

# Estrategias para el aprendizaje progresivo de niños con parálisis cerebral a través de un vehículo robótico

R. Raya<sup>1</sup>, R. Ceres<sup>1</sup>, L. Calderón<sup>1</sup>, T. González<sup>2</sup>, A. Ruiz<sup>2</sup>, A. Abellanas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Automática Industrial, CSIC, Madrid, España, {rraya}@iai.csic.es

<sup>2</sup> ASpace-Cantabria

## Resumen

*Este trabajo expone un proceso de aprendizaje progresivo para niños con parálisis cerebral (PC) empleando un vehículo robótico diseñado para ello. El vehículo es un medio lúdico para el desarrollo integral de las habilidades cognitivas y físicas así como de relación con el medio. A través de él, el niño interactúa con el entorno, pudiendo tomar decisiones en función de una determinada estimulación evocada. Dada la gran diversidad que comprende la PC, el vehículo es adaptable a la destreza del usuario ya que presenta distintas configuraciones y modos de funcionamiento. Se han creado una serie de ejercicios de distinto grado de dificultad diseñados con el fin de configurar un entrenamiento gradual. Se ha desarrollado además una herramienta de captura y análisis de los eventos en la conducción lo que permitirá crear funciones de evaluación objetiva del proceso de aprendizaje.*

## 1. La parálisis cerebral.

La parálisis cerebral, en la que se centra este trabajo, describe un grupo de trastornos del desarrollo psicomotriz, que causan una limitación de la actividad de la persona, atribuida a problemas en el desarrollo cerebral del feto o del niño en sus primeros estadios. Los desórdenes psicomotrices de la parálisis cerebral están a menudo acompañados de problemas sensitivos, cognitivos, de comunicación y percepción, y en algunas ocasiones, de trastornos del comportamiento [1].

Concretamente, la parálisis cerebral puede clasificarse en las siguientes categorías:

- Parálisis cerebral espástica. Es la más común (alrededor del 75 por ciento) y es una condición en la cual se presenta exceso de tono muscular. Los movimientos son espasmódicos, especialmente en las extremidades y la espalda. Cuando ambas piernas están afectadas recibe el nombre de diaplejia espástica. Cuando sólo un lado del cuerpo se ve afectado se denomina hemiplejia espástica y, a menudo, el brazo se ve más afectado que la pierna. La más severa es la cuadriplejia espástica, en la que las cuatro extremidades y el tronco se ven afectados. Los sujetos que padecen cuadriplejia espástica también suelen sufrir de retraso mental y otros problemas.

- Parálisis cerebral atetoide (también llamada discinética). Cerca del 10 al 20 por ciento padece este tipo de parálisis cerebral. Puede afectar los movimientos del cuerpo entero y típicamente involucra movimientos lentos incontrolados con fluctuaciones del tono muscular, causando dificultades para la persona al tratar de sentarse erguida y al caminar. La persona presenta frecuentes movimientos involuntarios que enmascaran o interfieren con los movimientos normales del cuerpo. Se producen movimientos de contorsión de las extremidades, de la cara y la lengua, gestos, muecas y torpeza al hablar. Las afecciones en la audición son bastante comunes, más del 40% en este grupo, que interfieren con el desarrollo del lenguaje.
- Parálisis cerebral atáxica. Aparece en el 5 ó 10 por ciento de los casos de parálisis cerebral. En este caso la persona presenta mal equilibrio corporal y una marcha insegura, así como dificultades en la coordinación y control de las manos y de los ojos. Por tanto, aparecen dificultades para realizar operaciones de cierta precisión como la escritura.
- Parálisis cerebral mixta. Es una combinación de las anteriores, es decir, el niño presenta tonos musculares altos y bajos, creando rigidez y movimientos involuntarios. Casi un 10% de los casos de P.C. es de tipo mixto y un porcentaje reducido, un tipo especial de tensión muscular como distonía, hipertonía, rigidez y temblores.

