

TRABAJO FIN DE GRADO

VARIABILIDAD Y CONTROL MOTOR EN  
PERSONAS CON DESÓRDENES  
NEUROLÓGICOS EN TAREAS DE MARCHA Y  
CONTROL POSTURAL



GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE  
UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Alumno/a: MANUEL MARTÍNEZ MARTÍNEZ  
Tutor/a académico/a: CARLA CABALLERO SÁNCHEZ

Curso académico: 2018-2019

## ÍNDICE

<b>1. CONTEXTUALIZACIÓN</b> .....	4
<b>2. PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN</b> .....	7
2.1. Criterios de elegibilidad.....	7
2.2. Fuentes.....	7
2.3. Búsqueda.....	8
2.4. Selección de artículos.....	8
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	10
<b>4. DISCUSIÓN</b> .....	14
4.1. El papel de la variabilidad en el control postural en personas con desórdenes neurológicos.....	14
4.2. El papel de la variabilidad en la marcha en personas con desórdenes neurológicos.....	15
4.3. Conclusiones y limitaciones .....	16
<b>5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN</b> .....	16
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	18



**TÍTULO:** Variabilidad y control motor en personas con desórdenes neurológicos en tareas de marcha y control postural.

**RESUMEN:**

El aprendizaje motor, es el conjunto de procesos internos asociados a la práctica que producen cambios relativamente permanentes en la conducta a través de una habilidad específica. Éste está regulado por el Sistema Nervioso Central, principalmente por dos estructuras: el cerebelo y los ganglios basales. De tal forma que, un daño en estas estructuras puede causar severas patologías. Dos de las patologías más comunes asociadas al daño de dichas estructuras son la Parálisis Cerebral y el Párkinson. Una de las características en cuanto al movimiento en estas poblaciones es que muestran alteraciones en la variabilidad. El término variabilidad hace referencia al conjunto de variaciones normales que ocurren en el rendimiento motriz cuando se realizan múltiples repeticiones de una misma tarea y está altamente relacionado con el aprendizaje motor, aunque a día de hoy se desconoce a ciencia cierta cómo es esta relación. Algunos autores defienden que la variabilidad podría beneficiar el aprendizaje puesto que facilita la exploración, permitiendo que los individuos adapten su comportamiento a los cambios del entorno. Otros, en cambio, señalan que la variabilidad es perjudicial y hay mayor aprendizaje con el entrenamiento en consistencia. El objetivo de esta revisión es esclarecer la relación entre la variabilidad (intrínseca y extrínseca) y los procesos de aprendizaje en personas con desórdenes neurológicos en habilidades fundamentales para la vida diaria como son la marcha y el control postural.

**Palabras clave:** *variabilidad, aprendizaje motor, Parálisis Cerebral, Párkinson, desorden neurológico, ganglios basales, cerebelo, marcha y control postural*

## 1. CONTEXTUALIZACIÓN

Desde las acciones cotidianas más simples, como atarse los zapatos, escribir o andar, hasta los gestos técnicos más complejos y específicos que realizan los deportistas de élite, todas son fruto de un proceso de adquisición de habilidades. El aprendizaje motor (AM) se define como el conjunto de procesos internos asociados a la práctica y la experiencia, que producen cambios relativamente permanentes en la capacidad de producir actividades motoras, a través de una habilidad específica (Cano-de-la-Cuerda et al., 2015). Lo que aprendemos se retiene o almacena en nuestro cerebro y constituye lo que denominamos memoria, no considerándose como aprendizaje las modificaciones a corto plazo (Cano-de-la-Cuerda et al., 2015). Muchos factores influyen en el AM, como la edad, la raza, la cultura o la predisposición genética. Cada persona posee sus destrezas como resultado del proceso de su aprendizaje.

Los movimientos voluntarios, así como los movimientos involuntarios, se basan en patrones espaciales y temporales de contracciones musculares que son iniciados y coordinados por diferentes estructuras del sistema nervioso central. El buen funcionamiento de estas estructuras y las redes neuronales implicadas en la ejecución motora, son esenciales para la expresión de un comportamiento motor adecuado. La mayoría de los patrones motores, así como nuestros comportamientos complejos, son aprendidos durante la etapa de desarrollo madurativo y tienen que ser "mantenidos" durante la vida adulta. Aunque en este proceso de aprendizaje prolongado y permanente son importantes amplias partes del cerebro, en el caso de los movimientos complejos, la corteza cerebral, el cerebelo y los ganglios basales desempeñan un papel crucial (Groenewegen, 2003).

Los movimientos intencionados, son en esencia, iniciados por la corteza motora cerebral. La señal llega, directamente o indirectamente a través de circuitos pre-motores locales, al tronco encefálico o a las neuronas motoras de la columna vertebral que se proyectan hacia los músculos. Antes de que una señal motora descienda de la corteza motora al tronco encefálico y a la médula espinal, varios centros corticales y subcorticales (incluidos los ganglios basales y el cerebelo), ejercen su influencia sobre la corteza motora para dar forma y modular a la señal descendente final. Los ganglios basales y el cerebelo influyen sobre las vías de salida motoras finales, en gran medida a través del tálamo, en las vías motoras descendente, corticobulbar y corticoespinal que se originan en las áreas motoras y pre-motoras de la corteza cerebral. De esta manera, tanto los ganglios basales como el cerebelo tienen un papel esencial y distintivo en la organización (coordinación, sincronización y secuenciación) de una respuesta motriz normal (Groenewegen, 2003).

El cerebelo y los ganglios basales tienen funciones motoras y no motoras. Las funciones motoras se relacionan con la planificación y el control del movimiento, mientras que las funciones no motoras están relacionadas con la cognición, la memoria, el aprendizaje, la motivación, el estado de ánimo, la regulación del sueño y el funcionamiento del sistema nervioso autónomo. Por ello, las alteraciones del movimiento, resultantes de la lesión de estas estructuras, se caracterizan no sólo por la presencia de movimientos involuntarios bruscos, alteraciones de la coordinación, del equilibrio y de la postura, sino también por la ocurrencia de alteraciones cognitivas, estados depresivos y, muchas veces, por trastornos autonómicos y del sueño (Fernández-Tresguerres, 1999). Dos de las patologías asociadas al daño de dichas estructuras y con mayor prevalencia poblacional son la Parálisis Cerebral (PC) y el Párkinson.

La PC está considerada como un grupo de alteraciones permanentes del desarrollo del movimiento y la postura, que limitan la realización de ciertas actividades, y que son atribuidos a problemas que ocurrieron en el desarrollo del cerebro fetal o infantil, siendo de carácter no

progresivo (Póo, 2008). Es la causa más frecuente de discapacidad motora en la edad pediátrica y el principal motivo de discapacidad física grave (Rosenbaum et al., 2007). Es un desorden que aparece en la primera infancia y persiste toda la vida, y su prevalencia en países desarrollados se estima en 2-2,5 casos por cada 1.000 recién nacidos vivos (Camacho-Salas et al., 2007).

