

## Beneficios del Ambiente Robótico Lúdico SpinBOT en el Desarrollo de Habilidades Cognitivas

Jairo A. Acevedo-Londoño <sup>a,\*</sup>, Eduardo Caicedo-Bravo <sup>a</sup>, Javier Ferney Castillo-García <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, PPIEE, Universidad del Valle, Grupo de investigación Percepción y Sistemas Inteligentes PSI, Calle 13 # 100-00, Cali, Colombia.

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Santiago de Cali, Grupo de investigación en Ingeniería Electrónica, Industrial y Ambiental, Calle 5 #62-00, Cali, Colombia

### Resumen

Los niños que presentan discapacidad física corren un alto riesgo de desarrollar efectos adversos en su desarrollo cognitivo, debido a su incapacidad de interactuar con el medio. Múltiples estudios han demostrado el potencial de los robots como herramientas usadas para asistir actividades lúdicas, dado que, permiten el aprendizaje de habilidades cognitivas, sociales, motrices y de lenguaje. En este ámbito de aplicación, este artículo describe un estudio con 4 niños entre 11 y 17 años de edad, con el fin de evaluar un ambiente lúdico de asistencia tecnológica de bajo costo, para la rehabilitación del miembro superior, que, durante el tratamiento con el robot, permitió demostrar los conceptos cognitivos de causalidad, negación, juego simbólico y secuenciación. Al inicio y final de la intervención, se hizo una valoración por profesionales del área de psicología y fisioterapia. También, se entrevistó a los terapeutas y padres o cuidadores, donde se observó el progreso del componente cognitivo mediante el uso operativo del robot.

### Palabras Clave:

Discapacidad, Robótica asistencial, Extremidad superior, Ingeniería, Robótica, Terapia, Rehabilitación.

### Benefits of SpinBOT Playful Robotic Environment in the Development of Cognitive Abilities

### Abstract

Children with physical disabilities are at high risk of developing adverse effects on their cognitive development, due to their lack of ability to interact with the world around them. Multiple studies have demonstrated the potential of robots as tools used to assist playful activities, which allow the learning of cognitive, social, motor and language skills. In this area of application, this article describes a study with 4 children between 11 and 17 years of age, in order to evaluate a low-cost, technological assistance environment for the rehabilitation of the upper limb, which during the treatment with the Robot, allowed to demonstrate the cognitive concepts of causality, negation, symbolic play and sequencing. At the beginning and the end of the intervention, an evaluation was carried out by professionals in the psychology and physiotherapy area. An interview was applied to the therapists and parents or caregivers, where the progress of the cognitive component was observed through the use of the robot.

### Keywords:

Disability, Assisted Robotics, Upper limb, Engineering, Robotics, Therapy, Rehabilitation.

### 1. Introducción

La discapacidad es un término genérico que engloba deficiencias y restricciones para la participación en la vida cotidiana. Cuando esto ocurre en pacientes pediátricos, ocasiona una afectación en la calidad de vida. Los niños con discapacidad tienen una mayor restricción de acceder a los beneficios inherentes a las actividades lúdicas, como sucede en

los juegos manipulativos, que son instrumentos de desarrollo del pensamiento, facilitan el desarrollo de lenguaje coherente y estimulan la discriminación: fantasía-realidad, esto explica porque, el juego es una actividad que crea y desarrolla estructuras mentales promoviendo la imaginación y la creatividad. En este contexto, los niños con discapacidad motora que presentan retraso cognitivo del algún tipo, son los que corren un alto riesgo de desarrollar un retraso mucho

\*Autor para correspondencia: Jairo Andres Acevedo L: jairo.acevedo@correounivalle.edu.co

mayor debido a su incapacidad de interactuar con el mundo que los rodea. Así que, mejorar las capacidades cognitivas de los seres humanos para un mejor aprendizaje a través del juego, es un tema de interés e investigación en educación y rehabilitación.

