

ARTÍCULO ORIGINAL

Diseño, desarrollo y optimización de “Tomy”, un robot social concebido para acompañar la atención psicológica de niños hospitalizados por cánceres hematológicos

Oscar Plasencia Ramos¹, Ariana Milagros Figueroa Chávez², Sebastián Jesús Puruguay León², Ricardo A. Gálvez-Arévalo³, Sebastian Caballa⁴, Alicia Janeth Mafaldo Rengifo⁵, María del Pilar Jiménez Montes¹, Rosa María Acosta Huayama¹

Citar como:

Plasencia Ramos O, Figueroa Chávez AM, Puruguay León SJ, Gálvez-Arévalo RA, Caballa S, Mafaldo Rengifo AJ, Jiménez Montes MP, Acosta Huayama RM. Diseño, desarrollo y optimización de “Tomy”, un robot social concebido para acompañar la atención psicológica de niños hospitalizados por cánceres hematológicos. *Investig Innov Clin Quir Pediatr*. 2026;4(2):39-51. doi: 10.59594/iicqp.2026.v4n2.178

Autor correspondiente:

Ariana Milagros Figueroa Chávez
Correo electrónico:
ariana.figueroa@pucp.edu.pe

ORCID iDs

Oscar Plasencia Ramos
 <https://orcid.org/0000-0001-9496-4473>
Ariana Milagros Figueroa Chávez
 <https://orcid.org/0009-0000-1485-6641>
Sebastián Jesús Puruguay León
 <https://orcid.org/0009-0008-4090-4115>
Ricardo A. Gálvez-Arévalo
 <https://orcid.org/0000-0002-1006-1523>
Sebastian Caballa
 <https://orcid.org/0000-0002-8356-2003>
Alicia Janeth Mafaldo Rengifo
 <https://orcid.org/0000-0003-2693-5683>
María del Pilar Jiménez Montes
 <https://orcid.org/0009-0009-0561-6000>
Rosa María Acosta Huayama
 <https://orcid.org/0000-0001-7044-2435>

Recibido : 24/06/2026

Aprobado : 11/08/2026

Publicado : 28/08/2026



Esta es una publicación con licencia de Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Copyright © 2026, Investigación e Innovación Clínica y Quirúrgica Pediátrica.

¹ Sub Unidad de Pediatría y Especialidades Pediátricas, Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja, Lima 15037, Perú.

² Sub Unidad de Investigación e Innovación Tecnológica, Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja, Lima 15037, Perú.

³ Facultad de Psicología, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima 15023, Perú.

⁴ Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 15088, Perú.

⁵ Servicio de Hematología, Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja, Lima 15037, Perú.

RESUMEN

Objetivo: Describir el proceso de diseño, manufactura, integración electrónica y digital, así como la optimización funcional de “Tomy”, un robot social concebido como herramienta complementaria para acompañar la atención psicológica habitual de niños de 6–12 años hospitalizados por cánceres hematológicos.

Métodos: Se realizó un estudio de desarrollo tecnológico y de evaluación técnica temprana con un enfoque de diseño centrado en los usuarios. Se aplicaron encuestas individuales y se realizó una actividad grupal exploratoria de retroalimentación con pacientes pediátricos hospitalizados para identificar sus preferencias y definir los requerimientos de apariencia, interacción y funcionalidad del robot. Asimismo, se realizó una sesión participativa con psicólogos del Servicio de Hematología para alinear las funcionalidades previstas del robot con los objetivos de las sesiones psicológicas habituales. El desarrollo comprendió tres iteraciones: una prueba de concepto inicial, un prototipo intermedio y un prototipo funcional final, todas diseñadas mediante modelado digital tridimensional y fabricadas mediante impresión 3D con tecnología de deposición fundida, utilizando filamento de ácido poliláctico. Una vez completada la integración de los componentes electrónicos y digitales en el prototipo funcional final, se realizaron pruebas de funcionamiento y de optimización. No se evaluaron desenlaces clínicos.

Resultados: En la encuesta exploratoria inicial, aplicada a tres pacientes, dos prefirieron una morfología animal frente a una morfología humanoide. La información obtenida se utilizó para desarrollar una prueba de concepto con morfología canina. Posteriormente, este modelo fue presentado en una actividad grupal exploratoria de retroalimentación con tres pacientes, cuyos comentarios permitieron realizar ajustes en la apariencia y en los modos previstos de interacción para obtener un prototipo intermedio. En la encuesta de validación estética, nueve de los 10 pacientes encuestados indicaron que les gustaba la forma del robot y que este tenía una apariencia amigable; todos manifestaron que les gustaría disponer de uno durante su hospitalización. La participación de los psicólogos permitió identificar los objetivos y las actividades de la atención psicológica habitual y definir funcionalidades concebidas para su futura integración en dichas sesiones. Como resultado del proceso iterativo, se obtuvo un prototipo funcional final con morfología canina, operado por un psicólogo mediante una interfaz web con contenidos y comandos predeterminados. El robot incorporó una pantalla facial con cuatro expresiones preprogramadas (cansancio, alegría, enojo y tristeza), movimientos de la cabeza, la cola y las patas traseras, luces LED para señalar partes específicas del cuerpo y accesorios (estetoscopio, flor, sombrero y mascarilla) para complementar visualmente y lúdicamente los contenidos previstos para las sesiones psicológicas.

Conclusión: “Tomy” constituye un prototipo funcional de robot social con morfología canina, diseñado con la participación de niños hospitalizados y psicólogos, y concebido como herramienta complementaria para acompañar la atención psicológica habitual de niños hospitalizados por cánceres hematológicos. No se evaluaron ni su implementación clínica ni sus efectos sobre los desenlaces emocionales. Futuras fases deberán evaluar su seguridad, factibilidad, aceptabilidad, usabilidad, integración en las sesiones psicológicas y el valor añadido frente a alternativas más simples, así como sus posibles efectos clínicos y su potencial para facilitar la presentación estructurada de contenidos durante la atención psicológica.

Palabras clave: Robótica; Tecnología Biomédica; Niño Hospitalizado; Neoplasias Hematológicas; Psicooncología (Fuente: DeCS)

Design, development, and optimization of “Tomy”, a social robot designed to complement psychological care for children hospitalized with hematologic malignancies

ABSTRACT

Objective: To describe the design, manufacturing, electronic and digital integration, and functional optimization of “Tomy”, a social robot designed as a complementary tool to be used alongside routine psychological care for children aged 6–12 years hospitalized with hematologic malignancies.

Methods: A technological development and early technical evaluation study was conducted using a user-centered design approach. Individual surveys and an exploratory group feedback activity were conducted with hospitalized pediatric patients to identify their preferences and define the robot’s appearance, modes of interaction, and functional requirements. A participatory session was also conducted with psychologists from the Hematology Service to align the robot’s intended functionalities with the objectives of routine psychological sessions. The development process comprised three iterations: an initial proof of concept, an intermediate prototype, and a final functional prototype, all designed using three-dimensional digital modeling and manufactured through fused deposition modeling 3D printing with polylactic acid filament. After the electronic and digital components were integrated into the final functional prototype, functional testing and optimization were performed. Clinical outcomes were not evaluated.

Results: In the initial exploratory survey of three patients, two preferred an animal morphology over a humanoid appearance. The information obtained was used to develop a proof-of-concept prototype with a canine morphology. This model was subsequently presented during an exploratory group feedback activity with three patients, whose comments informed adjustments to the appearance and intended modes of interaction, resulting in an intermediate prototype. In the aesthetic validation survey, nine of the 10 patients indicated that they liked the robot’s shape and considered its appearance friendly; all stated that they would like to have such a robot during their hospitalization. The psychologists’ participation helped identify the objectives and activities of routine psychological care and define functionalities intended for future integration into these sessions. The iterative process resulted in a final functional prototype with a canine morphology that was operated by a psychologist through a web interface with predefined content and commands. The robot incorporated a facial display with four preprogrammed expressions (tiredness, happiness, anger, and sadness), movements of the head, tail, and hind legs, LED lights to indicate specific body parts, and accessories (stethoscope, flower, hat, and face mask) designed to complement the content intended for the psychological sessions through visual and play-based elements.

Conclusion: “Tomy” is a functional social robot prototype with canine morphology, designed with the participation of hospitalized children and psychologists, and conceived as a complementary tool to be used alongside routine psychological care for children hospitalized

with hematologic malignancies. Its clinical implementation and effects on emotional outcomes were not evaluated. Future phases should assess its safety, feasibility, acceptability, usability, integration into psychological sessions, and added value compared with simpler alternatives, as well as its potential clinical effects and its ability to facilitate the structured delivery of content during psychological care.