Este desorden motor con frecuencia se acompaña de trastornos sensoriales, cognitivos, de la comunicación, perceptivos y/o de conducta, y/o por epilepsia (Morris, 2007), puede ser debido a diferentes etiologías (factores prenatales, perinatales y post natales) (Póo, 2008). Existen distintas formas de clasificar la parálisis cerebral, en función del desorden motor dominante y de la extensión de la afectación, según el grado de afectación: leve, moderada, grave o profunda o según el nivel funcional de la movilidad nivel-V según la Gross Motor Function Classification System (GMFCS) (Palisano et al., 2008)

El Parkinson es un desorden neurodegenerativo que afecta a las funciones motoras y no motoras, incluyendo síntomas psiquiátricos como depresión, ansiedad y psicosis (Schneider, Lourinets & Richard, 2017). Se trata del segundo desorden neurodegenerativo más común y afecta al 2-3% de la población de más de 65 años de edad (Poewe et al., 2017). La pérdida neuronal en la sustancia negra, que causa la deficiencia de dopamina estriatal, y las inclusiones intracelulares que contienen agregados de  $\alpha$ -synuclein, son los sellos neuropatológicos de la enfermedad de Parkinson (Poewe et al., 2017). Aunque su causa sigue siendo desconocida, muchos investigadores creen que la enfermedad surge de una interacción entre factores genéticos y ambientales que lleva a la degeneración progresiva de las neuronas en regiones susceptibles del cerebro (Pringsheim, 2014).

Este desorden neurológico se caracteriza por los siguientes síntomas: temblor, rigidez muscular, acinesia, alteraciones de la postura, alteraciones del equilibrio, marcha festinante, facie inexpresiva y sialorrea entre otros (Cano-de-la-Cuerda et al., 2004). Todos estos síntomas impactan negativamente en la calidad de vida, contribuye a la discapacidad y contribuye a aumentar la carga y la angustia de los cuidadores. Se cree que es progresivo, y además aumenta el riesgo de imposibilidad de salir de casa en ancianos y la mortalidad (Schneider, Lourinets & Richard, 2017).

Otra de las características, tanto de personas con PC como con Parkinson, es que presentan un alto nivel de variabilidad intrínseca (Damiano, Stanley, Ohlrich, & Alter, 2017; Gofer-Levi, Silberg, Brezner, & Vakil, 2013). Decir que, todas las personas, independientemente de su condición, presentan variabilidad en su movimiento, puesto que es una propiedad inherente a los seres biológicos y no es posible eliminarla (García-Herrero, Sabido, Barbado, Martínez, & Moreno, 2016; Moreno & Ordoño, 2015). Dicha variabilidad se ha interpretado como las variaciones normales que ocurren en el rendimiento motriz cuando se realizan múltiples repeticiones de una misma tarea (Stergiou, Harbourne y Cavanaugh, 2006). Sin embargo, poblaciones con alteraciones neuronales podrían tener un exceso de variabilidad que podría modificar los procesos de aprendizaje motriz (Damiano, Stanley, Ohlrich, & Alter, 2017; Gofer-Levi, Silberg, Brezner, & Vakil, 2013).

El papel de la variabilidad del movimiento en el control motor se ha convertido en objeto de estudio (Bates, 1996; Newell y Corcos, 1993). Algunos autores defienden que, la variabilidad podría beneficiar el aprendizaje puesto que facilita la exploración de las distintas configuraciones de los grados de libertad del sistema motor para dar con la solución deseada, mejorando el proceso de aprendizaje y permitiendo que los individuos adapten su comportamiento a los cambios del entorno (Barbado et al., 2012; Davids, Glazier, Araujo, & Bartlett, 2003; Wu et al., 2014). Por tanto, una mayor variabilidad intrínseca sería sinónimo de un mayor aprendizaje (Wu et al., 2014) y un mayor rendimiento (Bauer & Schöllhorn, 1997). Debido a ello, en los últimos años se ha utilizado la variabilidad al practicar, la variabilidad

extrínseca, como herramienta para favorecer el proceso de aprendizaje (Izawa & Shadmehr, 2011).

Sin embargo, el papel de la variabilidad en el aprendizaje trae controversia. Algunos estudios muestran que el entrenamiento en variabilidad mejora más en habilidades cerradas que el de consistencia (Hernandez-Davo, Urban, Sarabia, Juan-Recio, & Moreno, 2014; Menayo, Moreno, Fuentes, Reina, & Damas, 2012; Savelsbergh, Kamper, Rabiús, De Koning, & Schöllhorn, 2010; Schöllhorn, Beckmann, & Davids, 2010; Schöllhorn, Beckmann, Janssen, & Drepper, 2010). Otros estudios han indicado que el entrenamiento en consistencia muestra mejoras respecto al de variabilidad (Edwards & Hodges, 2012; Shea, Lai, Wright, Immink, & Black, 2001; Zipp & Gentile, 2010).

Estas diferencias encontradas pueden deberse a que la relación entre variabilidad y control motor parece depender de: la naturaleza intrínseca dinámica del sistema y los condicionantes de la tarea (Barbado et al., 2017). Por tanto, podemos pensar que el rol de la variabilidad en el aprendizaje dependerá en gran medida de las características intrínsecas del sujeto. De tal manera que, la carga en variabilidad en un entrenamiento parece estar supeditada a estas características intrínsecas.

En el caso de personas con alteraciones neurológicas, el daño en estructuras específicas del cerebro tiene significativa y diferencial influencia en la variabilidad del movimiento en el aprendizaje motor, específicamente en cómo se aprende una tarea. Los ganglios basales parecen jugar un papel fundamental durante el aprendizaje basado en la recompensa, manipulando la cantidad de variabilidad motora durante la práctica para mejorar el rendimiento. Por lo que cabe esperar que, si se dañan los ganglios basales, la variabilidad de los sujetos con fines funcionales se vea dificultada (Ramayya, Misra, Baltuch, & Kahana, 2014; Wu et al., 2014). Por su parte, las patologías asociadas a un deterioro del cerebelo se suelen caracterizar por anomalía en la escalada de movimientos y en la coordinación de movimientos voluntarios de las extremidades y el tronco (Gagnon et al., 2014; Morton & Bastian, 2004). Por lo tanto, individuos con ataxia presentan pobre rendimiento y limitada capacidad de aprendizaje en tareas visuomotoras manuales (Shmuelof et al., 2012; Therrien, Wolpert, & Bastian, 2016). Esto indica que un cerebelo afectado impacta en el aprendizaje por error e impide una efectiva respuesta a una alteración visuomotora, demostrando baja sensibilidad al error. Es por ello, que para maximizar el aprendizaje motor en esta población, se recomienda reducir lo máximo posible la variabilidad.

En personas con parálisis cerebral espástica el alto nivel de variabilidad motora podría impedir el aprendizaje durante la adquisición de una nueva habilidad (Damiano, Stanley, Ohlrich, & Alter, 2017; Gofer-Levi, Silberg, Brezner, & Vakil, 2013). Debido a una coactivación muscular anormal, los autores sugieren que es necesario consistencia para aprender una nueva habilidad, aunque cabe esperar un aprendizaje más lento (Hung & Gordon, 2013). Por ello, las personas con parálisis cerebral tienden a asimilar mejor el proceso de planificación mediante instrucciones y feedback y presentan limitación en el proceso de ejecución (consistencia), por lo tanto, han de someterse a la práctica de esa habilidad eventualmente mediante práctica constante para mejorar en una habilidad (Gofer-Levi et al., 2013).