Entre otras alternativas, la robótica logró demostrar que el uso de robots puede ofrecer una opción; para que, los niños puedan interactuar con su entorno, manipular objetos en tres dimensiones y desarrollar tareas asociadas a actividades lúdicas, que estimulan la atención y la memoria. Las capacidades que presentan los robots en la actualidad, se perfeccionaron para hacer más versátiles los procesos de manufactura de la industria. Es precisamente en este campo donde se utiliza con mayor frecuencia la robótica. También, los robots están siendo aplicados en diversos de escenarios, tal como ha venido ocurriendo en el campo de la investigación de materiales (Acevedo et al., 2011; Prias et al., 2014) y rehabilitación (Acevedo et al., 2017). La Robótica es una herramienta científica multidisciplinar que motiva y estimula el aprendizaje en niños. Actualmente, existen una gran cantidad de sistemas robóticos para la rehabilitación, que permiten hacer terapias mediante tareas repetitivas en entornos controlados, que asociados a software especializado consiguen mantener una alta motivación del paciente. Sin embargo, hay pocos desarrollos para población infantil. Las primeras investigaciones en el campo en mención, se orientaron en manipular plataformas robóticas para la enseñanza a niños con discapacidad grave, como la implementación de un brazo Minimover-5 en 1998 por Albert M Cook (Cook et al., 1988) y la determinación de la edad correspondiente al desarrollo cognitivo del paciente (Stanger & Cook, 1990). Tsotsos y colaboradores (Tsotsos et al., 1998) utilizaron el sistema PLAYBOT, para asistir al niño en el juego. Harwin, Ginige y Jackson (Harwin et al., 1988), desarrollaron un sistema basado en un robot de bajo costo para ejecutar tareas educativas, donde se observó la motivación por el uso del robot. En general, las primeras aplicaciones en niños, tenían como propósito estudiar la interacción del paciente y terapeuta, con terapias asistidas por robots, con el fin de lograr su aceptación en instituciones de salud. Trabajos más recientes, han optado por el uso de plataformas comerciales, como los robots Lego (Cook et al., 2011). Barco y colaboradores (Barco et al., 2013) proponen un robot que entrena, cuida y juega con niños para su rehabilitación cognitiva. Lindh y Holgersson (Lindh & Holgersson, 2007) lograron establecer ciertos beneficios cuando se usan robots Lego en el contexto educativo, especialmente demostrando que los alumnos participantes mejoraron sus competencias matemáticas y el desempeño de actividades técnicas, todo esto visto desde un enfoque pedagógico de la teoría constructivista.

En este ámbito de aplicación, este trabajo presenta una propuesta de apoyo, para la rehabilitación de niños con lesión del miembro superior, basada en el desarrollo de un ambiente lúdico de asistencia tecnológica; cuyo objetivo es contribuir al aumento del beneficio de la terapia, en cuanto a la motivación y avance en las habilidades cognitivas del paciente. Este se denominó SpinBOT, compuesto por un guante didáctico instrumentado con un acelerómetro, un módulo de control, una plataforma robótica y una herramienta de visualización, que, trabajando en conjunto, se encontró una contribución importante en el desarrollo de habilidades adyacentes de tipo cognitivo.

El artículo se encuentra distribuido por títulos de la siguiente manera. En el segundo título, “Materiales y métodos”, se abordan aspectos de diseño, como las definiciones de un ambiente robótico de bajo costo, su metodología de control y descripción del protocolo de pruebas. En el tercer título, se encuentran los “Resultados”, donde se presenta la evaluación con las escalas GAS y SUS asociadas al alcance de los objetivos de las terapias y la usabilidad del sistema como plataforma para rehabilitación. En el cuarto título, se encuentra la “Discusión” de los resultados. El sexto título se presenta las conclusiones de este proyecto.

## 2. Habilidades cognitivas en actividades con robots

Forman (1986), estudió las habilidades cognitivas necesarias para controlar sistemas robóticos. El grupo objetivo fue niños hasta los 7 años de edad, con quienes demostró diferentes habilidades implícitas cuando se resuelven problemas con robots, como son: la causalidad, lógica binaria, relaciones espaciales, coordinación de múltiples variables, negación; así como, el juego simbólico. Además, las terapias asistidas con robots permiten la realimentación, un componente importante en el tratamiento. En este caso, se debe aclarar que no es lo mismo repetición que realimentación. El evento externo, llamado repetición, tiene que ser asimilado por el niño antes de que podamos llamarlo retroalimentación y como ha propuesto Piaget, no hay que confundir la estimulación con la asimilación (Piaget, 1973). Los robots son herramientas que sirven para la retroalimentación interactiva, y ofrecen al paciente una guía para medir su rendimiento futuro. Con este fin, los robots semi-autónomos pueden navegar en entornos complejos, permitiendo el desarrollo en el niño de la orientación espacial. Esta capacidad es crucial para la supervivencia, e incluso evidencia la diferencia evolutiva de un cerebro desarrollado, frente a otros seres vivos como las plantas, las cuales no poseen un cerebro porque no necesitan moverse (Wolpert, 2002). Hay diferentes tipos de conocimiento y habilidades necesarias para hacer la navegación con un robot como SPINBOT, por ejemplo: la evasión de obstáculos, seguimiento de instrucciones e información métrica.

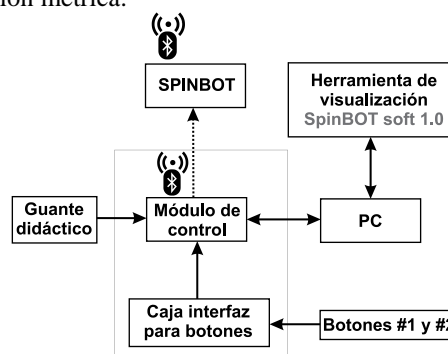


Figura 1: Diagrama en bloques del ambiente robótico lúdico de bajo costo: SpinBOT

## 3. Materiales y métodos

### 3.1. Componentes del ambiente robótico lúdico spinBOT

En la Figura 1, se presenta los componentes del ambiente de asistencia SpinBOT. 1) Un módulo de control, 2) una plataforma robótica denominada “SPINBOT”, 3) Un guante

didáctico, 4) un computador personal (PC) y una herramienta de visualización. El módulo de control es una interfaz con dos botones y un sistema de procesamiento basado en arquitectura ATmega328, para la comunicación entre el niño y el robot. Estos botones, se usan para controlar la dirección del robot así: con el botón # 1 – Izquierda/Derecha, y el botón # 2 – Adelante/Atrás. El guante esta instrumentado con un acelerómetro ADXL345 y acciona el movimiento (frenar o avanzar en la dirección ya seleccionada con los botones).