Keywords: Robotics; Biomedical Technology; Child, Hospitalized; Hematologic Neoplasms; Psycho-Oncology (Source: MeSH)

INTRODUCCIÓN

Las neoplasias malignas hematológicas, como las leucemias y los linfomas, se encuentran entre los cánceres más frecuentes en la edad pediátrica (1). El entorno hospitalario representa un desafío significativo para los pacientes pediátricos, quienes pueden experimentar una importante carga emocional durante el curso de la enfermedad y el tratamiento. En niños y adolescentes con cáncer, una revisión sistemática con metaanálisis reportó prevalencias agrupadas de ansiedad, depresión y trastorno de estrés postraumático de 13,92 %, 20,43 % y 20,90 %, respectivamente, lo que evidencia la necesidad de considerar la salud mental como parte del cuidado integral en la oncología pediátrica (2). De manera más específica, en niños y adolescentes hospitalizados por leucemia linfoblástica aguda, se ha descrito que el miedo y el sufrimiento emocional forman parte de la experiencia de hospitalización, especialmente en relación con el dolor y la anticipación de procedimientos invasivos con agujas (3).

Frente a esta carga emocional, la atención psicosocial se reconoce como un componente esencial del cuidado integral en oncología pediátrica. Los estándares internacionales recomiendan que los niños con cáncer y sus familias reciban una evaluación psicosocial sistemática, psicoeducación, apoyo emocional durante el curso de la enfermedad, atención especializada en salud mental cuando sea necesaria y estrategias de preparación o acompañamiento frente a procedimientos invasivos (4). En América Latina y el Caribe, estos estándares han sido adaptados para promover su implementación en centros de cáncer pediátrico, considerando las necesidades de los pacientes, sus familias y los equipos de salud (5). No obstante, en contextos de recursos limitados, la disponibilidad de profesionales especializados en psicooncología pediátrica puede ser insuficiente para brindar apoyo continuo a todos los pacientes hospitalizados. Esta situación, junto con la necesidad de contar con recursos estructurados y adaptados a la población pediátrica, sustenta la exploración de herramientas tecnológicas complementarias que apoyen la atención psicológica bajo la conducción del profesional.

En este contexto, los robots de asistencia social (*socially assistive robots*, SAR) han emergido como herramientas innovadoras en el ámbito hospitalario pediátrico. Una revisión sistemática con metaanálisis reciente sugiere que los SAR podrían tener efectos favorables y más consistentes en el manejo del dolor en niños hospitalizados, aunque la evidencia sobre desenlaces emocionales, como la ansiedad, el miedo y el distrés, permanece heterogénea y no concluyente (6). De manera concordante, una revisión sistemática previa

sobre emociones negativas en niños en entornos clínicos encontró resultados prometedores para la reducción de la ansiedad y el estrés, pero enfatizó que la evidencia aún se encuentra en una fase temprana y requiere estudios de mayor calidad (7). Otra revisión sistemática sobre intervenciones con robots sociales en salud infantil reportó resultados favorables en aceptabilidad, factibilidad, involucramiento, logro de objetivos terapéuticos o educativos, reducción del dolor y algunos desenlaces de salud mental, aunque también señaló que muchos estudios fueron pequeños, de corta duración y requerían diseños más rigurosos (8). En conjunto, estos hallazgos respaldan la exploración de los SAR como herramientas complementarias en determinados escenarios clínicos pediátricos, siempre que su implementación considere las condiciones contextuales, técnicas, éticas y de sostenibilidad propias del entorno hospitalario.

Entre los principales retos para la implementación de los SAR en entornos hospitalarios se encuentran los costos de adquisición y mantenimiento, la necesidad de capacitar al personal de salud y la adecuación de estos dispositivos a las condiciones clínicas, operativas y de bioseguridad propias de dichos entornos. Se ha estimado que los robots humanoides pueden alcanzar costos de adquisición de hasta aproximadamente US\$ 35 000, mientras que los robots de tipo mascota presentan costos cercanos a los US\$ 3 000, lo que puede limitar su adopción en entornos con recursos limitados, como el Perú (9). Como antecedente regional, se ha descrito el desarrollo local de un prototipo de robot social de bajo costo, concebido para el acompañamiento emocional de niños hospitalizados por quemaduras, cuyo costo de manufactura y de componentes electromecánicos fue de aproximadamente US\$ 350 (10). Estos antecedentes respaldan la pertinencia de explorar soluciones tecnológicas desarrolladas localmente y adaptadas al contexto hospitalario.

Con base en estos antecedentes, se propuso la creación del robot “Tomy” como una herramienta tecnológica complementaria concebida para acompañar la atención psicológica habitual de niños hospitalizados por cánceres hematológicos en un centro pediátrico de referencia nacional en Lima, Perú. El presente estudio tuvo como objetivo describir el proceso de diseño, manufactura, integración electrónica y digital, así como la optimización funcional de “Tomy”.

MÉTODOS

Diseño del estudio

Se realizó un estudio de desarrollo tecnológico y de evaluación técnica temprana, con un enfoque de diseño centrado en los usuarios, cuyo alcance fue compatible con la etapa preclínica o etapa 0 del marco IDEAL-D (11). El estudio estuvo orientado al diseño, la manufactura, la integración electrónica y digital y la optimización funcional de un SAR denominado “Tomy”, concebido como una herramienta complementaria para acompañar la atención psicológica habitual de pacientes pediátricos de 6–12 años, hospitalizados por cánceres hematológicos en el Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja (INSN-SB).

En estos pacientes, los psicólogos del Servicio de Hematología

emplean habitualmente un esquema interno de intervención psicológica organizado en siete sesiones estructuradas que abordan temas clave como el vínculo terapéutico, la exploración del entorno hospitalario, la autoimagen, la regulación emocional, la adherencia al tratamiento, la empatía, la expresión emocional y los recursos de afrontamiento positivo, desde un enfoque de atención centrada en el niño hospitalizado.

La primera sesión comprende el establecimiento del vínculo terapéutico inicial (*rapport*); la segunda, la exploración del entorno; la tercera, el fortalecimiento de la imagen positiva; la cuarta, la autonomía y la relajación; la quinta, la adherencia al tratamiento; la sexta, la empatía y la reflexión; y la séptima, los recursos de afrontamiento positivo. Todas las sesiones tienen una duración aproximada de 30 minutos y se realizan de manera individual en las habitaciones del área de hospitalización del Servicio de Hematología del INSN-SB.

“Tomy” fue concebido para incorporarse como herramienta complementaria desde la primera sesión y acompañar el desarrollo de las siete sesiones. Su uso se planteó bajo la conducción del psicólogo, quien presentaría y operaría el robot y seleccionaría los contenidos y los modos de interacción de acuerdo con los objetivos de cada sesión y las necesidades del paciente. Este esquema orientó la definición de los contenidos, las funcionalidades y los modos de interacción del robot, como se describe en la siguiente sección.

Proceso de diseño centrado en los usuarios y definición de requerimientos

La participación de los usuarios se desarrolló en tres etapas durante el diseño y la optimización del robot: una encuesta exploratoria, una actividad grupal exploratoria de retroalimentación y una encuesta de validación estética. En estas actividades participaron pacientes pediátricos con diagnóstico hematológico, de 6 a 12 años, hospitalizados en el Servicio de Hematología. Los participantes fueron distintos en cada etapa, sin superposición entre los grupos.

Durante la conceptualización del robot, se aplicó una encuesta exploratoria a tres pacientes. El instrumento estructurado estuvo compuesto por 12 preguntas cerradas: 11 de respuesta única y una de selección múltiple. Las preguntas exploraron las preferencias relacionadas con el tamaño, el color, la forma, el tipo de ojos, la presencia de piernas o ruedas, la incorporación de una pantalla y una voz, el tipo de voz, la preferencia por formas rectas o angulares frente a formas redondeadas, la apariencia animal o humana, la morfología canina o felina y las funcionalidades esperadas del robot (Tabla suplementaria 1). Las respuestas fueron tabuladas mediante frecuencias absolutas y porcentajes; en la pregunta de selección múltiple, cada alternativa seleccionada se contabilizó de manera independiente.

A partir de la información obtenida en esta etapa, se elaboró una prueba de concepto inicial mediante modelado digital tridimensional (3D) y manufactura aditiva con filamento de ácido poliláctico (PLA).

Posteriormente, este primer modelo fue presentado durante una actividad grupal exploratoria de retroalimentación con otros tres pacientes, con el objetivo de recoger sus opiniones y orientar la realización de ajustes en la apariencia y los modos

previstos de interacción del robot. Los comentarios fueron registrados de manera grupal y organizados descriptivamente según los aspectos del prototipo a los que hacían referencia; no se realizó un registro individual ni una cuantificación de las opiniones por participante.

