



Universidad de Valladolid



Facultad  
de Fisioterapia  
de Soria

## **FACULTAD DE FISIOTERAPIA**

Grado en Fisioterapia

### **TRABAJO FIN DE GRADO**

Rehabilitación de la columna cervical con  
sensor inercial en niños con parálisis  
cerebral. Revisión narrativa

Presentado por: Jaime Corral De Toro

Tutor/es: Lucía Luisa Pérez Gallardo

En Soria a 5 de julio de 2017

# ÍNDICE

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

## RESUMEN

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>1.1 Parálisis cerebral</b> .....	5
<b>1.1.1 Clasificación</b> .....	5
<b>1.1.2 Etiología y factores de riesgo</b> .....	9
<b>1.1.3 Incidencia</b> .....	11
<b>1.2 Dispositivo inercial ENLAZA</b> .....	11
<b>1.2.1 Descripción</b> .....	12
<b>1.2.2 Aplicaciones</b> .....	13
<b>2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	14
<b>2.1 Justificación</b> .....	14
<b>2.2 Objetivos</b> .....	14
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	15
<b>3.1 Estrategia de búsqueda</b> .....	15
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	17
<b>4.1 Validación del proyecto ENLAZA en personas con PC</b> .....	17
<b>4.2. Eficacia del dispositivo inercial ENLAZA en pacientes con PC</b> .....	23
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	26
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	27

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ABVD: Actividades Básicas de la Vida Diaria.

ASPACE: Confederación Española de Federaciones y Asociaciones de Atención a las personas con Parálisis Cerebral.

CIF: Clasificación Internacional del Funcionamiento, la Discapacidad y la Salud.

EVA: Escala Visual Analógica.

GAS: *Goal Attainment Scaling* o Escala de obtención de objetivos

GMFCS: *Gross Motor Function Classification System* o Sistema de la Clasificación de la Función Motora Gruesa.

GMFM: *Gros Motor Functional Measure* o Medida de la Función Motora Gruesa.

ISO: *International Organization for Standardization* o Organización Internacional de la Estandarización.

MACS: *Manual Ability Classification System* o Sistema de Clasificación de la Habilidad Manual.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PC: Parálisis cerebral.

SAAD: Sistema para la Autonomía y Atención a la Dependencia.

SNC: Sistema Nervioso Central.

TCMS: *Trunk Control Measurement Scale* o Escala de Medición del Control de Tronco.

## RESUMEN

**Introducción.** Una de las principales causas de discapacidad motórica en los niños españoles es la parálisis cerebral (PC), ya que existen alrededor de 120.000 personas con esta lesión en nuestro país. La PC es una afección cerebral no progresiva que ocurre antes de la maduración completa del cerebro dejando secuelas permanentes en el tono muscular, la postura y el movimiento. Los síntomas de esta lesión pueden y deben ser tratados para mejorar la evolución de la persona en las distintas áreas del desarrollo, siendo la fisioterapia una especialidad fundamental para ello. En los últimos años, gracias al avance tecnológico, se ha podido desarrollar el uso de interfaces inerciales en la rehabilitación de esta población. A través de una revisión bibliográfica se pretende conocer las publicaciones más recientes sobre la aplicación de sensor inercial en la rehabilitación cervical de niños con PC.

**Metodología.** Para llevar a cabo este trabajo se ha realizado una búsqueda en distintas fuentes bibliográficas como Pubmed, PEDro y Google Académico. Se han utilizado las palabras clave *Cerebral Palsy, Children, Head Control, Inertial Sensors* y ENLAZA. Se utilizó Mendeley como gestor bibliográfico.

**Resultados.** Después de la lectura y síntesis de los 13 artículos seleccionados se ha visto que el sensor inercial es muy útil tanto en la rehabilitación de la columna cervical como en su valoración objetiva, especialmente en los niños más afectados. Además, la terapia con este sensor se puede adaptar a juegos controlados mediante oscilaciones de cabeza, lo que la convierte en un tratamiento motivador. Actualmente, hay investigadores realizando nuevos estudios para poder pulir la interfaz inercial y su adaptación a las distintas aplicaciones.

**Conclusión.** Se ha demostrado la efectividad de los sensores inerciales, en especial el proyecto ENLAZA, en la evaluación y en el tratamiento cervical de los niños con PC. Sin embargo, es necesario realizar más estudios e investigaciones que cuenten con un mayor número de casos y durante un periodo mayor de tiempo para poder extraer datos estadísticamente significativos.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Parálisis cerebral

El concepto de parálisis cerebral (PC) ha sufrido variaciones a lo largo de la historia (1). Actualmente sigue en evolución, pero de forma general se puede decir que se trata de una lesión cerebral no progresiva que ocurre en el transcurso de la maduración cerebral. Dicha patología provoca alteraciones permanentes en la motricidad, en el tono muscular y en la postura. Además, pueden verse afectadas en mayor o menor medida la maduración del sistema nervioso central y el desarrollo de otras funciones superiores (2,3).

En la práctica, el término de PC se emplea para referirse a un grupo muy diverso de afecciones en cuanto a su etiología, el tipo y el nivel de sus secuelas. Las alteraciones asociadas, así como la gravedad de la afección están en relación con la localización, la extensión y el tipo de la lesión neural. Entre las principales alteraciones encontradas destacan aquellas que tienen relación con los sentidos, la percepción y la cognición. También se puede ver afectada la comunicación, la conducta y el aprendizaje. Además, pueden aparecer trastornos psiquiátricos y epilepsia, encontrándose esta última en el 50% de los casos (4).

### 1.1.1 Clasificación

Existen multitud de clasificaciones de la PC dependiendo del aspecto valorado. Así, según la guía publicada por la Confederación Española de Federaciones y Asociaciones de Atención a las personas con Parálisis Cerebral (ASPCE) (4) se puede hacer la clasificación dependiendo de: las extremidades afectadas; el tipo de trastorno neuromotor o el grado de afectación y su alcance funcional.

Según las extremidades afectas se distinguen:

- **Hemiplejia.** Está afectado solo un lado del cuerpo, siendo la afectación motora del miembro superior mayor.