El vehículo semi-autónomo se condujo por una pista de 208 cm de largo, por 150 cm de ancho. El robot no tuvo autonomía en la toma de decisiones y fue controlado remotamente vía Bluetooth con movimientos del antebrazo y muñeca. El robot es pequeño (aproximadamente 17.6 x 9.5 cm), dotado de un par de motores que usan voltaje DC de 4.5 v. La plataforma fue energizada con baterías de litio de referencia 18650 y el driver de potencia L298. El *software* para los módulos de procesamiento fue desarrollado en lenguaje de C++ y la herramienta de visualización fue implementada en lenguaje Java con en el entorno libre Netbeans (denominado SpinBOT soft 1,0). Esta herramienta de visualización, se ejecutó en un computador portátil que estaba conectado al módulo de control, y sus objetivos fueron: 1) Servir para la planeación de las tareas y gestión de la terapia por parte del terapeuta; así como, 2) Almacenar y exportar en un histórico en formato Excel: La hora, ángulos de flexo-extensión de muñeca y pronosupinación de antebrazo. Para su representación gráfica y posterior análisis de los arreglos de datos. Los principales módulos del sistema desarrollado en este proyecto, se pueden apreciar en la Figura 2.

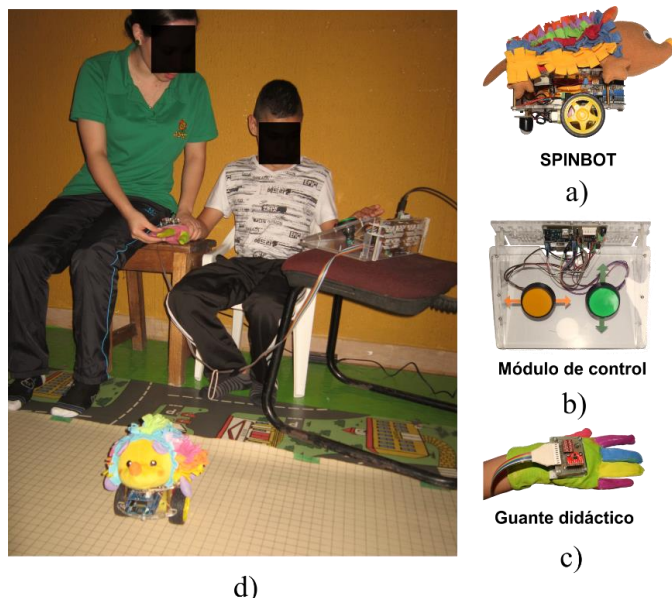


Figura 2: Ambiente robótico lúdico y los principales módulos que lo componen. a) Plataforma SPINBOT. b) Módulo de Control. c) Guante didáctico para el control del movimiento. d) Plataforma SpinBOT en una terapia de rehabilitación en la Asociación Abrazar en Calarcá, Quindío.

### 3.2 Procedimiento de la intervención y operación del sistema robótico

El ambiente SpinBOT, se adecuó en la institución de rehabilitación Abrazar, ubicada en Calarcá/Quindío, en Colombia. Los pacientes potenciales fueron invitados a participar de la investigación mediante una reunión

informativa con terapeutas y acudientes. Aquellos acudientes interesados, firmaron el consentimiento informado de conformidad con las directrices éticas aprobadas. Una vez seleccionada la población, se dividió en 2 grupos. En un grupo, se encontraban 2 sujetos humanos (grupo objetivo) con lesión del miembro superior, con quienes se hizo la intervención usando el SpinBOT y en un segundo grupo, 2 pacientes con lesión del miembro superior (grupo de control), quienes siguieron el tratamiento con las terapias tradicionales. En la Tabla 1, se aprecia un resumen de las características de los 4 participantes.

Tabla 1: Descripción de los pacientes participantes del estudio.