Luego de incorporar los ajustes identificados en esta fase, se aplicó una encuesta de validación estética a 10 pacientes. El instrumento estructurado incluyó nueve preguntas: tres cerradas de respuesta única, cuatro cerradas de selección múltiple, una semiabierta y una abierta. La pregunta abierta (“¿Por qué te gusta o no te gusta?”) indagó en los motivos de la valoración de la forma del robot. La pregunta semiabierta (“¿Preferirías otra raza o color?”) incluyó una opción dicotómica y, cuando la respuesta fue afirmativa, un campo para especificar la raza o el color preferidos. Las demás preguntas evaluaron la aceptación de la forma del robot, las preferencias de color y apariencia, los accesorios, la percepción de amabilidad, el interés en disponer del robot durante la hospitalización, las actividades esperadas y el tiempo de interacción deseado (Tabla suplementaria 2). En la pregunta de selección múltiple sobre las preferencias de color y apariencia, se solicitó a cada participante que seleccionara dos opciones; en las demás preguntas de selección múltiple no se estableció un número específico de alternativas. Las respuestas a las preguntas cerradas y al componente cerrado de la pregunta semiabierta fueron tabuladas mediante frecuencias absolutas y porcentajes. En las preguntas de selección múltiple, cada alternativa seleccionada se contabilizó de forma independiente. Las respuestas a la pregunta abierta y al componente abierto de la pregunta semiabierta fueron organizadas de forma descriptiva según los aspectos evaluados.

Finalmente, se realizó una sesión participativa con tres psicólogos del Servicio de Hematología del establecimiento de salud, quienes contaban con aproximadamente 11 años de experiencia en psicooncología. La sesión tuvo como objetivo recoger sus percepciones sobre las funcionalidades que debía incorporar el prototipo final y alinear dichas funcionalidades con los objetivos y las actividades de la atención psicológica habitual.

Diseño conceptual y funcional del prototipo

La información obtenida en la encuesta exploratoria, en la actividad grupal exploratoria de retroalimentación y en la encuesta de validación estética con pacientes pediátricos hospitalizados, junto con los aportes de los psicólogos del Servicio de Hematología, se integró mediante una síntesis descriptiva para definir los requerimientos de diseño conceptual y funcional de “Tomy”. No se utilizó una matriz de decisión ni un sistema formal de puntuación o ponderación.

Para el diseño conceptual, se consideraron las preferencias de los pacientes respecto de la morfología general, la apariencia, la pantalla facial, la voz, la postura, los movimientos y los accesorios del robot. Estos aspectos orientaron el modelado tridimensional y las modificaciones realizadas en las iteraciones sucesivas del prototipo.

Para el diseño funcional, las actividades y los modos de interacción sugeridos por los pacientes se contrastaron con los objetivos y las actividades de la atención psicológica

habitual descritos por los psicólogos. A partir de este proceso, se establecieron requerimientos relacionados con la emisión de respuestas verbales y otros contenidos de audio predeterminados, la presentación de expresiones faciales mediante una pantalla integrada, la ejecución de movimientos corporales simples y la señalización visual mediante diodos emisores de luz (LED). Estas funcionalidades fueron concebidas para su futura integración en actividades de psicoeducación, comunicación y participación previstas en las sesiones psicológicas habituales.

Asimismo, se estableció que el prototipo sería operado por un psicólogo mediante una interfaz web, a través de la cual se seleccionarían contenidos y comandos predeterminados de acuerdo con los objetivos de cada sesión. “Tomy” fue concebido como una herramienta complementaria para acompañar la atención psicológica habitual, sin sustituir al profesional ni la relación terapéutica con el paciente. La utilidad clínica de las funcionalidades definidas no fue evaluada en esta etapa.

Manufactura de la estructura física

La estructura física del robot “Tomy” fue desarrollada a partir de un modelo digital 3D diseñado en el software Fusion 360. Este programa permitió definir la geometría, las dimensiones y las características principales de las piezas que conforman el prototipo. El modelo de diseño asistido por computadora (CAD) se organizó como un conjunto de piezas independientes, cuyas uniones principales se resolvieron mediante tornillos métricos M3. Para el acoplamiento entre carcasas complementarias, como la “Carcasa trasera 1” y la “Carcasa trasera 2”, se empleó una unión por forma mediante elementos cilíndricos metálicos internos de 2 mm de diámetro. La vista explosionada del modelo y las principales soluciones de acoplamiento físico se presentan en la Figura suplementaria 1.

La fabricación se realizó mediante manufactura aditiva, específicamente por impresión 3D con tecnología de modelado por deposición fundida (FDM). Esta técnica permitió fabricar los componentes físicos del prototipo a partir del diseño digital previamente elaborado, así como realizar modificaciones durante el proceso de iteración y validación con usuarios.

Para la impresión se empleó filamento PLA, seleccionado por su disponibilidad, facilidad de impresión y utilidad para el desarrollo de prototipos funcionales. Mediante este proceso se fabricaron tanto la estructura externa del robot como los accesorios complementarios diseñados para apoyar las dinámicas de las sesiones psicológicas y favorecer la interacción con los pacientes pediátricos.

Los componentes impresos fueron fabricados de manera independiente y posteriormente revisados para verificar su compatibilidad dimensional, su estabilidad y su facilidad de ensamblaje. Luego de la impresión, se retiraron los soportes y se acondicionaron las superficies, con el fin de mejorar el acabado físico del prototipo y facilitar la integración de sus componentes internos.

Finalmente, las piezas fueron ensambladas para conformar la estructura física del robot y sus accesorios complementarios. Durante esta etapa se realizaron ajustes en los puntos de

unión y en las zonas de acoplamiento. La manufactura permitió obtener la estructura física del prototipo, lista para la integración electrónica y las pruebas de funcionamiento.

Componentes electrónicos y hardware

El sistema central de procesamiento del robot operó mediante un microordenador Raspberry Pi equipado con 4 GB de memoria RAM, encargado de gestionar las entradas y salidas de los periféricos físicos. El sistema de actuación mecánica estuvo conformado por cinco motores paso a paso modelo 28BYJ-48, con una tensión de operación de 5 V, un torque nominal de 34,3 mN·m, una relación de reducción de 64:1 y un nivel máximo de ruido de operación reportado de 35 dB.

Estos motores permitieron ejecutar los movimientos de la cabeza y de las patas traseras. Asimismo, se incorporó un servomotor SG90 destinado al movimiento articulado de la cola. Para la interacción visual, se integró una pantalla táctil Nextion (74,4 mm × 42,9 mm × 4,6 mm), utilizada exclusivamente para mostrar expresiones faciales e imágenes. La función táctil no desempeñó un rol operativo y no fue utilizada ni por los pacientes ni por el profesional.

El sistema de interacción auditiva incluyó un micrófono desmontable, sin función operativa en el prototipo descrito. La emisión de audio se realizó mediante un sistema de altavoces Coolbox Teraware, con una potencia total de 6 W distribuida entre dos parlantes y un volumen regulable mediante controles de hardware y software. El sistema se ubicó en la región abdominal, detrás de una serie de perforaciones en la carcasa destinadas a permitir la salida del sonido. A través de este componente se reprodujeron historias, respuestas y sonidos predeterminados. El fabricante no especificó el nivel máximo de presión sonora en decibelios.

Adicionalmente, el diseño incorporó cinco LED de color azul, distribuidos para señalar partes específicas del cuerpo del robot durante las dinámicas psicoeducativas. El suministro de energía del sistema se realizó mediante un paquete recargable de baterías de iones de litio, conformado por 12 celdas modelo 18650 de 3,7 V de la marca ZERNE, con composición LiNiMnCoO₂, dispuestas en una configuración 3S4P. El paquete alcanzó un voltaje de 12,6 V con carga completa y presentó una capacidad efectiva estimada de 12 Ah. Para su supervisión y protección, se incorporó un sistema de gestión de baterías (BMS) 3S de 25 A, con protección contra sobrecarga, sobredescarga, sobrecorriente y cortocircuito, además del monitoreo de los tres grupos conectados en serie. Según la información proporcionada por el fabricante, las celdas cuentan con las certificaciones UL 1642, IEC 62133 y RoHS. El sistema se controló mediante un interruptor físico de encendido y apagado.

La autonomía de la batería se estimó teóricamente a partir de los voltajes nominales y las corrientes máximas reportados en las hojas de datos de los componentes electrónicos. Para cada componente se calculó la potencia máxima y, posteriormente, las potencias individuales se sumaron para estimar el consumo energético total del sistema. La autonomía no fue medida experimentalmente en condiciones de uso. Asimismo, no se dispuso de una clasificación IP ni se realizaron pruebas específicas de aislamiento eléctrico ni de seguridad frente a la manipulación por niños.

Arquitectura de software e integración digital

La arquitectura de control y comunicación del prototipo se basó en un modelo cliente-servidor en la nube. Este modelo se adoptó para centralizar el servidor lógico (*backend*), facilitar su mantenimiento y actualización sin modificar el software instalado en el robot, así como evitar que todas las tareas de procesamiento se concentraran en el microordenador Raspberry Pi integrado, cuya capacidad de procesamiento, memoria y almacenamiento era más limitada que la disponible en el servidor. La interfaz gráfica de usuario (*frontend*) se desarrolló con la biblioteca React y se alojó en un servidor institucional, lo que permitió al personal de psicología gestionar la sesión y seleccionar los comandos de forma remota. El servidor lógico (*backend*) se implementó en Python con el *framework* FastAPI y se desplegó en un entorno de computación en la nube de Amazon Web Services (AWS) mediante la plataforma Elastic Beanstalk. En este entorno se almacenaron únicamente archivos de texto y de audio predeterminados utilizados por el prototipo. En la versión descrita, no se almacenaron datos de los pacientes.