La prevalencia de PC es de alrededor de 2 por mil recién nacidos vivos, siendo más alta en los países no industrializados. La PC puede producirse en fases del desarrollo siendo prenatales el 44%, 19% en el parto, 8% perinatales, 5% durante la niñez y el 24% el resto, [2]. Asimismo, existen otras alteraciones afines a la PC, que son trastornos que, aún no teniendo pruebas diagnósticas de lesión cerebral, clínicamente se manifiestan con dificultades en el plano motor.

Para mejorar su calidad de vida, los niños con parálisis cerebral generalmente necesitan fisioterapia, terapia ocupacional o del habla para ayudarles a desarrollar habilidades como caminar, sentarse, tragar y usar las manos. Es fundamental que el niño se adapte a una rutina de actividades en las que esté incluida la sección de tratamiento fisioterapéutico específico, donde se emplean procedimien-

tos como masajes, movilizaciones pasivas, ejercicios activos asistidos o resistidos, patrones de facilitación, uso de elementos mecánicos para la estimulación, y una gran variedad de procedimientos específicos [3].

Por otra parte, existen numerosos estudios y experiencias que ponen de manifiesto el gran potencial que supone el uso del computador y las nuevas tecnologías en el proceso de aprendizaje e incluso el desarrollo de habilidades psicomotoras por lo que debe ser usado desde edades tempranas en las que el cerebro presenta una mayor plasticidad [4]. Efectivamente, gracias a esta neuroplasticidad (OMS-1982), las células del sistema nervioso presentan una capacidad para regenerarse anatómica y funcionalmente para reducir las alteraciones estructurales o fisiológicas, independientemente del origen patológico, ambiental o traumático de las mismas. La capacidad de reestructuración y adaptación del sistema nervioso central, aún de modo parcial, es mayor en las edades tempranas [5], pudiendo conseguir una cierta mejora funcional paulatina de las funciones cognitivas, motoras o sensoriales perdidas.

## 2. Vehículo robótico para niños con parálisis cerebral

El vehículo robótico PALMIBER (figura 1) es una herramienta lúdica para el desarrollo integral de niños con problemas neurológicos severos [6]. Como se mencionó anteriormente, estos niños además de sufrir limitaciones de movilidad severas, se ven afectados por alteraciones como reducido control motor de sus extremidades superiores, inestabilidad del tronco y, en algunos casos, déficit mental como consecuencia de una continuada inactividad. De esta forma, el vehículo propuesto, pretende motivar actitudes activas, donde el niño pueda decidir, seleccionar y ejecutar interactuando con el entorno. Dada la diversidad de la parálisis cerebral, el vehículo es flexible y abierto, permitiendo adaptarse fácilmente a las diferentes patologías y niveles de destreza del usuario. Para ello, se han implementado diferentes modos de funcionamiento.



Figura 1. El vehículo robótico PALMIBER

El vehículo cuenta con dos interfaces, de usuario y educador. A través del primero, el niño puede conducir el vehículo. Es muy sencillo ya que sólo incorpora pulsadores de dirección iluminados (Avance, Retroceso, Izquierda y Derecha) y de paro. A través del interfaz del educador, se podrán configurar los distintos modos de funcionamiento.

En este trabajo se presenta la estrategia empleada por el vehículo para crear un procedimiento de aprendizaje progresivo de niños con parálisis cerebral. Asimismo, se presenta una herramienta de registro y análisis de eventos en la conducción, que permitirá la evaluación objetiva de los usuarios y la adaptación automática de niveles de conducción a la destreza del usuario.