En un estudio donde pacientes con Parkinson realizaron una tarea de aprendizaje por recompensa que consistía en realizar lanzamientos de precisión hacia una diana a través de un joystick. Los autores encontraron que, al modificar el lugar de la diana, los participantes, mostraron limitaciones para ampliar su variabilidad para explorar el espacio de la tarea y obtener recompensa (Pekny, Izawa & Shadmehr, 2015). Sin embargo, en otro estudio que consistía en el aprendizaje basado en mecanismos de percepción del error de una tarea motora de precisión a través de un joystick, se manipulaba la variabilidad de los movimientos mediante una pantalla y se encontró que los niños con los ganglios basales dañados lograron

una óptima variabilidad para lograr la tarea y no mostraban diferencias respecto a niños sin daño (Chu, Sternad & Sanger 2013).

Uno de los principales campos de trabajo y estudio de los profesionales de las ciencias de la salud y el deporte para con personas con estas patologías, es la neurorrehabilitación. La neurorrehabilitación, en términos generales tendrá como objeto el mantenimiento de las habilidades existentes, la readquisición de habilidades perdidas y el aprendizaje de nuevas destrezas. Existen diversos factores que, siendo significativos desde el punto de vista de la neurorrehabilitación, influyen en los procesos de aprendizaje motor, como las instrucciones verbales, características y variabilidad de la práctica, participación activa y motivación del individuo, la transferencia positiva/negativa del aprendizaje, el control postural, la memoria y la retroalimentación (Cano-de-la-Cuerda, et al., 2015). El estudio de la causa y la naturaleza del movimiento resultan esenciales para la práctica médica y deportiva, puesto que los métodos específicos habitualmente empleados en neurorrehabilitación vienen determinados por las suposiciones fundamentales sobre la causa y la naturaleza del movimiento, de forma que la teoría se constituye en la base teórica de la práctica (Cano-de-la-Cuerda et al., 2015).

Conocer cómo son los procesos de aprendizaje y control motor en estas patologías permitirá establecer protocolos de trabajo más eficaces, y que a la postre, repercutirá positivamente en la calidad de vida de estas personas. Por ello, el objetivo de esta revisión bibliográfica es conocer cómo influyen las características intrínsecas del individuo y los condicionantes de la tarea en el aprendizaje en personas con alteraciones neurológicas (Párkinson y PC) y qué tipo de práctica se adapta mejor a las características de los mismos. Para ello nos fijaremos en cómo influye la variabilidad intrínseca de los sujetos y las características de la tarea en el aprendizaje de habilidades transcendentales en la calidad de vida de las personas, como la marcha y el control postural.

## **2. PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN**

### **2.1. Criterios de elegibilidad**

Se incluyeron:

- Artículos publicados a partir del año 2009 a texto completo en inglés.
- Artículos que hablen sobre variabilidad intrínseca o extrínseca en humanos.
- Estudios que evalúen los procesos de aprendizaje en la marcha o el control postural.
- Estudios que evalúen el control o coordinación del movimiento en la marcha o el control postural.

Se excluyeron:

- Tesis, proyectos de investigación, cartas al editor y libros.
- Estudios realizados en animales.
- Estudios que hablan sobre variabilidad intrínseca o extrínseca o aprendizaje en habilidades que no son marcha o control postural.
- Estudios que evalúen el control o coordinación del movimiento en habilidades que no son marcha o control postural.

### **2.2. Fuentes**

Para la búsqueda de contenido general del tema y elaboración de la introducción del trabajo se consultaron bases de datos y artículos de prensa digitales.

La búsqueda de artículos para la revisión bibliográfica se realizó en la base de datos de ciencias de la salud *PUDMED*.

### **2.3. Búsqueda**

Para la revisión bibliográfica se realizó una búsqueda utilizando los siguientes descriptores: *motor, learning, cerebral palsy, parkinson, variability, movement, coordination y postural*.

Estos descriptores se combinaron con los booleanos *AND, OR* y se truncaron los términos para realizar la búsqueda.

Las ecuaciones para la búsqueda de artículos de la revisión bibliográfica fue la siguiente: (1) *“Motor learning” OR “Variability” AND “Cerebral Palsy* y (2) *“Motor learning” OR “Variability” AND “Parkinson”*.

La búsqueda se desarrolló de febrero a mayo de 2019.

### **2.4. Selección de artículos**

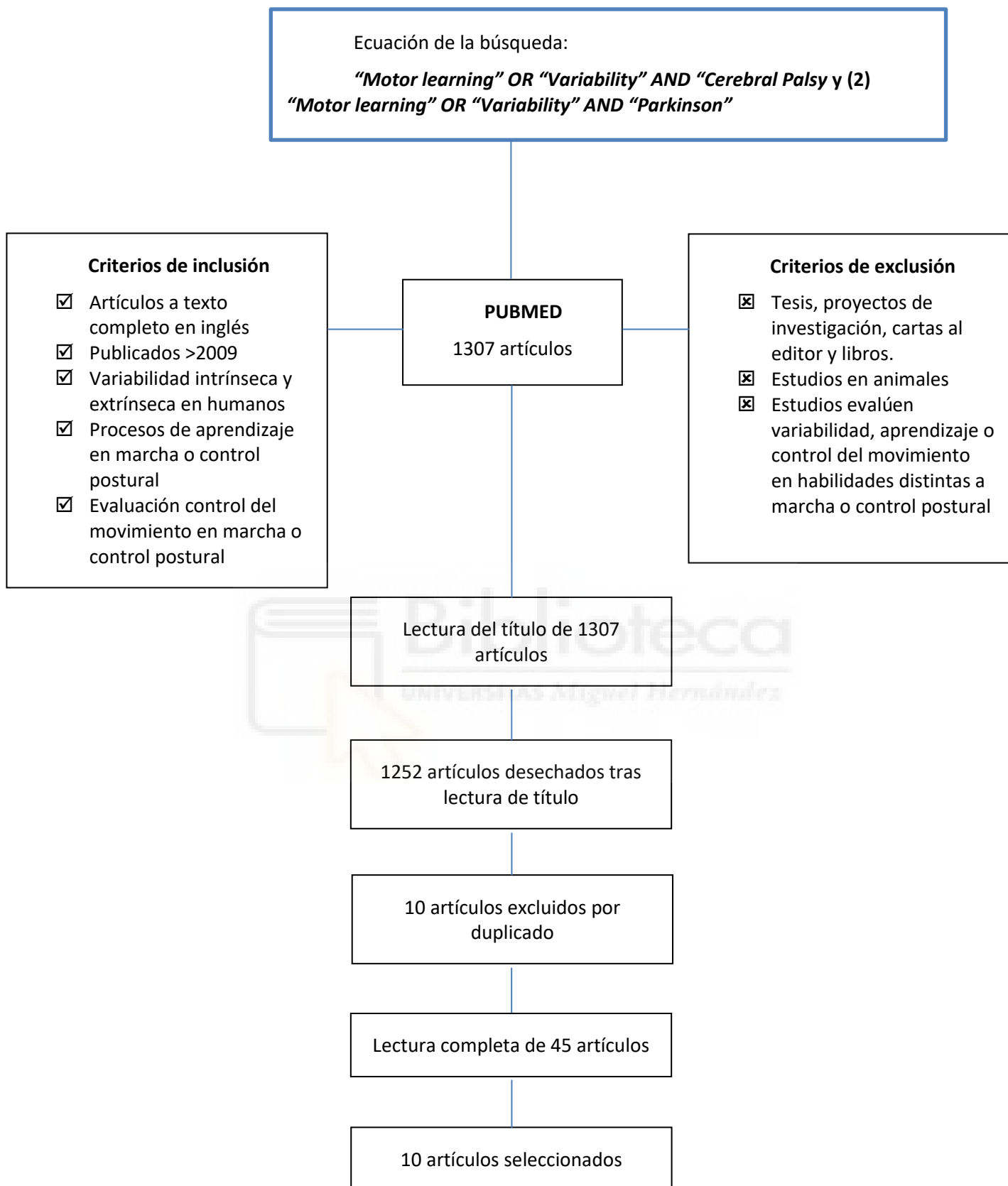
Se encontraron 1307 artículos de la base de datos de *PUBMED*.