La interfaz web se estructuró con una pantalla inicial de control, desde la cual el profesional puede acceder a mensajes breves y activar comandos motrices programados del robot. Esta pantalla inicial incorporó una sección de mensajes breves con 30 frases predeterminadas de uso frecuente durante la interacción con el paciente, así como controles direccionales para activar movimientos programados de la cabeza, las patas traseras y la cola. Además, la interfaz incluyó una sección específica para acceder al contenido organizado de cada una de las siete sesiones psicológicas estructuradas. La lista completa de mensajes breves incorporados en la interfaz se presenta en la Tabla suplementaria 3.

En el prototipo funcional descrito, los mensajes breves y los audios predeterminados se implementaron únicamente en español. Aunque la interfaz incluía categorías correspondientes a lenguas originarias, estas permanecieron inactivas y no contenían mensajes ni audios. Dichas categorías se incorporaron únicamente como elementos visuales previstos para futuras adaptaciones lingüísticas y culturales.

Pruebas de funcionamiento y optimización funcional

Una vez integrados los componentes físicos, electrónicos y digitales del prototipo, se realizaron pruebas funcionales orientadas a verificar la comunicación entre la interfaz web operada por el profesional y el hardware del robot, la emisión de historias, mensajes y respuestas predeterminadas mediante el sistema de audio, la proyección de expresiones faciales en pantalla, la activación de indicadores LED, la respuesta de los motores y el funcionamiento de la batería. Estas pruebas no incluyeron la medición de desenlaces clínicos en pacientes.

Consideraciones éticas

El proyecto fue aprobado por el Comité Institucional de Ética en Investigación del INSN-SB, bajo el código PI-934-2025 y la Constancia N.º 039-2025.

Durante el proceso de diseño centrado en los usuarios y la definición de requerimientos, la participación de los pacientes pediátricos en las encuestas individuales y en la actividad grupal exploratoria de retroalimentación se realizó

previa autorización verbal de sus padres o apoderados y con el asentimiento verbal de los niños, de acuerdo con su edad y capacidad de comprensión. La participación de los psicólogos del Servicio de Hematología fue voluntaria y contó con su aceptación verbal previa.

La información obtenida fue utilizada únicamente con fines de investigación y desarrollo del prototipo. Para proteger la confidencialidad de los participantes, el acceso a los datos se restringió al equipo de investigación. Las actividades realizadas no implicaron procedimientos invasivos ni modificaron la atención clínica habitual de los pacientes.

RESULTADOS

Proceso de diseño centrado en los usuarios y definición de requerimientos

Durante la encuesta exploratoria aplicada a tres pacientes pediátricos hospitalizados, dos participantes manifestaron preferencia por una morfología animal frente a una apariencia humanoide. Respecto al tipo de animal, dos prefirieron una morfología felina y uno una morfología canina. Asimismo, dos participantes prefirieron que el robot fuera de tamaño mediano; dos seleccionaron el color azul y dos, un diseño recto o angular. Los tres indicaron que el robot debería tener piernas en lugar de ruedas e incorporar una pantalla en el rostro. Dos señalaron que también debería tener voz. Cuando se les consultó sobre el tipo de voz, los tres manifestaron preferencia por una voz femenina. Entre las funcionalidades sugeridas se incluyeron bailar, contar cuentos, jugar y reproducir videos y música.

A partir de la información obtenida en esta primera etapa, se desarrolló una prueba de concepto inicial con morfología canina mediante modelado 3D (Figura 1A). Posteriormente, este primer modelo fue presentado a tres pacientes pediátricos hospitalizados durante una actividad grupal exploratoria de retroalimentación. Los comentarios se refirieron a la forma general del prototipo, la disposición de las orejas, la movilidad de la cola, la apertura y el cierre de los ojos, los movimientos de la cabeza y la postura. Se expresaron preferencias por orejas altas o separadas de la cabeza, por una cola móvil, por ojos que pudieran abrirse y cerrarse y por movimientos de la cabeza que permitieran asentir y negar. Asimismo, se señaló que la postura del primer modelo resultaba excesivamente rígida.

Luego de incorporar los ajustes identificados en esta fase, se aplicó una encuesta de validación estética a 10 pacientes pediátricos hospitalizados. Nueve participantes indicaron que les gustaba la forma del robot y nueve consideraron que este tenía una apariencia amigable; asimismo, los 10 manifestaron que les gustaría disponer de un robot de estas características durante su hospitalización. En la pregunta abierta, quienes manifestaron que les gustaba el prototipo señalaron como motivos la semejanza con su propio perro, su agrado por los perros y algunas características de su apariencia, como los ojos, las orejas, las patas y el tamaño. Como aspectos que no les agradaban o que consideraban que debían mejorarse, mencionaron la ausencia de cola y la posibilidad de que el robot ladre y mueva la cola. Al solicitarles que indicaran sus dos opciones preferidas entre las alternativas de color y

apariencia presentadas en la encuesta, las seleccionadas con mayor frecuencia fueron Rottweiler (5/10), Dálmata (4/10) y Scooby-Doo (4/10), seguidas de celeste (3/10), rosa (3/10) y crema con marrón (1/10). En la pregunta semiabierta, seis participantes indicaron que no preferían una raza o un color distinto de las opciones presentadas, mientras que cuatro propusieron otras alternativas: un robot completamente blanco, uno de color naranja y de una raza de menor tamaño, uno con apariencia de pastor alemán y uno de color rosado o morado. Los accesorios seleccionados con mayor frecuencia fueron la ropa (8/10), los collares (7/10), los juguetes, como huesos o pelotas (5/10), y las orejas de otras formas (4/10). Las actividades solicitadas con mayor frecuencia fueron jugar (8/10), hablar (7/10), contar cuentos (4/10) y ayudar con las tareas (4/10). En cuanto al tiempo de interacción deseado, cinco participantes seleccionaron la opción de disponer del robot durante todo el día, cuatro durante las tardes, uno durante las noches y uno durante un tiempo determinado en cada horario.

Estas respuestas fueron utilizadas para realizar ajustes en la apariencia y los modos previstos de interacción del robot. Como resultado del proceso iterativo de diseño, se desarrolló un prototipo de mayor tamaño y con rasgos más similares a los de un perro real (Figura 1B).

Finalmente, los aportes de los psicólogos del Servicio de Hematología permitieron identificar los objetivos y las actividades que integran la atención psicológica habitual de los pacientes hospitalizados. A partir de esta información, se definieron funcionalidades del robot que pudieran integrarse en dicha práctica, orientadas a la psicoeducación, la regulación emocional, el afrontamiento del miedo a los procedimientos médicos, el fortalecimiento de la autoimagen, la promoción de la autonomía y la adherencia al tratamiento. Asimismo, se incorporaron funcionalidades concebidas para su futura integración en actividades de comunicación entre el niño, su familia y el equipo de salud.

Prototipo físico y accesorios fabricados

Como resultado del proceso de diseño, manufactura y validación con usuarios, se obtuvo la estructura física de "Tomy", con apariencia de perro, conformada por piezas independientes de PLA fabricadas mediante impresión 3D con tecnología FDM y posteriormente ensambladas. Se verificaron su compatibilidad dimensional, su estabilidad y su adecuación para la integración de los componentes internos del sistema. Asimismo, se fabricaron un estetoscopio, una flor, un sombrero y una mascarilla, diseñados para complementar visualmente y lúdicamente los contenidos previstos para las sesiones psicológicas. El prototipo funcional final y sus accesorios se muestran en la Figura 2. En comparación con el modelo CAD presentado en la Figura suplementaria 1, en el prototipo físico final la batería se ubicó en una zona distinta del interior del cuerpo y ambas patas delanteras se configuraron como elementos fijos.