- **Diplejia.** Se encuentran afectados los miembros inferiores en mayor medida, pudiéndose ver afectos también los superiores.
- **Tetraplejia.** Se ven afectados todos los miembros del cuerpo, incluyéndose el tronco.
- **Paraplejia.** Los miembros inferiores son los afectos.

También existe, aunque de manera menos frecuente, la afectación de un solo miembro (monoplejia) o de tres (triplejia). Según el tipo de trastorno neuromotor se pueden diferenciar los siguientes tipos de parálisis (1,2):

- **Espástica.** Se genera cuando se ve afectada la corteza cerebral o la vía piramidal. Cursa con aumento del tono, hiperreflexia y una postura y/o movimiento anormal. Puede ser bilateral o unilateral y se encuentra presente en el 70-80% de los pacientes.
- **Discinética o atetósica.** Producida por tener los núcleos basales dañados. Se caracteriza por presentar movimientos involuntarios y descontrolados por cambios de tono muscular de hipertonía a hipotonía. A su vez se divide en coreo-atetosis (hipotonía y exceso de actividad) y distonía (actividad disminuida e hipertonía). Su presencia en los pacientes es del 10-20%.
- **Atáxica.** Se produce por presentar el cerebelo afecto. Existen problemas en el movimiento debido a la mala coordinación muscular y al control deficiente del equilibrio. Cursa con temblor intencional e impedimentos al realizar movimientos veloces y que requieran precisión. Es el tipo menos frecuente, encontrándose en un 5-10% de los pacientes.
- **Mixta.** Ocurre al encontrarse diversos sectores cerebrales deteriorados. Se producen diversas manifestaciones combinadas,

propias de los tres tipos de parálisis cerebral explicados anteriormente, siendo menos frecuente la atáxica.

Para conocer el grado de afectación y su alcance funcional se utilizan distintas escalas, entre las que cabe mencionar:

La *Gross Motor Function Classification System* o Sistema de la Clasificación de la Función Motora Gruesa (GMFCS) que valora el grado de afectación de las extremidades inferiores (5).

El *Manual Ability Classification System* o Sistema de Clasificación de la Habilidad Manual (MACS) que valora el grado de afectación de las extremidades superiores (6).

La tabla 1 recoge los niveles de afectación de PC que se distinguen aplicando cada una de estas escalas de valoración.

El ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad del Gobierno de España también dispone de un Sistema para la Autonomía y Atención a la Dependencia (SAAD). En él se ven recogidos tres grados en cuanto a la dependencia de la persona para realizar las Actividades Básicas de la Vida Diaria (ABVD). Entendiéndose por ABVD según el propio SAAD "aquellas que permiten a la persona desenvolverse con un mínimo de autonomía e independencia, tales como: el cuidado personal, las actividades domésticas básicas, la movilidad esencial, reconocer personas y objetos, orientarse, entender y ejecutar órdenes o tareas sencillas" (7).

Tabla 1. Niveles de parálisis cerebral según la escala utilizada (5,6)

Niveles de PC	GMFCS	MACS
Nivel I	Camina sin problemas. Solo presenta dificultad frente a destrezas motoras muy complejas.	Limitaciones en ejecuciones que solicitan movimientos veloces y precisos. Puede manipular objetos de manera eficaz y sin problemas.
Nivel II	Dificultad al caminar grandes distancias. Capaces de subir y bajar escaleras. No necesitan ayudas de apoyo para caminar.	Posibilidad de usar casi todos los objetos pero tanto la velocidad como la condición de la ejecución se ven disminuidos.
Nivel III	Necesidad de soporte de apoyo para la marcha.	Encuentra dificultad a la hora de manejar los objetos. Precisa de asistencia a la hora de preparar y/o modificar actividades.
Nivel IV	Uso de silla de ruedas para el transporte debido a un desplazamiento autónomo bastante deficiente.	Precisa de ayuda continuada. Sólo tiene capacidad de manejo de objetos que sean de fácil manipulación.
Nivel V	Gran limitación en la movilidad. Necesitan ser transportados. El desplazamiento autónomo puede llegar a ser posible si disponen de ayuda tecnológica y saben manejarla para poder controlar una silla de ruedas. La movilidad de tronco y cabeza se encuentran afectadas.	Incapaz de manipular objetos. Gran dificultad para ejecutar las acciones más sencillas. Precisa de ayuda total.

Los grados de dependencia contemplados por el SAAD de menor a mayor son los siguientes:

- Grado I de dependencia moderada: Se precisa asistencia para realizar diversas ABVD, con una frecuencia de como mínimo una vez al día o necesitan ayuda de forma discontinua o limitada para su propia autonomía.
- Grado II de dependencia severa: Es necesaria la asistencia para realizar diversas ABVD durante tres o cuatro veces diarias. Sin embargo, no es necesario la ayuda constante de un cuidador, ni existe exigencia de ayuda continuada para su propia autonomía.
- Grado III de gran dependencia: Se necesita asistencia para realizar diversas ABVD durante múltiples veces al día. No existe autonomía personal y es indispensable el apoyo continuo de otra persona.

Cabe destacar que los grados de dependencia se atribuyen según un baremo que será realizado según la Clasificación Internacional del Funcionamiento, la Discapacidad y la Salud (CIF) que ha sido seleccionada por la Organización mundial de la Salud (OMS) (8).

### **1.1.2 Etiología y factores de riesgo**

La PC es una afectación cerebral de diversa etiología que se produce fundamentalmente en tres periodos (2,4,9).

En el transcurso del embarazo (prenatal), durante el parto (perinatal) o después del mismo, durante los primeros años de vida del bebé (Postnatales). La etiología postnatal es la menos frecuente ya que se encuentran menos del 10% de los casos, siendo la más frecuente la prenatal. A pesar de que la PC tiene causas múltiples, se conocen una serie de factores de riesgo que al actuar en conjunto pueden desencadenar la aparición de la lesión. Por ello, es importante su conocimiento para poder prevenir un futuro daño al Sistema

Nervioso Central (SNC). La tabla 2 recoge los distintos factores de riesgo según el servicio de neurología del hospital Sant Joan de Dêu, Barcelona (9).