Se procedió a la lectura de los títulos de los artículos encontrados y se excluyeron 1252 artículos por no relacionarse con el tema y no ajustarse a los criterios de elegibilidad. Se eliminaron también 10 artículos por duplicados.

A continuación, se realizó la lectura completa de los 45 artículos restantes. Se procedió al análisis completo para la revisión bibliográfica de los 10 artículos que cumplían los criterios de inclusión.

Por lo que, la revisión bibliográfica aportó 10 artículos. El procedimiento de la selección se muestra a continuación.





**Figura 1. Diagrama de flujo sobre la metodología de búsqueda bibliográfica.**

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### Tablas:

Estudios en los que se analiza la influencia de las características de los sujetos en el aprendizaje						
Estudio	H	M	Edad	Población	Evaluación y método	Resultados
Beretta et al (2018)	18	10	72.53 ± 6.03	Dos grupos: PD con (PDc) y sin (PDnc) historial de caídas	<p>Una única sesión</p> <p>VARIABLES A MEDIR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Asimetría del control postural (CoP)</li> <li>Limitación motriz (UPDRS III)</li> <li>Grado de Párkinson (Hoehn and Yahr)</li> <li>Estado cognitivo (MMSE)</li> </ul> <p>Evaluación del control postural: bipedal (BP), tándem (T) y monopodal (MP)</p> <p>Instrumental: Plataformas de fuerza.</p>	<p>La asimetría del control postural está relacionada con riesgo de caídas en MP pero no en BP y T. Los PDc mostraron - variabilidad y simetría en el control postural comparado con los PDnc en MP. En BP y T no modulan la variabilidad ninguno de los grupos.</p> <p>+ variabilidad → + simetría → - riesgo de caídas</p> <p>La complejidad de la tarea parece ser un aspecto determinante para modular la variabilidad y simetría del control postural en personas con PD.</p>
Kim et al (2018)	14	14	GC 12.0 ± 2.6 PC 12.5 ± 3.3	20 participantes con PC nivel GMFCS I y II 8 participantes GC sanos	<p>Una única sesión</p> <p>VARIABLES A MEDIR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Variabilidad en las sinergias musculares durante las zancadas</li> <li>Actividad electromiográfica</li> <li>Ángulo de articulación cadera-rodilla-tobillo</li> </ul> <p>Tarea: Ambos grupos caminaban 5 veces a un ritmo autorregulado</p> <p>Instrumental: EMG y 10 cámaras de captura de movimiento</p>	<p>+ variabilidad en el número de sinergias musculares en PC que en GC. + variabilidad en sinergias musculares → patrón de marcha más inmaduro y deficiente.</p>
Mezzarobba, Grassi & Valentini (2018)	21	15	PD+FoG 70.3 ± 8.9 PD-FoG 68 ± 12 GC 67.4 ± 8.7	12 PD+FoG 12 PD-FoG 12 GC sanos	<p>VARIABLES A MEDIR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CoP</li> <li>CoM</li> </ul> <p>Tarea: Marcha constante (W), inicio de la marcha (GI) y de sentado a caminar (STW), cada tarea se repetía 5 veces.</p> <p>Instrumental: plataforma de fuerzas y cámaras de captura de movimiento</p>	<p>El grupo PD+FoG muestra más variabilidad en la distribución del CoP que PD-FoG y GC. + Variabilidad en CoP y CoM → - control postural.</p>
Damiano et al. (2017)	12	8	PC 14.8 ±	10 PC con 10	<p>Una sola sesión</p> <p>VARIABLES A MEDIR:</p>	<p>El grupo PC mostraba + variabilidad en la longitud del paso,</p>

			3.8 GC 11.4 ± 3.6	hemiplejia unilateral 10 GC sanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud del paso y tiempo de oscilación en la marcha</li> <li>• Ángulo y posición de articulación cadera-rodilla-tobillo</li> </ul> <p>Tarea: Caminar en cinta -2 min pre test -6 min con peso pierna no dominante -2 min sin peso -6 min con peso pierna dominante 2 min sin peso Ambos grupos</p> <p>Instrumental: cinta de correr, sensores de posición y marcadores reflectantes.</p>	especialmente en las tareas con peso, pero los procesos de adaptación al peso en ambos grupos fueron parecidos, incrementaban la variabilidad, sugiriendo similar capacidad de adaptación a una nueva habilidad en ambos grupos.
Bulea et al. (2017)	12	8	PC 14.8 ± 3.8 GC 11.4 ± 3.6	10 PC con hemiplejia unilateral 10 GC sanos	<p>Una sola sesión</p> <p>VARIABLES A MEDIR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud del paso y tiempo de oscilación en la marcha</li> <li>• Ángulo y posición de articulación cadera-rodilla-tobillo</li> </ul> <p>Tarea: Caminar en cinta - 2 min sin peso - 6 min con peso pierna no dominante - 2 min sin peso -6 min con peso pierna dominante -2 min sin peso</p> <p>Instrumental: cinta de correr, sensores de posición y marcadores reflectantes</p>	<p>+ Variabilidad en las tareas con peso en ambos grupos.</p> <p>En PC la variabilidad aumentó más en la pierna dominante que en la no dominante, mientras que en GC mismo incremento en ambas piernas.</p> <p>↑ variabilidad → ↑ exploración → ↑ capacidad de adaptación a la tarea</p>

PC= Parálisis cerebral; GC= Grupo control;  $VM_{AP}$ =Velocidad media anteroposterior;

CoP= Centro de presiones; CoM= Centro de masas;

UPDRS III= Unified Parkinson's Disease Rating Scale portion III;

MMSE= Mini-Mental State Examination;

FoG= Congelación de la marcha;