Integración de la estructura manufacturada con los componentes electrónicos

El ensamblaje final de "Tomy" permitió integrar la carcasa impresa en 3D con el sistema de control electrónico centralizado en un microordenador Raspberry Pi con 4 GB

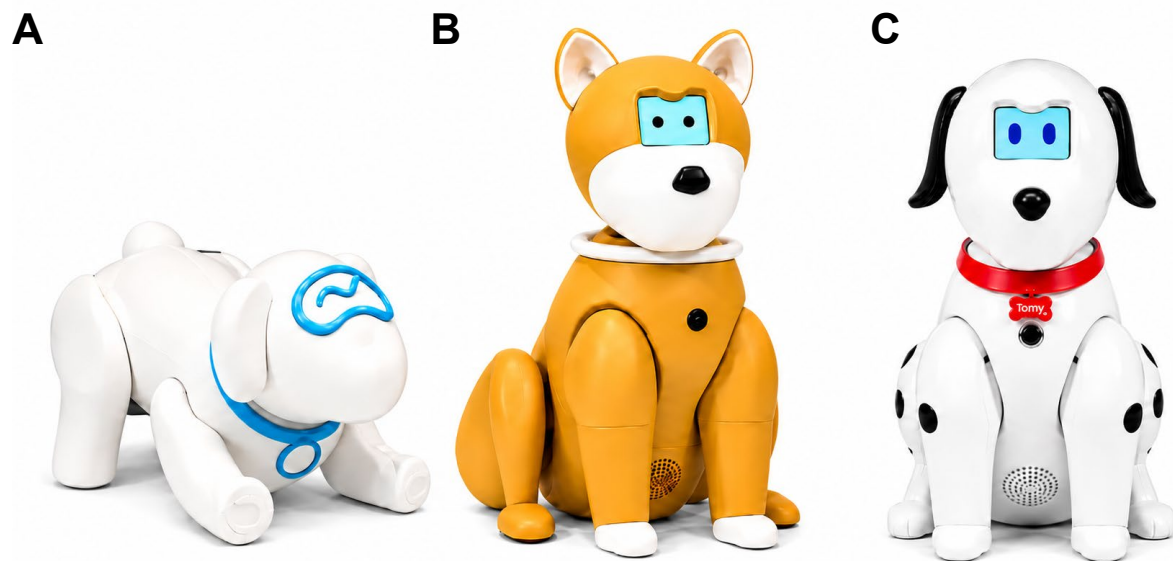


Figura 1. Proceso de diseño y desarrollo del prototipo “Tomy”

A. Prueba de concepto inicial. B. Prototipo intermedio. C. Prototipo funcional final.

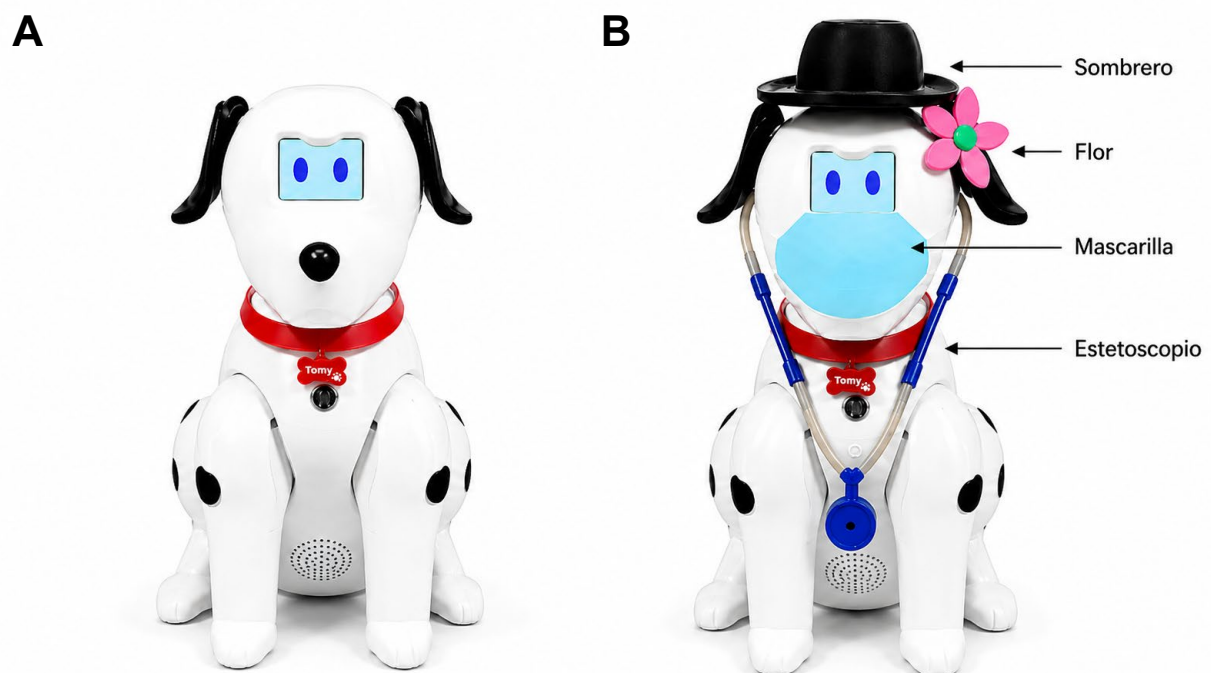


Figura 2. Prototipo funcional final de “Tomy” y accesorios complementarios

A. Robot “Tomy” sin accesorios. B. Robot “Tomy” con los accesorios colocados en posición operativa: estetoscopio, flor, sombrero y mascarilla.

de memoria RAM. Durante la verificación electromecánica, se observó que los cinco motores paso a paso y el servomotor de la cola respondieron a las señales de control y ejecutaron los movimientos programados. No se cuantificó el número de ciclos ni se establecieron criterios formales de éxito.

El sistema de suministro de energía permitió mantener el procesamiento, la motricidad y la pantalla de forma simultánea durante las pruebas funcionales. El prototipo funcional final obtenido tras el proceso de integración se muestra en las Figuras 1C y 2.

Pruebas de funcionamiento y optimización funcional

El prototipo funcional de robot social fue operado por un psicólogo mediante una tableta conectada a la interfaz web, desde la cual se seleccionaron contenidos y comandos predeterminados. La pantalla incorporada en el rostro permitió mostrar cuatro expresiones faciales preprogramadas (cansancio, alegría, enojo y tristeza) (Figura 3), coordinadas con el contenido emitido por el sistema de audio. Se observó que los cinco indicadores LED azules se activaron en respuesta a los comandos programados para señalar visualmente las regiones anatómicas contempladas en los contenidos de las sesiones. No se realizaron pruebas cuantitativas ni se establecieron criterios formales de éxito.

Se verificó la comunicación bidireccional entre la interfaz de control (*frontend*), operada por el psicólogo, y el hardware del robot, con una latencia media de 986 ms. No se evaluó formalmente la tasa de éxito. La pantalla inicial de la interfaz permitió seleccionar mensajes breves predeterminados y activar comandos motrices programados para la cabeza, las patas traseras y la cola. Asimismo, la interfaz permitió acceder

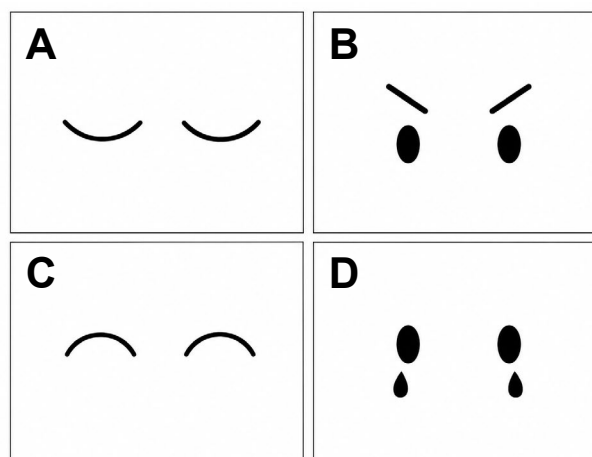


Figura 3. Expresiones faciales preprogramadas de “Tomy”

A. Cansancio. B. Enojo. C. Alegría. D. Tristeza.

al contenido de las siete sesiones psicológicas estructuradas desde una sección específica. Los mensajes, cuentos y respuestas predeterminadas fueron emitidos por el sistema de audio del prototipo y coordinados con las expresiones faciales en pantalla y las acciones motoras programadas. Una vista de la pantalla inicial de la interfaz web se presenta en la Figura 4. El módulo en la nube procesó las peticiones a través del *backend* en Python alojado en el servidor AWS y permitió la comunicación entre la interfaz web y el robot durante las pruebas funcionales.

Las principales características físicas y técnicas del prototipo funcional final de “Tomy” se resumen en la Tabla 1.

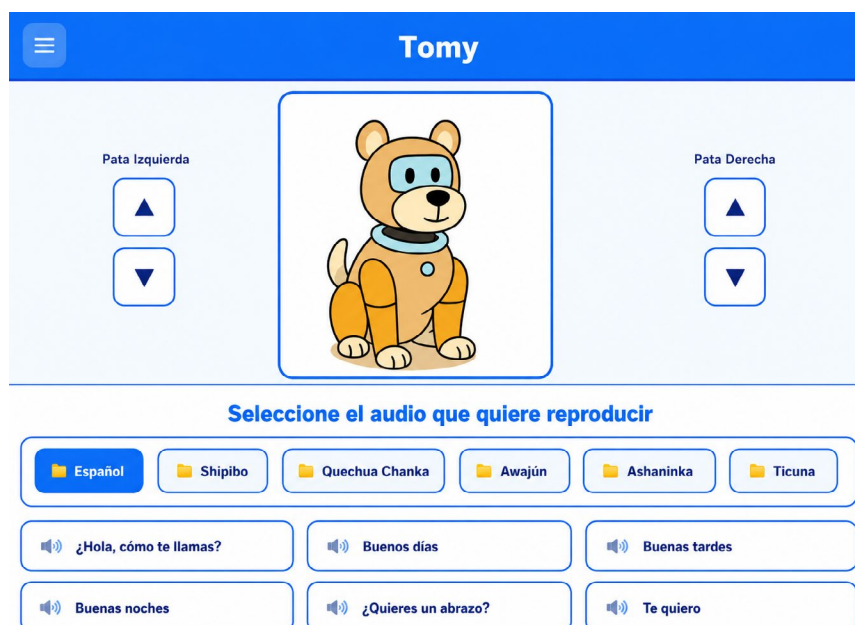


Figura 4. Pantalla inicial de la interfaz web para el control de “Tomy”

Se muestra la sección de mensajes breves y de controles motrices de la interfaz web. Esta pantalla permite al profesional seleccionar mensajes breves, activar comandos motrices del robot y reproducir audios predeterminados, previstos para su futura integración en las sesiones psicológicas estructuradas. Las categorías de lenguas originarias visibles en la interfaz permanecieron inactivas y no formaron parte de las pruebas funcionales.

