacto.umh.es/2025/02/24/multisensory-stimulation-to-promote-feeding-and-psychomotor-development-in-preterm-infants-a-systematic-review/>
- GE Healthcare. (s.f.). Giraffe Omnibed Carestation: Incubadora avanzada para neonatos. Recuperado de <https://www.gehealthcare.com/products/maternal-infant-care/giraffe-omnibed-carestation>
- Happiest Baby. (s.f.). Snoo Smart Sleeper: Cuna inteligente para bebés. Recuperado de <https://www.happiestbaby.eu/es-ES/products/snoo-smart-bassinet>
- Hospital Clínic de Barcelona. (2023). Los recién nacidos con bajo peso de carácter leve presentan inmadurez neurológica. <https://www.clinicbarcelona.org/noticias/los-recien-nacidos-con-bajo-peso-de-caracter-leve-presentan-inmadurez-neurologica>
- Intermountain Health. (s.f.). Trastorno de integración sensorial. <https://intermountainhealthcare.org/ckr-ext/Dcmnt?ncid=520700733>
- Método de Rood: Bases neurofisiológicas, aplicación, evidencia científica actual. (2023). Fisiocampus. <https://www.fisiocampus.com/metodo-de-rood-bases-neurofisiologicas-aplicacion-evidencia-cientifica-actual>

Método Rood: Fundamentación Neurofisiológica. (2020).
Aulatherapy. <https://aulatherapy.com/metodo-rood-fundamentacion-neurofisiologica/>

NeuroClass. (2021). Prematurez y desarrollo cerebral: ¿hay relación?. <https://neuro-class.com/prematurez-y-desarrollo-cerebral>

Noé, E., Gómez, A., Bernabeu, M., Quemada, I., Rodríguez, R., Pérez, T., López, C., Laxe, S., Colomer, C., Ríos, M., Juárez-Belaúnde, A., González, C., Pelayo, R., & Ferri, J. (2021). Guía: Principios básicos de la neurorrehabilitación del paciente con daño cerebral adquirido. Sociedad Española de Neurorrehabilitación. https://www.neuro-reha.com/pdf/articulo_guia_2_SENR_Revista_Neurologia_2021.pdf

Sociedad Argentina de Pediatría. (2015). Procesamiento sensorial en prematuridad y otras patologías de riesgo. https://www.sap.org.ar/docs/congresos_2015/37%20CONFERENCIAS/NARPE/bertani/procesamiento.pdf

Villamizar Carvajal, B., Durán de Villalobos, M. M., Vargas Porras, C., & Hernández Hincapié, H. G. (2019). Efecto de la estimulación multisensorial en el patrón alimenticio en prematuros. Index de Enfermería, 28(1-2). https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962019000100004

Cordón Lemus, S. L. (2024). Impacto de la estimulación sensorial y cognitiva en la primera etapa del neurodesarrollo infantil. Revista Académica CUNZAC, 7(2), 161-173. <https://doi.org/10.46780/cunzac.v7i2.145>

Puente Perpiñan, M., Suastegui Pando, A., Andión Rente, M. L., Estrada Ladoy, L., & de los Reyes Losada, A. (2020). Influencia de la estimulación temprana en el desarrollo psicomotor de lactantes. MEDISAN, 24(6), 1128-1142. Recuperado de <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/es/biblio-1143263>