P	Edad	Diagnóstico / Brazo adaptado al guante	Habilidades Cognitivas	Habilidades sociales	Grupo de estudio al que pertenece
P1	12	Parálisis cerebral Espástica/ Derecho	Muy receptivo. Le cuesta distinguir izquierda o derecha	Muy amigable, le gusta el diálogo y socializar con los desconocidos	Grupo objetivo
P2	17	Hemiparesia e hipotonía de miembro superior/ Izquierdo	Le cuesta vocalizar. Le gusta involucrarse en el desarrollo de tareas.	Es amable, muy social y le encanta compartir y cantar en voz alta.	Grupo objetivo
P3	13	Hemiparesia/ <b>No aplica</b>	Muy receptivo, presenta un nivel cognitivo apropiado a su edad.	Muy social, disfruta la interacción con otras personas.	Grupo control
P4	15	Hemiparesia/ <b>No aplica</b>	Le cuesta vocalizar. Le gusta involucrarse en el desarrollo de tareas.	Alegre pero no siempre se relaciona con facilidad.	Grupo control

El tratamiento dio inicio con un estudio piloto, que le permitió a los pacientes interactuar con los módulos del sistema. Este estudio se hizo en dos sesiones, cada una con una duración de 50 minutos, con 5 días de diferencia. Se hizo varios intentos con una duración máxima de 7 minutos. Se propusieron 3 tareas, donde el paciente debía conducir el SPINBOT en modo fácil (tarea 1), medio (tarea 2) y difícil (tarea 3), hasta derribar una pila de bloques. El objetivo es realizar el recorrido hasta derribar los bloques, tratando de chocar el menor número de obstáculos, con los ángulos activos de pronosupinación de antebrazo y flexo-extensión de muñeca se hace el control del robot. El vehículo fue conducido por una pista de obstáculos, con el fin de controlar la posición en el sistema coordenado XY.

Por otra parte, se estudiaron habilidades como causa y efecto cuando el paciente requirió presionar el botón de dirección; y, como efecto, hacer el movimiento correcto con su mano para mover el robot. También negación, donde el paciente dejó la mano aproximando a cero sus ángulos de movilidad articular flexo-extensión de muñeca y pronosupinación de antebrazo, para detener el robot o para cambiar de dirección. Asimismo, la secuenciación al conducir el robot por la pista planeando un recorrido mental, hasta derribar una

pila de bloques en el menor tiempo posible. Después de las sesiones, se aplicó el cuestionario del **Apéndice A**, sobre el funcionamiento del sistema en general. Las respuestas se documentaron en la Tabla 3.

Una vez culminado el estudio piloto, se dio inicio a las intervenciones de las terapias durante 4 semanas, y 2 veces por semana. Cada terapia tuvo una duración aproximada de 50 minutos. Además, el investigador principal hizo las sesiones acompañado de dos fisioterapeutas, en los horarios habituales de sus terapias. Al final de la intervención con la terapia, el psicólogo y la fisioterapeuta valoraron los pacientes, y se aplicó un cuestionario a los acudientes y terapeutas para conocer sus opiniones del estudio.

Por otro lado, para dar inicio a cada sesión, un terapeuta escoge una de tres tareas en la interfaz de software, que corresponden a los niveles de dificultad fácil, media o difícil. Esto permite que, el ambiente robótico quede en modo de espera, hasta que el paciente presione uno de los dos botones disponibles en el módulo de control, que habilitan la dirección deseada. El vehículo se mueve cuando se ejecutan los movimientos de pronación y supinación de antebrazo; así como, flexión y extensión de muñeca. Asimismo, un paso importante antes de las tareas propuestas en cada sesión fue hacer el proceso denominado: “Auto calibración”. Este consistió en medir el máximo ángulo activo de pronación y supinación de antebrazo; así como, flexión y extensión de muñeca. El proceso de auto calibración, permitió obtener en tiempo real y almacenar los valores de ángulos, que se utilizaron para calcular los valores umbrales que controlaron el robot, estos valores se denominan “Valores M”. El umbral de valores M, es distinto para cada nivel de dificultad, y se calcula obteniendo el 30%, 50% y 90% del ángulo máximo, respectivamente para cada nivel de dificultad. Por encima de estos valores M, el robot se mueve y por debajo se detiene. Los porcentajes escogidos de los valores M, se seleccionaron de acuerdo a la experticia de los terapeutas que tratan a estos pacientes.

### 3.3 Sujetos de estudio: muestra

La muestra escogida para este trabajo corresponde a un número típico para estos proyectos. Normalmente, cuando se está en fase de desarrollo, no es aconsejable probar los sistemas con personas con discapacidad directamente. Sin embargo; de acuerdo a la literatura médica especializada (Acevedo et al., 2017) los primeros trabajos se deben hacer con pocos pacientes o sin estos. Cuando la tecnología pasa a fase de producción, comienzan las pruebas de manera extensiva con más pacientes. Téngase en cuenta que, esto ocurre cuando los proyectos están en un estado avanzado. (Tejima, 2001)

## 4. Resultados

### 4.1. Habilidades demostradas por los pacientes

Los pacientes reaccionaron positivamente ante el robot, y cooperaron con el terapeuta mientras jugaban con el SPINBOT, como se observó durante el tratamiento. El robot permitió generar empatía con el niño, facilitando el juego simbólico, el cual facilitó la creación de un personaje artificial.