Tabla 1. Características físicas y técnicas del prototipo funcional final de “Tomy”

Característica	Especificación
Peso	2,5 kg
Altura	38 cm
Ancho	24 cm
Profundidad	42 cm
Autonomía teórica estimada*	2 h (uso activo) 4 h (uso normal)
Lenguajes de programación	Python, JavaScript
Conectividad	Wi-Fi
Puertos	HDMI

HDMI: interfaz de audio y video de alta definición. *Estimación teórica basada en los voltajes nominales y las corrientes máximas reportados en las hojas de datos de los componentes electrónicos; no medida experimentalmente.

DISCUSIÓN

El presente estudio describió el proceso de diseño, manufactura, integración electrónica y digital, así como la optimización funcional de “Tomy”, un SAR concebido como herramienta complementaria para acompañar la atención psicológica habitual de niños hospitalizados por cánceres hematológicos.

La participación de pacientes pediátricos y profesionales de la salud se integró al proceso de diseño centrado en los usuarios, con el propósito de favorecer la pertinencia del prototipo en su contexto previsto de uso (12,13). La literatura sobre robótica social pediátrica señala que el diseño centrado en los usuarios finales permite identificar requerimientos que difícilmente se identifican únicamente desde la ingeniería, incluyendo la apariencia del robot, las modalidades de interacción, la adecuación del lenguaje al nivel de desarrollo, los objetivos de apoyo emocional y las restricciones operativas del entorno clínico (13). Asimismo, se ha propuesto que los robots destinados a entornos pediátricos pueden diseñarse de manera más efectiva cuando expertos clínicos, ingenieros y usuarios finales colaboran durante el proceso de desarrollo, ya que ello favorece la definición de comportamientos, escenarios de uso y condiciones de implementación ajustados a las necesidades del niño y del equipo asistencial (14). En esa línea, el desarrollo de “Tomy” incorporó las opiniones de niños hospitalizados y de psicólogos del Servicio de Hematología para definir su morfología, sus modos de interacción, sus recursos lúdicos y su alineación con los objetivos de la atención psicológica habitual.

Como resultado de este proceso, el prototipo funcional se caracterizó por una morfología canina y por la incorporación de cuentos, mensajes y respuestas predeterminados, concebidos para su futura integración en las sesiones psicológicas habituales. El robot se controla mediante una tableta operada por un psicólogo, desde la cual se accede a una interfaz web con cuentos, mensajes y respuestas predeterminadas para las sesiones psicológicas. Además, “Tomy” integra movimientos específicos de la cola, la cabeza

y las patas traseras, una pantalla facial que permite proyectar expresiones asociadas a los contenidos, así como accesorios como estetoscopio, flor, sombrero y mascarilla, diseñados para complementar visualmente y lúdicamente dichos contenidos.

Por su parte, los aportes de los psicólogos permitieron alinear las funcionalidades del robot con los objetivos y las actividades de la atención psicológica habitual del Servicio de Hematología. Esta alineación permite considerar a “Tomy” como un recurso complementario, concebido para acompañar las actividades realizadas por el profesional, y no como una intervención independiente. Asimismo, los contenidos priorizados coinciden con los estándares de atención psicosocial en oncología pediátrica, que incluyen psicoeducación, apoyo emocional, acompañamiento durante el tratamiento y preparación para procedimientos médicos (4,5). De este modo, el prototipo fue definido no solo a partir de criterios técnicos, sino también de las necesidades de los pacientes, de la práctica de los profesionales y de las condiciones del contexto asistencial (15,16).

Al contrastar “Tomy” con robots sociales previamente reportados en oncología pediátrica, se identifican experiencias con distintos propósitos de uso y características de diseño, resumidas en la Tabla suplementaria 4. Alemi et al. (17) utilizaron Nima, un robot humanoide basado en la plataforma comercial NAO, como asistente de psicoterapia para niños con cáncer. Las sesiones siguieron guiones y roles previamente diseñados y emplearon una metodología *Wizard-of-Oz*, en la que un operador enviaba comandos al robot en momentos determinados. Nima podía hablar, realizar gestos corporales, reproducir música y bailar, y las sesiones estuvieron orientadas a instruir a los pacientes sobre su enfermedad y sus síntomas, a empatizar con ellos y a favorecer la expresión de sus miedos y preocupaciones. Por otro lado, Meghdari et al. (18) describieron Arash, un robot humanoide móvil diseñado para entretener, asistir y educar a niños con cáncer en el entorno hospitalario. El robot podía desplazarse por distintas áreas del hospital, mostrar expresiones faciales en una pantalla ubicada en la cabeza, realizar movimientos corporales y narrar historias. Debido a las limitaciones del sistema de habla en persa, la interacción por voz se basó en sonidos o frases pregrabados bajo la metodología *Wizard-of-Oz*. MEDiPORT, otro robot humanoide basado en la plataforma NAO, fue programado para acompañar a niños con cáncer durante la inserción de agujas en puertos subcutáneos, mediante mensajes verbales de preparación, apoyo, respiración guiada y refuerzo positivo, coordinados con los movimientos del robot y activados en momentos específicos por una asistente a través de una tableta, así como mediante distracción activa con canto y baile (19). Otros estudios han utilizado robots humanoides con un propósito principalmente educativo. van Bindsbergen et al. (20) emplearon el robot NAO6, presentado como “*Hero the Sleep Professor*”, para brindar educación interactiva sobre higiene del sueño a niños con cáncer y sus padres en una consulta externa de oncología pediátrica, mediante un flujo educativo programado con comportamiento autónomo, preguntas, retroalimentación, información explicativa y apoyo visual con una tableta; mientras que Lozano-Mosos et al. (21) utilizaron NAO V6 para transmitir mensajes educativos sobre

nutrición y cuidado del catéter venoso central en pacientes pediátricos oncológicos, mediante una sesión individual en la que el robot realizaba una introducción, movimientos y música, mientras el investigador formulaba preguntas y el robot emitía mensajes educativos. En Latinoamérica, Colina-Matiz *et al.* (22) utilizaron Lego Mindstorms EV3 como intervención adyuvante durante la hospitalización de pacientes pediátricos oncológicos, orientada a estimular la comunicación, la interacción social y la actividad motora mediante robótica social; la intervención se organizó en tres fases: un relato breve de estructura abierta orientado a estimular la expresión verbal, la construcción guiada de un robot tipo automóvil y actividades de juego cooperativo, como carreras y superación de obstáculos; además, al desarrollarse durante la pandemia de COVID-19, incorporó protocolos de limpieza y desinfección de los dispositivos utilizados.

Estas experiencias en oncología pediátrica coinciden con “Tomy” en el uso de tecnologías robóticas como herramientas complementarias, lúdicas, educativas o de apoyo emocional en la atención de niños con cáncer. Asimismo, “Tomy” comparte con Nima el propósito de apoyar intervenciones psicológicas estructuradas dirigidas por profesionales y, con Arash, el interés en adaptar el diseño del robot a las preferencias de los pacientes pediátricos y al contexto hospitalario. Sin embargo, “Tomy” se diferencia de la mayoría de las experiencias descritas porque no corresponde a un robot comercial ni a una morfología humanoide, sino a un prototipo desarrollado localmente, con forma animal definida en base a las preferencias de pacientes pediátricos hospitalizados por cánceres hematológicos. Además, a diferencia de robots orientados a procedimientos específicos, como la inserción de agujas en puertos subcutáneos, o a módulos educativos concretos, como la higiene del sueño, la nutrición o el cuidado del catéter, “Tomy” fue concebido para acompañar al psicólogo en intervenciones psicológicas estructuradas, con contenidos orientados al acompañamiento emocional y al apoyo psicoeducativo durante la hospitalización.