GMFCS= Gross Motor Function Classification Scale; EMG= Electromiógrafo

Estudios en los que se analiza la influencia de los condicionantes de la tarea en el aprendizaje						
Estudio	H	M	Edad	Población	Evaluación y método	Resultados
Tang et al. (2019)	6	5	11.6 ± 2.7	PC espástica	<p>Variables a medir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Longitud de paso y número de pasos</li> <li>Diferencia en la longitud del paso en situación basal con respecto a las diferentes condiciones (DLP)</li> <li>Actividad electromiográfica</li> <li>Ángulo de articulación cadera-rodilla-tobillo</li> </ul> <p>Tarea: Marcha en cinta con tres tipos de perturbaciones (gradual, abrupta y cargas ruidosas). 3 evaluaciones de una prueba de 12 min caminando en cinta Primer minuto sin perturbaciones, 8 con perturbaciones y un último minuto sin perturbaciones. Instrumental: Acelerómetro, sensores de posición, cinta de correr y EMG</p>	<p>↑ de la longitud el paso y la variabilidad del DLP con los tres tipos de perturbaciones.</p> <p>↑ retención de los cambios provocados por las perturbaciones con la condición gradual que con la abrupta.</p> <p>↑ variabilidad en el DLP podría indicar:</p> <p>↑ adaptación motriz</p> <p>↑ retención en el tiempo</p> <p>La aplicación gradual de la carga durante la fase de impulso sería la más efectiva para incrementar la longitud del paso y durante más tiempo.</p>
Hung et al.(2017)	12	8	SPG 8,6 ± 1,5 UPG 8,3 ± 1,5	20 participantes con PC espástica unilateral	<p>Variables a medir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Coordinación bimanual</li> <li>Tiempo de sincronización</li> <li>Implicación tronco y manos</li> </ul> <p>Tarea: abrir un cajón con la mano menos afectada y meter la mano más afectada para activar un interruptor. 10 participantes SPG y 10 participantes UPG. Ambos grupos practicaron 6 horas al día durante 15 días</p>	<p>Ambos grupos mejoraron la coordinación bimanual y redujeron el tiempo de sincronización.</p> <p>En SPG ↓ la variabilidad y mostraron mejor coordinación temporal y mayor recorrido de las articulaciones.</p>
Merete,Goihl,Braaten & Vereijken (2016)	64	0	PC 11.3 GC 11.7	43 con PC niveles GMFCS I y II 21 GC sanos	<p>Variables a medir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempo de paso a paso (ST)</li> <li>Longitud de paso (SL)</li> <li>Único apoyo (SS)</li> <li>Distancia pie a pie (FO)</li> </ul> <p>Tarea: Caminar a velocidad normal y velocidad rápida.</p>	<p>Los PCs eran más asimétricos y variables que el GC.</p> <p>En PC más velocidad → ↓ asimetría en ST ↓ asimetría en SS ↑ asimetría en SL A mayor velocidad, en PC + variabilidad en SL, mientras que en GC se mantuvo constante la variabilidad y se redujo</p>

					Instrumental: sensores de posición y marcadores reflectantes.	la asimetría en SL.
Rochester et al (2014)	159	146	PD 67.0 ± 10.4 CG 69.4 ± 7.7	121 pacientes con PD  184 personas sanas en el GC	<p>Variables a medir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitación motriz (UPDRS III)</li> <li>• Grado de Párkinson (Hoehn and Yahr)</li> <li>• Equilibrio (ABSCS)</li> <li>• Depresión (GDS)</li> <li>• Velocidad, longitud, tiempo y ancho de paso</li> </ul> <p>Dos tareas: una simple de andar durante dos minutos y una tarea dual (a la tarea simple se le añade el componente cognitivo de recordar dígitos mientras se camina).</p> <p>Instrumental para medir los parámetros relacionados con la marcha: plataforma de presión</p>	<p>No hubo cambios en la variabilidad de la longitud y el tiempo de paso en ambos grupos en la tarea simple.</p> <p>En cambio, ante la tarea dual, el GC incrementó la variabilidad del ancho del paso, mientras que en el grupo PD no cambió en esa variable.</p> <p>No modular la variabilidad está asociado a una menor estabilidad postural y mayor riesgo de caídas en tareas complejas.</p> <p>El grupo PD muestra un déficit coordinativo y dificultades adaptativas ante una tarea dual compleja.</p>
Yogev-Seligmann et al (2012)	7	0	63.8	7 pacientes con PD idiopático	<p>Variables a medir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Función cognitiva</li> <li>• Tiempo de zancada, tiempo de oscilación y velocidad durante la marcha</li> <li>• Equilibrio</li> </ul> <p>Tarea: 4 fases Evaluación inicial(12 sesiones de entrenamiento), Posttest y Retención.</p> <p>Prueba: andar en línea recta de 30 m 1 min. 6 pruebas: 1. Solo andar 2. Andar + decir palabras 3. Andar + decir números 4. Andar + problemas aritméticos 5. Andar + conversación (solo pre y post) 6. Solo andar.</p> <p>Instrumental: Un grabador ambulatorio y fotocélulas</p>	<p>↑ Velocidad de marcha con el entrenamiento</p> <p>↓ Variabilidad de la marcha con el entrenamiento</p> <p>↓ la interferencia de la tarea dual en la velocidad de la marcha con el entrenamiento</p> <p>↓ la variabilidad de zancada de los sujetos con el entrenamiento</p>

PD= Enfermedad de Párkinson; PC= Parálisis Cerebral;

SPG= Grupo práctica estructurada; UPG= Grupo práctica no estructurada;

GMFCS= Gross Motor Function Classification Scale;

UPDRS III= Unified Parkinson's Disease Rating Scale portion III;

DLP= Diferencia en la longitud del paso

#### 4. DISCUSIÓN

A pesar de que se ha estudiado mucho acerca de la etiología, el impacto en la vida diaria, las comorbilidades, los grados de afectación, el tratamiento etc. de patologías de orden neurológico como el Párkinson y la Parálisis Cerebral, se desconoce a ciencia cierta cuál es el rol de la variabilidad en los procesos de adaptación motriz en personas con estos desórdenes, y su posible aplicación durante los protocolos de rehabilitación.

En esta revisión se analiza el papel de la variabilidad en dos habilidades esenciales en la vida diaria como son el control postural y la marcha. Para ello, tendremos que tener en cuenta tanto las características de los sujetos y la patología (variables relacionadas con la variabilidad intrínseca), como las características de la tarea, los instrumentos utilizados y la metodología empleada (variables relacionadas con la variabilidad extrínseca).

##### 4.1. El papel de la variabilidad en el control postural en personas con desórdenes neurológicos

Las personas con Párkinson y PC caen aproximadamente tres veces más que los individuos neurológicamente sanos (Bloem, Hausdorff, Visser, & Giladi, 2004; Christoforetti, Oliani, Gobbi, Gobbi, & Stella, 2006; Pickering et al., 2007). En estudios anteriores, el alto número de caídas en estas poblaciones se ha relacionado con cambios en el control postural (Ashburn, Stack, Pickering, & Ward, 2001) debido a la dificultad de controlar el CoM en relación a los límites de estabilidad (Horak, Dimitrova & Nutt, 2005), por tanto, una asimetría en el control postural, podría estar altamente relacionada con el riesgo de caídas.

En varios de los artículos incluidos en esta revisión, se ha abordado el análisis del control postural en la enfermedad del Párkinson. En dos de ellos, se comparaba el CoP y el CoM en personas con Párkinson con y sin historial de caídas (Beretta et al., 2018) y con y sin FoG (Mezzarobba, Grassi & Valentini, 2018) con sujetos sanos durante tareas de marcha. Mientras que en otro se medía el equilibrio en una tarea dual de marcha más un componente cognitivo (Rochester et al., 2014).

Beretta et al., (2018) corroboran la relación directa entre asimetría en el control postural y riesgo de caídas propuesta en investigaciones anteriores y asocia esta asimetría a una baja variabilidad. Los sujetos con Párkinson con historial de caídas mostraban menor variabilidad y simetría que los que no tenían historial de caídas en la tarea monopodal pero no en tándem o bipedal. Esto podría deberse a que los sujetos con Párkinson usan la pierna menos afectada para compensar las limitaciones de la pierna más afectada (Boonstra et al., 2014; Van Der Kooij et al., 2007). En tareas sencillas como la bipedal o tándem estas estrategias compensatorias son suficientes y efectivas, por eso muestran una baja asimetría en estas tareas (Beretta et al., 2015). Sin embargo, cuando la demanda de la tarea es alta, y requiere de un único apoyo, las personas con Párkinson muestran dificultades para incrementar la variabilidad que les permita llevar a cabo estrategias compensatorias para adaptarse a la exigencia de la tarea, por tanto, se incrementa el riesgo de caída. En esta línea, Rochester et al., (2014) observaron que las personas con Párkinson no eran capaces de incrementar la variabilidad de la longitud del paso ante una tarea dual compleja y esto podría estar asociado a una menor estabilidad y control postural y mayor riesgo de caídas.