## 3. Modos de funcionamiento y protocolo de experimentación

### 3.1. Modos de funcionamiento

En esta sección se exponen los modos de funcionamiento del vehículo, que han sido objeto de estudio y discusión con educadores y psicólogos. Los modos definen diferentes niveles de participación del niño, al que se le invita e induce a tomar parte activa de los procesos de desplazamiento, bien sea para alcanzar un objetivo o de evitar un obstáculo. La importancia radica en la realización de todo un conjunto de percepciones, decisiones y acciones que el niño debe hacer y planificar para llevar a cabo esas aparentes tareas simples con la motivación apuntada. Estos modos son los siguientes:

- **Modo 1. Automático.**  
El PALMIBER pasea al niño al mismo tiempo que detecta y evita los obstáculos del entorno sin intervención humana. No existe un objetivo de marcha determinado. Con este modo se pretende divertir al niño y familiarizarlo con el vehículo.
- **Modo 2. Causa-efecto.** El niño pone en marcha el PALMIBER con cualquier tecla del interfaz de usuario, y se detiene al cabo de un tiempo preestablecido o cuando encuentra un obstáculo. En cada parada, transcurrido un cierto tiempo, se emite el mensaje de voz: "Pulsa otra vez". Con este modo se pretende que el niño relacione su acción de pulsar con el efecto de movimiento que genera.
- **Modo 3. Entrenamiento dirección.** El niño pone en marcha el PALMIBER según la dirección que éste le sugiere iluminando el pulsador correspondiente. Cuando encuentra un obstáculo se detiene y vuelve a sugerir al niño la dirección iluminando el pulsador correspondiente y emitiendo el mensaje de voz: Pulsa otra vez. Si se acciona otro pulsador diferente al iluminado, el vehículo no se moverá. El PALMIBER sugiere la dirección en función de un chequeo previo de presencia de obstáculos alrededor de él. Con este modo se pretende que el niño relacione cada pulsador con su dirección correspondiente.
  - Modo 3a. Los pulsadores sólo indicarán alternativamente adelante y atrás. Cada acción se realiza por un tiempo establecido.
  - Modo 3b. Igual que el caso anterior pero sólo con los pulsadores izquierda y derecha.
 Con estos modos adicionales se trata de que el niño aprenda efectos binarios de direcciones opuestas como paso previo al movimiento completo en el plano.
- **Modo 4. Decisión dirección.** El niño pone en marcha

el vehículo sin que éste le sugiera ninguna dirección pero si se emite el mensaje de voz: Pulsa otra vez. En este modo se pretende que el niño tome la decisión de cual es la mejor dirección para salvar un obstáculo o dirigirse a un objetivo.

En todos estos modos descritos se evita el choque, sustituyéndolos por un sonido sugerente.

- **Modo 5. Autónomo.** La conducción está gobernada completamente por el niño. Los choques se llegan a producir y se magnifican con un sonido de choque disminuyendo previamente la velocidad.

Además de estos modos, existen otro conjunto de parámetros que pueden ser programados para dar mayor versatilidad a la conducción como son por ejemplo la velocidad o el tiempo de recuerdo de pulsación de tecla.

### 3.2. Protocolo de experimentación

Se distinguen cinco grados de destreza en los niños atendiendo a su edad y sobre todo al desarrollo de habilidades psicomotrices, cognitivas y de interacción en general con el medio. Estos grados establecidos se asociaron a los cinco modos de conducción del PALMIBER. El niño empieza con el nivel más sencillo pasando a los posteriores niveles según vayan superándolos. Para tener una medida objetiva en la evaluación, se han propuesto diversos ejercicios en cada uno de los modos (exceptuando en el modo automático, donde carece de sentido, ya que el niño no controla el vehículo).

- **Ejercicio para Modo Causa-Efecto**

Se trató de ir de A a B de forma que el vehículo se pare un par de veces. Se evalúa los tiempos de reacción atendiendo a las pulsaciones que debe hacer para reemprender la marcha en cada parada (figura 2).