Tabla 2. Factores de riesgo de parálisis cerebral (9)

<b>Factores</b>	<u>Maternos</u>	<u>Placentarios</u>	<u>Fetales</u>
<b>Prenatales</b>	Alteraciones de la coagulación, enfermedades autoinmunes, HTA, Infección intrauterina, Traumatismo, sustancias tóxicas, disfunción tiroidea	Trombosis en el lado materno, trombosis en el lado fetal, Cambios vasculares crónicos, Infección	Gestación múltiple, Retraso crecimiento intrauterino, Polihidramnios, hidrops fetal, malformaciones.
<b>Factores Perinatales</b>	Prematuridad, bajo peso Fiebre materna durante el parto, Infección SNC o sistémica Hipoglucemia mantenida, hiperbilirrubinemia Hemorragia intracraneal Encefalopatía hipóxico-isquémica Traumatismo, cirugía cardíaca, ECMO		
<b>Factores Postnatales</b>	Infecciones (meningitis, encefalitis) Traumatismo craneal Estatus convulsivo Parada cardio-respiratoria Intoxicación Deshidratación grave		

### **1.1.3 Incidencia**

La PC es la principal causa de afectación motora que ocurre en la infancia y permanece durante el transcurso de la vida (1).

Se estima que el número de afectados en el mundo es de entre 2 y 3 por cada 1000 nacidos vivos (9). Según ASPACE, existen aproximadamente 120.000 casos de PC en España (3). Ni la situación económica ni la raza son factores a tener en cuenta en su incidencia (1,2).

El número de casos de PC se ha visto incrementado a pesar de los avances médicos que se han ido produciendo, las mejoras de las condiciones del embarazo y el avance en la prevención de riesgos durante y después del embarazo. Este hecho se debe, primordialmente, a la disminución de la mortalidad de niños que nacen en estados críticos, resultado de los avances médicos anteriormente mencionados (1).

### **1.2 Dispositivo inercial ENLAZA**

En la última década, ha aumentado la tendencia de propiciar una mejor calidad de vida a las personas con discapacidad. Para ello, se ha intentado que consigan la mejor adaptación social, personal y laboral posible. El creciente desarrollo de la tecnología ha jugado un papel muy importante en el apoyo a estas personas que se encuentran con necesidades especiales.

Además, la OMS recomienda la adaptación del entorno y de los utensilios personales de manera que faciliten su autonomía e interacción con el entorno personal y físico. Por tanto, se están realizando nuevas investigaciones y desarrollando diversos proyectos que faciliten el día a día a esta población y que reduzcan las consecuencias de las distintas patologías.

El proyecto ENLAZA se desarrolló a partir de un equipo multidisciplinar formado por personal sanitario e ingenieros. Su fin es el de proporcionar un dispositivo que sirva para la rehabilitación cervical de los niños con parálisis

cerebral. El dispositivo está pensado sobre todo para los casos de PC que se encuentran en el grado V del GMFCS, ya que existe poca evidencia científica sobre la rehabilitación cervical de estos pacientes (10).

### **1.2.1 Descripción**

La interfaz inercial ENLAZA es un sensor situado en la cabeza de los pacientes que transmite los datos de movimiento de la misma a un ordenador. Gracias a esta tecnología de apoyo, el paciente logra interactuar con diversas plataformas como puede ser la pantalla de un ordenador (11).

El sensor inercial se coloca en la cabeza ya que en estos niños los miembros se encuentran más afectados que la movilidad cefálica. Además, si se tuviera un buen control de los miembros superiores, se utilizarían estos para la interacción con el entorno. El aparato está compuesto fundamentalmente por tres módulos (12).

- **Módulo inercial:** Es el sensor inercial situado en el aparato gracias al cual podemos conocer los movimientos producidos por la cabeza. Dicho módulo tiene unas medidas de 27x35x13mm y pesa 27 gramos. Gracias a que permite libertad de movimiento y a su reducido tamaño y peso, se puede colocar fácilmente sobre la cabeza del paciente, a través de una diadema, sin causarle molestia.
- **Módulo de visión:** Frente al problema del módulo inercial para registrar con precisión los movimientos de pacientes con ataxia e hipotonía se creó este módulo. Es un módulo auxiliar que mediante una cámara web monitoriza los movimientos del iris que controlan casi todos los pacientes.
- **Módulo procesador:** Es el encargado de registrar y de realizar cálculos matemáticos avanzados para que los datos obtenidos de movimiento se transformen en acciones en la pantalla. Además, en algunos casos, se presentan movimientos involuntarios que

pueden interferir con los que son intencionados por el paciente. Para que esto no ocurra, el módulo cuenta con diversos algoritmos matemáticos de filtrado que son capaces de distinguir entre ambos tipos de movimientos.

### **1.2.2 Aplicaciones**

El dispositivo inercial ENLAZA satisface tres objetivos fundamentales en cuanto a la rehabilitación cervical de niños con PC con grandes afectaciones motoras.

- Es un dispositivo capaz de comunicar al niño y al ordenador. Esto es importante porque el ordenador es una plataforma en la cual el niño, mediante el juego y motivación, puede realizar diversas tareas ajustadas a sus capacidades y a los objetivos propuestos en su rehabilitación (13).
- Es una herramienta que permite valorar el rango articular cervical de manera objetiva y precisa. Además, esta información puede quedar registrada en el ordenador del terapeuta (14).
- Es un aparato de fácil uso y comodidad. Para comenzar a utilizarlo basta con colocarlo en la cabeza del niño mediante una goma y encenderlo con un botón. Además, gracias a su reducido tamaño y peso (similar al de una caja de cerillas) no resulta nada molesto para el paciente. También destaca su fácil transporte y manejo ya que se puede comunicar de manera inalámbrica, sin necesidad de utilizar aparatosos cables que limitan la movilidad del paciente (11).
- Aunque aún se encuentra en proceso de desarrollo y mejora, el dispositivo ha sido capaz de permitir el manejo de un automóvil de juguete y de varios aparatos electrónicos del hogar (15,16).