Estos estudios indican que la variabilidad puede ser beneficiosa porque permite al individuo explorar el entorno y adoptar estrategias para adaptar sus comportamientos a los cambios del entorno, como ya defendían algunos estudios (Barbado et al., 2012; Davids, Glazier, Araujo, & Bartlett, 2003; Wu et al., 2014). En cambio, en el estudio de Mezzarobba, Grassi & Valentini (2018) se relaciona una mayor variabilidad en el CoP y CoM con un menor control postural en la tarea que consistía en pasar de sentado a caminar. Las diferencias

encontradas en estos estudios podrían deberse a que en los primeros estudios se llevan a cabo tareas de marcha de complejidad creciente, mientras que en este último se ponen en práctica tareas mucho más sencillas que quizá no requerían modular la variabilidad para adoptar estrategias compensatorias que permitan un mayor control postural.

En cuanto a sujetos con PC, solo se incluyó un estudio en la revisión que analiza el control postural. En Hung et al., (2017) se dividía a los participantes en dos grupos, unos realizaban práctica aleatoria y otros estructurada y se medía la coordinación bimanual. Ambos grupos mejoraban en esta variable, pero, además, el grupo que realizaba práctica estructurada reducía su variabilidad y mostraba mejor coordinación temporal y mayor recorrido de las articulaciones como ya ocurría en Brandao et al., (2013). Estudios anteriores ya indicaban que el alto nivel de variabilidad motora podría impedir el aprendizaje durante la adquisición de una nueva habilidad (Damiano, Stanley, Ohlrich, & Alter, 2017; Gofer-Levi, Silberg, Brezner, & Vakil, 2013). Por lo tanto, la práctica constante podría ser más beneficiosa en esta población para mejorar esta habilidad (Gofer-Levi et al., 2013).

#### **4.2. El papel de la variabilidad en la marcha en personas con desórdenes neurológicos**

El 90% de los niños diagnosticados con PC tienen dificultades para caminar (Hutton & Pharoah, 2002; Pharoah, Cooke, Johnson, King, & Mutch, 1998). En el caso de las personas con Párkinson, más del 60% padece congelación de la marcha (Bloem et al., 2004). Caminar juega un papel fundamental en el desarrollo saludable de los huesos (Wilmshurst, Ward, Adams, Langton & Mughal, 1996) y en la resistencia cardiopulmonar (Chien, Chou, Ko & Lee, 2006). Además, las personas con Párkinson y PC deambulantes son más independientes en las actividades de la vida diaria y en la participación en la vida social que los que usan silla de ruedas (Lepage, Noreau & Bernard, 1998; Mitchell, Ziviani & Boyd, 2015).

En la mayoría de estudios que analizan la marcha miden la longitud del paso, el tiempo de oscilación, la velocidad de la marcha y el ángulo de la articulación cadera-rodilla-tobillo en tareas de marcha en las que se modifican aspectos como: la velocidad o la aplicación de perturbaciones en el patrón de movimiento mediante la adhesión de peso en los miembros inferiores.

En sujetos con Párkinson se ha visto que un incremento de velocidad en la marcha está asociado a un menor riesgo de caídas (Paul et al., 2013). En esta revisión sólo se incluyeron dos artículos que analizaran la variabilidad de la marcha en esta población. Por un lado, Yogev-Seligmann et al., (2012) encontraron que la velocidad de la marcha se incrementaba durante el entrenamiento y que estaba asociado a un descenso de la variabilidad de zancada. En este caso, parece que una reducción de la variabilidad, podría reducir el riesgo de caídas. Por otro lado, Rochester et., (2014) mostraron que ante una tarea dual compleja de marcha los individuos del GC incrementaron su variabilidad en la longitud del paso para adaptarse a las demandas de la tarea, mientras que los individuos con Párkinson eran incapaces de modular su variabilidad, lo que se interpretó como una incapacidad para adaptarse a las nuevas condiciones. Estos resultados son similares a los encontrados en los estudios del control postural. No se pueden extraer conclusiones generales por la escasez de artículos analizados acerca de la variabilidad de la marcha en sujetos con Párkinson, pero en Rochester et., (2014), se analizan más sujetos y hay una comparativa con un grupo control, por lo que podría ser más representativo de lo que ocurre en esta población. En cualquier caso, es necesario realizar más estudios para aclarar qué ocurre con esta variable durante la marcha en sujetos con Párkinson.

Por otro lado, las personas con PC, al contrario que lo que indicaban Yogev-Seligmann et al., (2012) respecto los individuos con Párkinson, parecen reducir la velocidad de la marcha para mejorar la estabilidad y al mismo tiempo aumentan la variabilidad cinemática de paso a paso (Dingwell & Cusumano, 2000). En cambio, en estudios más recientes como el de Merete,



Goihl, Braaten & Vereijken (2016) se ha encontrado que a mayor velocidad de paso los PC incrementaban la variabilidad y reducían la simetría en la longitud del paso mientras que el grupo control no modificaba la variabilidad y aumentaban la simetría con el incremento de velocidad. Por lo que incrementar la velocidad del paso en PC parece ser perjudicial.

Los estudios de Damiano et al., (2017) y Bulea et al., (2017) mostraron que tanto el GC como el grupo PC aumentaban la variabilidad de la longitud del paso como respuesta ante las perturbaciones causadas por el peso. El grupo PC incrementaba más la variabilidad en la pierna dominante que en la no dominante, mientras que el grupo control la incrementaba en ambas piernas por igual. Esto puede deberse a que los sujetos con PC tenían hemiparesia y en la pierna afectada el incremento de la variabilidad se veía limitado. En estos estudios, una mayor variabilidad se asociaba a una mayor exploración y una mayor adaptación a la tarea, como se vio también en el estudio de Tang et al., (2019), que además indica que un incremento gradual de las perturbaciones durante la fase de impulso sería la forma más eficaz de prolongar las adaptaciones de la longitud del paso en el tiempo.

En cambio, Kim et al., (2018) analizaron las sinergias musculares durante la zancada y encontraron que el grupo PC incrementaba la variabilidad en el número de sinergias musculares respecto al grupo control. Esto podría estar relacionado con un patrón de marcha más inmaduro y deficiente, puesto que se producen procesos de coactivación muscular y no son capaces de coordinar y disociar movimientos.

#### **4.3. Conclusiones y limitaciones**

Tras la presente revisión bibliográfica, podemos concluir que las personas con Párkinson, ya sea en tareas de marcha o control postural, parecen mostrar dificultades para modular la variabilidad y adaptarse a tareas complejas, por lo que el entrenamiento en variabilidad en esta población podría favorecer la exploración y facilitar los procesos adaptativos. Aunque la escasez de estudios de variabilidad de la marcha en personas con Párkinson ha supuesto una limitación para sacar conclusiones.

Las conclusiones en PC son difusas, por varias razones. En primer lugar, en los estudios se analiza la variabilidad de diferentes parámetros de la marcha y el control postural. En algunos estudios se analiza la variabilidad de la longitud del paso, mientras que en otros la variabilidad analizada es sobre las sinergias musculares. Puede ocurrir que la variabilidad de una o otra variable afecte de diferente forma al control del movimiento y las adaptaciones a diferentes situaciones. Sería necesaria la realización de estudios que analizaran qué variables son las que están más relacionadas con la incidencia de caídas, y ver cómo influye la variabilidad en esas variables para establecer conclusiones. Además, otro factor limitante en la extracción de conclusiones es que había pocos estudios que analizaran la variabilidad del control postural en PC.

