



Universitat
de les Illes Balears

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

DÉDALO DEL APRENDIZAJE MOTOR EN PARÁLISIS CEREBRAL COMO MODELO DE REHABILITACIÓN

Juan Diego Bautista Sáchica

Máster Universitario: Neurociencias

Centro de Estudios de Postgrado

Año Académico 2019-20

DÉDALO DEL APRENDIZAJE MOTOR EN PARÁLISIS CEREBRAL COMO MODELO DE REHABILITACIÓN

Juan Diego Bautista Sáchica

Trabajo de Fin de Máster

Centro de Estudios de Postgrado

Universidad de las Illes Balears

Año Académico 2019-20

Palabras clave del trabajo:

Parálisis cerebral, rehabilitación motriz, aprendizaje motor, videojuegos serios.

Nombre Tutor/Tutora del Trabajo

Dra. Inmaculada Riquelme Agulló

INDICE

Introducción.....	9
Estado de la Cuestión.....	11
- Parálisis cerebral, prevalencia y estado actual.....	11
- Aprendizaje motor.....	13
- Aprendizaje motor y parálisis cerebral.....	17
- Videojuegos en parálisis cerebral.....	19
Objetivos e Hipótesis.....	25
Metodología.....	26
- Diseño Experimental.....	26
- Participantes.....	26
- Procedimiento.....	29
- Instrumentos de Evaluación.....	32
- Análisis Estadístico.....	38
Resultados.....	39
Discusión.....	46
Conclusión.....	51
Referencias Bibliográficas.....	53
Anexos.....	62

ÍNDICE IMÁGENES

<i>Imagen 1: Interfaz de inicio y Joystick.....</i>	31
<i>Imagen 2: Plataforma de registro.....</i>	31
<i>Imagen 3: Mensaje de Bienvenida.....</i>	32
<i>Imagen 4: Nivel 1.....</i>	32

ÍNDICE GRÁFICAS

<i>Gráfica 1: Medias Tiempo Total por Nivel.....</i>	40
<i>Gráfica 2: Medias Camino Recorrido por Nivel.....</i>	40
<i>Gráfica 3: Medias Colisiones por Nivel.....</i>	40
<i>Gráfica 4: Medias EJEC por Nivel.....</i>	40
<i>Gráfica 5: Medias Tiempo Total por Sesión.....</i>	41
<i>Gráfica 6: Medias Camino Recorrido por Sesión.....</i>	41
<i>Gráfica 7: Medias Colisiones por Sesión.....</i>	41
<i>Gráfica 8: Medias EJEC por Sesión.....</i>	41
<i>Gráfica 9: Proyección EJEC por Sesión.....</i>	43
<i>Gráfica 10: Curva de aprendizaje Tiempo Total por Sesión.....</i>	44
<i>Gráfica 11: Curva de aprendizaje Camino Recorrido por Sesión.....</i>	44
<i>Gráfica 12: Curva de aprendizaje Colisiones por Sesión.....</i>	44
<i>Gráfica 13: Curva de aprendizaje EJEC por Sesión.....</i>	44

ÍNDICE TABLAS

<i>Tabla 1: Clasificación clínica, porcentaje de presentación y criterio clásico.....</i>	12
<i>Tabla 2: Teorías del aprendizaje motor.....</i>	14
<i>Tabla 3: Revisión juegos de uso serio (GUS) en terapias.....</i>	20
<i>Tabla 4: Características grupo intervención, control y total (n=26).....</i>	28
<i>Tabla 5: Revisión escalas GMFCS y MACS.....</i>	29
<i>Tabla 6: Resumen tareas Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb.....</i>	34
<i>Tabla 7: Representación Tiempo Total para determinar ecuación línea recta.....</i>	37
<i>Tabla 8: Valores Logarítmicos para Tiempo Total.....</i>	38
<i>Tabla 9: Valores medias por nivel</i>	39
<i>Tabla 10: Valores medias por sesión.....</i>	40
<i>Tabla 11: Ecuación de la recta, fórmula y tasa de aprendizaje.....</i>	42
<i>Tabla 12: Valores curva de aprendizaje para TT, nP, C y EJEC.....</i>	43
<i>Tabla 13: Valores N y K para TT, nP, C y EJEC.....</i>	44

Resumen:

Los individuos con parálisis cerebral (PC) presentan alteraciones del control motor, por lo tanto, los programas de rehabilitación motriz deben cimentarse en una base de actividades que favorezcan la participación activa, los procesos de retroalimentación, el acompañamiento y la recolección de datos confiables cuyo análisis valide la adquisición, retención y transferencia del aprendizaje motor. Se plantea como objetivo evaluar los cambios sensoriomotores de un grupo de participantes con PC posterior a un entrenamiento con un videojuego serio usado en computadora de escritorio durante 10 semanas, frente a un grupo control que no realizó el entrenamiento, con el fin de observar su impacto sobre el aprendizaje motor.

Métodos: Un total de 26 participantes con PC fueron incluidos. Se realizó una evaluación sensoriomotora bilateral en miembro superior al inicio y al final del estudio haciendo uso de las siguientes herramientas; filamentos de von Frey (sensibilidad táctil), algómetro (sensibilidad dolor por presión), Box & Block Test (destreza manual gruesa unilateral de miembro superior) y la evaluación de Melbourne para miembro superior (función unilateral del miembro superior). El grupo de intervención (n= 13) llevó a cabo el entrenamiento con un videojuego serio diseñado (juego de laberinto) durante 10 sesiones (10 niveles por sesión). Se almacenaron los datos generados durante el entrenamiento (tiempo total, colisiones, camino recorrido) para calcular las tasas y curvas de aprendizaje por sesión.

Resultados: Se completó el entrenamiento sin efectos adversos. La tasa de aprendizaje se mantuvo por encima del 90% a través de las 10 sesiones. El análisis de la curva de aprendizaje evidenció valores disminuidos en tiempo total, distancia recorrida y colisiones, que coinciden con un nivel de aprendizaje elevado en el grupo de intervención. Se demostró que posterior al entrenamiento con el videojuego serio los participantes del grupo intervención obtuvieron mayores puntuaciones en las pruebas de destreza manual para la mano dominante, mejoría en los movimientos de pronación/supinación para el miembro dominante, al igual que puntajes más altos en las evaluaciones de función unilateral del miembro superior dominante comparados con el grupo control que no presentó cambios en estas tareas. No se encontraron efectos significativos en las medidas somatosensoriales de umbrales táctiles o de dolor a la presión en ninguna de los miembros superiores.

Conclusión: Se comprobó que el entrenamiento diseñado (videojuego serio) aplicado en individuos con parálisis cerebral es una herramienta de aprendizaje motor eficaz. Se propone como parámetro de rehabilitación útil y empleable. Se recomiendan estudios futuros que analicen el impacto individual y grupal de la intervención con computadoras portátiles en casa, al igual que estudios con tiempo de seguimiento y muestra más amplia.

Palabras Clave: Parálisis cerebral, rehabilitación motriz, aprendizaje motor, videojuegos serios.

Abstract:

People with cerebral palsy (CP) have motor control disorders, therefore, motor rehabilitation programs should be based on activities that favor active participation, feedback processes, accompaniment, and the collection of reliable data whose analysis validates the acquisition, retention and transfer of motor learning. The aim is to evaluate the sensorimotor changes in a group of participants with PC after a training with a serious video game used on a desktop computer for 10 weeks, compared to a control group that did not carry out the training, to understand its impact on motor learning.

Methods: 26 participants with PC were included. A bilateral sensorimotor evaluation of the upper limb was performed at the beginning and end of the study using the following tools; von Frey filaments (tactile sensitivity), algometer (pressure pain sensitivity), Box & Block test (gross manual dexterity of the unilateral upper limb) and the Melbourne evaluation of the upper limb (unilateral upper limb function). The intervention group (n = 13) carried out the training with a seriously designed video game (maze game) during 10 sessions (10 levels per session). Data generated during training (total time, collisions, path traveled) were stored to calculate learning rates and curves per session.

Results: The training was completed without adverse effects. The learning rate remained above 90% throughout the 10 sessions using the serious video game. Analysis of the learning curves by level showed decreased values in total time, distance traveled and collisions, which coincide with a high level of learning in the intervention group. It was shown that after training with the serious video game, participants in the intervention group scored higher on the manual dexterity tests for the dominant hand, improvement in pronation / supination movements for the dominant member in two Melbourne tasks and have higher scores on evaluations of unilateral function of the dominant upper limb compared to the control group that showed no changes in these tasks. No significant effects were found on somatosensory measures of tactile thresholds or pressure pain in any of the upper extremities.

Conclusion: Designed training (serious video game) applied to people with cerebral palsy was found to be an effective motor learning tool. It is proposed as a useful and usable rehabilitation parameter. Future studies looking at the individual and group impact of the laptop intervention at home are recommended, as well as studies with longer follow-up and larger sample sizes.

Key words: Cerebral palsy, motor rehabilitation, motor learning, serious video games.

Introducción

La parálisis cerebral (PC) es definida como “*un trastorno del movimiento y de la postura debido a un defecto o lesión del cerebro inmaduro*” (Bax., 1964). Dentro de las parálisis motrices, la PC constituye uno de los diagnósticos más prevalentes en la infancia (Campistol, Arroyo, Poo & Ruggieri., 2011) y al que se destinan mayores desembolsos en salud, implicando un manejo terapéutico dinámico, vanguardista y complejo (Gómez, Jaimes, Palencia, Hernández & Guerrero., 2013). Los trastornos motores de la parálisis cerebral pueden estar acompañados de sintomatología sensitiva y cognitiva, con una etiopatogenia que hace obligatorio el entendimiento neuroanatómico, psicopatológico y conductual individual. Este trastorno del desarrollo ocasiona un impacto profundo en la calidad de vida del individuo, exigiendo un proceso terapéutico multidisciplinario y en relación directa con las nuevas tecnologías de rehabilitación (Aisen et al., 2011; Campistol et al., 2011; Dinomais et al., 2013; Muriel, Ensenyat, García-Molina, Aparicio-López & Roig-Rovira., 2014).

El concepto “*aprendizaje motor*” es descrito por Cano de la Cuerda et al., (2012) como un proceso de adquisición de destreza cinética, resultado de múltiples procedimientos cognitivos asociados a la experiencia y con la capacidad de producir cambios permanentes en la actividad motora. Esta noción constituye la base del “*control motor*” y su asociación con procesos integradores de la información sensitivo/motora en los que influyen la práctica, la repetición, la retroalimentación, la motivación y la conciencia corporal (Yáñez et al., 2016). Es un principio válido que la rehabilitación motora tiene su fundamento en las teorías del aprendizaje motor (Cano de la Cuerda et al., 2012) y que esté a su vez puede ser representado con herramientas conceptuales como “*la tasa y curva de aprendizaje*” (Chango et al., 2014). De esta forma diversos tratamientos que aplican esta teoría han sido llevados a la práctica clínica con el objetivo principal de recuperar la funcionalidad en problemas de control postural, locomoción, alcance/agarre, etc. Sin importar la edad, ni el grado de déficit cognitivo (López de la Fuente., 2013).

Dentro de las medidas terapéuticas actuales destacan los videojuegos serios, que proporcionan un contexto para el desarrollo de una actividad con dificultad regulada, alta motivación y atención óptima, complementando los procesos de aprendizaje motor en individuos con diagnóstico de PC (*Harris & Reid., 2005*). Las características de cada videojuego definen su aplicación terapéutica, por lo que instrucciones sencillas, una interfaz amistosa y un mando con diseño ergonómico resultan fundamentales para elevar la participación de los jugadores (*Bonnechère et al., 2014; Ravi, Kumar & Singhi., 2017*). Múltiples estudios han empleado videojuegos serios en PC para la obtención y el entrenamiento de las destrezas motoras, (*Burdea et al., 2013; Howcroft et al., 2012; Jaume-i-Capo et al., 2014; MacIntosh, et al., 2017; Weiss., 2008; Winkels et al., 2012; Yalon-Chamovitz & Weiss., 2008; Yagüe, et al., 2016*) con resultados positivos en coordinación, motricidad fina de la mano (*Díez Alegre & Cano de la Cuerda., 2011*), componentes de la marcha, equilibrio (*Ravi, Kumar & Singhi., 2017*) y control postural (*Pin. & Butler., 2019*).

La industria de videojuegos usados con fines serios se ha configurado un espacio dentro del arsenal terapéutico en el campo de la rehabilitación, resaltando la importancia de la creación, registro y seguimiento de datos en terapias guiadas bajo la vigilancia interdisciplinaria, con escalas validadas y puntuaciones que verifiquen el avance clínico. Sin embargo, algunos expertos consideran que esta nueva disciplina tiene mucho por demostrar, estandarizar y validar científicamente (*Bonnechere et al., 2014; Ravi, Kumar & Singhi., 2017*). Por este motivo el proyecto “*Juguemos*” analizó el aprendizaje motor asociado al uso de un videojuego serio en 13 participantes con diagnóstico de PC. El objetivo de nuestro estudio consistió en demostrar que posterior a 10 semanas de entrenamiento con un videojuego serio, se producía un aprendizaje motor, que generaba cambios en su función manual, destreza manual y percepción somatosensorial, comparados con un grupo control con el mismo diagnóstico que no realizó el entrenamiento.

Estado de la cuestión

Parálisis cerebral, prevalencia y estado actual

La parálisis cerebral recorrería casi silente la historia hasta la era moderna, momento en el que un médico británico realizará la primera asociación causal con el trabajo de parto nombrándola como “*Enfermedad de Little*” (Gómez et al., 2013) en 1860. En pleno siglo XIX serían Legido y Poo quienes introducirán, en compañía de Burgessy Osler, los términos “*parálisis cerebral*” y “*parálisis cerebral infantil*” (Gómez et al., 2013).

Dentro del grupo de síndromes de parálisis motriz infantil, la parálisis cerebral es una entidad clínica de difícil tratamiento, que en países desarrollados afecta “*entre 1,2 - 2,5 por cada 1.000 recién nacidos vivos*” (Gómez et al., 2013), con una prevalencia ascendente asociada al mayor número de diagnósticos desde la década de los años 90 debido a los avances obstétricos, neonatológicos y al progreso tecnológico (Alberman, Blair, & Stanley., 2000; Kleinsteuber-Saa, Avaria-Benapres & Varela-Estrada., 2014; Krägeloh-Mann & Cans., 2009; Muriel et al., 2014; Winter, Autry, Boyle & Yeargin-Allsopp., 2002).

La parálisis cerebral es descrita a nivel neuroanatómico por Fejerman y Fernández-Álvarez (2007) como un “*daño localizado en el sistema nervioso central de naturaleza no progresiva, permanente (no invariable) y estacionario (no evolutivo)*”. Éste se relaciona con el desarrollo neuroevolutivo, obligando a descartar causas metabólicas, neurodegenerativas y neuromusculares para el diagnóstico (Gómez, et al., 2013). Cada cuadro de PC es distinto, la presentación clínica depende de la localización neuroanatómica de la lesión y de la etapa de instauración (prenatal, postnatal, etc.). Las personas diagnosticadas con PC presentan sintomatología relacionada directamente con la maduración de las áreas funcionales cerebrales, con efectos patológicos de componente motor que se expresan por defectos en el tono muscular, coordinación motora, movimiento, postura y una tasa elevada de discapacidad motriz (Gómez et al., 2013). Debido a su carácter plurietiológico, su clasificación varía en función de los fenómenos sintomáticos presentes, las alteraciones motoras y los

componentes de comorbilidad asociados como *la epilepsia, el compromiso neurosensorial visual (11%), auditivo (8%), la afectación de funciones ejecutivas con déficits en lenguaje, atención, memoria, visopercepción, visoconstrucción, inteligencia, función social y autocuidado (ver tabla 1) (Armero, Pulido & Gómez., 2015; Fernández & Calleja., 2002; Muriel et al., 2014; Pirila et al., 2010; Bottcher., 2010; Østensjø Carlberg & Vøllestad., 2003; Hernández & Santacruz., 2006)*

Tipo de Parálisis Cerebral	Porcentaje	Criterio Clásico
Hemiplejía Espástica	25 - 40%	- Periodo prenatal en la mayoría de los casos, relacionada con leucomalacia periventricular unilateral y lesiones cortico-subcorticales. - Mayor afectación de un hemisferio.
Diplejía Espástica	10 - 35%	- Causa mas frecuente: leucomalacia periventricular en la prematuridad . - Mayor afección en miembros inferiores.
Tetraplejía Espástica	5%	- Causas relacionadas malformaciones cerebrales e infecciones de contagio vertical pre, peri o postnatal . - Afectación bilateral en miembros superiores e inferiores.
Discinética	10 - 20%	- Relacionada con periodo perinatal . Afectación de ganglios basales. - Presencia de movimientos anormales (disonía, corea y/o atetosis).
Atáxica	5 - 15%	- Prenatal en el 65% de los casos. - Ataxia y Síndrome Cerebeloso. - Síntomas predominantes: hipotonía, ataxia, disimetría e incoordinación.
Hipotónica	<5%	- Prenatal en la mayor parte de los casos. - Hipotonía muscular con hiperreflexia osteotendinosa .