De manera complementaria, algunos estudios en salud pediátrica han descrito robots sociales con morfología animal o de tipo mascota en contextos hospitalarios, cuyas características principales también se resumen en la Tabla suplementaria 4. Moerman y Jansens (23) utilizaron PLEO, un robot con forma de dinosaurio bebé, capaz de producir sonidos y movimientos de tipo animal, en niños hospitalizados, incluidos algunos en tratamiento oncológico, como actividad terapéutica personalizada, guiada por profesionales encargados del acompañamiento lúdico y psicosocial del niño hospitalizado, con objetivos como la distracción, el alivio del aburrimiento, la relajación, la activación o la reducción del malestar y del estrés. Tanaka *et al.* (24) utilizaron aibo, un robot social con forma de perro desarrollado por Sony, con apariencia y comportamiento típicos de perro, capaz de reconocer personas, lugares y obstáculos mediante cámaras y sensores, y de modificar su comportamiento ante estímulos táctiles o verbales, con pacientes pediátricos hospitalizados con enfermedades crónicas y sus cuidadores, mediante sesiones grupales orientadas a promover la interacción y el acompañamiento en la sala pediátrica. Logan *et al.* (25) describieron Huggable, un robot tipo oso de peluche controlado a distancia mediante la metodología *Wizard-of-*

Oz por personal pediátrico de apoyo emocional, en niños hospitalizados en servicios médicos y quirúrgicos, incluidas las áreas hemato-oncológicas. El operador podía activar expresiones faciales y gestos corporales, así como comunicarse a través del robot con una voz infantil modificada; durante la interacción, Huggable conversaba con los niños, cantaba canciones infantiles y jugaba a “*I spy*”. Okita (26) utilizó PARO, un robot terapéutico con forma de foca bebé, como compañero robótico para pacientes pediátricos admitidos a un hospital infantil; tras una breve explicación sobre su uso, los pacientes podían acariciarlo, sostenerlo y hablarle.

En Latinoamérica, RoPi constituye un antecedente regional de un robot social de bajo costo, concebido para el acompañamiento emocional de niños hospitalizados por quemaduras. Este prototipo de morfología animal fue fabricado mediante impresión 3D con PLA e integra una pantalla para mostrar expresiones oculares, mecanismos de movimiento y un sistema de audio, controlados mediante una aplicación móvil que también permite realizar llamadas de voz entre el paciente y sus familiares o profesionales. Además, cuenta con piezas intercambiables para modificar su apariencia. En comparación con “Tomy”, RoPi incorpora la comunicación remota por voz como funcionalidad adicional (10).

Estos antecedentes respaldan la pertinencia de explorar morfologías no humanoides o animalizadas en salud pediátrica, especialmente cuando se busca favorecer una interacción basada en la familiaridad, el juego, el cuidado y el acompañamiento. En ese aspecto, “Tomy” se aproxima a robots como PLEO, aibo, Huggable, PARO y RoPi por adoptar una apariencia animal para facilitar la aproximación del niño al dispositivo. Además, estudios exploratorios sobre posibles aplicaciones de robots sociales en hospitales pediátricos han considerado robots biomiméticos o de tipo mascota, como MiRo y Joy for All Cat, como recursos potenciales para favorecer la comunicación, la participación del niño en su cuidado y el apoyo durante las actividades clínicas (27). No obstante, “Tomy” fue concebido para un uso más delimitado: servir como recurso complementario operado por el profesional, para acompañar las sesiones psicológicas habituales de pacientes pediátricos hospitalizados por cánceres hematológicos. Su interfaz web, accesible desde una tableta, permite seleccionar cuentos, mensajes y respuestas predeterminadas, así como activar movimientos de la cabeza, la cola y las patas traseras. Aunque no tiene capacidad de desplazamiento, incorpora una pantalla facial y accesorios (estetoscopio, flor, sombrero y mascarilla) diseñados para complementar visualmente y lúdicamente los contenidos previstos para las sesiones realizadas en las habitaciones de hospitalización.

La implementación de robots sociales en el contexto clínico presenta limitaciones operativas, técnicas y éticas que deben considerarse antes de su incorporación rutinaria. En el caso de “Tomy”, su eventual implementación requerirá inicialmente la participación de un psicólogo durante las sesiones, así como capacitación específica para manejar el dispositivo, dado que “Tomy” es operado por el profesional mediante una tableta y no funciona mediante una interacción autónoma directa con el paciente. Esta consideración concuerda con estudios en oncología pediátrica que sugieren

introducir los robots sociales como complemento del cuidado y no como reemplazo del contacto humano (28). Asimismo, estudios previos sugieren que la aceptabilidad de los robots sociales puede variar según el paciente, su edad, su familiaridad o vínculo previo con el robot y la forma en que el dispositivo sea introducido por el equipo asistencial; además, se recomienda informar al personal, capacitarlo y brindarle tiempo de práctica antes de su implementación (28). En el presente estudio no se evaluó la aceptabilidad de “Tomy” a lo largo de las siete sesiones psicológicas previstas. En consecuencia, no se examinó la evolución del interés, la aparición de fatiga, aburrimiento o rechazo, la correspondencia entre las expectativas de interacción de los pacientes y las funcionalidades disponibles del robot, ni si la experiencia de uso variaba según la edad. Estos aspectos deberán evaluarse en futuras fases de implementación.

La literatura también ha descrito barreras relacionadas con fallas técnicas, necesidad de soporte tecnológico, capacitación del personal, carga adicional de trabajo, mantenimiento, almacenamiento, control de infecciones, privacidad y consentimiento (19,22,27). En este contexto, el presente estudio no evaluó los procedimientos de limpieza y desinfección ni otras medidas de bioseguridad aplicables al prototipo. Tampoco se determinó el nivel máximo de presión sonora del sistema de audio, ni se dispuso de una clasificación IP ni se realizaron pruebas específicas de aislamiento eléctrico ni de seguridad frente a la manipulación por niños. Estos aspectos deberán evaluarse antes de su implementación clínica, de acuerdo con las normas institucionales de prevención y control de infecciones y con los requisitos aplicables de seguridad del dispositivo. A estos desafíos se suma la necesidad de adaptar lingüísticamente y culturalmente los contenidos del robot al contexto de atención. La experiencia de Arash ilustra este aspecto, ya que las limitaciones del sistema de habla en persa hicieron necesario recurrir a sonidos pregrabados (18). En el caso de “Tomy”, este punto será particularmente relevante en futuras versiones, dado que la institución atiende pacientes pediátricos provenientes de distintas regiones del país.

En este marco, se viene explorando la incorporación de una arquitectura de inteligencia artificial orientada a ampliar gradualmente las capacidades de interacción basada en voz de “Tomy”, bajo supervisión profesional. Esta arquitectura podría integrar reconocimiento automático de voz, procesamiento del lenguaje natural, generación de respuestas contextualizadas, síntesis de voz y registro de interacciones con fines de trazabilidad técnica. Sin embargo, estas funcionalidades no forman parte del prototipo funcional descrito en este estudio y deberán evaluarse en etapas posteriores desde una perspectiva técnica, ética y clínica antes de su eventual incorporación en sesiones con pacientes pediátricos. En particular, la incorporación de inteligencia artificial generativa deberá someterse, antes de realizar pruebas piloto con pacientes, a una evaluación específica de la seguridad y la pertinencia clínica del contenido generado. Asimismo, deberán establecerse mecanismos de supervisión profesional, así como medidas de privacidad y protección de datos, y verificarse la adecuación de dichas funcionalidades al contexto de una población pediátrica hospitalizada y vulnerable.

En conjunto, las futuras fases de implementación y evaluación de “Tomy” deberán abordar estos aspectos en pacientes hospitalizados por cánceres hematológicos, durante sesiones psicológicas estructuradas realizadas en las habitaciones de hospitalización y, al menos en una etapa inicial, con interacción mediada por un profesional a través de una tableta. Dichas fases deberán incluir procedimientos de limpieza, desinfección y bioseguridad acordes con la vulnerabilidad clínica de esta población, así como la evaluación progresiva de contenidos orales o mensajes en lenguas originarias, como el quechua, el aymara y el awajún. Esta adaptación no deberá limitarse a la traducción de los cuentos y mensajes, sino que deberá contemplar también su adecuación cultural, validación por hablantes competentes y evaluación de aceptabilidad por los pacientes y el equipo asistencial. En consecuencia, futuras fases de evaluación de “Tomy” deberán incluir no solo desenlaces emocionales, sino también indicadores de factibilidad, seguridad, aceptabilidad, usabilidad, integración en la sesión psicológica y sostenibilidad operativa.

En conclusión, se desarrolló un prototipo funcional de robot social con morfología canina, diseñado con la participación de niños hospitalizados y psicólogos, y concebido como herramienta complementaria para acompañar la atención psicológica habitual de niños hospitalizados por cánceres hematológicos. En su versión actual, “Tomy” requiere la guía de un psicólogo y, por tanto, no sustituye al profesional ni resuelve directamente la escasez de especialistas.

El presente estudio documentó su proceso de diseño, manufactura, integración electrónica y digital, así como su optimización funcional, pero no evaluó su implementación clínica ni sus efectos sobre la ansiedad, el miedo, el estrés, la adaptación hospitalaria u otros desenlaces emocionales. Estudios posteriores deberán evaluar su seguridad, factibilidad, aceptabilidad, usabilidad, integración en las sesiones psicológicas y el valor añadido frente a alternativas más simples, así como sus posibles efectos clínicos y su potencial para facilitar la presentación estructurada de contenidos durante la atención psicológica.