Con todo y con ello, parece que, en contraposición con las personas con Párkinson, los individuos con PC sí que son capaces de cambiar la variabilidad para adaptarse a las exigencias de la tarea, pero muestran una alta variabilidad intrínseca que podría dificultar el aprendizaje. Por ello, en esta población sería recomendable el entrenamiento en consistencia para un mayor aprendizaje motriz.

#### **5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN**

A día de hoy, en la literatura científica, la presencia de estudios que lleven a cabo una intervención en poblaciones con desórdenes neurológicos en donde comparen los resultados de distintos tipos de entrenamiento con aplicación o no de variabilidad es escasa. Si ya en poblaciones sin patología, el entrenamiento en variabilidad genera controversia, en poblaciones neuropatológicas está en ciernes. Es necesaria más investigación acerca de las



patologías, la variabilidad en estas poblaciones y su relación con los procesos internos que modulan el aprendizaje. Por ello, lanzar una propuesta de intervención sin un respaldo científico detrás sería demasiado atrevido que comprometería el rigor científico que caracteriza a una revisión bibliográfica.

En base a las conclusiones extraídas en esta revisión, y teniendo en cuenta los ejercicios que se emplean para trabajar el control postural y la marcha en poblaciones sanas, vamos a indicar ejercicios que podrían ser interesantes para mejorar la marcha y el control postural en personas con Párkinson y PC. Aunque cabría constatar su efecto en posteriores investigaciones.

### **Estrategias para mejorar el control postural y la marcha en personas con Párkinson**

- Control postural:

- Equilibrio en plataformas inestables.
- Vibración.
- Tareas duales.
- Variaciones en el tamaño de la base de sustentación

- Marcha:

- Marcha con obstáculos.
- En distintas direcciones (lateral, hacia delante, hacia atrás etc.).
- Distintas pendientes.
- Diferentes superficies.
- Distintas velocidades.

En definitiva, todas aquellas tareas que, sin comprometer la seguridad, modifiquen la longitud del paso, la velocidad de la marcha, la activación y coordinación muscular etc. y obliguen a las personas con Párkinson a explorar las diferentes posibilidades motrices, gracias a la aplicación de la variabilidad, para adaptarse a la tarea.

### **Estrategias para mejorar el control postural y la marcha en personas con PC**

- Control postural:

- Las mismas que para las personas con Párkinson

-Marcha:

- Caminar en cinta.
- Caminar con peso en las piernas.
- Marcha más tarea de coordinación manual.
- En distintas direcciones (lateral, hacia delante, hacia atrás etc.).

El aspecto relevante en PC, más que el tipo de tarea, es la necesidad de la repetición sostenida en el tiempo de una tarea para favorecer el aprendizaje. El aprendizaje es más lento y es necesaria la consistencia en la tarea.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Ashburn, A., Stack, E., Pickering, R.M., & Ward, C.D. (2001). A community-dwelling sample of people with Parkinson's disease: Characteristics of fallers and non-fallers. *Age and Ageing*, 30, 47–52.
- Barbado, D., Caballero, C., Moreside, J. M., Vera-García, F. J., & Moreno, F. J. (2017). Can be the structure of motor variability predict learning rate? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(3), 596-607.
- Barbado, D., Sabido, R., Vera-Garcia, F. J., Gusi, N., & Moreno, F. J. (2012). Effect of increasing difficulty in standing balance tasks with visual feedback on postural sway and EMG: complexity and performance. *Human of Movement Science*, 31(5), 1224-1237. doi:10.1016/j.humov.2012.01.002
- Bauer, H. U., & Schöllhorn, W. (1997). Self-Organizing Maps for the Analysis of Complex Movement Patterns. *Neural Processing Letters*, 5, 193-199.
- Beretta, V. S., Barbieri, F. A., Orcioli-Silva, D., dos Santos, P. C. R., Simieli, L., Vitório, R., & Gobbi, L. T. B. (2018). Can Postural Control Asymmetry Predict Falls in People With Parkinson's Disease? *Motor Control*, 22(4), 449–461. <https://doi.org/10.1123/mc.2017-0033>
- Bloem, B.R., Hausdorff, J.M., Visser, J.E., & Giladi, N. (2004). Falls and freezing of gait in Parkinson's disease: A review of two interconnected, episodic phenomena. *Movement Disorders*, 19(8), 871–884.
- Boonstra, T.A., Schouten, A.C., van Vugt, J.P., Bloem, B.R., & van der Kooij, H. (2014). Parkinson's disease patients compensate for balance control asymmetry. *Journal of Neurophysiology*, 112, 3227–3239.
- Brændvik, S. M., Gøihl, T., Braaten, R. S., & Vereijken, B. (2016). Does increased gait speed decrease gait asymmetry and variability in children with cerebral palsy? *Gait & Posture*, 49, 233. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.07.286>
- Bulea, T. C., Stanley, C. J., & Damiano, D. L. (2017). Part 2: Adaptation of Gait Kinematics in Unilateral Cerebral Palsy Demonstrates Preserved Independent Neural Control of Each Limb. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11(February), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00050>
- Caballero, C., Moreno, F., Reina, R., Roldán, A., Coves, Á., & Barbado, F. (2017). The role of motor variability in motor control and learning depends on the nature of the task and the individual's capabilities. *European Journal of Human Movement*, (38), 12–26.
- Camacho, A., Pallás, C. R., De La Cruz, J., Simón, R., & Mateos, F. (2007). Parálisis cerebral: Concepto y registros de base poblacional. *Revista de Neurología*, 45(8), 503–508. <https://doi.org/rn2007309> [pii]

- Cano-de-la-Cuerda, R., Molero-Sánchez, A., Carratalá-Tejada, M., Alguacil-Diego, I. M., Molina-Rueda, F., Miangolarra-Page, J. C., & Torricelli, D. (2015). Teorías y modelos de control y aprendizaje motor. Aplicaciones clínicas en neurorrehabilitación. *Neurología*, *30*(1), 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2011.12.010>
- Cano de la Cuerda, R., Macías Jiménez, A. I., Crespo Sánchez, V., & Morales Cabezas, M. (2013). Escalas de valoración y tratamiento fisioterápico en la enfermedad de Parkinson. *Fisioterapia*, *26*(4), 201–210. [https://doi.org/10.1016/s0211-5638\(04\)73104-1](https://doi.org/10.1016/s0211-5638(04)73104-1)
- Chien, L. Y., Chou, Y. H., Ko, Y. L., & Lee, C. F. (2006). Health-related quality of life among 3–4-year-old children born with very low birthweight. *Journal of Advanced Nursing*, *56*(1), 9–16.
- Chu, V. W., Sternad, D., & Sanger, T. D. (2013). Healthy and dystonic children compensate for changes in motor variability. *Journal of Neurophysiology*, *109*(8), 2169–2178. doi:10.1152/jn.00908.2012
- Christofolletti, G., Oliani, M.M., Gobbi, L.T.B., Gobbi, S., & Stella, F. (2006). Risco de quedas em idosos com doença de Parkinson e demência de Alzheimer: um estudo transversal [Risk of falls among elderly people with Parkinson's disease and Alzheimer's dementia: A cross-sectional study]. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, *10*(4), 429–433.
- Damiano, D. L., Stanley, C. J., Bulea, T. C., & Park, H. S. (2017). Motor Learning Abilities Are Similar in Hemiplegic Cerebral Palsy Compared to Controls as Assessed by Adaptation to Unilateral Leg-Weighting during Gait: Part I. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*(February), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00049>
- Davids, K., Glazier, P., Araujo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems: the functional role of variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine*, *33*(4), 245–260.
- Dingwell, J. B., & Cusumano, J. P. (2000). Nonlinear time series analysis of normal and pathological human walking. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, *10*(4), 848–863.
- Edwards, C., & Hodges, N. (2012). Acquiring a novel coordination movement with non-task goal related variability. *The Open Sports Sciences Journal*, *5*, 1–M7.
- Fernández-Tresguerres, J.A. (1999). *Fisiología humana*. España: McGraw-Hill.
- Gagnon, C., Lavoie, C., Lessard, I., Mathieu, J., Brais, B., Bouchard, J. P. & Lambercy, O. (2014). The Virtual Peg Insertion Test as an assessment of upper limb coordination in ARSACS patients: a pilot study. *Journal of Neurology Science*, *347*(1-2), 341–344. doi:10.1016/j.jns.2014.09.032
- García-Herrero, J. A., Sabido, R., Barbado, D., Martínez, I., & Moreno, F. J. (2016). The load of practice variability must be regulated in relation with learner expertise. *International Journal of Sport Psychology*, *47*(6), 559–570.