Tabla 1. Revisión sobre clasificación clínica, porcentaje de presentación y criterio clásico de diagnóstico en parálisis cerebral. Extraída y adaptada de Fernández-Jaén & Calleja-Pérez, 2002.

Desde el punto de vista terapéutico, el tratamiento farmacológico, se caracteriza por el uso de antiespasmódicos en casos de espasticidad, como la toxina botulínica A,

relajantes musculares orales asociados a benzodiacepinas con el fin de controlar el tono muscular, como el *Baclofeno intratecal (relajante muscular)* indicado en lesión medular por su acción agonista GABAérgica y el cada vez más conocido agonista alfa adrenérgico *Tizanidina* (relajante muscular de acción corta) recomendado de manera parcial en casos que requieran acción a nivel cortical por su capacidad de atravesar la barrera hematoencefálica (*Fernández & Calleja., 2002*). Este manejo, se acompaña de un proceso de rehabilitación iniciado antes de los 3 años de edad, compuesto de fisioterapia, terapia ocupacional, logopedia (*Palazón, Benavente & Arroyo., 2008*), ayudas ortésicas, así como de coadyuvancia con intervenciones quirúrgicas, en gran parte ortopédicas, destinadas principalmente a mejorar la movilidad, controlar la espasticidad con tenotomías, alargamientos tendinosos multinivel, corrección del pie plano espástico y transferencias tendinosas entre otras. Estas intervenciones buscan mejorar el control motor en las actividades de la vida diaria (*Rodríguez, Martínez, Peñalva, & Fiallos., 2010*).

Aprendizaje motor

Los movimientos humanos han sido descritos desde la observación y experimentación en modelos físicos, biológicos y psicológicos. Sin embargo, no fue hasta 1900 que se describe el término “*aprendizaje motor*” como una ciencia de estudio. En 1930, Lawther y Ragsdale lo definen como “*el cambio relativamente permanente de la conducta motriz, como consecuencia de la práctica y del entrenamiento*” (*Lawther, 1968 citado por Rocha & Crisorio., 2012*). Este aprendizaje constituye una de las estrategias en el contexto de rehabilitación, estimulando el desarrollo de nuevas destrezas motoras que potencian la funcionalidad en la vida diaria de las personas con problemas neuromotores (*Cano de la Cuerda et al., 2012; López de la Fuente., 2013*).

En 1965 *Robert Gagné* describió *los tipos básicos de aprendizaje* y la relación entre actividades que involucran la coordinación de diferentes grupos musculares con “*las destrezas motoras y habilidades sensoriomotrices*” (*Rivas., 2008*). Desde la perspectiva motriz, entender cómo se mueven los individuos nos remonta a la revisión de las *teorías sobre el control motor y los modelos de control motor* del mismo, donde las

asociaciones y circuitos neuronales se describen como patrones repetitivos que explican la relación entre la planificación, el control y la ejecución de acciones coordinadas (Marrero, Izquierdo & Rodríguez., 1995-1998).

Los procesos de *adquisición, retención y transferencia* participan en la codificación del aprendizaje (Rivas., 2008). Este *aprendizaje motor* depende de un modelo de adquisición que no es inmediato y que ha sido descrito por autores como *Fitts & Posner (1968), Bernstein (1976) y Gentile (1972) (ver tabla 2)* en fases, a través de las cuales se desarrollan de manera implícita o explícita, distintas metas cognitivas asociativas o constructivas (Rivas., 2008). Durante la etapa inicial denominada “*adquisición*” (Rivas., 2008) tiene lugar el primer contacto con el conocimiento, generando una comprensión dentro del acercamiento a una situación nueva; donde el individuo puede plantearse una reestructuración del conocimiento adquirido previamente, involucrando la lógica de diversos procesos o descartar dicho primer contacto para reafirmar el conocimiento estructurado por su propia experiencia. Posteriormente este conocimiento es integrado y reestructurado, tejiendo una red que asegurará la permanencia del proceso aprendido llegando a la segunda etapa, también descrita como fase de “*retención*” (Rivas., 2008). Adicionalmente se involucra la práctica acompañada por fenómenos de retroalimentación, consolidando un aprendizaje sostenido con la inclusión de metodologías propias (como la repetición) en cada individuo que favorecen a la memoria. La “*transferencia*” (Rivas., 2008), o etapa final es el momento en el cual los conceptos aprendidos son apropiados y dominados, por lo que están listos para ser aplicados como herramienta en diferentes situaciones y/o compartirse con otros aprendices (Rivas., 2008).

<i>Autor</i>	<i>Principio</i>
<i>“Fitts & Posner” (1968)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Basado en un canal de información, que transmite y analiza para responder al ambiente en una sola dirección, con estadios: <ul style="list-style-type: none"> - Cognitivo, aprende o reaprende. - Asociativo, analiza el ambiente y gana destreza - Autónomo, multiambiental con control casi total

- “Adams”
(1971)**
- **Circuito cerrado** - Tareas motrices continuas con ajuste, sus fases:
 - **Verbal:** Idea de realizar una acción, se relaciona con percepciones de ejecuciones con fenómenos del movimiento almacenados en la memoria. Si no se da, no existe la fase Motriz.
 - **Motriz:** El sistema de retroalimentación sensorial relaciona la percepción con la acción. Se controla la información de manera consciente o por automatismos.
- “Gentile”
(1972)**
- Fases:
 - **1) Comprensión e interpretación del movimiento**
 - **2) Fijación y redefinición del movimiento**
- “Schmidt”
(1975 -1976a)**
- **Circuito abierto** - concepto de “programa motor general” que crean esquemas de respuesta motora.
 - La memoria guarda información sobre la localización de las diferentes partes del cuerpo, el ambiente, etc. y se aprende con procesos de retroalimentación del movimiento inicial y lo sensorial.
 - **Fenómeno de transferencia:** almacenamos en la memoria las relaciones en un tipo de movimientos gracias a la “evocación” y al “reconocimiento de patrones”.
- “Singer”
(1975)**
- Modelo de **múltiples procesamientos de información** de forma continua:
 - Unifica los conceptos de Adams y Schmidt.
 - Receptores sensoriales relacionados con el ambiente asociados al análisis local, con otros procesos eferentes que pueden estar o no relacionados.
 - La respuesta motora consciente depende de experiencia, demandas y habilidad.
- “Bernstein”
(1976)**
- **Sistema con control sobre grupos musculares, articulaciones, posibilidades de movimiento:**
 - **Inicial** con menor grado de libertad, se plantea el “problema motor”.
 - **Avanzado** con mayor número de articulaciones incluidas, se evalúa un “proyecto motor”.
 - **Experto** posee todos los grados de libertad del movimiento, la retroalimentación permite conocer el “valor previsto” y “valor efectivo”.
- “Welford”
(1980)**
- Evalúa el procesamiento de información del **fenómeno de ejecutar el movimiento**, con componentes:
 - **1) Emisor de información**
 - **2) Canal**
 - **3) Receptor con cuatro vías de salida** (memoria-decisión/control neuromuscular, conocimiento, ejecución y

resultados)

- “Keele” (1982)**
- **Tareas motrices discontinuas**
 - El programa motor de inicio es ejecutado.
 - Se hace retroalimentación de la totalidad y se crea un nuevo programa.

Tabla 2. *Teorías del aprendizaje motor. Extraída y adaptada de Cano de la Cuerda et al., 2012; Carrasco & Carrasco., 2014; Marrero, Izquierdo & Rodríguez., 1995-1998; Rivas., 2008.*

La medición del aprendizaje motor y los procesos de mejoría funcional pueden ser representados por el uso de ilustraciones gráficas (Marrero, Izquierdo & Rodríguez., 1995-1998). Una de las herramientas esquemáticas más destacadas en identificar los progresos de una variable es la *curva de aprendizaje* descrita por Wright (1936). Para determinar su valor, es necesaria la comprensión de la *tasa de aprendizaje*, que representa la disminución en el tiempo de desarrollo de un proceso y la velocidad con la que este aprendizaje se realiza (Chango & Zambrano., 2014). Matemáticamente la curva es descrita como una línea que representa el aprendizaje, mostrando que se obtiene destreza, eficacia y operancia a partir de la reiteración de una tarea de forma continua (Krajewski & Ritzman, 2000; Chango & Zambrano., 2014). Esta es considerada útil para cuantificar el aprendizaje en un tiempo determinado, y es aplicada en diversas disciplinas, desde la economía hasta la evaluación de procesos fisiológicos o terapéuticos.

Otro parámetro asociado a la medición del aprendizaje, es la ley matemática de Fitts o “*relación velocidad-precisión*”, descrita por Woodworth en 1899 como “*la relación logarítmica inversa entre la velocidad y la precisión en los movimientos*” (Menayo, Fuentes, Moreno, Clemente. & García., 2008). A mayor velocidad del movimiento, menor precisión del mismo y viceversa. Según Menayo et al., (2008) el aprendizaje se podría interpretar como una mejoría de esta relación.

Existen diversos métodos para determinar la curva de aprendizaje, pero en todos es obligatorio conocer el tiempo que toma realizar el proceso en una ocasión (*Tasa de aprendizaje*). El modelo propuesto por Wright, con variaciones o decrecimiento lineal, el

aritmético y el logaritmo son algunos postulados matemáticos clásicos para el cálculo de la curva (*Chango & Zambrano., 2014*).

Aprendizaje motor y parálisis cerebral

La aplicabilidad del aprendizaje motor en pacientes con parálisis cerebral se fundamenta en los modelos neurofisiológicos, donde identificar los factores que influyen en la adquisición, retención y ejecución de programas motrices, es clave para establecer parámetros de rehabilitación que no sólo lleven a la mejoría funcional sino que aseguren su permanencia en el tiempo (*Rivas., 2008; Rosa, Montero & Cruz Lorente., 1993*). Los mecanismos de desarrollo y aprendizaje en seres humanos son característicamente similares, sin embargo, algunos autores sugieren que dichos procesos difieren en individuos con diagnóstico de parálisis cerebral. En estos niños, el desarrollo es consecuencia tanto de un funcionamiento motor supeditado a alteraciones en los procesos de maduración neurológica (pre-post natal), como de los daños generados en el sistema nervioso que implican la existencia de graves deficiencias físico-conductuales desde corta edad, estimulando el desarrollo y adaptación de correspondencias funcionales durante el aprendizaje del medio que los rodea (*Rosa, Montero & Cruz Lorente., 1993*).

Es una realidad que el aprendizaje motor se favorece con la exposición a diversos entornos (*Grealy & Heffernan., 2000*). Las estrategias que favorecen el aprendizaje en PC están llamadas a ser dinámicas, inclusivas, activas y preferiblemente personalizadas, dada la presencia de una marcada asociación con alteraciones en manipulación, habla y escritura. La metodología debe adaptarse a las necesidades del individuo, resaltando la buena comunicación, la intervención de un equipo multidisciplinar y la inclusión del contexto familiar para cada individuo con PC. La educación formativa en movilidad, postura, desplazamiento, manipulación, comunicación y atención de las necesidades sensorio-perceptivas han demostrado favorecer la interacción con el medio externo, aumentando la posibilidad de adquirir nuevos conocimientos. Dado que el estudio de la PC y su relación con el aprendizaje aborda obligatoriamente el entendimiento de otras deficiencias asociadas (*Rosa et al.,*

1993), la escolarización y pertenencia a una institución también juegan un papel importante en el desarrollo del individuo, por esto el acceso a la educación primaria es crucial (*Ramos de Águeda & Fernández., 2015*). La relación con otros congéneres asociada a la conciencia corporal otorga una ruta de adquisición de patrones motores, configurando sistemas de comunicación cerebral permanentes que constituyen acciones motoras complejas (*caminar, hablar*), las cuales responden a componentes motivacionales y anímicos (*Rosa et al., 1993*).

Con respecto al funcionamiento psicológico en sujetos con deficiencias físicas las opiniones son divergentes, esto se debe a que el aprendizaje es analizado de manera frecuente con alteraciones en el lenguaje, la memoria, la atención, etc. *Kolk y Talvik (2000)*, al examinar los perfiles cognitivos de 37 sujetos con hemiparesia comparados con 13 participantes sanos, concluyeron que las lesiones cerebrales en el hemisferio izquierdo o derecho afectan el proceso cognitivo y su integración. Se encontró que los sujetos con hemiparesia están por debajo de los sujetos sanos en las pruebas de memoria a corto plazo, por lo que no es posible descartar la presencia de alteraciones en el aprendizaje. Lo mismo sucede para las medidas de atención, concentración y localización espacial para participantes con PC asociado a lesión en el hemisferio derecho (*Kolk & Talvik., 2000*).

La interacción entre el aprendizaje y las funciones ejecutivas como el lenguaje, memoria visual y atención también han sido correlacionadas con las conductas motoras como el control postural. *Reilly, Woollacott, Van Donkelaar y Saavedra (2008)* compararon el control postural durante la realización de una tarea cognitiva de 8 pacientes con diagnóstico de parálisis cerebral versus 11 controles con desarrollo típico. Los individuos con PC presentaron mayor inestabilidad que los controles con desarrollo típico. Por otra parte, los sujetos con peor función motora muestran medias inferiores en las pruebas IQ verbal, cociente de inteligencia y escala completa de inteligencia que sujetos con menor afectación motora (*Sigurdardottir et al., 2008*).

Con respecto a estudios centrados en el aprendizaje motor y PC con alteración del miembro superior, *Bonneya, Jelsmac, Ferguson y Smils-Engelsmana (2017)* demostraron que al comparar participantes con PC versus controles sin alteración en el desarrollo estos no presentaban diferencias significativas en términos de rendimiento, aprendizaje, ni durante el desarrollo de entrenamientos con horarios establecidos. *Krebs et al., (2012)* llevaron a cabo 16 sesiones de entrenamiento con robot enfocada en movimientos del hombro y codo, evidenciando resultados positivos en los grados de recuperación motora y equilibrio, rango de movimiento pasivo, patrones de movimiento, calidad de la función manual, sensibilidad y dolor articular, con un mantenimiento de la mejoría un mes después de la intervención (*Krebs et al., 2012*). Desde la perspectiva somatosensorial, *Blumenstein et al., (2015)* reportaron un incremento de la función de percepción y coordinación táctil en los dedos del miembro superior de 5 participantes con PC (n=7) con un sistema de retroalimentación sensorial en computadora durante 2 semanas. (*Blumenstein et al., 2015*).

Videojuegos en parálisis cerebral

Las personas con PC cuentan con diversos mecanismos terapéuticos, entre los que el uso de enfoques intervencionistas con computadoras y consolas de juego son cada vez más frecuentes. Los videojuegos han mostrado funcionar como una herramienta que aumenta la participación efectiva en la rehabilitación de las habilidades sensoriomotoras (*Pin & Butler., 2019*) pues no solo entretienen sino que además producen altas tasas de asistencia, excelente cumplimiento y ausencia de eventos adversos, mientras favorecen el aprendizaje motor con sistemas de puntuaciones y obtención de logros (*Boyle, Connolly, Hainey & Boyle., 2012*).

La amplia diversidad de presentaciones digitales han llevado a clasificar los videojuegos en dos grandes vertientes: los juegos serios y los juegos comerciales. Los *Juegos Serios (SG, por sus siglas en inglés)* son descritos por *Zyda (2005)* como un instrumento de capacitación que asocia un factor educativo y que permite acoplar nuevas habilidades y conceptos. Esto los configura como una herramienta potenciadora del aprendizaje, con la capacidad de ayudar a objetivos específicos de rehabilitación (*Zyda 2005, p 26 "tomado de" Lopes et al.,. 2018*). Por otro lado los

Juegos Comerciales (COTS, por su siglas en inglés) estarían compuestos por todos los títulos electrónicos de entretenimiento desarrollados por empresas como Sony® o Microsoft® entre otras, que igualmente han probado su eficacia como herramienta para “*mejorar las habilidades genéricas o transversales*” (Lopes et al., 2018).

El uso de los juegos comerciales y la brecha con los juegos serios en la práctica clínica, ha puesto en evidencia la necesidad de utilizar un nuevo término “*Juegos usados seriamente (GUS)*”, refiriéndose a todos aquellos juegos que sin importar la clasificación COTS o SG se aplican con un objetivo terapéutico (Lopes et al., 2018). En PC se instauran como una terapia de rehabilitación emergente del siglo XXI, asociada a tecnología computacional, lúdica y de fácil acceso, que además de la estimulación motriz, involucra la mejoría del desarrollo intelectual (CPF., 2017), buscando alcanzar procesos de estimulación óptimos que mejoren el perfil funcional y reestructuren el proceso de aprendizaje. A continuación se presenta una tabla, diseñada a partir de una revisión sistemática realizada por Lopes et al. (2018) (**Ver Tabla 3**). En ella se resume la investigación sobre el uso de juegos serios en personas con PC, con información sobre las consolas utilizadas, duración del entrenamiento, objetivos, medidas empleadas y resultados del entrenamiento.