El sujeto P1 nombró al robot “Camilo”, y el sujeto P2 lo nombró “pipe”. En este contexto, los dos sujetos fueron capaces de hacer los movimientos de supinación y pronación de antebrazo; así como, flexión y extensión de muñeca, evidencia de las habilidades de causalidad, negación y secuenciación en el desarrollo de actividades con el robot. En la Tabla 2 se recopiló el resultado de las sesiones para el sujeto P1 y P2. La Tabla 3 presenta las respuestas al cuestionario dadas por los sujetos P1 y P2, sobre el funcionamiento de los botones y el guante didáctico. La convención usada fue “0”, que significa respuesta errada y “1” respuesta correcta. Después de hecho y documentado el estudio piloto, se dio inicio a la intervención de la terapia. Un consolidado del desempeño para los sujetos P1 y P2 se puede ver en la Figura 3, donde se aprecia la representación gráfica, del promedio del número de veces que se presiona un botón, promedio de bloques chocados y el tiempo promedio en 2 sesiones por semana, durante 4 semanas. En esta representación gráfica, se puede ver el aumento de las habilidades y estrategias mentales en cada semana, que son necesarias para la navegación con el robot, como son: La realimentación, orientación espacial y la memoria.

Lo anterior se afirmó, porque ambos pacientes requirieron cada vez menos tiempo para llegar a la meta, así como presionar menos los botones del módulo de control al chocarse menos, dando a entender, que sus estrategias mentales para resolver el problema, fueron cada vez más efectivas.

### 4.2. Entrevistas a los terapeutas y padres o cuidadores

Después de la última sesión de la intervención de las terapias, los terapeutas y profesionales que participaron de este proyecto, fueron entrevistados usando el cuestionario del **Apéndice B**. La primera pregunta abordó la satisfacción en el uso de este sistema. Como resultado se extrajeron los tres aspectos siguientes:

1. La terapia con el robot puede convertirse en una terapia complementaria. Esto se debe a que las terapias tradicionales son muy monótonas especialmente para los niños.
2. El robot puede incluir más características lúdicas, porque el niño siempre requiere el juego como parte de su recuperación.
3. El ambiente robótico lúdico ayuda al proceso terapéutico porque aumenta la motivación.

La segunda pregunta, abordó la utilidad o practicidad del ambiente robótico en las intervenciones de las terapias. Las respuestas obtenidas de los terapeutas se resumen en los siguientes temas:

1. La deficiencia del sistema de salud colombiano. Herramientas de este estilo no serían prácticas, si se van a usar en Empresas Prestadoras de Salud (EPS en Colombia).
2. Es un sistema con mucho potencial. El sistema es muy sencillo de utilizar y se ve muy viable su implementación en las terapias.

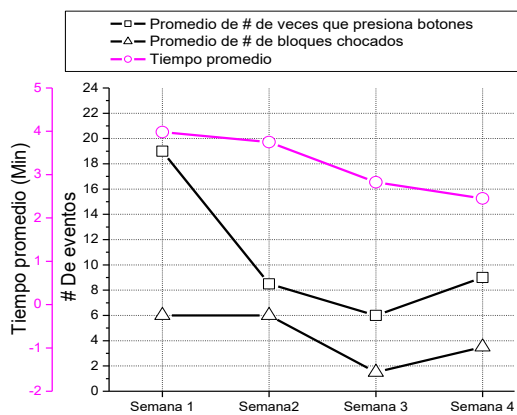
La tercera pregunta, trató de indagar sobre sugerencias adicionales para el ambiente robótico en las intervenciones de las terapias. Las respuestas más relevantes fueron:

Tabla 2: Desempeño de los pacientes P1 y P2 en la prueba piloto

Sujeto	P1		P2		P1		P2		P1		P2	
Edad [Años]	12		17		12		17		12		17	
Sexo	M		M		M		M		M		M	
Sesión #	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dificultad	Fácil		Fácil		Media		Media		Difícil		Difícil	
# de intentos	3	1	2	2	1	2	1	1	3	2	1	1
# de clics requeridos en los botones	15	15	10	12	12	14	12	10	16	18	13	9
Promedio # de clics requeridos en los botones	15		11		13		11		17		11	
<b>Tarea 1 – Causalidad</b>												
#Veces que mueve la mano en la dirección deseada del robot: Botón + (supinación →, pronación ←, flexión ↑, Extensión ↓)	4	3	6	7	4	5	5	9	7	6	7	10
<b>Tarea 2 – Negación</b>												
# Veces que se detiene para cambiar de dirección	36	27	14	15	28	30	11	14	24	26	10	8
# Giros correctos	5	5	8	5	3	4	7	11	4	6	6	13
# Veces que retrocede o adelanta correctamente	4	3	5	4	9	8	8	10	10	9	7	9
<b>Tarea 3 – Secuenciación</b>												
# Veces que llega a la meta y derriba la torre de bloques	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Tiempo [min]	4	5	3.3	3.5	5	6	4.5	3.5	7	6.5	5.5	4.5
<b>Tiempo Promedio [min]</b>	<b>4.5</b>		<b>3.4</b>		<b>5.5</b>		<b>4</b>		<b>6.8</b>		<b>5</b>	

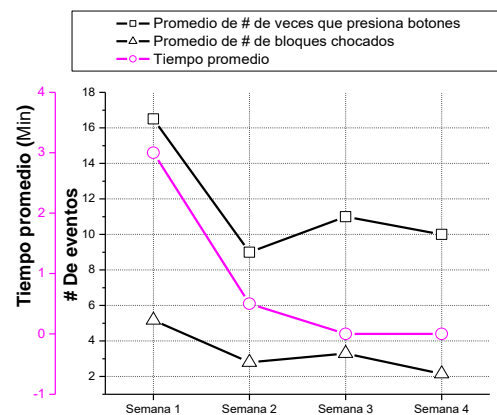
Tabla 3: Respuestas de los pacientes al cuestionario aplicado al final del estudio piloto.