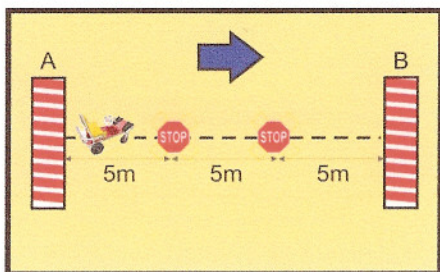


Figura 2. Ejercicio para el modo Causa-Efecto

- **Ejercicio para Modo Entrenamiento Dirección**  
 Modo 3a. Los pulsadores sólo indicarán alternativamente adelante y atrás. Se trata de ir alternativamente de atrás adelante y viceversa cuatro veces. Se evaluarán los tiempos de reacción y los aciertos en las pulsaciones de las teclas indicadas por la consola.  
 Modo 3b. Igual que el anterior pero sólo con los pulsadores adelante y atrás.  
 Modo 3c. (libre) Los pulsadores indicarán cualquiera de las cuatro direcciones posibles. Se harán movimientos sucesivos según figura 3 de la posición A a la B, pulsando las teclas indicadas en cada

momento. Se evaluarán los tiempos de reacción y los aciertos en las pulsaciones de las teclas indicadas.

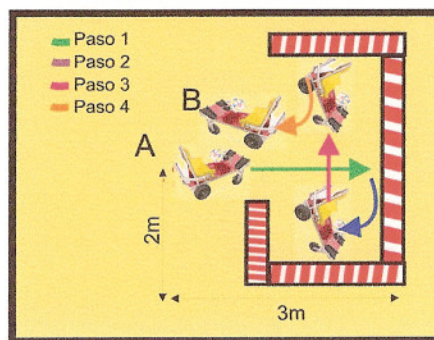


Figura 3. Ejercicio para el modo Entrenamiento C

- **Ejercicio para Modo Decisión Dirección**

Se partirá del ejercicio del modo 3c aumentando ligeramente la complejidad y operando sin indicación de direcciones, siguiendo la trayectoria sugerida por marcas de referencia pintadas en el suelo. Se evalúan los tiempos de reacción, el número mínimo de maniobras, la calidad (uniformidad, suavidad, etc) de la trayectoria y la precisión del posición final del vehículo (figura 4).

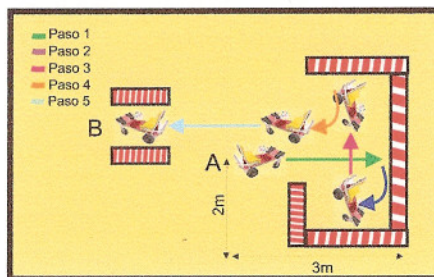


Figura 4. Ejercicio para el Modo Decisión Dirección

- **Ejercicio para Modo Autónomo**

Se trata de seguir la trayectoria de un circuito con mayor dificultad, rodeado obstáculos y pasando por puertas, sin apenas asistencia del sistema. Se evaluarán los tiempos de reacción, el número mínimo de maniobras, la calidad (uniformidad, suavidad, etc.) de la trayectoria y la precisión de la posición final del vehículo (figura 5).

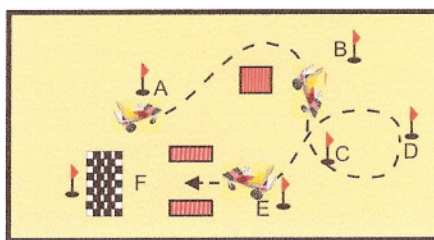


Figura 5. Ejercicio para el Modo Autónomo

Para la evaluación se registran automáticamente en el procesador interno del sistema los parámetros y eventos ligados a la caracterización del comportamiento, tales como modo de operación, trayectoria realizada, tiempos de reacción, accionamiento de pulsadores y mensajes de voz.

#### 4. Validación y discusión

Las pruebas de validación se han realizado en ASPACE-CANTABRIA, de Santander, que es una organización de iniciativa social, sin fin de lucro, integrada por personas afectadas por Parálisis Cerebral y síndromes de similar etiología y/o evolución. Las pruebas se realizaron en las instalaciones del mencionado centro, con niños de edades de seis y siete años que cubrían un gran rango de capacidades cognitivas. Los ejercicios realizados comprendieron los diferentes modos, estableciendo pruebas directas de movimientos del vehículo y otras en las que se fijaban objetivos de mayor nivel, tal como el paso de puertas o el alcanzar puntos determinados de las salas (figura 6).