Año	Autores	Aspectos Relevantes
2011	Sandlund et al.	<ul style="list-style-type: none"> - Plataforma: Sony Play Station 2 ® en casa, juegos de bajo costo. - Diagnóstico: Parálisis cerebral no especificada (n=14) (6-16 años). - Duración: 4 semanas, durante 20 minutos cada día. - Objetivo: Uso de juegos COTS con técnica de captura de video con el fin de promover actividad física y rendimiento motor. - Medidas Utilizadas: Gasto energético haciendo uso de un Armband; batería de evaluación de componente motriz para niños (<i>mABC-2</i>) que mide la destreza manual, puntería/atrape y equilibrio; la prueba de aptitud motriz <i>Bruininks-Oseretsky</i> que valora la estabilidad, movilidad, fuerza, coordinación y manipulación de los objetos; la prueba de marcha durante 1 minuto; un diario de juego y entrevistas con los participantes y sus tutores. - Resultados: aumento del cumplimiento en una intervención con bajo costo, alta facilidad para el manejo de la consola. El <i>mABC2</i> post-intervención mostró un impacto en la actividad física (>3 METS) evidenciando mejoría en el rendimiento motor comparada con la

-
- evaluación pre-intervención.
- 2012 Ramstrand & Lygnegård**
- **Plataforma:** Nintendo Wii Fit ® en casa.
 - **Diagnóstico:** Parálisis cerebral hemipléjica o dipléjica (n=18) (<18 años),
 - **Duración:** 5 semanas, con indicación de jugar 30 minutos, 5 veces por semana. No supervisada.
 - **Objetivo:** Evaluar la eficacia de jugar juegos COTS no calibrados ni adaptados para mejorar el equilibrio.
 - **Medidas Utilizadas:** prueba de organización sensorial modificada, prueba de equilibrio reactivo, prueba de cambio de peso rítmico y el tiempo de juego registrado en diarios.
 - **Resultados:** no se comprobó la eficacia de esta consola como herramienta terapéutica en niños con PC en el tiempo de entrenamiento establecido, dado la ausencia de asociación con las medidas sensoriales y de equilibrio utilizadas.
- 2015 Preston et al.**
- **Plataforma:** Cualquiera en la que se usen Juegos serios en casa.
 - **Diagnóstico:** Parálisis cerebral espástica (n=15) (5-12 años).
 - **Duración:** 6 semanas con un seguimiento de 12 semanas - jugar 30 minutos al día posteriormente a manejo con toxina botulínica.
 - **Objetivo:** examinar el beneficio en la función del miembro superior de un juego de rehabilitación de brazo asistido por computadora.
 - **Medidas utilizadas:** se usaron dos escalas validadas en PC, la ABILHAND-kids, que mide la habilidad manual en las actividades de la vida diaria como colocarse una gorra o abrir un paquete de comida y El Canadian Occupational Performance Measure (COMP), que valora la autopercepción de capacidad y rendimiento al realizar actividades manuales como escribir, dibujar, leer, sostener objetos. Ambas fueron realizadas a las 6 y a las 12 semanas. Se recopiló información verbal de los padres con cuestionarios sobre uso, participación y compromiso del participante.
 - **Resultados:** no se encontraron diferencias significativas entre el ABILHAND-kids pre-intervención y post-intervención. Con respecto al COPM, se evidenciaron cambios, sin embargo no se consideraron clínicamente significativos debido a que los cambios en el puntaje individual fueron menores de dos puntos.
- 2016 Sevick et al.**
- **Plataforma:** Computadora de escritorio en casa.
 - **Diagnóstico:** Parálisis cerebral no especificada (n=4) (8-17 años)
 - **Duración:** 12 semanas (1 hora de entrenamiento por semana).
 - **Objetivo:** evaluar la viabilidad de usar esta plataforma en casa haciendo uso de 26 juegos (COTS) de internet gratuitos como elemento para promover función de las extremidades superiores; se acopló el uso de un sensor de movimiento Kinect junto con el software Flexible Action & Articulated Skeleton Toolkit (FAAST).
 - **Medidas Utilizadas:** midieron el rango de movimiento corporal activo durante el juego (AROM: active range of motion), la coordinación

manual de habilidades finas/ gruesas (BOT-2: Bruininks Oseretsky Test of Motor Proficiency) y el alcance funcional (Modified UE functional orientation scope test) que utiliza captura de video para evaluar los ángulos articulares y el alcance en los planos. Se usó como medida cualitativa el inventario de motivación intrínseca (IMI: Intrinsic Motivation Inventory) que informó sobre su interés/motivación al realizar la actividad.

- **Resultados:** completaron las 12 semanas de entrenamiento, con altos niveles de motivación (IMI). La plataforma se consideran válida y confiable a pesar de ser usada por primera vez al realizar la actividad, sin embargo el 75% de los participantes presentaron dificultades para dominar los mandos. Se considera que es viable realizar la intervención en casa. En los resultados motores 50% de la muestra tuvo un incremento en AROM para la flexión, abducción y rotación externa del hombro, flexión de codo y flexo/extensión de la muñeca en los miembros superiores afectados. 25% de la muestra presentó aumento en la coordinación manual general con el BOT-2. En el alcance funcional, el 100% de la muestra presentó cambios en su movilidad articular comparada con su miembro superior sano.

2017 Levac et al.

- **Plataforma:** Microsoft Kinect Xbox 360 ® en casa / Realidad Virtual en clínica.
- **Diagnóstico:** Parálisis Cerebral no especificada (n=5) (7-18 años)
- **Duración:** 1 hora de entrenamiento en realidad virtual durante 5 días en clínica, seguido de un programa supervisado en hogar de 6 semanas (7 semanas en total) comparado con un grupo que solo recibe el entrenamiento en casa.
- **Objetivo:** comparar cambios en función motora gruesa y movilidad funcional haciendo uso de COTS y realidad virtual entre los niños.
- **Medidas Utilizadas:** respuesta postural, la prueba de marcha de seis minutos (6MWT), medición de función motora gruesa con módulo de desafío (GMFM-CM) que corresponde a una extensión del GMFM (Gross Motor Function Measure) en el que se mide la capacidad y velocidad con el fin de diseñar un tratamiento basado en el potencial de cada individuo con PC.
- **Resultados:** ambos grupos obtuvieron resultados comparables. Se presentó diferencias clínicas y estadísticamente significativas posterior a la terapia de seis semanas en el grupo que recibió la terapia en casa únicamente, soportado por las puntuaciones en el GMFM-CM. El grupo que además realizó la terapia con realidad virtual presentó disminución en el 6MWT. Sin embargo no se logran conclusiones por el reducido tamaño de la muestra.

2017 Liu et al.

- **Plataforma:** 3 juegos desarrollados en computadora de escritorio con electromiografía y acelerómetros (EMG-ACC) en casa
- **Diagnóstico:** Parálisis cerebral no especificada. (n=20) (6 -12 años)
- **Duración:** dos etapas, primera etapa durante 4 semanas (30 minutos al día, 2-3 veces por semana), segunda etapa duró 1,5 meses (30 minutos,

- 1 vez por semana)
- **Objetivo:** dos objetivos: valorar viabilidad/aceptación de la plataforma en el hogar y medir el efecto a largo plazo.
 - **Medidas Utilizadas:** escala de evaluación *Fugl-Meyer UE* para calcular el déficit de funcionamiento sensitivo y motor (valora reflejos, mecanismo del movimiento con/sin sinergia, sensación, coordinación/velocidad, etc. en el miembro superior por secciones), independencia en actividades de la vida diaria con la escala local ADL e informes de experiencia personal.
 - **Resultados:** se verificó la viabilidad del videojuego en 3 participantes del total muestral, con seguimiento durante 75 días que mostró la capacidad del entrenamiento incrementando la flexibilidad de las articulaciones del codo, de la muñeca, de los dedos de la mano y la pronación del antebrazo en todos ellos. Todos los resultados fueron almacenados en la computadora portátil e indicaron mejoría en el rendimiento asociado al entrenamiento.
- 2017 Kasee et al.**
- **Plataforma:** Nintendo Wii ® en casa.
 - **Diagnóstico:** Parálisis cerebral hemipléjica espástica (n=6) (7-12 años)
 - **Duración:** 6 semanas, primer grupo actividad durante 40 minutos al día durante 5 días a la semana; el segundo mismas funciones en ambiente real con la misma duración.
 - **Objetivo:** uso de videojuego COTS en la rehabilitación de extremidades superiores (miembro con espasticidad) en comparación con entrenamiento de resistencia tradicional.
 - **Medidas Utilizadas:** medición pre-tratamiento, post-tratamiento y follow-up de 4 semanas de la función unilateral del miembro superior afectado MA2 (Melbourne Assessment of unilateral upper limb function), función manual percibida (ABILHANDKids), fuerza de agarre, diario de campo realizado por el tutor y escalas de motivación.
 - **Resultados:** 66% de los participantes en el grupo de la plataforma presentó mejoría en el MA2. En el ABILHAND kids se evidenció aumento de la percepción de función manual en todos los participantes. El grupo que utilizó la plataforma reportó mayor conformidad con el entrenamiento.
- 2019 Pin & Butler.**
- **Plataforma:** Computadora de escritorio en clínica.
 - **Diagnóstico:** Parálisis cerebral moderada (GMFC III or IV) (n=18) (6-14 años)
 - **Duración:** 4 veces por semana - 20 minutos. Durante 6 semanas.
 - **Objetivo:** determinar cambios en equilibrio y habilidad motora gruesa funcional tras el uso de Tyromotion GmbH del grupo intervención tras recibir el entrenamiento.
 - **Medidas Utilizadas:** medición realizada antes del entrenamiento (semanas 3, 6 y 12) de función motora gruesa (GMFM-66) con 15 ítems en diferentes posiciones, pediatric reach test (PRT) para valorar el equilibrio basado en la movilidad en los ejes de sustentación y el test de 2 minutos de marcha que buscaba evaluar la capacidad de ejercicio.

- **Resultados:** se completó el protocolo sin eventos adversos. Se encontraron cambios en la habilidad motora gruesa en ambos grupos en la semana 3 y 6, por lo que no se puede asegurar un efecto positivo al asociarse a la fisioterapia usual. Los autores relacionan este hecho con la pequeña muestra del estudio piloto y el impacto cognitivo de los participantes con PC.

Tabla 3. Revisión juegos de uso serio (GUS) en terapias. Extraída y adaptada de Lopes et al., 2018.

Dentro de los estudios revisados, los resultados ponen en evidencia el progreso funcional en variables de impacto en actividad física o rendimiento motor (Sandlund, Waterworth & Häger., 2011). Igualmente se obtienen resultados positivos en cambios de capacidad y velocidad de la función motora gruesa tras seis semanas de entrenamiento (Levac, et al., 2017), el progreso favorable en la función manual y actividades de la vida diaria (Kassee et al., 2017) y la importancia del uso de un mando ergonómico que facilite el desarrollo del entrenamiento (Sevick et al., 2016). En su mayoría los investigadores describen el bajo costo de las intervenciones, la posibilidad de aplicar los entrenamientos tanto en ambiente clínico como en el hogar, al igual que la necesidad de desarrollar mayores facilidades para el manejo de la consola y el mando (Sandlund, et al., 2011). Se resalta lo importante que es asegurar que todos los participantes con PC estén conformes con el entrenamiento al usar la plataforma (Kassee et al., 2017), con modos de juego cooperativo, competitivo y en línea que incrementen los niveles de registro en bases de datos para su posterior análisis, manteniendo el compromiso y alto enrolamiento ya conseguidos.

No se debe olvidar que el diseño de una herramienta con fines terapéuticos además de responder a la necesidad individual de cada participante, debe ser didáctico e incluir una interfaz dinámica, con instrucciones claras y procesos de reeducación. Durante el juego, cada sujeto atraviesa por una cadena de eventos diferentes, con factores controlables (tiempo empleado y medios para aprender) y otros que no lo son, ligados al proceso de aprendizaje que se acompañan de retroalimentación (Cano de la Cuerda. et al., 2012). Dentro de la literatura revisada no encontramos ningún trabajo cuyo objetivo fuera asociar la existencia de aprendizaje motor con los resultados funcionales obtenidos tras el uso de los diferentes tipos de plataformas en videojuegos serios.

Nuestro trabajo pretende aportar información en este sentido, con el análisis del aprendizaje de la tarea motora entrenada en un videojuego de uso serio donde se favorecía el movimiento de la mano dominante, con tareas de uso funcional del miembro superior. Nuestro principal interrogante es comprender si posteriormente al entrenamiento con un videojuego serio (juego de laberinto) los participantes con parálisis cerebral obtienen tasas de aprendizaje altas representadas en la curva de aprendizaje, medido por las variables de la relación velocidad-precisión. Igualmente deseamos valorar cambios en la destreza manual gruesa, funcionalidad manual y sensibilidad somatosensorial (táctil y dolorosa), que permitan objetivar el impacto de este aprendizaje motor sobre la mejoría en la función del miembro superior.

Objetivos e Hipótesis

Este trabajo fin de máster está enmarcado en el desarrollo del proyecto “*Juegos híbridos basados en interfaces multimodales emocionales y agentes sociales “JUGUEMOS”*” (TIN2015-67149-C3-2-R) liderado por el *Dr. Francisco Perales López*. El objetivo general es evaluar las diferencias en la función motora y somatosensorial del miembro superior entre dos grupos de participantes con PC, un grupo de intervención llevó a cabo 10 sesiones con un videojuego serio y un grupo control que no llevó a cabo este entrenamiento. Se establecen como objetivos específicos:

- Analizar el comportamiento de las variables asociadas a la relación velocidad-precisión (*tiempo total, camino recorrido, colisiones*).
- Establecer la tasa de aprendizaje conseguida durante el entrenamiento.
- Obtener las curvas de aprendizaje para cada variable almacenada con el fin de establecer conclusiones sobre el aprendizaje motor global durante el entrenamiento. Comparar la destreza manual gruesa entre el grupo control y el grupo de intervención.
- Comparar la funcionalidad unilateral de los miembros superiores al realizar una actividad de la vida diaria entre el grupo control y el grupo de intervención.
- Comparar sensibilidad táctil y umbrales de sensibilidad dolorosa por presión de ambos miembros superiores entre el grupo control y el grupo de intervención.

Planteamos la hipótesis de que los individuos con parálisis cerebral del grupo de intervención adquirirán un nivel de aprendizaje motor tras 10 sesiones de entrenamiento con un videojuego serio, lo que a su vez mejorará la ejecución de tareas motoras y sensitivas posteriormente a la terapia.

Metodología

Diseño Experimental

Este estudio se enmarca en el proyecto “JUGUEMOS”, dedicado al análisis de las técnicas de neurofeedback para la valoración de atención en niños con parálisis cerebral (Ver anexo 1). El presente es un estudio epidemiológico analítico experimental aplicado en la Asociación de Parálisis Cerebral (ASPACE - Sede Baleares- Marratxí). El desarrollo del estudio requirió un abordaje multidisciplinar y se llevó a cabo de forma coordinada por dos grupos de investigación de la Universidad de las Islas Baleares: el equipo de la Unidad de gráficos y visión por ordenador dirigido por el *Dr. Francisco Perales López* y el equipo del IUNICS-IdISPa liderado por la *Dra. Inmaculada Riquelme Agulló*. La labor del **primer equipo** consistió en diseñar un juego de laberinto (videojuego serio) compuesto por 10 niveles con dificultad progresiva, ejecutado en una computadora de escritorio por medio de un mando manual Joystick (de palanca), y adaptarlo a las características de los usuarios con PC, en colaboración con los profesionales de Aspace. Además, este equipo diseñó el registro automático de los parámetros de las sesiones de juego relacionados con el aprendizaje motor (ej. tiempo, distancia recorrida, número de colisiones, etc.). El **segundo equipo** se encargó de valorar la eficacia del entrenamiento realizado con el videojuego serio en la función sensoriomotriz de las personas con PC.

Participantes

Participantes con diagnóstico de parálisis cerebral (criterios del DSM-5) fueron reclutados en ASPACE (sede Marratxí, Islas Baleares, España) en enero del 2018,

mediante una reunión para los usuarios y sus familias organizada por el centro en sus instalaciones. Se utilizaron los siguientes criterios de inclusión: tener la voluntad de llevar a cabo el estudio, contar con los permisos correspondientes firmados por padres y/o tutores legales, rango de edad entre los 8 y 18 años, diagnóstico de parálisis cerebral. El único criterio de exclusión aplicado fue no contar con un nivel cognitivo para comprender y seguir instrucciones simples, validado por los datos otorgados por el servicio de psicología del centro. Adicionalmente, se dejó claro a los participantes, al igual que a sus familiares y a los profesionales del centro, que los participantes podrían desistir del estudio según su voluntad o por indicación médica. Los tutores legales firmaron el consentimiento informado y las personas con PC otorgaron su consentimiento verbal. Todos los participantes se encontraban recibiendo terapia física, ocupacional y el resto de las actividades planificadas por el centro de rehabilitación. El estudio, que forma parte de un proyecto de investigación más amplio (JUGUEMOS), fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de las Islas Baleares (referencia ID: 3568/2015) (**Ver anexo 1**).