Pregunta #	Sujeto P1 12 años	Sujeto P2 17 años
1	1	1
2	0	1
3	0	0
4	1	1
5	0	1
6	1	1
	3/6	5/6
<b>Acierto</b>	<b>50%</b>	<b>83.3%</b>



Intervenciones de la terapia, paciente #1 [Dificultad: Medio]

a)



Intervenciones de la terapia, paciente #2 [Dificultad: Media]

b)

Figura 3: Desempeño de los pacientes P1 y P2 en las intervenciones de las terapias para la dificultad media. a) Desempeño del paciente # 1. b) Desempeño del paciente # 2.

1. Debería incluir los rangos de movimiento activo de todo el miembro superior.
2. El sistema tiene demasiado potencial en el desarrollo de habilidades cognitivas, así como el desarrollo de la coordinación óculo manual.
3. Incluir más actividades, no solamente conducir el SPINBOT por una pista, sino otras actividades donde se evalué lo mismo, pero que no se vuelva monótono.

La cuarta pregunta abordó la idoneidad de los criterios de inclusión y exclusión tomados para este proyecto. Se extrajeron tres aspectos de las respuestas:

1. Se sesgo mucho la población. Se podría abrir a una mayor población y ampliar los rangos de edad.
2. Se le debe medir el grado de espasticidad al paciente, para incluir en los criterios de inclusión.
3. No se deben incluir pacientes sordos, o con problemas visuales.

La última pregunta, se enfocó en determinar la opinión de los terapeutas sobre las características que podrían enriquecer el ambiente robótico lúdico. Asimismo, con el fin de ejecutar este tipo de sistemas en los hogares e instituciones educativas, se necesitó conocer las percepciones de los padres o cuidadores, basado en las preguntas descritas por Cook y colaboradores (Cook et al., 2005). Se brinda a continuación un resumen de las respuestas obtenidas: los niños reaccionaron ante el robot con “Curiosidad y alegría”, durante el proyecto los niños se volvieron más “pendientes y atentos en otras actividades”. También, mejoraron en sus habilidades de lenguaje porque “hablaron de izquierda, derecha, adelante y atrás”. Frente a los juguetes tradicionales, los niños se sintieron motivados cuando debían asistir a la terapia con el robot. No se recomendaron cambios en el sistema.

## 5. Discusión

Los pacientes interactuaron con el robot generando empatía, así lograron tener un compañero o interlocutor mucho más accesible. Igualmente, el sistema robótico proporcionó retroalimentación rápida a los pacientes en comparación con las terapias convencionales, esta realimentación hecha por el robot ocurrió en 120 ms después que el ángulo activo haya excedido los “valores M”, lo que es imperceptible. Por el contrario, el tiempo requerido durante la terapia convencional, donde el terapeuta debe procesar visualmente el movimiento del paciente y proporcionar retroalimentación sobre el gesto, muchas veces es tan larga que, el paciente ha intentado varias veces hacer el movimiento solicitado, estableciendo así confusión en cuanto, a qué estrategia mental el sujeto debe emplear en cada tarea. Este aspecto de la realimentación rápida, es muy importante desde el punto de vista terapéutico, dado que, la inmediatez de la retroalimentación robótica en comparación con la terapia convencional, aporta beneficios a las terapias como: lograr la asimilación a través de la realimentación de una actividad, donde el paciente pueda llevar ese estímulo, hacia interacciones que van más allá de los eventos primarios con el medio ambiente. Además, la realimentación permitió demostrar comportamientos asociados con aprendizaje estratégico y no estratégico.

Se hizo un estudio piloto con los sujetos P1 y P2, para verificar las capacidades de sistema. Se aplicó un cuestionario y mostró que, el sujeto P1 obtiene una calificación menor, lo