## **2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**

### **2.1 Justificación**

El principal motivo por el que he realizado esta revisión bibliográfica es el de dar a conocer nuevas posibilidades de tratamiento en niños con parálisis cerebral. Especialmente en aquellos con grado V según la GMFCS por existir pocos tratamientos para ellos.

Además, siempre he sentido curiosidad y necesidad de descubrir nuevas técnicas, no para sustituir a las ya existentes, si no para poder ofrecer un tratamiento que antes era impensable realizar por los escasos recursos y conocimientos disponibles.

### **2.2 Objetivos**

#### **General**

Profundizar en el conocimiento, validación y aplicación clínica del dispositivo inercial ENLAZA

#### **Específicos**

1. Conocer el proyecto del dispositivo inercial ENLAZA y sus aplicaciones.
2. Analizar si se alcanza el efecto que se espera tras su aplicación en pacientes con PC.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo de mayo a julio de 2017.

El objetivo de la búsqueda ha sido poder estudiar y comparar diversa bibliografía referente a la parálisis cerebral infantil y su tratamiento con nueva tecnología, como es el caso de los dispositivos inerciales, especialmente el proyecto ENLAZA y sus aplicaciones en la rehabilitación.

#### 3.1 Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se ha realizado siguiendo la estrategia que se indica en la tabla 3. Se han utilizado como fuentes de datos PubMed, *Physioterap* y *Evidence Database* (PEDro) y Google Académico. Para la gestión de la bibliografía se ha utilizado Mendeley.

Las palabras clave utilizadas fueron *Cerebral Palsy*, *Children*, *Head Control*, *Inertial Sensors* y ENLAZA.

Para obtener un mejor filtrado en la búsqueda de la bibliografía se han fijado los siguientes criterios:

Criterios de inclusión:

- Estudios con menos de 10 años de antigüedad.
- Estudios que trataban sobre la interfaz inercial y su aplicación en la población con pacientes que tengan PC.
- Estudios en los cuales se realizaron validaciones del uso de la interfaz inercial.
- Estudios realizados con humanos.

Criterios de exclusión:

- Artículos repetidos en otras fuentes bibliográficas.
- Estudios que tratasen sobre tecnología humano-máquina y que no usaban sistemas inerciales.

- Aquellos estudios en los que el fin no fuese aplicar la tecnología en pacientes con PC.
- Artículos escritos en un idioma distinto al inglés o español.

Tabla 3. Fuente de datos y resultados de la búsqueda bibliográfica

<b>Fuente de datos</b>	<b>Términos de Búsqueda</b>	<b>Resultados obtenidos</b>	<b>Resultados válidos</b>
PubMed	<i>Inertial Sensors AND Cerebral Palsy</i>	21	1
PEDro	<i>Inertial Sensors AND Cerebral Palsy</i>	0	0
	<i>Cerebral Palsy AND Head Control</i>	10	0
Google Académico	<i>Cerebral Palsy AND Inertial Sensors AND Head control AND Children AND ENLAZA</i>	19	14

Tras comparar los artículos seleccionados en las distintas fuentes bibliográficas se descartó 1 por estar repetido. Por lo tanto, se han analizado 13 artículos válidos para realizar la discusión.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras la aplicación de los criterios de inclusión – exclusión se han seleccionado 13 artículos válidos que tratan sobre el uso del sistema inercial en pacientes con PC.

Los trabajos seleccionados desarrollan el conocimiento actual sobre el inerciómetro diseñado en el proyecto ENLAZA, para su validación, aplicación y eficacia. Por ello, se van a analizar estos artículos en función de los objetivos planteados.

### 4.1 Validación del proyecto ENLAZA en personas con PC

Se han analizado 7 trabajos de validación del proyecto ENLAZA, cuyos resúmenes quedan reflejados en la tabla 4. Estos trabajos se analizaron siguiendo el orden temporal de su publicación, es decir, de más antiguo a más moderno.

Inicialmente, en el 2009, en el estudio de Raya et al. (13) se presenta a ENLAZA como herramienta capaz de comunicar a los niños con PC con el ordenador. Este estudio, meramente informativo, describe como los niños con PC pueden realizar distintas actividades en el ordenador, pero no se contabilizan los sujetos ni se realiza un procedimiento científico en su uso. Se describe la interfaz inercial y se muestra cómo se produce el movimiento del puntero en la pantalla del ordenador debido al movimiento de la cabeza del niño. Los autores consideran a ENLAZA como un dispositivo de entrada a la computadora y a otros dispositivos de asistencia, así como una interfaz destinada a la rehabilitación basada en la terapia de *biofeedback*.

No será hasta el 2010, en otro estudio realizado por Raya et al. (11), cuando se describan pruebas con sujetos sanos y niños con PC en relación a unos estándares preestablecidos. Realizaron un estudio en el que se presentaba la interfaz inercial ENLAZA como un dispositivo que permite comunicar al usuario y al ordenador por medio de un cursor, que se puede dirigir con movimientos de la cabeza. Este proyecto, dirigido fundamentalmente

a niños con PC, primero se validó su rendimiento y comodidad según el *International Organization for Standardization ISO 9241-9* en sujetos sanos y después en niños con PC. Se comprobó que los niños eran capaces de dirigir el puntero hacia unos objetivos, pero tenían serias dificultades con la motricidad fina. También se afirmó que el sistema inercial es una herramienta capaz de registrar el patrón de movimiento de los sujetos con PC, hecho que podría servir en un futuro para su tratamiento y para mejorar el desempeño de los mismos con esta herramienta.

En ambos estudios (11,13) se muestra que ENLAZA es una interfaz eficaz que permite al niño con PC el acceso al ordenador. Sin embargo, se consideran estudios que necesitarían realizarse con una mayor muestra de población para extraer resultados más relevantes y extrapolables al total de la población de afectados de PC.