La muestra total contó con 26 individuos, 10 participantes de género femenino y 16 participantes de género masculino, con un rango de edad entre los 8 y 18 años. Los participantes se distribuyeron de forma aleatoria en un grupo intervención ($n=13$, *Media de edad= 13,76 - STDEV = 3,46*) y un grupo control ($n=13$, *Media de edad= 15,07 - STDEV = 3,47*) (**Ver tabla 4**). Datos clínicos como el diagnóstico de parálisis cerebral, lateralidad y deterioro cognitivo se obtuvieron de la historia clínica. Además, se aplicaron las clasificaciones validadas Gross Motor Function Classification System (GMFCS) (*Palisano. et al., 1997*) y Manual Ability Classification System (MACS) (*Eliasson et al., 2006*), las cuales comprenden 5 niveles que al aumentar representan mayor gravedad. La primera se centra en la movilidad del individuo con PC y tiene como objetivo determinar las habilidades y limitaciones del participante en su funcionamiento motor grueso. La segunda establece cómo los participantes con PC utilizan sus manos para manipular objetos en las actividades diarias. El rango de puntuaciones de ambas escalas y su significado se resume a continuación. (**Ver tabla 5**).

Género	G. Intervención (%)	G. Control (%)	G. Total (%)	* Valor P
Masculino	8 (61,5)	8 (61,5)	16 (61,5)	1,0
Femenino	5 (38,5)	5 (38,5)	10 (38,5)	
Diagnóstico				
Congénito	10 (76,9)	10 (76,9)	20 (76,9)	1,0
Adquirido	3 (23,1)	3 (23,1)	6(23,1)	
Lateralidad				
Derecha	7 (53,8)	7 (53,8)	14 (53,8)	1,0
Izquierda	6 (46,2)	6 (46,2)	12 (46,2)	
Deterioro Cognitivo				
Ninguno	8 (61,5)	5 (38,4)	13 (50,0)	0,406
Bajo	4 (30,8)	5 (38,4)	9 (34,6)	
Moderado	1 (7,7)	3 (23,2)	4 (15,4)	
Severo	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
GMFCS				
Nivel I	2 (15,4)	2 (15,4)	4 (15,3)	0,592
Nivel II	0	0	0	
Nivel III	1 (7,7)	0	1 (3,9)	
Nivel IV	10 (76,9)	11 (84,6)	21 (80,8)	
Nivel V	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
MACS				
Nivel I	3 (23,1)	3 (23,1)	6 (23,2)	0,431
Nivel II	4 (30,8)	7 (53,8)	11 (42,3)	
Nivel III	2(15,4)	2(15,4)	4 (15,3)	
Nivel IV	3 (23,0)	0 (0)	3 (11,5)	
Nivel V	1 (7,7)	1 (7,7)	2 (7,7)	

Tabla 4 Características clínicas del grupo intervención, grupo control y grupo total (n=26).
 (*) Valor de p en pruebas de comparación de muestras independientes entre grupo de intervención y grupo control.

NIVEL	GMFCS	MACS
I	Camina y sube escaleras sin limitación, realiza actividades motoras gruesas con limitación leve.	Limitación en la manipulación manual de objetos pequeños, pesados o frágiles que demandan control motor fino.
II	Camina pero necesita asistencia para andar en superficies desniveladas y escaleras.	Calidad de ejecución mas lenta y simplificada usando superficie de soporte con independencia.
III	Camina en superficies desniveladas con un dispositivo de asistencia en distancias largas.	Pueden ejecutar actividades si se supervisan y si prepara la situación y si tiene tiempo para hacer la actividad puede hacerla completa.
IV	Requiere un dispositivo de asistencia para las distancias cortas.	Necesitan ayuda continua durante las actividades participando en partes de la actividad.
V	Incapacidad para ejercer control del movimiento y mantenimiento postural. Debe ser transportado.	No manipula objetos y tiene habilidad severamente limitada, requiere asistencia local.

Tabla 5. Revisión escalas. Gross Motor Function Classification System (GMFCS) y Manual Ability Classification System (MACS). Extraída y adaptada de (Palisano. et al., 1997 ; Eliasson et al., 2006).

Procedimiento

El grupo de intervención (n=13) recibió durante 10 semanas una sesión de 30 minutos (acompañados por tutor entrenado), que consistía en un juego de laberinto (videojuego serio) en una computadora de escritorio usando un joystick. El grupo control (n=13) no realizó ningún entrenamiento con videojuego serio. Ambos grupos mantuvieron su participación en las actividades de rehabilitación programadas por el centro.

El tiempo total de las valoraciones iniciales (pre-entrenamiento) tomó aproximadamente 3 meses de duración, finalizando en abril de 2018. Posteriormente el grupo de intervención (n=13) llevó a cabo las 10 sesiones de entrenamiento con el videojuego serio según lo explicado anteriormente (cada sesión con 10 niveles), terminando a las 10 semanas, dado que desarrollaron una sesión por semana. En junio de 2018, se inició la segunda valoración de todos los participantes (n=26), tan pronto como estos terminaron el entrenamiento (post-entrenamiento). En enero de 2019 se contaba con una base de datos online con toda la información, se inicia el análisis de los datos y revisiones programadas con el equipo del proyecto **“JUGUEMOS”** hasta aproximadamente diciembre de 2019, donde se considera presentar el proyecto final y se planifica la redacción de un artículo científico para el año 2020.

El videojuego serio se desarrolló con el sistema operativo Windows ®. El objetivo principal era desplazar un objeto móvil esférico azul (mediante el joystick) en un laberinto azul con fondo blanco hasta encontrar la salida. Se contaba con 10 niveles de dificultad progresiva. Al inicio un cronómetro otorgaba 30 segundos para superar el nivel, con un tiempo totalizado por sesión de 300 segundos. A partir del séptimo nivel se da la posibilidad de recoger monedas sin carácter obligatorio para avanzar; esta medición no fue evaluada dentro de este trabajo, dado que su intención únicamente era agregar dificultad cognitiva a los niveles, ya que recoger monedas les desviaba del camino y modifica el tiempo total de la tarea.

Previo al desarrollo del laberinto, los participantes del grupo de intervención fueron educados sobre el uso de la plataforma y se les puso en contexto con todo lo relacionado con el procedimiento. Se le explicó a cada participante que cada semana se llevaría a cabo una sesión con el juego de laberinto, compuesta de 10 niveles, que aumentan de dificultad al avanzar, con 30 segundos por nivel; si no lograban completar el nivel el programa se reiniciaba nuevamente con intentos adicionales en el mismo nivel supeditados al tiempo por nivel. El entrenamiento no se empezaba hasta no haber resuelto todas las dudas del participante.

Cada sesión fue programada en un salón individual, al llegar el participante, se le ayudaba a colocarse en una posición cómoda en sedestación frente a la mesa donde se encontraba el computador, adaptando la colocación del mobiliario a sus necesidades. El programa cuenta con una interfaz amigable (**ver imagen 1-4**); el tutor encargado de supervisar la sesión digitaba el número de ésta al inicio de la misma (**ver imagen 2**), con lo que se almacenaban los datos de la sesión en un fichero personal. Para recordar el procedimiento, el videojuego serio presentó el objetivo principal al inicio de cada sesión, “Escapa del laberinto, lleva la bola hasta el final para pasar al siguiente nivel, hay 10” (**ver imagen 3**). Cada vez que la esfera azul llegaba a la salida del laberinto se terminaba el nivel (**ver imagen 4**). Se daba por terminada la sesión cuando el participante completaba los 10 niveles o se cumplían los 30 minutos programados para la sesión.

Una base de datos programada en el computador almacenó las variables ordenadas por sesión y nivel para cada participante (tiempo total (s.), camino recorrido (distancia en cm.), número de colisiones (errores)), obteniendo variables numéricas que posteriormente fueron tabuladas con la convención: sesión número (S1-S10) y nivel número (N1-N10). Toda esta información fue almacenada en una base de datos online actualizable.

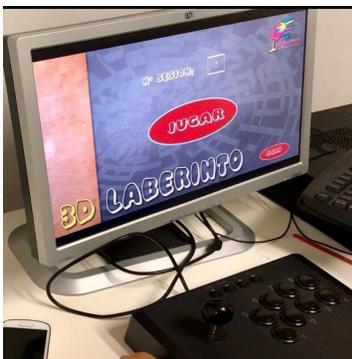


Imagen 1: Interfaz de inicio y Joystick

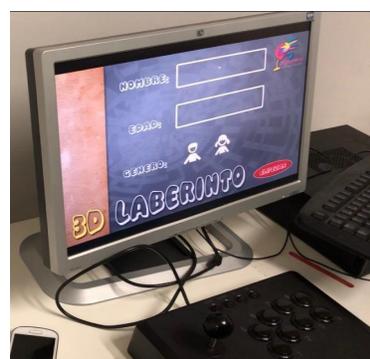


Imagen 2: Plataforma de registro

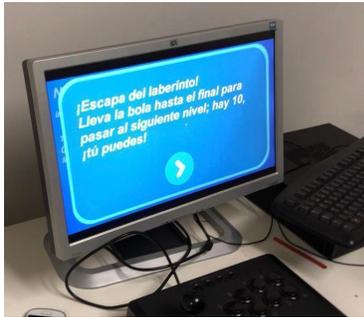


Imagen 3: Mensaje de Bienvenida



Imagen 4: Nivel 1 del Laberinto

Instrumentos de Evaluación:

Previo al entrenamiento (pre-entrenamiento) y al finalizar el entrenamiento con el videojuego serio (post-entrenamiento), se realizó una valoración de la función sensoriomotora de los miembros superiores de los participantes haciendo uso de las siguientes herramientas:

Box and Block Test

El Box and Block Test es utilizado como un sistema de medida unilateral de destreza manual gruesa de miembro superior. Se conforma por una caja de madera con dos compartimentos cuadrados de 290 milímetros, separados en el centro por una barrera de 100 milímetros de alto, sobre la que el evaluado debe sobrepasar cubos de madera con su mano para que el conteo sea válido (Oña et al., 2016). Para esta prueba, se sentó al participante en una mesa adaptada a su altura, y se llevó a cabo un entrenamiento previo de 15 segundos, con la posterior instrucción de *“transferir tantos cubos como le fuera posible, sin importar el color, uno cada vez, de un compartimento a otro en un minuto”*. Únicamente los que cruzaban sobre la barrera de 100 mm eran contados como ejecutados, cuando se transfería más de uno se contaba un único cubo (*Box and Block Test Physiopedia., 2019*). Se hizo la evaluación para cada miembro superior de manera separada, con un tiempo aproximado de 5 minutos por valoración bilateral. Esta prueba ha sido utilizada en PC para medir la capacidad y destreza manual, además establece una buena correlación con el desempeño en actividades

diarias y el seguimiento funcional asociado a rehabilitación (Zapata y Ortiz., 2018). Adicionalmente, estudios recientes apoyan su uso como una herramienta fiable para examinar los cambios posteriores a intervenciones de rehabilitación en PC (Blumenstein et., 2015; Araneda et al., 2019).

Escala de Melbourne de la función unilateral del miembro superior

El Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function (MUUL) es *una medida útil en la valoración de los cambios funcionales unilaterales del miembro superior, estimando alcance, agarre, manipulación, señalización, pronosupinación y transferencia.* (Coronados, Dunn, Sánchez & Viltres., 2017). El test utiliza un protocolo de evaluación de 10 a 30 minutos de duración por participante. Está compuesto por 16 tareas que involucran la medición de los arcos de movilidad del miembro superior y que debe ser registrada en video. La puntuación individual para cada tarea se realiza con la sumatoria de las características específicas del movimiento observadas (rango de movilidad, precisión, fluidez y velocidad, entre otras). El resultado final de la prueba se obtiene al dividir el puntaje bruto obtenido por el participante sobre el máximo posible, es decir 122 puntos, para terminar se realiza un cálculo porcentual $((x/122) * 100)$. El MUUL es una escala específica y estandarizada, ampliamente utilizada en rehabilitación pediátrica de la PC, ha demostrado su aplicación en proyectos de rehabilitación robótica en niños con lesión de miembro superior y ha sido validada como una herramienta de uso diario en la práctica clínica. (Acevedo, Caicedo & Castillo., 2017; Kassee et al., 2017). Para el presente estudio, se seleccionaron únicamente 9 tareas de las 16 totales (**ver tabla 6**), basadas en su relación con el movimiento realizado en el videojuego serio, dada *“la consistencia interna moderada alta para ítems individuales (ICC=0.69 - 0.91) y consistencia interna alta ($\alpha = 0.96$)”* (Randall, Carlin, Chondros & Reddihough., 2001).

Tarea	Puntaje
1. Llegar Adelante	9
Rango de movimiento 0-1-2-3	
Precisión del objetivo 0-1-2-3	
Fluidez 0-1-2-3	
2.Llegar Adelante a una posición elevada	9
Rango de movimiento 0-1-2-3	
Precisión del objetivo 0-1-2-3	
Fluidez 0-1-2-3	
3.Agarrar un Crayón/Vaso 0-1-2-3-4	4
4.Soltar un Crayón/ Vaso	10
Rango de movimiento 0-1-2-3	
Cualidad del movimiento 0-1-2-3	
Precisión al soltar el crayón/vaso 0-1-2-3-4	
5.Agarrar Bolita/Cubo 0-1-2-3-4	4
6.Soltar Bolita/Cubo	10
Rango de movimiento 0-1-2-3	
Cualidad del movimiento 0-1-2-3	
Precisión al soltar el crayón/vaso 0-1-2-3-4	
7.Manipulación	7
Destreza de los dedos 0-1-2-3-4	
Fluidez 0-1-2-3	

8.Pronación/Supinación 0-1-2-3-4	4
9.Mano a la Boca y abajo	11
Rango de movimiento 0-1-2-3	
Precisión del objetivo 0-1-2-3	
Fluidez 0-1-2-3	
Velocidad 0-1-2	

Puntaje máximo (68) % Porcentaje: ((Porcentaje bruto prueba individual / puntaje máximo total) x (100))

Tabla 6 Resumen de los ítems (tareas) utilizados para la medición del Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function. Escala extraída de: (Coronados et al., 2017).

Umbral de sensibilidad táctil, mediante los filamentos de Von Frey

El primer uso de éstos filamentos para medir la sensación táctil procede del fisiólogo Alemán Max von Frey, quien observó que *“la presión ejercida por el cabello sobre una superficie, al curvarse, era siempre igual, independientemente de la fuerza o de la presión ejercida por el explorador”* (Pesquera., 2009). Por lo que sin importar con qué energía se manipulen, al doblarse se aplicará una presión constante en gramos (g), por ejemplo con un filamento número 3 se aplicará de manera constante 5 g/mm². Desde entonces y con diversos cambios en su composición han sido empleados para evaluar la sensibilidad táctil. El test consiste en la aplicación perpendicular sobre la piel de diferentes filamentos de nylon, cuyos diámetros oscilan entre los 0,14 hasta los 1,01 mm, para detectar el mínimo estímulo percibido (umbral al tacto). En el presente estudio, previo a la medición, los participantes fueron educados individualmente sobre los umbrales de sensibilidad táctil, familiarizándose con el material. Luego en compañía del tutor del centro, se procedió a evaluar de manera bilateral y en orden aleatorio durante un periodo de 1,5 segundos 4 zonas del miembro superior (*cara palmar del índice, palma de la mano, dorso de la mano y cara dorsal de antebrazo*) con los filamentos, para ser retirados posteriormente de la misma manera cómo se aplicaron. Paulatinamente se fueron verificando las respuestas del participante (sí/no). Todas las valoraciones se iniciaron con el filamento de mayor diámetro (1,01 mm) y se iba descendiendo hasta encontrar el mínimo percibido. Se realizaron 3 mediciones por

cada localización, el umbral al tacto se definió para cada zona como la media aritmética de las 3 tomas. Cada valoración tuvo una duración de 15 minutos por participante. Estudios previos han evaluado este parámetro encontrando una disminución de la sensibilidad táctil en pacientes con parálisis cerebral (*Riquelme, Padrón & Montoya., 2010*).

Umbrales de dolor a la presión, mediante un algómetro digital

Para la valoración de los umbrales de sensibilidad dolorosa por presión, se siguió el mismo procedimiento que para la determinación de los umbrales de sensibilidad táctil. Bajo la supervisión continua de los tutores, se llevaron a cabo simulacros con fines educativos antes de cada valoración, sin iniciar la valoración a no ser que se tuviera la total seguridad de que los participantes entendieran la dinámica con claridad. Se empleo un algómetro digital con punta de goma (superficie 1 cm²), aplicando presión de forma gradual y ascendente, con valores expresados en Kg/cm², de forma bilateral, en las mismas 4 zonas del miembro superior (*cara palmar del índice, palma de la mano, dorso de la mano y cara dorsal de antebrazo*). Se dio la instrucción de “*informar cuando la sensación fuera molesta, no cuando doliera*”. Siempre que el participante o el tutor lo consideraron necesario las mediciones se detuvieron. El orden de las zonas de aplicación fue aleatorio. La valoración duró un tiempo aproximado de 10 minutos por participante. Estudios de *Riquelme, Hatem y Montoya (2016-2018)* han mostrado la utilidad del algómetro como herramienta para medir umbrales de presión en niños con patologías del Sistema Nervioso Central con déficit cognitivo asociado. Reportando un aumento de la sensibilidad de estos umbrales en niños con parálisis cerebral al compararlos con niños sanos (*Riquelme et al., 2010*).

Variables de aprendizaje motor

Al terminar el entrenamiento con el grupo de intervención, se tabularon todos los datos obtenidos (Tiempo Total, Camino Recorrido (*distancia*) y Colisiones (*número de errores*)) de acuerdo a su media aritmética, además se hicieron gráficas para su análisis posterior.