que permite inferir que cuando una tarea mental presenta una mayor carga cognitiva, el paciente requiere una mayor concentración en la ejecución de la misma. Por esto, no se vio el robot como una herramienta funcional para tareas; sino como, un instrumento de investigación para estudiar los beneficios y limitaciones de la robótica en el perfeccionamiento de habilidades cognitivas y de lenguaje. El estudio piloto recolectó información cualitativa y cuantitativa durante 4 semanas, lo que permitió al equipo formular conclusiones basadas en los cuestionarios a padres o cuidadores y terapeutas; así como, las evaluaciones hechas por psicología y fisioterapia. Los padres o cuidadores, informaron que, los pacientes que utilizaron el robot, habían mejorado su atención y motivación por asistir a las terapias. El sujeto P1 presentó mayor dominio en su motricidad fina, al intentar un mayor número de veces amarrarse los cordones de los zapatos sin asistencia, también, logró tener mayor determinación en actividades cotidianas, reflejando la misma actitud competitiva con la que se enfrentó a las tareas con el robot. Asimismo, el sujeto P2 pudo presentar en varias oportunidades, mayor control de su mano derecha, o mayor precisión en desplazamientos pequeños, con la misma mano que presionaba los botones del módulo de control. Lo anterior, ayudó para el aumento de la independencia que es tan necesaria en niños con discapacidad. Por otra parte, una vez culminó la intervención de las terapias, se pudo ver como los pacientes desarrollaron habilidades de orientación espacial, así como habilidades de lenguaje, utilizando más los términos “izquierda”, “derecha”, “adelante” y “atrás” en su vida cotidiana. Aunque en este estudio se utilizó una muestra pequeña, se puede relacionar el paciente con niveles más bajos de función cognitiva, con una experiencia de mayor dificultad en el desarrollo de estas tareas, independientemente del grado de discapacidad física. Estas interpretaciones son coherentes con los hallazgos de Kwee y Quaedackers (Kwee & Quaedackers, 1999).

Hay varias limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados de este estudio. En un mes, es improbable ver cambios en los componentes de rehabilitación del paciente, porque, estos apenas inician un proceso de adaptación al proceso terapéutico. Esto ocurre, debido a la barrera que impone su lesión en la motricidad, y aunque el paciente quiera hacer ciertos movimientos, su capacidad neurológica no se lo permite. Sin embargo, se propone en estudios futuros, aplicar la herramienta en pacientes con lesiones biomecánicas, porque en estos posiblemente se pueda evidenciar cambios permanentes en los rangos activos de pronosupinación de antebrazo y flexo-extensión de muñeca, en un tiempo corto.

## 6. Conclusiones

El ambiente de asistencia SpinBOT, fue un diseño donde los componentes de *hardware*, permitieron el acceso a una herramienta de bajo costo para pacientes de escasos recursos, y facilitó numerosas sesiones de terapias interactivas. Para lograr este fin, se construyó una plataforma robótica o SPINBOT (vehículo semi-autónomo), un guante didáctico, un módulo de control y una herramienta de visualización. Mediante un estudio inicial (denominado estudio piloto) y el tratamiento con las terapias, se pudo determinar el potencial del ambiente robótico lúdico SpinBOT, para el desarrollo de habilidades cognitivas y de lenguaje. También, se contribuyó

a desarrollar habilidades en los pacientes, como seguir instrucciones y crear estrategias mentales con el orden necesario para hacer la terapia con el robot. Además, los terapeutas que hicieron la evaluación del proceso terapéutico, mencionaron aspectos que se incluyen en estudios posteriores, como la coordinación óculo manual y el cálculo de la edad del desarrollo cognitivo.

Asimismo, durante el tratamiento de las terapias, se observó el progreso del uso operativo del robot, demostrando el beneficio potencial para el desarrollo de habilidades adyacentes, de tipo cognitivo y de lenguaje. Esto se pudo evidenciar, porque ambos pacientes lograron diferenciar entre el lado izquierdo y derecho en su vida cotidiana, al empezar a usar las palabras “atrás”, “adelante”, “izquierda” y “derecha” para dar indicaciones en actividades, y en sus sesiones de terapias convencionales. Este es un aspecto importante, porque las relaciones de orientación espacial son importantes para la vida, y se hace necesario que sean desarrolladas en la infancia, para que en el futuro sea algo natural y espontáneo, sin que el individuo tenga que detenerse a pensar, cuál es la derecha o la izquierda, cerca, lejos, arriba o abajo. Finalmente, mediante este tratamiento se logró evidenciar el desarrollo de empatía inmediata, que los sujetos de estudio mostraron con el robot. Los resultados obtenidos son importantes porque, muestran como la implementación de robótica lúdica, ofrece la posibilidad de aumentar la eficacia de la rehabilitación tradicional y utilizarse en una variedad de entornos, como centros de rehabilitación y viviendas; mediante el potencial de las terapias asistidas por robots.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido hecho gracias a la Asesoría de la Asociación ABRAZAR, ubicada en Calarcá/Quindío Colombia. Agradecemos a su coordinadora Mónica Lorena Piedrahita, la terapeuta Julieth Calderón, al psicólogo Alejandro Valencia y a la trabajadora social Diana Lady Hurtado.

## Conflicto de intereses

Los autores del presente artículo, indicamos que no existe conflicto de intereses. Además, este proyecto no recibió financiación de instituciones o particulares.