Posteriormente, durante los años 2010, 2012 y 2014 se publicaron tres estudios, (12,17,18) realizados con el fin de mejorar la precisión y la facilidad con la que los usuarios con PC manejaban el puntero del ordenador mediante oscilaciones de su cabeza gracias a ENLAZA. Para ello se probaron distintos filtros del movimiento que permiten al cursor distinguir entre el movimiento intencionado del usuario y el movimiento involuntario producto de su alteración motora. En el estudio realizado por Martelli et al.(18) se llegó a una precisión del 70% y una reducción del 50% del tiempo en la selección de los objetivos gracias a la inclusión de un nuevo algoritmo en la programación. También se probó como los movimientos involuntarios de los pacientes eran mitigados gracias al uso de los filtros *IR low-pass* y *critically damped filter* (17). Gracias a la inclusión de estos filtros de movimiento y mejora en la selección de objetivos pudieron concluir que ENLAZA es un instrumento accesible y válido para trabajar con personas con PC. Sin embargo, la muestra de pacientes seguía siendo reducida para poder trasladar los resultados al conjunto de la población con PC. Por ello sugieren realizar más estudios en los que participen mayor número de afectados de distintos centros, para así poder contemplar la respuesta que tiene ENLAZA por parte de los afectados con las distintas formas de PC.

Del análisis de estos estudios se deduce que como ENLAZA está destinado fundamentalmente a niños con PC, sería conveniente poder disponer de mayor número de estudios realizados en población infantil ya que el estudio de Raya et al.(17) se realizó en niños, pero tanto en el de Raya et al. (12) como en el de Martelli et al.(18) la muestra de pacientes tenía una media de 30 años de edad.

En el estudio publicado en 2010, realizado por Raya et al.(17) se analizaron los movimientos involuntarios de niños mediante dos técnicas de filtrado de estos movimientos. Para ello, se colocó a los niños delante de un proyector con una resolución de 1280 x 800 pixels y se les indicó cinco tareas a realizar para evaluar su movimiento. Las tareas consistieron en seguir un objetivo en direcciones vertical y horizontal; alcanzar un objetivo y mover un objeto horizontalmente y verticalmente. Se comprobó que durante el transcurso de la prueba aparecían temblores con una frecuencia de entre 1 y 2 Hz y también espasmos que registraban picos de 4-6 Hz. Para evitar estas reacciones se propuso el filtro de *IR low-pass* con el que consiguieron eliminar los picos que sobrepasaban 1Hz correspondientes a los espasmos y el filtro *critically damped filter* que predecía el movimiento del puntero.

En el estudio publicado en 2012 (12) se describe el filtro de *Robust Kalman* que permite filtrar el movimiento no intencionado de los pacientes con PC al usar el dispositivo ENLAZA. En este estudio, para comprobar el funcionamiento del filtro, a los participantes se les indicó que debían llevar el cursor lo más rápido posible hacia un objetivo determinado que se iba moviendo en una secuencia preestablecida. Cada sesión constaba de 15 objetivos y se realizaban 5 sesiones a la semana. A partir de los resultados obtenidos los autores llegaron a la conclusión de que el nuevo algoritmo de filtrado mejoraba el manejo del puntero y el tiempo de alcance de objetivos se reducía diez veces.

El trabajo realizado por Martelli et al.(18) se diseñó con el fin de comprobar la precisión y el tiempo que necesitaban los pacientes para seleccionar un punto aleatorio en la pantalla, mediante el uso del dispositivo ENLAZA. De esta manera se pudo comprobar la efectividad del programa que usa el dispositivo para predecir el movimiento y selección de objetivos. Se

colocó a los usuarios delante de una pantalla de ordenador de 17" a una distancia de 1 m y a los pacientes con PC se les estabilizó el tronco. Durante el estudio, aparecía de forma aleatoria un punto de 200 x 200 píxeles que el paciente debía alcanzarlo de la manera más rápida posible y cuando lo alcanzaba, a modo de premio, aparecía un videoclip (5-15 segundos). Al acabar el vídeo volvía a mostrarse un nuevo punto. El estudio terminaba cuando el cursor quedaba inmóvil por parte del usuario en una región de menos de 50x50 píxeles o realizaba el número especificado de intentos (entre 8 y 19).

En un estudio de revisión realizado por Raya et al. (19) se analizan distintos robots para la rehabilitación física y cognitiva en la PC. Entre ellos destaca el vehículo PALMIBER que utiliza la interfaz ENLAZA. En el artículo se afirma que la transmisión de las órdenes dadas a través de ENLAZA hacen posible la conducción de PALMIBER. Para confirmar esta afirmación se está llevando a cabo un estudio con nueve usuarios (de 2 a 10 años) a lo largo del tiempo, con el fin de mejorar, en lo posible, la integración el manejo de PALMIBER mediante ENLAZA, y así poder disponer de una herramienta eficaz de rehabilitación física y cognitiva para los distintos grados de PC.

El estudio más reciente realizado con el fin de validar la interfaz ENLAZA es el realizado por Velasco et al. (20). En este estudio la muestra de personas con PC es mayor que en los trabajos anteriormente descritos y se contemplan pacientes con PC de diversa índole. Los resultados que obtuvieron indicaron que ENLAZA es accesible para sujetos con PC, pero que su accesibilidad y manejo están influenciados por el tipo de PC que el usuario padezca.

En este estudio (20) se utiliza la ley de Fitts para validar la interfaz ENLAZA. Esta ley permite medir el control voluntario mediante una relación logarítmica entre la amplitud del movimiento y el tiempo empleado, con la finalidad de mantener una relación entre la precisión y la velocidad. Se inició el estudio con 15 participantes y los finalizaron 13, dos abandonaron el estudio porque tenían problemas en realizar la tarea y se incluyeron en otros proyectos más sencillos que empleaban el mismo dispositivo. La tarea consistía en alcanzar una pantera rosa que tenía un gran contraste sobre un fondo blanco. Se debía alcanzar el objetivo 17 veces (1 de ellas de prueba) que iba

cambiando de posición tras cada uno de los intentos. Los resultados obtenidos que estuvieran alrededor de  $R^2=0,9$  demostraban una buena correlación entre sus movimientos y la ley de Fitts. En todas las personas sin discapacidad se cumplió la ley de Fitts, al igual que en tres sujetos con distintos tipos de PC (Espástica, distónica y mixta); un sujeto con PC distónica y movimientos balísticos mostró una correlación más débil ( $R^2=0,839$ ) y dos usuarios con CP discinética e hipotonía no mostraron ninguna correlación con la ley de Fitts. Los resultados obtenidos por el equipo de investigación reflejaron la influencia que tenían los movimientos balísticos y el control del tono a la hora de tener un buen desempeño en el uso de ENLAZA.