Se calculó una cuarta variable denominada EJECUCIÓN-EJEC (que representa el grado de ejecución del laberinto), se determinó con la combinación de los valores del *Tiempo Total* y *Colisiones* aplicando la fórmula $[(TT * (C+1))]$, de acuerdo con la definición de aprendizaje que relaciona los parámetros de velocidad y precisión (Menayo, et al., 2008). Debe destacarse que, según esta fórmula, un valor menor de ejecución (menor tiempo o menores errores) indicaría un mayor aprendizaje.

Para calcular la curva de aprendizaje se aplicó el *modelo logarítmico*. Para ello, se calculó previamente la tasa de aprendizaje por medio de la ecuación de la recta ($Y = K.X^N$ o $\text{Log } Y = \text{Log } (K) + N\text{Log } (X)$) (Caso., 2003).

La tabla 7 ilustra la tabulación de una de las 4 variables (*TT*) a través de las 10 sesiones. Las columnas (*X*), (*Log X*), (*Y*), (*Log Y*) determinan la ecuación de una línea recta y facilitan la obtención de la fórmula matemática de la curva de aprendizaje ($Y = K.X^N$). (ver tabla 7). Debido a que se cuenta con dos puntos localizables en el plano cartesiano (*Log X - Log Y*) se obtiene la ecuación de la recta $[\text{Log } (Y) = N\text{Log}(x) + (K)]$, los valores del ejemplo para la variable (*TT*), se observan en la tabla 8 (Caso., 2003).

"X"		"LOG X"		"Y"		"LOG Y"	
SESIÓN	TT	LOG TT	TT acumulado	TT acumulado promedio por sesión	LOG TT acumulado promedio por sesión		
1	29,11	0,00	29,11	29,11	1,46		
2	27,78	0,30	56,89	28,44	1,45		
3	27,03	0,48	83,92	27,97	1,45		
4	26,51	0,60	110,43	27,61	1,44		
5	26,11	0,70	136,54	27,31	1,44		
6	25,79	0,78	162,33	27,06	1,43		
7	25,53	0,85	187,86	26,84	1,43		
8	25,30	0,90	213,16	26,64	1,43		
9	25,10	0,95	238,26	26,47	1,42		

10 24,92 1,00 263,18 26,32 1,42

Tabla 7 Representación variable Tiempo Total (TT), para determinar ecuación línea recta.

Log x	0,00	0,30	0,48	0,60	0,70	0,78	0,85	0,90	0,95	1,00
Log y	1,46	1,45	1,45	1,44	1,44	1,43	1,43	1,43	1,42	1,42

Tabla 8 Valores Log X . Log Y que permiten graficar la curva y obtener la ecuación $Y = \text{Log}(K) + N\text{Log}(X)$

(*) Anexo 2: Gráficas de línea recta para las 4 variables

Al graficar la línea recta se obtiene la ecuación ($\text{Log } y = -0,0446x + 1,47$) que expresa la fórmula para hallar la curva de aprendizaje $Y = \text{Log}(K) + N\text{Log}(X)$, al despejar queda representada por $Y = K.X^N$. La tasa de aprendizaje se calcula con la expresión (2^N) (Caso., 2003).

La letra **Y** representa el acumulado promedio por sesión para producir la variable de interés, **K** indica el número de horas para generar la primera unidad (ej: valor en la primera sesión), **X** es igual al tiempo total en el primer nivel o sesión incluyendo la expresión elevado a la **N** que representa la tasa de aprendizaje. Los cambios en X y en su superíndice permiten hacer una predicción sobre el comportamiento de cada variable en el supuesto de llegar a sesiones avanzadas, por ejemplo la sesión 16, al igual que el índice o tasa de aprendizaje para cada una de las cuatro variables de forma individual. Este análisis se llevó a cabo por sesiones (Caso., 2003).

Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico se hizo uso del software SPSS versión. 25.0. Se realizó un análisis descriptivo de los datos ordinales y dicotómicos (género, lateralidad, diagnóstico, MACS, GMFCS) mediante el cálculo de frecuencias y proporción y de los datos continuos (edad, resultados de las valoraciones sensoriomotoras, resultados de la base de datos del videojuego serio) mediante medidas de tendencia central. Se utilizaron chi cuadrados y pruebas T para la comparación de las variables demográficas y clínicas entre ambos grupos de personas con PC. Para el análisis de las variables

sensoriomotoras, se realizaron Anovas con el factor intersujetos GRUPO (intervención vs. control) y con los factores intersujetos TIEMPO (pre-entrenamiento vs. post-entrenamiento); las comparaciones se realizaron por separado para la mano dominante y la mano no dominante. Se realizaron ajustes de Bonferroni para comparaciones múltiples. Sólo valores de $p < 0.05$ fueron considerados estadísticamente significativos.

Resultados

Los participantes con parálisis cerebral del grupo de intervención no difirieron significativamente en edad, género, lateralidad o en las escalas MACS o GMFCS con respecto a los integrantes del grupo control (**Ver Tabla 4**).

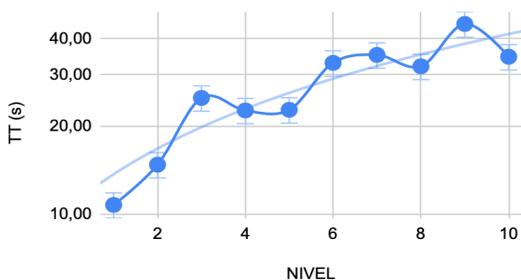
Aprendizaje motor

Inicialmente la totalidad de los datos registrados por la consola fueron organizados y tabulados de acuerdo a la media aritmética tanto por nivel como por sesión. (**Ver tabla 9 y 10**)

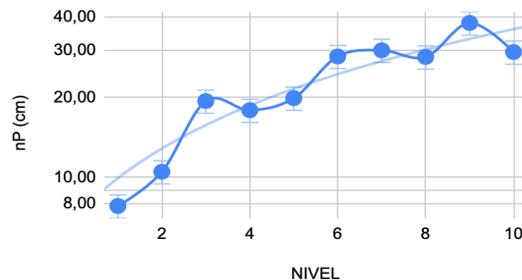
NIVEL	TT	nP	C	EJEC
1	10,72	7,82	1,73	24,19
2	14,73	10,50	3,07	54,54
3	24,98	19,33	3,76	131,51
4	22,63	17,86	2,88	99,82
5	22,74	19,83	3,33	102,54
6	32,96	28,40	4,42	214,94
7	35,09	29,94	4,35	232,99
8	32,07	28,27	3,75	194,50
9	44,83	37,90	6,45	468,58
10	34,60	29,50	4,45	264,60

Tabla 9 Valores de las medias para (TT: tiempo total), (nP: camino recorrido), (C: colisiones) y (EJEC: ejecución) por Nivel

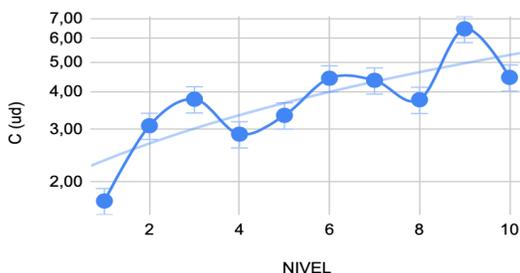
El análisis por nivel evidencio que a medida que se avanzaba del nivel 1 al nivel 10 se daba un incremento en el tiempo total, camino recorrido y colisiones, así como en la variable ejecución; representando un aprendizaje menor según los niveles aumentaban su complejidad. (Ver tabla 9 y gráficas 1 a 4)



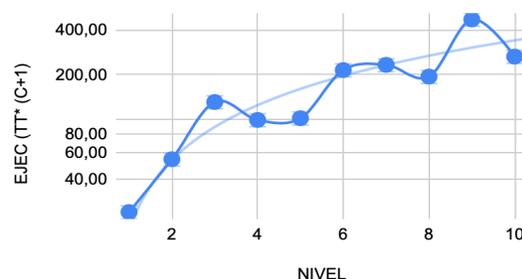
Gráfica 1: Medias TT: Tiempo Total por Nivel.



Gráfica 2: Medias Np: Camino Recorrido por Nivel.



Gráfica 3: Medias C: Colisiones por Nivel.



Gráfica 4: Medias EJEC: Ejecución por Nivel.

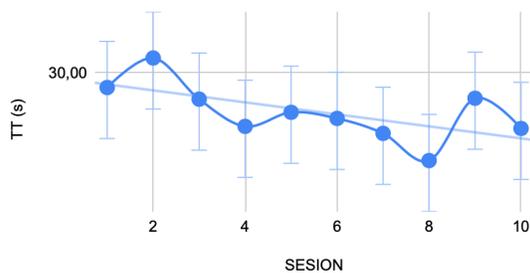
Para las sesiones, se obtuvieron las siguientes medidas:

SESIÓN	TT (s)	nP (cm)	C (ud)	EJEC (TT*(C+1))
1	29,10	24,13	4,31	217,69
2	30,93	24,30	3,80	177,37
3	28,41	24,96	4,35	180,92
4	26,86	21,01	3,87	185,13
5	27,65	22,93	4,12	179,07
6	27,30	22,09	3,30	130,20
7	26,47	22,11	3,55	169,79

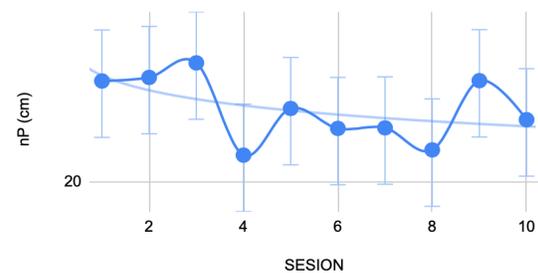
8	25,03	21,22	3,50	168,00
9	28,46	24,15	3,73	162,73
10	26,74	22,45	3,66	188,13

Tabla 10 Valores de las medias calculadas para (TT: tiempo total), (nP: camino recorrido), (C: colisiones) y (EJEC: ejecución) por Sesión

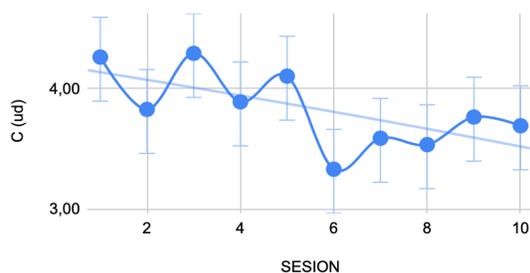
En el análisis por sesión de las medias calculadas, se observó que las variables seguían un patrón fluctuante, representando de manera global un decrecimiento de la ejecución de la sesión 1 a la sesión 10, con un pico en la sesión 6. Según la fórmula utilizada $[(TT * C) + 1]$ un menor número colisiones acompañado de una disminución en el tiempo total producirá un valor menor en la variable ejecución (mayor aprendizaje). Por lo tanto el aprendizaje aumentó a lo largo de las sesiones. Las gráficas son compatibles con el comportamiento de la media aritmética para las variables tiempo total, camino recorrido y colisiones por sesión. **(Ver tabla 10 y gráficas 5 a 8)**



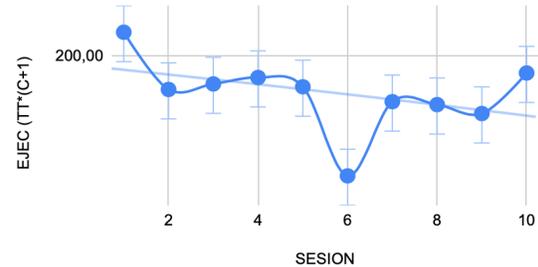
Gráfica 5: Medias TT: Tiempo Total por Sesión.



Gráfica 6: Medias Np: Camino Recorrido por Sesión.



Gráfica 7: Medias C: Colisiones por Sesión.



Gráfica 8: Medias EJEC: Ejecución por Sesión.

Se cálculo la **tasa de aprendizaje** para las cuatro variables utilizando la ecuación de la recta obtenida [$LOG (Y) = LOG (K) + NLOG (X)$] o $Y = 1,47 - 0,0446(x)$. En el caso del tiempo Total (TT) se halló el valor de K despejando el Log de K ($10^{(k)}$) que arrojó un valor de $(K=10^{(1,47)}, K=29,51)$ y de $(N=-0,0446)$ (Caso., 2003). Con lo cual se confirmó un valor de 96% para la tasa de aprendizaje ($2^N: 2^{-0,0446} = 0,96 - 96\%$). Para terminar se aplicó la fórmula para graficar la curva de aprendizaje ($Y = 29,51 * (x)^{-0,0446}$) (Caso., 2003). Se siguió el mismo procedimiento matemático descrito previamente para nP, C y EJEC, la tabla número 11 representa los valores encontrados para todas las variables. **(ver tabla 11)**

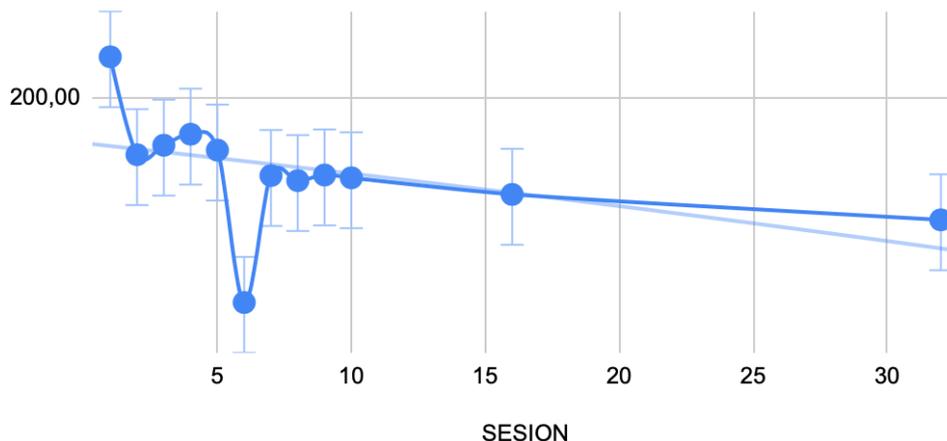
Variable	Ecuación de la recta	Fórmula Curva de Aprendizaje	Tasa de Aprendizaje
TT (s)	$Y = 1,47 - 0,0446(x)$	$Y = 29,51 * (x)^{-0,0446}$	$2^{-0,0446} = 0,96$ (96%)
nP (cm)	$Y = 1,38 - 0,0385(x)$	$Y = 23,98 * (x)^{-0,0385}$	$2^{-0,0385} = 0,97$ (97%)
C (ud)	$Y = 0,639 - 0,0644(x)$	$Y = 4,35 * (x)^{-0,0644}$	$2^{-0,0644} = 0,95$ (95%)
EJEC	$Y = 2,34 - 0,0768(x)$	$Y = 218,77 * (x)^{-0,0768}$	$2^{-0,0768} = 0,94$ (94%)

Tabla 11 Ecuaciones de la recta, fórmula curva de Aprendizaje y Tasa de Aprendizaje para (TT: tiempo total), (nP: camino recorrido), (C: colisiones) y (EJEC: ejecución) calculadas con [$LOG (Y) = LOG (K) + NLOG (X)$] (Caso., 2003).

(*)(*) Anexo 2: Gráficas de línea recta para las 4 variables.

Debido al comportamiento fluctuante mostrado en las medias aritméticas para la variable ejecución durante las 10 sesiones, se aplicó una **proyección a los datos obtenidos con las medias calculadas**, para analizar qué hubiese ocurrido en las sesiones 16 y 32 si se hubiera continuado el entrenamiento hasta este punto. Esta mostró que a medida que se avanza en el tiempo la variable Ejecución continúa decreciendo (indicando un mayor aprendizaje, ya que al transcurrir el tiempo se dominará la actividad del laberinto, con un estancamiento progresivo hasta la sesión 32). **(Ver gráfica 9).**

EJEC (TT*(C+1))



Gráfica 9: Proyección variable EJEC (Ejecución) sesiones 16 y 32.