Los resultados, de acuerdo con los muy diferentes niveles cognitivos fueron muy distintos. Así hubieron niños que no pasaron del modo de causa-efecto mientras que en algún caso en la misma sesión se pasó al modo de conducción completa y libre, si bien con asistencia sensorial. Principalmente hay dos variables que intervienen en el proceso de aprendizaje, la capacidad cognitiva y la capacidad física. La primera condiciona la asimilación de conceptos espaciales y los tiempos de reacción ante determinados eventos. En este sentido cobran especial importancia los modos Causa-Efecto y Entrenamiento Dirección en modo binario. En el caso de la capacidad física (PC espástica por ejemplo), la conducción estimula movimientos musculares, muy importantes para este tipo de usuarios donde el estado en reposo suele ser excesivamente habitual. En estos casos, la configuración del vehículo alcanza los niveles máximos, empleándose el modo autónomo. Finalmente, es preciso hacer constar que en todos los casos se observó una gran satisfacción por el uso del vehículo por parte de los niños.



Figura 6. Pruebas realizadas en ASPACE-Cantabria

Los ejercicios realizados se han almacenado en el procesador central registrando los eventos y el tiempo en que ocurre cada uno de ellos para ser transferidos a un PC al finalizar el ejercicio. Los eventos registrados son trayectoria, pulsación de tecla, tiempo de reacción, tecla sugerida, detección de obstáculo, usuario y modo. Este conjunto de eventos permitirá reconstruir el ejercicio con el fin de crear una función de evaluación objetiva. Para ello se ha desarrollado una aplicación que almacena en una base de datos, todos los registros. Esta herramienta, de fácil uso, está destinada al personal educador, disponiendo de un menú de gestión y presentación de los datos adquiridos mediante diversas pantallas (figura 7).

#### 5. Conclusiones

El sistema desarrollado representa una innovación en el proceso de aprendizaje progresivo de niños con PC



Figura 7. Herramienta de captura y análisis de datos

suponiendo una herramienta rehabilitadora y psicopedagógica. De acuerdo a la evaluación realizada por psicólogos y educadores especiales, el vehículo que se presenta supone una mejora significativa para niños con deficiencias físicas y neurológicas, como herramienta de asimilación de conceptos espaciales estáticos y dinámicos y de aumento de la coordinación neuromotora. Con todo ello se ha constatado que se pueden mejorar las habilidades del niño en su futuro, para abordar tareas de orden superior tales como acceso al ordenador, conducción de sillas de ruedas en ambientes abiertos, aumentando así las oportunidades de formación y mejorando su integración social y su autoestima.

#### Referencias

- [1] Bax, M.C. Terminology and classification of cerebral palsy. *Developmental medicine and child neurology*, vol 11, 1964, pp 295-297.
- [2] Muzaber, L., Schapira, I. Parálisis cerebral y el concepto Bobath de neurodesarrollo. *Hospital Materno Infantil Ramón Sardá*, vol 17, sup 2, 1998.
- [3] Albright, A.L. Spasticity and movement disorders in cerebral palsy. *Journal of Child Neurology*, vol 11, 1996, pp s1-s4.
- [4] Ceres, R. Tecnologías para la Percepción y la Movilidad en Parálisis Cerebral. *Actas del XIII Reunión Interdisciplinar sobre población de alto riesgo*, Madrid, 2003.
- [5] Puyuelo, M., Ariba, J.A. Parálisis cerebral infantil. Aspectos comunicativos y psicopedagógicos. Orientaciones al profesorado y a la familia. Aljibe, 2000 (ISBN: 8495212471).
- [6] Ceres, R., Pons, J.L., Calderón, L., Jiménez, A.R., Azevedo, L. A robotic vehicle for disabled children. *IEEE Engineering in medicine and biology magazine*, 2005, pp 55-63.