Tabla 4. Resumen de los trabajos de validación del proyecto ENLAZA

<b>Autores</b>	<b>Lugar/Año</b>	<b>Muestra</b>	<b>Método</b>	<b>Conclusiones</b>
Raya et al.(13)	2009 ASPACE Cantabria (Santander, España)	Niños	Estudio Observacional	Los niños con PC podían dibujar, escribir y jugar con aplicaciones del ordenador para su disfrute y terapia.
Raya et al.(11)	2010 ASPACE Cantabria (Santander, España)	5 personas sanas 2 niños con PC (atetoide y distónica)	Casos y controles	El dispositivo ENLAZA cumple con las normas de rendimiento y calidad de ISO 9241 -9.
Raya et al.(17)	2010 ASPACE Cantabria (Santander, España)	3 niños con PC GMFCS V	Estudio Observacional	Los dos filtros de movimiento involuntario permitieron un mejor control de ENLAZA. El dispositivo es eficaz para medir los patrones de movimiento patológico.
Raya et al(12)	2012 Sujetos sanos: Laboratorio Bioingeniería-CSIC (Madrid, España) Sujetos con PC: ASPACE Cantabria (Santander, España)	4 sujetos con PC severa (Edad 26–35 años) 3 sujetos sanos	Estudio casos y controles	Usuarios con PC que no podían acceder al ordenador con otras interfaces ahora pueden hacerlo gracias a ENLAZA y su filtro de movimiento no intencionado. Los sujetos sanos también lo manejaron correctamente.
Martelli et(18)	2014 ASPACE Cantabria (Santander, España)	5 sujetos con PC (Edad 31.8+/-9.2) 2 sujetos sanos (Edad 30+/-2.5)	Estudio casos y controles	Se reducía un 50% el tiempo en la selección de objetivos frente a otros métodos convencionales. La precisión de los sujetos sanos fue casi del 100% y del 70% en sujetos con PC.
Raya et al(19)	2015 ASPACE Cantabria (Santander, España)	Conjunto de artículos de distintos dispositivos que ayudan a la rehabilitación de los niños con PC	Artículo de revisión	Se están realizando pruebas a lo largo de un año de la integración de ENLAZA al vehículo adaptado PALMIBER con niños con PC(de 2 a 10 años)
Velasco et al.(20)	2017	9 personas con PC (Edad 31.8+/-9.2) 6 sujetos sanos (Edad 26.1+/-4.2)	Casos y controles	Los resultados reflejaron que algunos usuarios con PC pueden hacer buen uso de esta herramienta y animó al equipo a seguir desarrollando la interfaz inercial para hacerla más accesible para cualquier tipo de PC.

## **4.2. Eficacia del dispositivo inercial ENLAZA en pacientes con PC**

Se han analizado 6 estudios de aplicaciones clínicas que comprueban la eficacia del dispositivo ENLAZA. Tras el análisis de estos estudios de aplicaciones de ENLAZA en la rehabilitación cervical de personas con PC se han considerado distintos aspectos.

Según Raya et al. (14) el dispositivo ENLAZA permite registrar los patrones de movimiento patológico de los usuarios con PC. De esta manera su aplicación contribuye a conocer mejor el tipo de patología y las deficiencias motoras inherentes, para poder seleccionar mejor los diversos tratamientos a aplicar. Estos autores realizaron un estudio en el cual utilizaron la interfaz ENLAZA como herramienta de medida de patrones anormales en los movimientos de cabeza, así como objetivar la mejora del control motor y postural del paciente con PC. Los sujetos debían de mover la cabeza pasando por una secuencia de objetivos marcados en una pantalla.

Velasco et al. (21) y Moral et al. (22), demostraron que se puede aunar el juego y la terapia cervical mediante el uso de ENLAZA por los niños con PC. Así estos niños pueden acceder a videojuegos en los cuales tienen que conseguir ciertos objetivos moviendo la cabeza. En los dos estudios se concluye que la terapia mejora el movimiento cervical, pero tienen la limitación de ser resultados con escasa relevancia estadística ya que la muestra usada fue escasa. Sería necesario realizar nuevos estudios con una mayor población de niños con PC y durante un mayor intervalo de tiempo.

Velasco et al. (21) realizaron una terapia basada en videojuegos controlados por movimientos de cabeza mediante sensores inerciales.. Después de diez sesiones de terapia se observaron mejoras en el control de tronco y cabeza en el grupo experimental. Las mejoras se midieron mediante la Escala Visual Analógica (EVA), la Escala de Medición de Control de Tronco (TMCS) y en la Escala de Obtención de Objetivos (GAS). Por otra parte, el trabajo desarrollado por Moral et al. (22) para comprobar la utilidad del dispositivo ENLAZA llevaron a cabo un estudio durante diez semanas, de dos

sesiones de media hora por semana. Durante cada sesión se utilizaba la interfaz ENLAZA para jugar a distintos videojuegos en los que debían alcanzar distintos objetivos que implicaban realizar movimientos de cabeza. Los resultados denotaron que hubo una mejora en el rango activo de movimiento en la flexión lateral ( $14,4^{\circ}$ ) y en la rotación ( $15,1^{\circ}$ ) pero ser estadísticamente significativos. En la clínica hubo una mejora en la GAS y en la *Gros Motor Functional Measure* (GMFM). El pequeño tiempo de tratamiento apuntó a que aparecerían mejoras notables con intervenciones más largas.

En el estudio de Velasco et al. (16) se comprueba como ENLAZA es capaz de permitir el uso de distintos aparatos domésticos a personas con PC que tienen una gran afectación motora. Diseñaron un sistema de control de entorno para probar si usuarios con PC eran capaces de controlar, mediante oscilaciones cervicales registradas por ENLAZA, el funcionamiento de varios dispositivos de su entorno. Esto ayuda a que los usuarios participen de manera activa en su rehabilitación a la vez que los motiva porque sienten un mayor control frente al entorno. Los dispositivos que se intentaron controlar a través del dispositivo inercial fueron un televisor, un equipo de música, el aire acondicionado y una persiana veneciana. Al finalizar el estudio se propuso mejorar la interfaz pudiendo personalizar los botones y controles.