Debido a que la fórmula de la curva de aprendizaje permite predecir los valores para todas las variables en todas las sesiones, se consideró construir las curvas de aprendizaje con este modelo matemático para estudiar el comportamiento de la curva de los participantes del grupo de intervención. Se despejó la ecuación para hallar el valor de X (número de sesión) $[X = (N+1) * (K) * (X^N)]$ (Caso., 2003) sustituyendo los valores de N y K ya determinados previamente, se obtuvieron los siguientes datos para cada variable. **(Ver tablas 11 y 12)**

(*)CAPR/S	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10
TT	28,19	27,34	26,85	26,50	26,24	26,03	25,85	25,70	25,56	25,44
nP	23,06	22,45	22,10	21,86	21,67	21,52	21,39	21,28	21,19	21,10
C	4,07	3,89	3,79	3,72	3,67	3,63	3,59	3,56	3,53	3,51
EJEC	201,97	191,50	185,63	181,57	178,49	176,00	173,93	172,16	170,61	169,23

Tabla 12 Valores curva de aprendizaje para (TT: tiempo total), (nP: camino recorrido), (C: colisiones) y (EJEC: ejecución)

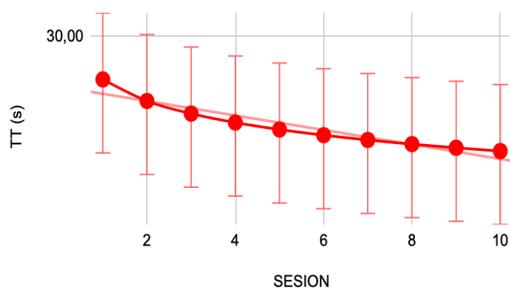
(*)CAPR: Curva de aprendizaje / S: Sesión

(*)V/V ₁	N	K
Curva Apr (TT)	-0,0446	29,51
Curva Apr (nP)	-0,0385	23,98
Curva Apr (C)	-0,0644	4,35
Curva Apr (EJEC)	-0,0768	218,77

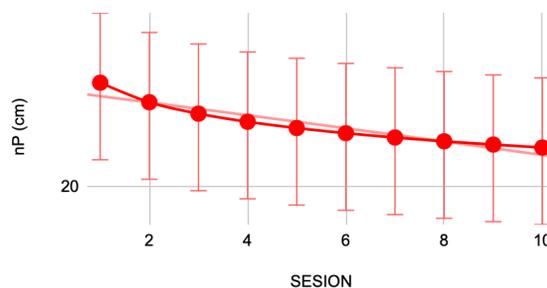
Tabla 13 Valores N y K para (TT: tiempo total), (nP: camino recorrido), (C: colisiones) y (EJEC: ejecución)

(*) V: Variable y V₁: Valor

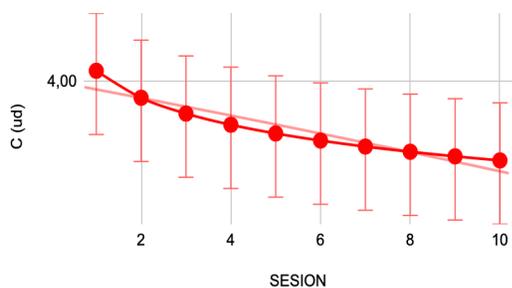
A continuación se presentan las gráficas obtenidas para las curvas de aprendizaje calculadas. **(Ver gráficas 11 a 14)**



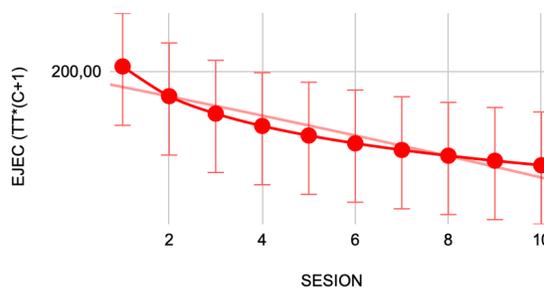
Gráfica 10: Curva de aprendizaje TT por Sesión.



Gráfica 11: Curva de aprendizaje nP por Sesión.



Gráfica 12: Curva de aprendizaje C por Sesión.



Gráfica 13: Curva de aprendizaje EJEC por Sesión.

Las curvas de aprendizaje construidas con el modelo logarítmico tienden de manera natural a decrecer acercándose al valor ($Y= 0$). En las cuatro gráficas la curva de aprendizaje se representa con el color rojo, en ellas se observa un perfil con un decrecimiento esperado tras el aprendizaje inicial experimentado en la primera sesión. A medida que se adquiere el conocimiento de una tarea acumulativa como las variables valoradas (TT, nP, C y EJEC) representado por su avance en el tiempo en los valores del eje X (Sesión 1 a Sesión 10), se evidencia para cada una de las variables un periodo de meseta, que representa la adquisición de un conocimiento en la materia.

Comparación de las medidas sensoriomotoras

En la prueba de “*Box and Block test*” realizada con la mano dominante (la que manejaba el joystick) se observó una interacción significativa TIEMPO * GRUPO ($F(1,24) = 7,16, p=0,011$). Comparaciones post hoc indicaron que el grupo de intervención obtuvo mayor puntuación en el periodo post-entrenamiento que en el pre-entrenamiento ($p=0.042$); sin embargo no se encontraron diferencias en el grupo control ($p=0.092$). No aparecieron efectos principales significativos de GRUPO o TIEMPO o ningún efecto significativo en la mano no dominante.

Con relación a la puntuación total del “*Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function*” se encontraron efectos significativos TIEMPO tanto para la mano dominante ($F(1,24) = 5,62, p = 0,026$) como para la no dominante ($F(1,24) = 5,51, p=0,027$), indicando menor puntuación en la valoración post-entrenamiento que la obtenida en el pre-entrenamiento. No hubo efectos significativos de GRUPO o GRUPO * TIEMPO. Adicionalmente se analizó de manera individual a las 9 tareas seleccionadas en la prueba de Melbourne para la mano dominante y la no dominante. Evidenciando efectos significativos en 3 tareas (1, 8 y 9) (**Ver Tabla 6**).

En la **primera tarea “Llegar adelante”**, que muestra el rango de movilidad, precisión y fluidez del tronco, hombro, codo y muñeca durante la ejecución de una actividad de alcance, se evidenció una interacción significativa de TIEMPO para la mano dominante ($F(1,21) = 5,49, p=0,029$) con una puntuación obtenida mayor en el post-entrenamiento

con respecto al pre-entrenamiento. No existió ningún efecto significativo para la mano no dominante.

La **octava tarea “Pronación/Supinación”** mostró un efecto significativo TIEMPO ($F(1,21) = 7,58, p=0,012$) indicando menor puntuación en la evaluación pre-entrenamiento relacionada con la post-entrenamiento. Igualmente una interacción significativa TIEMPO * GRUPO ($F(1,21) = 4,55, p = 0,045$) indicó que el grupo de intervención mostró mejores puntajes en el post-entrenamiento versus el pre-entrenamiento ($p = 0,002$), mientras que el grupo control no presentó cambios significativos ($p=0,072$). Con respecto al miembro no dominante no se observaron cambios.

Para la **novena tarea “Mano a la boca y abajo”**, donde se valora el rango de movimiento, la precisión, la fluidez y velocidad del mismo con relación a la manipulación de un objeto en el plano paralelo con respecto a la boca, se encontró una interacción TIEMPO * GRUPO ($F(1,21) = 4,44, p=0,047$) para el miembro no dominante. Las comparaciones post hoc indicaron un puntaje mayor para el grupo de intervención en el post-entrenamiento con respecto al pre-entrenamiento ($p=0,014$). Por su parte el grupo control no presentó diferencias ($p=0,730$). No se observaron efectos para el miembro dominante en esta tarea.

No se encontraron efectos significativos en las medidas somatosensoriales de umbrales táctiles o de dolor a la presión en ninguna de las manos.

Discusión

Nuestro objetivo general consistió en evaluar el aprendizaje motor, los cambios en la función motora y somatosensorial del miembro superior en un grupo de participantes con PC, que llevó a cabo 10 sesiones de entrenamiento con un videojuego serio, en comparación con un grupo control que no llevó a cabo este entrenamiento. Como

principales resultados, se obtuvieron tasas de aprendizaje elevadas (> 90%) para todas las variables durante el entrenamiento con el videojuego serio, que sustentan la adquisición de aprendizaje motor. Además, se apunta a una transferencia de este aprendizaje a la destreza manual gruesa y los movimientos de supinación/pronación del miembro que controlaba el joystick durante el entrenamiento, ya que el grupo de intervención experimentó una mejoría en estas variables al final del entrenamiento que no fue experimentada por el grupo control. Sin embargo, no se obtuvo mejoría de la función sensitiva del miembro superior después del entrenamiento.

Desde el punto de vista terapéutico, el uso de videojuegos serios como potenciador en la adquisición y mantenimiento de las habilidades motoras y cognitivas es cada vez más frecuente. Las altas tasas de enrolamiento, cumplimiento, la gran variedad de plataformas y modos de acceso disponibles tanto en ambientes clínicos como en el hogar hacen de su aplicación terapéutica una herramienta útil con un costo razonable (*Preston et al., 2015 ; Sandlund et al., 2011*). El videojuego serio diseñado para este estudio es un instrumento informático con una interfaz lúdica, adaptada y usado sin dificultad logística ni operativa por personas con PC. La mayor complejidad integrada en el videojuego al avanzar de nivel, apoya el principio de dificultad progresiva en el entrenamiento del aprendizaje motor. Otra importante ventaja que aporta el videojuego recae en la posibilidad de almacenar datos para estimar el aprendizaje motor por nivel y sesión. Estos aspectos resaltan la importancia de disponer de herramientas fidedignas, de uso cómodo y sencillo, que valoren el avance y perfeccionamiento durante el desarrollo de actividades, focalizándose en el control motor y deterioro cognitivo específico de cada individuo (*Sandlund et al., 2011*). Asimismo, nuestro estudio confirma la alta motivación y la retroalimentación como pilares fundamentales en la mejoría del rendimiento a través del entrenamiento (*Liu, et al., 2017*).

El entendimiento de los procesos que estimulan el control motor (*adquisición, retención y transferencia*) (*Rivas., 2008*) y por lo tanto el aprendizaje motor, han sido ampliamente estudiados, al igual que su relación con el entrenamiento (*Cano de la Cuerda et al., 2012; Carrasco & Carrasco 2014; Marrero, Izquierdo & Rodríguez 1995-1998; Rocha & Crisorio, 2012*). Dentro de nuestro trabajo se evidencio que el

grupo intervención mantuvo tasas de aprendizaje elevadas durante las 10 sesiones (por encima del 90%). Asimismo los análisis correspondientes a la curva de aprendizaje mostraron una evidencia gráfica *clara* que nos permiten confirmar la presencia de adquisición y retención durante el entrenamiento (*Rivas., 2008*). Sin embargo, al calcular el grado de ejecución, se demostró que las sesiones 16 y 32 indicaron un mayor aprendizaje potencial si se hubiese continuado con el entrenamiento. Investigaciones futuras deben profundizar en cuál es el mejor protocolo para obtener un aprendizaje motor óptimo.

El proceso de *transferencia* fue validado con la mejora de la destreza manual gruesa y de la pronación/supinación del miembro superior que manejaba el joystick en el grupo de intervención. Los movimientos realizados al manipular el mando del videojuego serio (joystick de palanca) se corresponden con los cambios funcionales en los movimientos de antebrazo y la prensión que mostró el grupo de intervención tras el entrenamiento, cambios que no fueron observados en el grupo control. Nuestros resultados coinciden con los de otros estudios que utilizan juegos serios y que han evidenciado mejoría de la flexibilidad, del rango de movimiento activo de miembro superior, de la coordinación manual en habilidades finas/gruesas y del alcance funcional en personas con parálisis cerebral (*Fernández & Calleja., 2002; Krebs et al., 2012; Sevick et al., 2016; Levac et al., 2017; Liu et al., 2017; Bonneya et al., 2017*).

A pesar de los resultados motrices favorables descritos previamente, en el resto de tareas motoras examinadas no se observó evidencia de mejoría para la mano dominante. Contrario a otras metodologías que utilizan el aprendizaje motor, como “*la terapia de movimiento inducida por restricciones o CIMT*”, que busca aumentar la actividad del miembro con mayor dificultad motora (*Hoare et al., 2019*) o el “*entrenamiento bimanual intensivo*” (*Kuo et al., 2015*), como un sistema que ha demostrado mejorar las habilidades motoras bilaterales de ambos miembros superiores; durante nuestro protocolo de entrenamiento con el videojuego serio se usaba solo el miembro dominante para controlar el joystick, lo que puede explicar la ausencia de resultados motrices en el miembro superior no dominante.

En segundo lugar, consideramos que esta ausencia de resultados también puede estar relacionada, con la dificultad general de crear un protocolo detallado que acople recomendaciones con evidencia sobre una dosis óptima de entrenamiento con el videojuego serio, el número de sesiones programadas necesarias, el tiempo de duración del entrenamiento, la extensión del seguimiento, el uso de consolas comerciales o juegos específicos o el lugar donde deben llevarse a cabo estas intervenciones. Esto pone en evidencia el gran vacío neurocientífico que limita el uso clínico eficaz de la mayoría de los protocolos y refleja la necesidad futura de desarrollar estudios que tengan en cuenta el amplio espectro clínico y por ende funcional de la PC, estandarizando e individualizando la valoración y la intervención, y desarrollando los distintos parámetros de un protocolo óptimo adaptado a los signos clínicos de cada participante.

En cuanto a las medidas somatosensoriales, nuestros resultados no mostraron mejoría para el miembro dominante ni el no dominante. Estos resultados son compatibles con los de Kuo et al., (2016) que no encontraron mejora en la percepción táctil con los monofilamentos de Semmes-Weinstein aplicados en el miembro superior en 20 niños con diagnóstico de PC. La ausencia de estos cambios nos sorprende dado que las zonas valoradas (índice, región tenar, dorso de la mano y antebrazo) estaban relacionadas directamente con las regiones puntuadas en la escala de función motora del miembro superior (antebrazo, muñeca, dedos) que sí mostraron diferencias antes y después del entrenamiento (*Krebs et al., 2012; Blumenstein et., 2015; Liu et al., 2017;*). Es importante recordar que aunque la rehabilitación en PC está originalmente enfocada al aspecto motor, los componentes sensoriales están relacionados con la ejecución motora de manera directa, pues sin estímulo aferente (sensitivo) óptimo la eferencia motora se ve alterada; esto es evidente en el manejo quirúrgico para la extremidad con espasticidad, donde lo mas importante es mejorar la funcionalidad sensoriomotriz (*Tranchida & Van Heest., 2018*). Durante nuestro protocolo y atendiendo a la experiencia aportada por estudios previos de nuestro lab., apuntamos a la medición de variables táctiles (sensibilidad táctil y sensibilidad por presión). Sin embargo, existe la

posibilidad de valorar otros aspectos sensitivos (entre los que destacan la discriminación entre dos puntos, propiocepción y estereognosia, que han sido descritos por otros autores como factores predictores de capacidad unimanual y son utilizados para establecer la meta quirúrgica en intervenciones de miembro superior (*Krumlinde-Sundholm & Eliasson., 2002; Auld & Johnston., 2018, Van Heest, House & Putnam., 1993*). Nuestro protocolo no valoró estos aspectos sensitivos, cuyos cambios pueden haber pasado desapercibidos. Por otra parte, Kuo et al., (2016) destacan la importancia de proporcionar un entorno enriquecido para obtener cambios somatosensoriales, lo que resalta la importancia de asociar un enfoque sensorial junto con la estimulación motora del videojuego serio empleado (*Pavão & Rocha., 2015*).

Todo esto en conjunto podría explicar la razón por la cual nuestros resultados difieren de estudios como el planteado por *Krebs et al (2012), Blumenstein et al (2015), Liu et al (2017) y Kasseet et al (2017)* quienes reportaron cambios en el dolor articular, aumento en la sensación táctil de los dedos del miembro superior, mejoría en la percepción y del funcionamiento sensitivo posterior al protocolo con el videojuego serio.

Para la correcta interpretación de los resultados del presente estudio, deben de tenerse en cuenta ciertas limitaciones. La baja muestra, ya descrita por estudios previos (*Levac, et al., 2017; Sevick et al., 2016*), o la evitación de criterios rigurosos de inclusión/exclusión (por ejemplo el diagnóstico específico de cada participante, manejos farmacológicos entre otros) son posibles sesgos que pueden haber influido en los resultados. La ausencia de una evaluación de seguimiento hace imposible examinar el mantenimiento a largo plazo de las mejorías en la función del miembro superior. No obstante, el presente estudio puede servir como una posible guía que ayude a diseñar y adaptar futuros protocolos de terapias con juegos serios en esta población.

Conclusión:

Se ha demostrado que los individuos con parálisis cerebral del grupo de intervención adquirieron un nivel de aprendizaje motor tras 10 sesiones de entrenamiento con el videojuego serio, con mejoría en la ejecución de tareas motoras posterior a la terapia que no mostró el grupo control. En cuanto al aspecto somatosensorial, no se cuenta con evidencia que valide la mejoría del protocolo utilizado en el aspecto sensitivo.

Nuestros resultados parecen determinar que el entrenamiento con el videojuego serio (laberinto) es seguro, flexible y muestra potencial como parámetro de rehabilitación motor útil y aplicable en sujetos con PC, configurándose como una herramienta de aprendizaje motor válida, por lo que podría establecerse como complemento terapéutico junto con la fisioterapia convencional. Sin embargo, a pesar de los resultados positivos, se recomiendan estudios futuros con un periodo de seguimiento más amplio, muestra más grande y estudios con computadoras portátiles en casa (con manejo autónomo o dentro de protocolos estructurados) que validen y permitan demostrar otros efectos adicionales del uso de los videojuegos serios en PC. La evidencia científica es débil para otros parámetros, como la recomendación de su uso como única medida de rehabilitación en la práctica clínica.

Expresiones de Gratitud

En resumen, esta investigación deja un claro mensaje sobre la importancia de innovar y evaluar nuevas formas de entrenamiento con videojuegos serios, que adopten modelos matemáticos serios, y tecnología lúdica, segura, de fácil acceso, con alta tasa de práctica, con personal entrenado, dispuesto a retroalimentar uniendo al núcleo familiar y permitiendo ajustar el nivel según el desarrollo, que lleven a mejoras en la función motora de la extremidad superior de todos los pacientes con parálisis cerebral sin importar su clasificación médica o cognitiva, dándoles un beneficio adicional con respecto a las terapias ya existentes.