## Referencias

- Acevedo, J. A., Bravo, E. C., & García, J. F. C. (2017). Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en niños con lesión del miembro superior. *REVISTA SALUD UIS*, 49(1), 103-114.
- Acevedo-Londoño, J. A., Caicedo-Bravo, E., & Castillo-García, J. F. (2018). Ambiente Robótico Lúdico para Terapias de Rehabilitación de Pacientes Pediátricos con Lesión del Miembro Superior. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 15(2), 203-210.
- Acevedo Londoño, J., Ariza Calderón, H., & Prías Barragán, J. J. (2014). Elaboración De Un Control De Servomecanismo Para La Caracterización Zonal De Materiales Semiconductores Por La Técnica De Fotorreflectancia. *Revista de Investigación de la Universidad del Quindío*, 25(1).
- Barco, A., Albo-Canals, J., Kaouk Ng, M., Garriga, C., Callejón, L., Turón, M., ... & López-Sala, A. (2013, March). A robotic therapy for children with TBI. In *Proceedings of the 8th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction* (pp. 75-76). IEEE Press.
- Cook, A. M., Hoseit, P., Liu, K. M., Lee, R. Y., & Zenteno-Sanchez, C. M. (1988). Using a robotic arm system to facilitate learning in very young disabled children. *IEEE Transactions on biomedical engineering*, 35(2), 132-137.
- Cook, A. M., Adams, K., Volden, J., Harbottle, N., & Harbottle, C. (2011). Using Lego robots to estimate cognitive ability in children who have severe physical disabilities. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 6(4), 338-346.
- Cook, A. M., Bentz, B., Harbottle, N., Lynch, C., & Miller, B. (2005). School-based use of a robotic arm system by children with disabilities. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 13(4), 452-460.
- Forman, G. (1986). Observations of young children solving problems with computers and robots. *Journal of Research in Childhood Education*, 1(2), 60-74.
- Harwin, W. S., Ginige, A., & Jackson, R. D. (1988). A robot workstation for use in education of the physically handicapped. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 35(2), 127-131.
- Tejima, N. (2001). Rehabilitation robotics: a review. *Advanced Robotics*, 14(7), 551-564.
- Kwee, H., Quaedackers, J., Van de Boel, E., Theeuwen, L., & Speth, L. (1999). POCUS project: adapting the control of the MANUS manipulator for persons with cerebral palsy. In *Proceedings of International Conference on Rehabilitation Robotics* (pp. 106-114).
- Lindh, J., & Holgersson, T. (2007). Does lego training stimulate pupils' ability to solve logical problems?. *Computers & education*, 49(4), 1097-1111.
- Piaget, J. (1973). *To understand is to invent*. New York: Grossman, Publishers.
- Prías-Barragán, J. J., Acevedo-Londoño, J. A., Torres-Londoño, L., & Ariza-Calderón, H. (2011). Automatización Electrónica De La Técnica De Fotorreflectancia Para La Caracterización Zonal De Materiales Semiconductores. *Revista Colombiana de Física*, 43(2), 360.
- Stanger, C. A., & Cook, A. M. (1990). Using robotics to assist in determining cognitive age of very young children.
- Tsotsos, J. K., Verghese, G., Dickinson, S., Jenkin, M., Jepson, A., Milios, E., ... & Culhane, S. (1998). Playbot a visually-guided robot for physically disabled children. *Image and Vision Computing*, 16(4), 275-292.
- Wolpert, L. (2002). Love is a many-moleculed thing. *The Observer*, 47.

## Apéndice A. Cuestionario a los pacientes en el estudio piloto

Pregunta 1: Cuando el botón amarillo se presiona, y después se gira el antebrazo como pidiendo una moneda (Supinación) ¿Hacia dónde se movería el SPINBOT?

Pregunta 2: Si el SPINBOT se gira (90° hacia la izquierda) y se presiona el botón verde, y después se mueve la muñeca hacia abajo (Flexión muñeca), ¿Hacia donde iría el SPINBOT?

Pregunta 3: Si el SPINBOT se gira hacia ti, se presiona el botón verde y después se mueve la muñeca hacia arriba (Extensión de muñeca), ¿hacia donde iría el SPINBOT?

Pregunta 4: Cuando el botón Amarillo se presiona, y después se gira el antebrazo al contrario de pedir una moneda (Supinación) ¿hacia dónde puede ir el SPINBOT?

Pregunta 5: Si no tienes el guante puesto, ¿qué sucede si presionas alguno de los botones?

Pregunta 6: Si tienes el guante puesto y no presionas ningún botón, ¿Qué sucederá?

## Apéndice B. Preguntas a los terapeutas, padres o cuidadores

1. ¿Crees que este tipo de ayuda tecnológica ha ayudado al avance de la terapia?

2. ¿Cómo evalúas la herramienta, es práctica para terapias, o no?

3. ¿Qué te hubiera gustado que incluyera el sistema?

4. En cuanto a los criterios de inclusión. ¿Fueron adecuados o no?, ¿Qué se debería agregar o quitar?

5. De las terapias realizadas utilizando el ambiente robótico, ¿qué podría agregar para mejorar la motivación? Ejemplo: Mas colores en el robot, tamaño, sonidos o tipo de disfraz con el robo