Raya et al. (15), aunque observaron que en los casos más graves de afectación motora (grado V GMFCS), los niños eran capaces de manejar un vehículo de juguete, a través del control cervical mediante el dispositivo inercial ENLAZA, estos niños mostraban grandes dificultades en su aplicación (23). Por ello, este proyecto aún sigue en desarrollo y perfeccionamiento.

Al analizar los distintos artículos de este apartado, se deduce la importancia que tiene en la rehabilitación psicomotora que el usuario sea capaz de interactuar con su entorno para sentirse realizado, a la vez que realiza movimientos cervicales y, de esta manera, sin ser consciente, es partícipe de su tratamiento.

Tabla 5. Resumen de los trabajos sobre aplicaciones clínicas de ENLAZA

<b>Autores</b>	<b>Lugar/Año</b>	<b>Muestra</b>	<b>Método</b>	<b>Conclusiones</b>
Raya et al.(14)	2012 ASPACE Cantabria (Santander, España)	4 personas con PC (Grado V GMFCS)  3 personas sin discapacidad	Estudio de casos y controles	El dispositivo ENLAZA logró ser una herramienta eficaz y objetiva para detectar las diversas alteraciones posturales y del movimiento en personas con PC.
Raya et al(15)	2012	6 niños de entre 18 meses y 12 años de edad con PC	Artículo de revisión en el que parece el estudio (23)	Los niños que tienen control de las extremidades superiores pueden manejar el vehículo adaptado correctamente, mientras que los que tienen afectaciones más graves presentan limitaciones significativas. Se propone seguir mejorando la interfaz ENLAZA y el vehículo PALMIBER para facilitar el control del mismo a estos últimos.
Velasco et al.(16)	2014 ASPACE Cantabria (Santander, España)	Usuarios con PC de ASPACE, Cantabria.	Estudio Observacional	El dispositivo ENLAZA permitió controlar a los usuarios con PC distintos aparatos de su entorno con oscilaciones de cabeza. Se espera que la plataforma de control se pueda trasladar y probar en los hogares.
Velasco et al(21)	2016 "Fondazione Santa Lucia" (FSL, Roma, Italia)	10 niños con PC de 4 a 21 años. La mitad de ellos se colocó en un grupo control	Estudio de casos y controles	La diferencia porcentual de mejora entre los grupos experimental y control fueron del 27% frente al 2% respectivamente en la TMCS. La evaluación del movimiento denotó leves mejoras en los rangos de movimiento activo y pasivo.
Moral et al(22)	2016 ASPACE Cantabria (Santander, España)	6 niños con PC (Grado de III-V GMFCS)	Estudio Observacional	Se apreciaron mejoras en el rango activo de flexión lateral y rotación de cabeza tras usar el dispositivo ENLAZA. Los resultados no fueron estadísticamente significantes por la pequeña muestra estudiada.

## 5. CONCLUSIONES

- La principal causa de discapacidad motora en pacientes pediátricos es la PC. Los síntomas de esta enfermedad pueden ser tratados desde diversas áreas, especialmente desde la fisioterapia. Sin embargo, en las manifestaciones más graves (grado V GMFCS) existe poca evidencia científica sobre su tratamiento.
- El ordenador es una herramienta muy completa para la rehabilitación cognitiva y motora ya que permite crear tareas adaptadas a las habilidades del paciente, además de resultar estimulante y atractiva. No obstante, los niños con PC con discapacidad motora severa no pueden acceder a él.
- El dispositivo inercial ENLAZA es una herramienta eficaz que permite el uso del ordenador a usuarios con PC severa. A pesar de encontrarse en desarrollo, gracias a sus filtros de movimiento involuntario, ya ha logrado tener niveles de precisión y accesibilidad aceptables.
- ENLAZA permite el control de distintos aparatos domésticos. Se está mejorando y probando su uso en el control de un vehículo experimental. Se han llevado a cabo terapias rehabilitadoras de control de cabeza mediante estos dispositivos inerciales. Los resultados denotan mejorías aunque es necesario que se realicen más estudios con una mayor muestra y durante más tiempo para tener resultados concluyentes.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Camacho-Salas A, Pallás-Alonso CR, De La Cruz-Bértolo J, Simón-De Las Heras R, Mateos-Beato F. Parálisis cerebral: concepto y registros de base poblacional. 2007 [cited 2017 Jun 25];503–8. Available from: [http://sid.usal.es/idocs/F8/ART13314/paralisis\\_cerebral\\_concepto\\_y\\_registros.pdf](http://sid.usal.es/idocs/F8/ART13314/paralisis_cerebral_concepto_y_registros.pdf)
2. Raya López R, Rafael. Nuevas estrategias para la interacción y la movilidad de niños con parálisis cerebral según un modelo convergente [Internet]. Universidad de Alcalá; 2011 [cited 2017 Jun 18]. Available from: <http://dspace.uah.es/dspace/handle/10017/16661>.
3. Algunos datos - - ASPACE [Internet]. [cited 2017 Jun 18]. Available from: <http://aspace.org/pagina/17/algunos-datos>
4. VV.AA. Guía para el seguimiento de la parálisis cerebral en atención primaria. [Internet]. ASPACE Castilla y León. 2017 [cited 2017 Jun 25]. Available from: <http://aspace.org/publicaciones>
5. Palisano R, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston M, Walter S, Russell D, et al. GMFCS – E & R Clasificación de la Función Motora Gruesa Extendida y Revisada. Ref Dev Med Child Neurol [Internet]. 1997 [cited 2017 Jun 24];39:214–23. Available from: [https://canchild.ca/system/tenon/assets/attachments/000/000/079/original/GMFCS-ER\\_Translation-Spanish.pdf](https://canchild.ca/system/tenon/assets/attachments/000/000/079/original/GMFCS-ER_Translation-Spanish.pdf)
6. Eliasson A, Krumlinde Sundholm L, Rösblad B, Beckung E, Arner M, Öhrvall A. Manual Ability Classification System Sistema de Clasificación de la Habilidad Manual para niños con Parálisis Cerebral. 2010 [cited 2017 Jun 26]; Available from: [http://www.macs.nu/files/MACS\\_Spanish\\_2010.pdf](http://www.macs.nu/files/MACS_Spanish_2010.pdf)
7. Portal de la Dependencia. Sistema para la Autonomía y Atención a la Dependencia :: CAPÍTULO III La dependencia y su valoración [Internet]. [cited 2017 Jun 20]. Available from: [http://www.dependencia.imserso.es/dependencia\\_01/normativa/texto\\_ley/titulo\\_uno/valoracion/index.htm#ancla1](http://www.dependencia.imserso.es/dependencia_01/normativa/texto_ley/titulo_uno/valoracion/index.htm#ancla1)