Quisiera resaltar el papel ejercido desde el 13 de Marzo de 1976 por *La Asociación de Parálisis Cerebral de Baleares ASPACE* como una iniciativa que tiene hoy en día como máximo objetivo integrar de manera escolar, laboral y social a todos los hogares que cuentan con familiares diagnosticados con parálisis cerebral. Vivirlo en primera persona me ha confirmado que es la atención temprana asociada al manejo neuropsicológico y educación del núcleo familiar la principal herramienta para apoyar la parálisis cerebral y los procesos de rehabilitación. Muchas gracias a todos los participantes y sus padres por la ayuda prestada, a lo largo de todo este estudio, admire enormemente su paciencia y sus ganas de participar. Agradecer de manera especial a mi tutora del tabajo la Dra. Riquelme Agulló/Dr. Perales López, al personal del centro de estudios de posgrados de la Universidad de las Islas Baleares resaltando la labor del equipo docente del máster por sus enseñanzas y guía, al igual que a todo el personal de ASPACE. Este trabajo se lo dedico a mis padres, mis hermanas, mi pareja y mi colega *Dante*.

Referencias Bibliográficas

Acevedo, JA., Caicedo, E. y Castillo, JF. (2017). Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en niños con lesión del miembro superior. *Revista Universidad Industrial de Santander Salud*, 49(1), pp. 103-114. <http://dx.doi.org/10.18273/revsal.v49n1-2017010>.

Aisen, M., Kerkovich, D., Mast, J., Mulroy, S., Wren, T., Kay, R. y Rethlefsen, S. (2011). Cerebral palsy: clinical care and neurological rehabilitation. *Revista Lancet neurology*, 10(9), pp. 844-852. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(11\)70176-4](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(11)70176-4)

Alberman, E., Blair, E. y Stanley, F. (2000). "Introduction and What are the cerebral palsies". En: *Cerebral Palsies: Epidemiology & causal pathway*. Londres: Mac Keith Press p.1-15 ISBN:1898683204

Araneda, R., Ebner-Karestinos, D., Paradis, J., Saussez, G., Friel, KM., Gordon, AM. y Bleyenheuft Y. (2019). Reliability and responsiveness of the Jebsen-Taylor Test of Hand Function and the Box and Block Test for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 61(10), pp. 1182-1188. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14184>

Armero, P., Pulido, I. y Gómez, D. (2015). Seguimiento en Atención Primaria del niño con parálisis cerebral: La parálisis cerebral mas allá de los mitos. *Revista: Pediatr Integral*, volumen XIX (8):548-555 [fecha de Consulta 12 de Diciembre de 2019]. ISSN: . <<https://www.pediatriaintegral.es/publicacion-2015-10/seguimiento-en-atencion-primaria-del-nino-con-paralisis-cerebral/>>

Auld, M.L. y Johnston, L.M. (2018). Perspectives on tactile intervention for children with cerebral palsy: a framework to guide clinical reasoning and future research, *Disability and Rehabilitation*, 40:15, pp. 1849-1854, <https://doi.org/10.1080/09638288.2017.1312571>

Bax, M.C.O. (1964). Terminology and classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 6: 295-297. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1964.tb10791.x>

Blumenstein, T., Alves-Pinto, A., Turova, V., Aschmann, S., Lützwow, I. y Lampe, R. (2015). Sensory Feedback Training for Improvement of Finger Perception in Cerebral Palsy. *Rehabilitation research and practice*, 2015, 861617. <https://doi.org/10.1155/2015/861617>

Bonnechère, B., Jansen, B., Omelina, L., Degelaen, M., Wermenbol, V., Rooze, M. y Van Sint Jan, S. (2014). Can serious games be incorporated with conventional treatment of children with cerebral palsy? A review. *Res. Dev. Disabil.* 35, pp. 1899–1913. PMID: 24794289 <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.04.016>

Bonneya. E., Jelsmac. D., Ferguson. G. y Smits-Engelsmana. B. (2017). Variable training does not lead to better motor learning compared to repetitive training in children with and without DCD when exposed to active video games. *Research in Developmental Disabilities*. 62, pp. 124-136 <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.01.013>

Bottcher, L. (2010). Children with Spastic Cerebral Palsy, Their Cognitive Functioning, and Social Participation: A Review. *Child Neuropsychology*. 16(3), pp. 209-228. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09297040903559630>

Box and Block Test Physiopedia. (2019). Referenciado: 14:31, Enero 18, 2020 from <https://www.physio-pedia.com/index.php?title=Box_and_Block_Test&oldid=222736>

Boyle, E.A., Connolly, T.M., Hainey, T y Boyle, J.M. (2012). Engagement in digital entertainment games: a systematic review. *Comp. Hum. Behav.* 28, pp. 771–780. doi: 10.1016/j.chb.2011.11.020

Burdea, G.C., Cioi, D., Kale, A., Janes, W.E., Ross, S.A. y Engsberg, J.R. (2013). Robotics and gaming to improve ankle strength, motor control, and function in children with cerebral palsy—a case study series. *IEEE Trans. Neural. Syst. Rehabil. Eng.* 21, pp. 165–173. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2012.2206055>

Campistol, J., Arroyo, H.J., Poo, P. y V. Ruggieri. (2011). *Neurología para Pediatras Enfoque y manejo práctico*. Madrid: Editorial Médica Panamericana. ISBN 9788498355475

Cano de la Cuerda, R., Molero-Sánchez, A., Carratalá-Tejada, M., Alguacil, D., Molina, F., Miangolarra, J. y Torricelli, D. (2012). Teorías y Modelos de control y aprendizaje motor. *Aplicaciones clínicas en neurorehabilitación*. Sociedad Española de Neurología. Elsevier España. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nrl.2011.12.010>

Caso, A. (2003). *“Sistemas de incentivos a la producción”*. Madrid: Editorial Fundación Confemetal-FC, 89-90 ISBN: 84.95428.87-3

Chango, M. y Zambrano, I. (2014). *“Las curvas de aprendizaje: Factor de éxito en la medición del desempeño laboral en la gestión”*. Sangolquí: Editorial Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE 20-28. ISBN: 978-9942-765-12-3,

Coronados, Y., Dunn, E., Sánchez, Y. y Viltres. V. (2017). Escalas de evaluación en la discapacidad pediátrica. Primera parte Trabajo de revisión. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación, [S.l.]*. v. 9, n. 2, dic. 2017. ISSN 2078-7162. disponible online en: <<http://www.revrehabilitacion.sld.cu/index.php/reh/article/view/242/330>> [Consulta: 5 de octubre de 2013]

CPF-Cerebral Palsy Foundation New York.. Disponible inline: <<http://yourcpf.org/>> [Consulta: 14 de octubre de 2019]

Dahlin, L.B., Komoto-Tufvesson Y. y Salgeback, S. (1998). Surgery of the spastic hand in cerebral palsy. Improvement in stereognosis and hand function after surgery. *J Hand Surg Br.* 23: pp. 334-339. [https://doi-org.ezproxy.javeriana.edu.co/10.1016/S0266-7681\(98\)80053-3](https://doi-org.ezproxy.javeriana.edu.co/10.1016/S0266-7681(98)80053-3)

Diez Alegre, M.I. y Cano de la Cuerda, R. (2011). *Empleo de un video juego como herramienta terapéutica en adultos con parálisis cerebral tipo tetraparesia espástica*. Estudio piloto. *Fisioterapia.* 34, pp. 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.ft.2011.09.001>

Dinomais, M., Veaux, F., Yamaguchi, T., Richard, P., Richard, I. y Nguyen, S. (2013). *A new virtual reality tool for unilateral cerebral palsy rehabilitation: Two single-case studies*. *Revista Developmental neurorehabilitation.* Volumen 16 (6) <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/17518423.2013.778347>

Eliasson, A.C., Krumlinde-Sundholm, L., Rösblad, B., Beckung, E., Arner, M., Öhrvall A.M. y Rosenbaum, P. (2006). The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. *Developmental Medicine and Child Neurology* 48 pp. :549-554 PMID: 16780622 <https://doi.org/10.1017/S0012162206001162>

Fejerman N. y Fernández-Álvarez E. (2007). *Neurología Pediátrica*. Buenos Aires: Editorial Panamericana Buenos Aires. pp. 429-448. ISBN 9789500607940

Fernández-Jaén, A. y Calleja-Pérez, B. (2002). La parálisis cerebral infantil desde la atención primaria. *Revista Medicina Integral Elsevier*. 40 (4) p.p 148-158. [fecha de Consulta 16 de Noviembre de 2019]. ISSN: . Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-integral-63-articulo-la-paralisis-cerebral-infantil-desde-13036784>

Gómez, S., Jaimes, V., Palencia C., Hernández, M. y Guerrero, A. (2013). *Parálisis Cerebral Infantil*. Archivos venezolanos de puericultura y pediatría Vol 76 (1): 30 - 39 [fecha de Consulta 21 de Diciembre de 2019]. ISSN: . Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3679/367937046008>

Grealy, M.A. y Heffernan, D. (2000). The rehabilitation of brain injured children: the case for including physical exercise and virtual reality. *Pediatric Rehabilitation*, 4(2), pp. 41–49. <https://doi.org/10.1080/13638490110045438>.

Harris, K. y Reid, D. (2005). The Influence of Virtual Reality Play on Children'S Motivation. *Canadian journal of occupational therapy. Revue canadienne d'ergothérapie*. 72. 21-9. <https://doi.org/10.1177/000841740507200107>

Hernández, G y Santacruz H. (2006). “Inteligencia”. *Psicopatología Básica*. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana ed. 21, 146-155. ISBN 978-958-683-332-5

Hoare, B.J., Wallen, M.A., Thorley, M.N., Jackman M.L., Carey, L.M. y Imms, C. (2019). Constraint-induced movement therapy in children with unilateral cerebral palsy. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2019, Issue 4. Art. No.: CD004149. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004149.pub3>

Howcroft, J., Fehlings, D., Wright, V., Zabjek, K., Andrysek, J. y Biddiss, E. (2012). A comparison of solo and multiplayer active videogame play in children with unilateral cerebral palsy. *Games Health J.* 1, pp. 287–293. <https://doi.org/10.1089/g4h.2012.0015>

Howcroft, J., Klejman, S., Fehlings, D., Wright, V., Zabjek, K., Andrysek, J. y Biddiss, E. (2012). Active video game play in children with cerebral palsy: potential for physical activity promotion and rehabilitation therapies. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 93, pp. 1448–1456. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.02.033>

Jaume-i-Capo, A., Martínez-Bueso, P., Moya-Alcover, B. y Varona, J. (2014). Interactive rehabilitation system for improvement of balance therapies in people with cerebral palsy. *IEEE Trans. Neural. Syst. Rehabil. Eng.* 22, pp. 419–427. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6623199/>

Kassee, C., Hunt, C., Holmes, M.W.R. y Lloyd, M. (2017). Home-Based Nintendo Wii training to improve upper-limb function in children ages 7 to 12 with spastic hemiplegic cerebral palsy. *J. Pediatric Rehabil. Med.* 10, pp. 145–154. <https://doi.org/10.3233/prm-170439>

Kleinsteuber-Saa, K., Avaria-Benapres, M. y Varela-Estrada, X. (2014). Actualización: Parálisis Cerebral. *Rev. Ped. Elec.* [en línea] 2014, Vol 11, (2): pp. 54-70 [fecha de Consulta 16 de Diciembre de 2019]. ISSN:0718-0918. Disponible en: https://www.revistapediatria.cl/volumenes/2014/vol11num2/pdf/PARALISIS_CEREBRAL.pdf

Klingels, K., Demeyere, I., Jaspers, E., De Cock, P., Molenaers, G., Boyd, R. y Feys, H. (2012). Upper limb impairments and their impact on activity measures in children with unilateral cerebral palsy, *European Journal of Paediatric Neurology*, Volume 16, Issue 5, pp. 475-484, <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2011.12.008>

Kolk. A., y Talvik, T. (2000). Cognitive outcome of children with early-onset hemiparesis. *Revista Journal of Child Neurology.* 15 (9), pp. 581-587. PMID: 11019788 - <https://doi.org/10.1177/088307380001500903>

Krajewski, L., Ritzman, L. y Malhotra, L. (2008). “Desempeño y calidad de los procesos” en: *Administración de Operaciones procesos y cadenas de valor*. México: Editorial Pearson ed. 8, pp. 248-25

Krägeloh-Mann, I. y Cans, C. (2009). Cerebral palsy update. *Brain and Development*, 31(7), pp. 537-544. PMID: 19386453. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2009.03.009>

Krebs, Hl., Fasoli, SE., Dipietro, L., Fragala-Pinkham, M., Hughes, R., Stein, J. y Hogan N. (2012). Motor Learning Characterizes Habilitation of Children With Hemiplegic Cerebral Palsy. *Neurorehabil Neural Repair*, 26(7), p,p 855-60. PMID: 22331211 <https://doi.org/10.1177/1545968311433427>

Krumlind-Sundholm, L. y Eliasson, A. (2002). Comparing tests of tactile sensibility: Aspects relevant to testing children with spastic hemiplegia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 44(9), pp. 604-12. <https://doi.org/10.1017/s001216220100264x>

Kuo, H.C., Gordon, A., Henrionnet, A., Hautfenne, S., Friel, KM. y Bleyenheuft, Y. (2016). The effects of intensive bimanual training with and without tactile training on tactile function in children with unilateral spastic cerebral palsy: A pilot study, *Research in Developmental Disabilities*, Volumes 49–50, p.p 129-139, <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.11.024>

Levac, D., McCormick, A., Levin, M. F., Brien, M., Mills, R., Miller, E. y Sveistrup, H. (2017). Active video gaming for children with cerebral palsy: does a clinic-based virtual reality component offer an additive benefit? A pilot study. *Phys. Occup. Therapy Pediatrics* 38, pp, 74–87. PMID: 28375682 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01942638.2017.1287810?journalCode=ipop20>

Liu, L., Chen, X., Lu, Z., Cao, S., Wu, D., y Zhang, X. (2017). Development of an EMG-ACC-Based Upper Limb Rehabilitation Training System. *IEEE Trans. Neural. Syst. Rehabil. Eng.* 25, pp, 244–253. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2016.2560906>

Lopes, S., Magalhães, P., Pereira, A., Martins, J., Magalhães, C., Chaleta, E. y Rosário, P. (2018). Games Used With Serious Purposes: A Systematic Review of Interventions in Patients With Cerebral Palsy. *Front. Psychol.* 9:1712. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01712>

López de la Fuente, MJ. (2013). Teorías del control motor, principios de aprendizaje motor y concepto Bobath. A propósito de un caso en terapia ocupacional. *Revista TOG.* 10. (18): pp. 27 [fecha de Consulta 22 de Diciembre de 2019]. ISSN: 1885-527X. www.revistatog.com Disponible en: <http://www.revistatog.com/num18/pdfs/caso2.pdf>

MacIntosh, A., Switzer, L., Hernandez, H., Hwang, S., Schneider, A.L.J., Moran, D., Graham, T.C. y Fehlings, D. (2017). Balancing for gross motor ability in exergaming between youth with cerebral palsy at gross motor function classification system levels II and III. *Games Health J.* 6, pp. 104–110. <https://doi.org/10.1089/g4h.2016.0073>

Marrero G., Izquierdo. J. y Rodríguez. M. (1995-1998). Los modelos explicativos del aprendizaje motor. *Revista El Guiniguada* (6/7), pp. 309 [fecha de Consulta 1 de Diciembre de 2019]. ISSN: 0213-0610/2386-3374 Disponible en: https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/5364/1/0235347_01995_0020.pdf

Menayo, R., Fuentes, J., Moreno, F., Clemente. R. y García, T. (2008). Relación entre la velocidad de la pelota y la precisión en el servicio plano en tenis en jugadores de perfeccionamiento. *Revista: European Journal of Human Movement volumen.* (21), pp. 1-24 [fecha de Consulta 02 de Diciembre de 2019]. EISSN: 2386-4095. Disponible en: <https://recyt.fecyt.es/index.php/ejhm/article/view/56317/34299>

Morgan, C., Darrah, J., Gordon, A.M., Harbourne, R., Spittle, A., Johnson, R. y Fetters, L. (2016). Effectiveness of motor interventions in infants with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol.* 2016 Sep;58(9), pp. 900-9. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/dmcn.13105>

Muriel, V., Ensenyat, A., García-Molina, A., Aparicio-López, C. y Roig-Rovira (2014). *Déficits cognitivos y abordajes terapéuticos en parálisis cerebral infantil [Cognitive deficits and therapeutic approaches in children with cerebral palsy]*. *Acción Psicológica*, 11(1), pp. 107-120. <http://dx.doi.org/10.5944/ap.1.1.13915>

Ostensjø, S., Carlberg, E.B. y Vøllestad, N.K. (2003). Everyday functioning in young children with cerebral palsy: functional skills, caregiver assistance, and modifications of the environment. *Developmental medicine and child neurology*, 45(9), pp. 603-612. PMID: 12948327. <https://doi.org/10.1017/s0012162203001105>

Oña, E., Jardón, A., Balaguer, C., Cuesta, A., Carratalá, M. y Monge, E. (2016). <<El "Automatizado Box & Blocks Test" Sistema automático de evaluación de destreza manual gruesa.>>. Conferencia: XXXVII Jornadas de Automática, llevado a cabo en Madrid, España.