Contribuciones de autoría

OPR: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción – borrador original. AMFC: Investigación, Metodología, Redacción – borrador original. SJPL: Investigación, Metodología, Redacción – borrador original. RAGA: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición. SRCB: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición. AJMR: Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición. MPJM: Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición. RMAH: Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición. Todos los autores aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores no tienen intereses financieros o no financieros relevantes que declarar.

Financiamiento

El presente proyecto fue financiado por el Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja, en el marco del “1.er

Concurso de Innovación INSNSB 2023”, por un monto total de S/ 50 000.

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles previa solicitud al autor correspondiente.

Uso de inteligencia artificial

Se utilizó ChatGPT-5.5 como herramienta de apoyo para la edición lingüística y la revisión gramatical del manuscrito. Los autores revisaron y aprobaron todo el contenido final y asumen la responsabilidad íntegra por la versión enviada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- de Paula Silva N, Colombet M, Moreno F, Erdmann F, Dolya A, Piñeros M, et al. Incidence of childhood cancer in Latin America and the Caribbean: coverage, patterns, and time trends. *Rev Panam Salud Publica*. 2024;48:e11. doi: 10.26633/RPSP.2024.11
- Al-Saadi LS, Chan MF, Al-Azri M. Prevalence of anxiety, depression, and post-traumatic stress disorder among children and adolescents with cancer: a systematic review and meta-analysis. *J Pediatr Hematol Oncol Nurs*. 2022;39(2):114-31. doi: 10.1177/27527530211056001
- Gomez-Gamboa E, Rodrigo-Pedrosa O, Saz Roy MA, Gomez-Rodriguez A, Loscertales AN, Llobet MP. Spiritual pain as part of the hospitalization experience of children and adolescents with acute lymphoblastic leukemia: a phenomenological study. *Eur J Oncol Nurs*. 2022;58:102141. doi: 10.1016/j.ejon.2022.102141
- Wiener L, Kazak AE, Noll RB, Patenaude AF, Kupst MJ. Standards for the psychosocial care of children with cancer and their families: an introduction to the special issue. *Pediatr Blood Cancer*. 2015;62 Suppl 5:S419-24. doi: 10.1002/pbc.25675
- Trigoso V, Vásquez L, Fuentes-Alabi S, Pascual C, Méndez T, Maradiegue E, et al. Standards for psychosocial care in pediatric cancer: adapted proposal for Latin American and Caribbean countries. *Rev Panam Salud Publica*. 2023;47:e156. doi: 10.26633/RPSP.2023.156
- Hsu FY, Lee YH, Tsai JL, Lien ASY. Socially assistive robots for pain management and emotional responses in pediatric hospital care: systematic review and meta-analysis. *J Med Internet Res*. 2025;27:e76427. doi: 10.2196/76427
- Littler BKM, Alessa T, Dimitri P, Smith C, de Witte L. Reducing negative emotions in children using social robots: systematic review. *Arch Dis Child*. 2021;106(11):1095-101. doi: 10.1136/archdischild-2020-320721
- Triantafyllidis A, Alexiadis A, Votis K, Tzovaras D. Social robot interventions for child healthcare: a systematic review of the literature. *Comput Methods Programs Biomed Update*. 2023;3:100108. doi: 10.1016/j.cmpbup.2023.100108
- Liao YJ, Jao YL, Boltz M, Adekeye OT, Berish D, Yuan F, et al. Use of a humanoid robot in supporting dementia care: a qualitative analysis. *SAGE Open Nurs*. 2023;9:23779608231179528. doi: 10.1177/23779608231179528
- Caballa S, Lizano D, Aranda M, Zegarra D. RoPi: robotic assistant for the emotional support of hospitalized children for burns. En: *Companion of the 2023 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*; 13-16 de marzo de 2023; Estocolmo, Suecia. Nueva York: Association for Computing Machinery; 2023. p. 845-8. doi: 10.1145/3568294.3580198
- Marcus HJ, Bennett A, Chari A, Day T, Hirst A, Hughes-Hallett A, et al. IDEAL-D framework for device innovation: a consensus statement on the preclinical stage. *Ann Surg*. 2022;275(1):73-9. doi: 10.1097/SLA.0000000000004907
- Hudson S, Nishat F, Stinson J, Litwin S, Zeller F, Wiles B, et al. Perspectives of healthcare providers to inform the design of an AI-enhanced social robot in the pediatric emergency department. *Children (Basel)*. 2023;10(9):1511. doi: 10.3390/children10091511
- Neerincx A. Social robot scenarios for real-world child and family care settings through participatory design. *arXiv:2209.11489v2 [preprint]*. 2022 [revisado el 21 de julio de 2023; citado el 12 de agosto de 2026]: [4 p.]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.11489>
- Foster ME, Petrick RPA. Towards social HRI for improving children's healthcare experiences. *arXiv:2010.04652v1 [preprint]*. 2020 [citado el 12 de agosto de 2026]: [5 p.]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.04652>
- Neerincx A, Veldhuis D, Masthoff JMF, de Graaf MMA. Co-designing a social robot for child health care. *Int J Child Comput Interact*. 2023;38:100615. doi: 10.1016/j.ijcci.2023.100615
- Meghdari A, Shariati A, Alemi M, Nobaveh AA, Khamooshi M, Mozaffari B. Design performance characteristics of a social robot companion "Arash" for pediatric hospitals. *Int J HR*. 2018;15(5):1850019. doi: 10.1142/S0219843618500196
- Alemi M, Ghanbarzadeh A, Meghdari A, Moghadam LJ. Clinical application of a humanoid robot in pediatric cancer interventions. *Int J Soc Robot*. 2016;8(5):743-59. doi: 10.1007/s12369-015-0294-y
- Meghdari A, Shariati A, Alemi M, Vossoughi GR, Eydi A, Ahmadi E, et al. Arash: a social robot buddy to support children with cancer in a hospital environment. *Proc Inst Mech Eng H*. 2018;232(6):605-18. doi: 10.1177/0954411918777520
- Jibb LA, Birnie KA, Nathan PC, Beran TN, Hum V, Victor JC, et al. Using the MEDiPORT humanoid robot to reduce procedural pain and distress in children with cancer: a pilot randomized controlled trial. *Pediatr Blood Cancer*. 2018;65(9):e27242. doi: 10.1002/pbc.27242
- van Bindsbergen KLA, van der Hoek H, van Gorp M, Ligthart MEU, Hindriks KV, Neerincx MA, et al. Interactive education on sleep hygiene with a social robot at a pediatric oncology outpatient clinic: feasibility, experiences, and preliminary effectiveness. *Cancers (Basel)*. 2022;14(15):3792. doi: 10.3390/cancers14153792
- Lozano-Mosos JS, Hernández Leal J, Colina-Matiz S, Muñoz-Vargas PT. Education by a social robot on nutrition and catheter care in pediatric oncology patients. *Support Care Cancer*. 2023;31(12):693. doi: 10.1007/s00520-023-08168-6
- Colina-Matiz S, Hernández Leal J, Ariza-Vargas JC, Beltrán Higuera OR, Ovalle-Chaparro C, González Suárez NL, et al. Social robotics as an adjuvant during the hospitalization process in pediatric oncology patients. *J Psychosoc Oncol*. 2024;42(6):811-21. doi: 10.1080/07347332.2024.2335170
- Moerman CJ, Jansens RML. Using social robot PLEO to enhance the well-being of hospitalised children. *J Child Health Care*. 2021;25(3):412-26. doi: 10.1177/1367493520947503
- Tanaka K, Makino H, Nakamura K, Nakamura A, Hayakawa M, Uchida H, et al. The pilot study of group robot intervention on pediatric inpatients and their caregivers, using 'new aibo'. *Eur J Pediatr*. 2022;181(3):1055-61. doi: 10.1007/s00431-021-04285-8
- Logan DE, Breazeal C, Goodwin MS, Jeong S, O'Connell B, Smith-Freedman D, et al. Social robots for hospitalized children. *Pediatrics*. 2019;144(1):e20181511. doi: 10.1542/peds.2018-1511
- Okita SY. Self-other's perspective taking: the use of therapeutic robot companions as social agents for reducing pain and anxiety in pediatric

- patients. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2013;16(6):436-41. doi: 10.1089/cyber.2012.0513
27. Kabacińska K, Teng KA, Robillard JM. Social robot interactions in a pediatric hospital setting: perspectives of children, parents, and healthcare providers. *Multimodal Technol Interact*. 2025;9(2):14. doi: 10.3390/mti9020014
28. van Bindsbergen KLA, van Gorp M, Thomassen BW, Merks JHM, Grootenhuis MA. Social robots in pediatric oncology: opinions of health care providers. *J Psychosoc Oncol Res Pract*. 2022;4(2):e073. doi: 10.1097/OR9.0000000000000073