8. ICF Browser [Internet]. [cited 2017 Jun 25]. Available from: <http://apps.who.int/classifications/icfbrowser/>
9. Póo Argüelles P. Parálisis cerebral infantil. [cited 2017 Jun 20]; Available from: <http://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/36-pci.pdf>
10. Moral Sainz, B. Dispositivo ENLAZA para el control de cuello y tronco en parálisis cerebral [Internet]. [cited 2017 Jun 21]. Available from: <http://efisiopediatric.com/enlaza-control-cuello-tronco-ninos-paralisis-cerebral/>
11. Raya R, Roa JO, Rocon E, Ceres R, Pons JL. Wearable inertial mouse for children with physical and cognitive impairments. *Sensors Actuators A Phys* [Internet]. 2010 Aug [cited 2017 Jun 25];162(2):248–59. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924424710001950>
12. Raya R, Rocon E, Gallego JA, Ceres R, Pons JL. A Robust Kalman Algorithm to Facilitate Human-Computer Interaction for People with Cerebral Palsy, Using a New Interface Based on Inertial Sensors. *Sensors* [Internet]. 2012 Mar 6 [cited 2017 Jun 25];12(12):3049–67. Available from: <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/3/3049/>
13. Raya R, Ceres R, Rocon E, Pons JL. Empowering the autonomy of children with cognitive and physical impairments by inertial head tracking. *Procedia Chem* [Internet]. 2009 Sep [cited 2017 Jun 25];1(1):726–9. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S187661960900182X>
14. Raya R, Ceres R, Rocon E, Ruiz A, González T. Interfaz inercial de acceso al computador como herramienta de valoración del control motor en personas con parálisis cerebral [Internet]. Libro de Actas Simposio CEA Bioingeniería. 2012. p. 89–96. Available from: <http://w.retadim.org/pdf/Libro de Actas Simposio CEA 2012.pdf#page=91>
15. Raya R, Rocon E, Ceres R, Calderón L, Pons JL. New Strategies of Mobility and Interaction for People with Cerebral Palsy. [cited 2017 Jun 25]; Available from: <http://www.intechopen.com/books/assistive-technologies>
16. Velasco MA, Clemotte A, Raya R, Ceres Ruiz R. Diseño e implementación de un sistema de control de entorno para usuarios con parálisis cerebral. 2014 Sep 3 [cited 2017 Jun 25]; Available from:

<http://digital.csic.es/handle/10261/130398>

17. Raya R, Ceres R, Roa JO, Rocon E. Assessment of the involuntary motion of children with motor impairments to improve the accessibility of an inertial interface. In: Proceedings of the 9th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '10 [Internet]. New York, New York, USA: ACM Press; 2010 [cited 2017 Jun 25]. p. 128. Available from: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1810543.1810558>
18. Martelli F, Raya R, Losa M, Velasco M, Clemotte A, Muzzioli L. Target estimation in pointing tasks. A new approach to improve the computer interaction for people with Cerebral Palsy. 2014 [cited 2017 Jun 25]; Available from: [https://www.researchgate.net/profile/Miguel\\_Velasco6/publication/299979728\\_Target\\_estimation\\_in\\_pointing\\_tasks\\_A\\_new\\_approach\\_to\\_improve\\_the\\_computer\\_interaction\\_for\\_people\\_with\\_Cerebral\\_Palsy/links/570a2cf308aea6608136ee7a.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Miguel_Velasco6/publication/299979728_Target_estimation_in_pointing_tasks_A_new_approach_to_improve_the_computer_interaction_for_people_with_Cerebral_Palsy/links/570a2cf308aea6608136ee7a.pdf)
19. Raya R, Rocon E, Urendes E, Velasco MA, Clemotte A, Ceres R. Assistive Robots for Physical and Cognitive Rehabilitation in Cerebral Palsy. In 2015 [cited 2017 Jun 25]. p. 133–56. Available from: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-12922-8\\_5](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-12922-8_5)
20. Velasco MA, Clemotte A, Raya R, Ceres R, Rocon E. Human-computer interaction for users with cerebral palsy based on head orientation. Can cursor's movement be modeled by Fitts's law? *Int J Hum Comput Stud* [Internet]. 2017 [cited 2017 Jun 3];106:1–9. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581917300745>
21. Velasco MA, Raya R, Muzzioli L, Morelli D, Iosa M, Cincotti F, et al. Evaluation of Cervical Posture Improvement of Children with Cerebral Palsy After Physical Therapy with a HCI Based on Head Movements and Serious Videogames. In Springer, Cham; 2016 [cited 2017 Jun 3]. p. 495–504. Available from: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-31744-1\\_44](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-31744-1_44)
22. Moral Saiz B, Parra Maris EM, Albiol Lopesino R, Hernando Callejo S, López Raya R. Short-term effects of an intervention program through an inertial sensor (ENLAZA) for the improving of head control in children with

cerebral palsy. *Gait Posture* [Internet]. 2016 Sep [cited 2017 Jun 25];49:227. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636216304234>

23. Raya R, Rocon E, Ceres R, Pajaro M. A mobile robot controlled by an adaptive inertial interface for children with physical and cognitive disorders. In: 2012 IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA) [Internet]. IEEE; 2012 [cited 2017 Jun 25]. p. 151–6. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6215670/>