Palazón, A., Benavente, A. y Arroyo, O. (2008). Protocolo de uso de la tizanidina en la parálisis cerebral infantil. Sección de rehabilitación infantil Hospital General Universitario Gregorio Marañón. *An Pediatr (Barc)*. 2008;68(5), pp. 511-5. <https://doi.org/10.1157/13120053>

Palisano. R., Rosenbaum. P., Walter. S., Russell. D., Wood. E. y Galuppi. B. (1997). Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 39, pp. 214-223. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1997.tb07414.x>

Pavão, S.L. y Rocha. NACF. (2015) Sensory processing disorders in children with cerebral palsy. *Infant Behavior and Development*. Volume 46, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2016.10.007>

Pesquera, C. (2009). Monofilamento de Semmes-Weinstein. Hospital Universitario Marqués de Valdecilla. *Revista: Habilidades Prácticas*. Volumen (2009) pp. 8:18 [fecha de Consulta 14 de Diciembre de 2019]. ISSN: . <<http://www.redgdps.org/gestor/upload/file/Revistas/DP-1/habilidades-practicas.pdf>>

Pérez, C. y Ortiz, F. (2014). Correlación de las destrezas manuales y la función motriz grueso con la capacidad para propulsar una silla de ruedas en niños con parálisis cerebral. *Revista: Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación*. 24:2 [fecha de Consulta 13 de Marzo de 2020]. ISSN: 2256-5655 . <<http://www.revistacmfr.org/index.php/rcmfr/article/view/114/96>>

Petersen, E., Tomhave, W., Agel J., Bagley, A., James, M. y Van Heest, A. (2016). The effect of treatment on stereognosis in children with hemiplegic cerebral palsy. *J Hand Surg Am*. 41: pp. 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2015.06.126>

Pirila, S., Van der Meere, J., Korhonen, P., Ruusu Niemi, P., Kyntaja, M., Nieminen, P. y Korpela, R. (2004). A Retrospective Neurocognitive Study in Children With Spastic Diplegia. *Developmental Neuropsychology*. 26:3, pp. 679-690, https://doi.org/10.1207/s15326942dn2603_2

Pin, T. y Butler, P. (2019). The effect of interactive computer play on balance and functional abilities in children with moderate cerebral palsy: a pilot randomized study. *Clinical Rehabilitation*. Vol 33 (4) Article reuse guidelines: sagepub.com/journals-permissions. <https://doi.org/10.1177/0269215518821714>

Preston, N., Weightman, A., Gallagher, J., Levesley, M., Mon-Williams, M., Clarke, M. y O'Connor, R. (2015). A pilot single-blind multicentre randomized controlled trial to evaluate the potential benefits of computer-assisted arm rehabilitation gaming technology on the arm function of children with spastic cerebral palsy. *Clin. Rehabil* 30, pp. 1004–1015. <https://doi.org/10.1177/0269215515604699>

Ramos de Águeda, O. y Fernández, G. (2015). “Propuesta de intervención con un alumno con parálisis cerebral. Una mirada inclusiva”. Trabajo fin de grado presentado como requisito para el grado: Educación Primaria. Facultad de educación Universidad de Valladolid-España, Valladolid: Disponible en:<http://https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/12892/TFG-O%20460.pdf;jsessionid=EC4142E853750F5C7E771ADB8B25FDEF?sequence=1> [Consulta: 14 de marzo de 2020]

Ramstrand, N. y Lyngnegård, F. (2012). Can balance in children with cerebral palsy improve through use of an activity promoting computer game?. *Technol. Health Care* 20, pp. 531–540. <http://dx.doi.org/10.3233/THC-2012-0696>

Randall, M., Carlin, J., Chondros, P. y Reddihough, D. (2001). Reliability of the Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 43(11), pp. 761-767. <http://dx.doi.org/10.1017/S0012162201001396>

Ravi, DK., Kumar, N. y Singhi, P. (2017). The Effectiveness of Virtual Reality in the Rehabilitation of Balance and Gait in Children with Cerebral Mini-Review. *Am J Biomed Sci & Res*. 2019 - 5(1). AJBSR.MS.ID.000879. <http://dx.doi.org/10.34297/AJBSR.2019.05.000879>

Reilly, D. S., Woollacott, M.H., van Donkelaar, P. y Saavedra, S. (2008). The Interaction Between Executive Attention and Postural Control in Dual-Task Conditions: Children With Cerebral Palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(5), pp. 834-842. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2007.10.023>

Riquelme, I., Padrón, I. y Montoya, P. (2010). "Alteraciones somatosensoriales en personas con parálisis cerebral en función de su edad" en VII Congreso de la Sociedad Española de Psicofisiología y Neurociencia Cognitiva y Afectiva (SEPNECA). Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/295908575_Alteraciones_somatosensoriales_en_personas_con_paralisis_cerebral_en_funcion_de_su_edad> [Consulta: 13 de octubre de 2019]

Riquelme, I., Hatem, S. y Montoya, P. (2016) Abnormal Pressure Pain, Touch Sensitivity, Proprioception, and manual dexterity in children with autism Spectrum Disorders. Hindawi Publishing Corporation. Neural Plasticity Volume 2016, Article ID 1723401, 9 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1723401>

Riquelme, I., Hatem, S. y Montoya, P. (2018). Reduccion of Pain Sensitivity after somatosensory therapy in children with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Abnormal Child Psychology* <https://doi.org/10.1007/s10802-017-0390-6>

Rivas. M. (2008) Procesos Cognitivos y Aprendizaje significativo, Inspeccion de educacion documentos de trabajo,19. Subdirección General de Inspección Educativa de la Viceconsejería de Organización Educativa de la Comunidad de Madrid ISBN: 978-84-451-3132-9 <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001796.pdf>

Rodríguez. J., Martínez. S., Peñalva. D. y Fiallos. S. (2010). Manejo de la espasticidad en pacientes con parálisis cerebral infantil en el Hospital Leonardo Martínez-Trabajo Científico Original. *Revista: Acta Pediátrica Hondureña*. Volumen 1 (2): pp. 55-59 [fecha de Consulta 13 de Marzo de 2020]. ISSN: 2410-1400. <<http://www.bvs.hn/APH/pdf/APHVol1/pdf/APHVol1-2-2010-2011-4.pdf>>

Rocha. A. y Crisorio. L. (2012). "El aprendizaje motor: una investigación desde las prácticas" Tesis para optar por el grado de magíster en educación corporal. Facultad de humanidades y ciencias de la educación Universidad de La Plata, Buenos Aires-La Plata: Disponible en: <<http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.813/te.813.pdf>> [Consulta: 13 de noviembre de 2019]

Rosa, A., Montero., I. y Cruz., M. (1993) "el niño con parálisis cerebral: enculturación, desarrollo e intervención" Madrid: Edita Secretaría General de Renovación Pedagógica. Número:79 - Colección Investigación Centro de publicaciones del ministerio de educación y ciencia C.I.D.E., 129-133. ISBN: 84-369-2437-1

Sandlund, M., Waterworth, E.L. y Häger, C. (2011). Using motion interactive games to promote physical activity and enhance motor performance in children with cerebral palsy. *Dev. Neurorehabil.* 14, pp. 15–21. <http://dx.doi.org/10.3109/17518423.2010.533329>

Saussez, G., Laethem, M. y Bleyenheuft, Y. (2018). Changes in tactile function during intensive bimanual training in children with unilateral spastic cerebral palsy. *Journal of Child Neurology*. Volume: 33 issue: 4, page(s): 260-268. <https://doi-org.ezproxy.javeriana.edu.co/10.1177/0883073817753291>.

Sevick, M., Eklund, E., Mensch, A., Foreman, M., Standeven, J. y Engsberg, J. (2016). Using Free Internet Videogames in Upper Extremity Motor Training for Children with Cerebral Palsy. *Behavioral Sciences*. 6, 10. <http://dx.doi.org/10.3390/bs6020010>

Sigurdardottir, S., Eiriksdottir, A., Gunnarsdottir, E., Meintema, M., Arnadottir, U. y Vik T. (2008). Cognitive profile in young Icelandic children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*; 50(5): pp. 357-362. <http://dx.doi.org/doi:10.1111/j.1469-8749.2008.02046.x>

Tranchida, G. y Van Heest, A. (2018). Outcomes After Surgical Treatment of Spastic Upper Extremity Conditions. *Hand Clinics*, 2018-11-01, Volumen 34, Número 4, pp. 583-591. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2018.06.014>

Van Heest, A., House, J. y Putnam, M. (1993), Sensibility deficiencies in the hands of children with spastic hemiplegia. *The Journal of Hand Surgery*. Volume 18, Issue 2, March 1993, pp. 278-281 [https://doi.org/10.1016/0363-5023\(93\)90361-6](https://doi.org/10.1016/0363-5023(93)90361-6)

Yalon-Chamovitz, S. y Weiss, P. L. (2008). Virtual reality as a leisure activity for young adults with physical and intellectual disabilities. *Res. Dev. Disabil.* 29, pp. 273–287. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.ridd.2007.05.004>

Yáñez, P. (2016). El proceso de aprendizaje: fases y elementos fundamentales. *Revista: San Gregorio*. (11), pp. 70-81. [fecha de Consulta 12 de Enero de 2020]. ISSN: 1390-7247. <<https://http://oaji.net/articles/2016/3757-1472501941.pdf>>

Yagüe Sebastián, M.P., Yagüe Sebastián, M.M., Lekuona Amiano, A. y Sanz Rubio, M.C. (2016). Los videojuegos en el tratamiento fisioterápico de la parálisis cerebral. *Fisioter.* 38, pp. 295–302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ft.2015.11.005>

Winkels, D.G.M., Kottink, A.I.R., Temmink, R.A.J., Nijlant, J.M.M. y Burke, J.H. (2012). WiiTM-Habilitation of Upper Extremity Function in Children with Cerebral Palsy. An Explorative Study. *Dev. Neurorehabil.* 16, 44–51. <http://dx.doi.org/10.3109/17518423.2012.713401>

Winter, S., Autry, A., Boyle, C. y Yeargin-Allsopp, M. (2002). Trends in the prevalence of cerebral palsy in a population-based study. *Rev Pediatrics Elec. [en línea]*. Vol 11, (2): 110:1220-1225. [fecha de Consulta 01 de Diciembre de 2019] ISSN 0718-0918 - PMID: 12456922 <http://dx.doi.org/10.1542/peds.110.6.1220>

Wright, T.P. (1936). "Factors Affecting the Cost of Airplanes". en *Journal Aeronautical Sciences*. Curtiss-Wright Corporation, published online Volume 3, Issue 4 30/08/2012 <https://doi.org/10.2514/8.155>

Zapata, V. y Ortiz, F. (2018). "*Funcionalidad del miembro superior en niños con parálisis cerebral*". Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de: Especialista en Medicina Física y Rehabilitación. Facultad de medicina Universidad Nacional de Colombia, Bogotá: Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/63915/1/1054991207.2018.pdf>> [Consulta: 10 de noviembre de 2019]

Anexos:

Anexo 1

	Universitat de les Illes Balears	 Universitat de les Illes Balears Serveis centrals Núm. <u>3568</u> Data <u>- 8 MAIG 2015</u> Sortida
---	--	--

Informe del Comité de Ética de la Investigación⁽¹⁾ relativo a la solicitud de evaluación del proyecto de investigación titulado *Análisis de las técnicas de neurofeedback para la valoración de la atención en niños con parálisis cerebral*, presentada por el Dr. Francisco J. Perales, de la Unidad de gráficos y visión por ordenador de la UIB.

Vista la solicitud el 2 de febrero de 2015 y revisada, el 16 de abril, la información complementaria presentada a este Comité por el Dr. Francisco J. Perales, con el fin de que emita el correspondiente informe.

Visto el Acuerdo Normativo de 13 de junio de 2014 (FOU núm. 403), y de acuerdo con el artículo 2º de éste, el Comité es competente para analizar el citado proyecto.

De conformidad con el art. 4, letra a), del Acuerdo Normativo de 13 de junio, el Comité ha revisado la documentación presentada desde el punto de vista ético y jurídico.

De conformidad con el art. 4, letra b), del Acuerdo Normativo de 13 de junio, se ha evaluado la idoneidad del protocolo en relación a los objetivos del estudio y su eficiencia científica.

De conformidad con el art. 4, letra c), del Acuerdo Normativo de 13 de junio, se ha comprobado que está previsto el consentimiento informado y libre de las personas que participen en el estudio.

Por todo lo anterior, y de acuerdo con lo decidido unánimemente por el Comité en fecha 16 de abril de 2015.

Se informa favorablemente la solicitud de evaluación del proyecto titulado *Análisis de las técnicas de neurofeedback para la valoración de la atención en niños con parálisis cerebral*, presentado por el Dr. Francisco J. Perales, miembro de la Unidad de gráficos y visión por ordenador de la UIB e investigador principal del proyecto.

Palma de Mallorca, 4 de mayo de 2015



Antoni Miralles Socias
Presidente del Comité de Ética de la Investigación

Dr. Francisco J. Perales.

⁽¹⁾El Comité de Ética de la Investigación (Comitè d'Ètica de la Recerca, CER) de la Universitat de les Illes Balears, creado a través del Acuerdo Normativo de 13 de junio de 2014 (FOU núm. 403), tiene como finalidad apoyar a los investigadores cuya tarea científica implique el uso de datos procedentes de seres humanos. Es objetivo prioritario de este comité garantizar que los diseños experimentales y los protocolos propuestos cumplan la legalidad vigente y los principios éticos de respeto a la dignidad humana, confidencialidad, no discriminación y proporcionalidad entre los riesgos y los beneficios esperados. Quedan excluidos de las competencias del CER los estudios con medicamentos, regulados según el Real decreto 223/2004, de 6 de febrero, por el cual se regulan los ensayos clínicos con medicamentos, y las investigaciones que impliquen procedimientos invasivos en seres humanos o la utilización de muestras biológicas de origen humano, regulados en la Ley 14/2007, de 3 de julio, de investigación biomédica.

Edifici Son Lledó Campus universitari Cra. Valldemossa, km 7,5 07122 Palma (Illes Balears)	Tel.: +34 971 17 30 00 / 01 Fax: +34 971 17 28 52
---	--

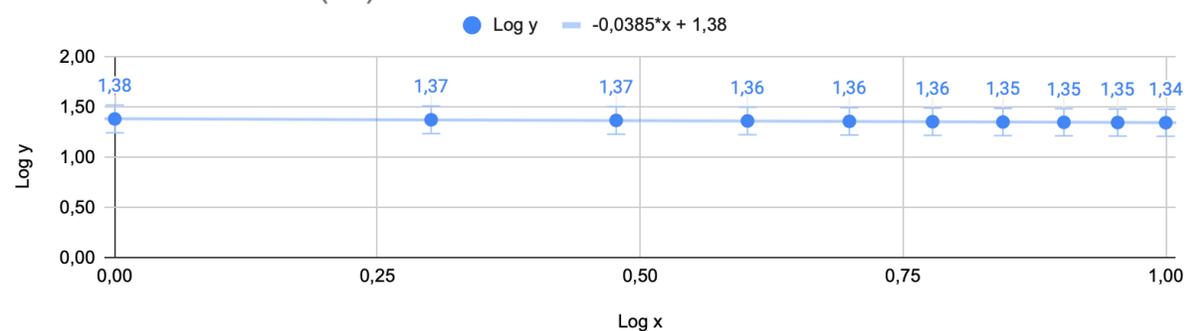
www.uib.cat

Anexo 2

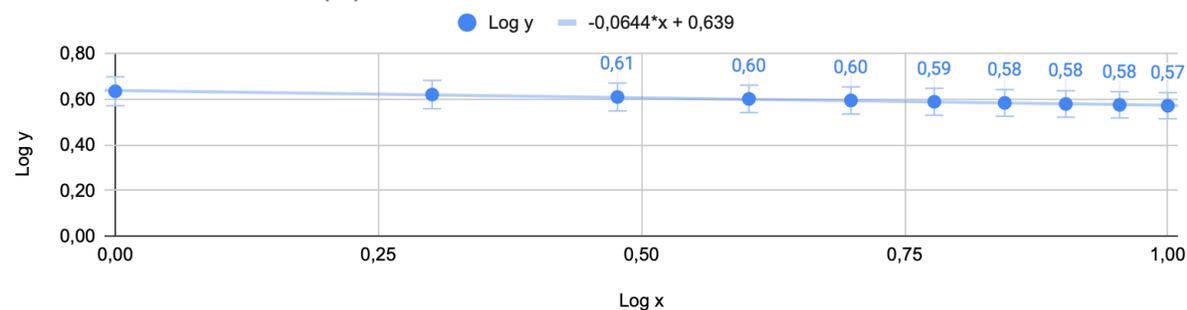
Ecuación línea recta (TT)



Ecuación Línea Recta (nP)



Ecuación Línea Recta (C)



Ecuación Línea Recta (EJEC)