- Gofer-Levi, M., Silberg, T., Brezner, A., & Vakil, E. (2013). Deficit in implicit motor sequence learning among children and adolescents with spastic cerebral palsy. *,34(11), 3672-3678.*
- Groenewegen, H. J. (2003). The basal ganglia and motor control. *Neural plasticity, 10(1-2), 107-120.*
- Hernandez-Davo, H., Urban, T., Sarabia, J. M., Juan-Recio, C., & Moreno, F. J. (2014). Variable training: effects on velocity and accuracy in the tennis serve. *Journal of Sports Science, 32(14), 1383-1388.* doi:10.1080/02640414.2014.891290
- Horak, F.B., Dimitrova, D., & Nutt, J.G. (2005). Direction-specific postural instability in subjects with Parkinson's disease. *Experimental Neurology, 193, 504-521.*
- Hung, Y. C., Brandão, M. B., & Gordon, A. M. (2017). Structured skill practice during intensive bimanual training leads to better trunk and arm control than unstructured practice in children with unilateral spastic cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities, 60, 65-76.* <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.11.012>
- Hutton, J. L., & Pharoah, P. O. (2002). Effects of cognitive, motor, and sensory disabilities on survival in cerebral palsy. *Archives of Disease in Childhood, 86(2), 84-89.*
- Hung, Y. C., & Gordon, A. M. (2013). Motor learning of a bimanual task in children with unilateral cerebral palsy. *Res Dev Disabil, 34(6), 1891-1896.* doi:10.1016/j.ridd.2013.03.008
- Izawa, J., & Shadmehr, R. (2011). Learning from sensory and reward prediction errors during motor adaptation. *PLoS Computational Biology, 7(3), 1-12.* <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002012>
- Kim, S. D., Allen, N. E., Canning, C. G., & Fung, V. S. C. (2018). Parkinson disease. *Handbook of Clinical Neurology, 159, 173-193.* <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63916-5.00011-2>
- Kim, Y., Bulea, T. C., & Damiano, D. L. (2018). Children With Cerebral Palsy Have Greater Stride-to-Stride Variability of Muscle Synergies During Gait Than Typically Developing Children: Implications for Motor Control Complexity. *Neurorehabilitation and Neural Repair, 32(9), 834-844.* <https://doi.org/10.1177/1545968318796333>
- Lepage, C., Noreau, L., & Bernard, P. M. (1998). Association between characteristics of locomotion and accomplishment of life habits in children with cerebral palsy. *Physical Therapy, 78(5), 458-469.*
- Love, S., Mclaughlin, J., & Brien, G. O. (2015). *The Definition and Classification of Cerebral Palsy Contents.* (December).
- Menayo, R., Moreno, F., Fuentes, J., Reina, R., & Damas, J. S. (2012 ). Relationship between motor variability, accuracy and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics,, 33, 45-53.*
- Mezzarobba, S., Grassi, M., Valentini, R., & Bernardis, P. (2018). Postural control deficit during sit-to-walk in patients with Parkinson's disease and freezing of gait. *Gait and Posture, 61, 325-330.* <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.01.032>

- Mitchell, L. E., Ziviani, J., & Boyd, R. N. (2015). Characteristics associated with physical activity among independently ambulant children and adolescents with unilateral cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 57(2), 167–174.
- Moreno, F. J., & Ordoño, E. M. (2015). Variability and practice load in motor learning. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 39(11), 62-78.
- Morton, S. M., & Bastian, A. J. (2004). Cerebellar control of balance and locomotion. *Neuroscientist*, 10(3), 247-259. doi:10.1177/1073858404263517
- Palisano, R. J., Rosenbaum, P., Bartlett, D., & Livingston, M. H. (2008). Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification System. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 50(10), 744–750. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.03089.x>
- Paul, S.S., Canning, C.G., Sherrington, C., Lord, S.R., Close, J.C., & Fung, V.S. (2013). Three simple clinical tests to accurately predict falls in people with Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 28(5), 655–662.
- Pekny, S. E., Izawa, J., & Shadmehr, R. (2015). Reward-Dependent Modulation of Movement Variability. *Journal of Neuroscience*, 35(9), 4015–4024. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.3244-14.2015>
- Pharoah, P. O., Cooke, T., Johnson, M. A., King, R., & Mutch, L. (1998). Epidemiology of cerebral palsy in England and Scotland, 1984–9. *Archives of Disease in Childhood Fetal and Neonatal Edition*, 79(1), F21–25.
- Pickering, R.M., Grimbergen, Y.A., Rigney, U., Ashburn, A., Mazibrada, G., Wood, B.,...Bloem, B.R. (2007). A meta-analysis of six prospective studies of falling in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 22, 1892–1900.
- Póo, P. (2008). Parálisis cerebral infantil. *Hospital Sant Joan de Dèu*, (Tabla I), 271–278. Retrieved from [www.aeped.es/protocolos/](http://www.aeped.es/protocolos/)
- Savelsbergh, G. J., Kamper, W. J., Rabijs, J., De Koning, J. J., & Schöllhorn, W. (2010). A new method to learn to start in speed skating: A differential learning approach. *International Journal of Sport Psychology*, 41(4), 415-427.
- Schöllhorn, W. I., Beckmann, H., & Davids, K. (2010). Exploiting system fluctuations. Differential training in physical prevention and rehabilitation programs for health and exercise. *Medicina (Kaunas)*, 46(6), 365-373.
- Schöllhorn, W. I., Beckmann, H., Janssen, D., & Drepper, J. (2010). Stochastic perturbations in athletics field events enhance skill acquisition. In I. Renshaw, K. Davids, & G. J. Savelsbergh (Eds.), *Motor learning in practice: A constraints-led approach*. Chicago: Routledge.
- Shea, C. H., Lai, Q., Wright, D. L., Immink, M., & Black, C. (2001). Consistent and variable

practice conditions: effects on relative and absolute timing. *Journal of Motor Behavior*, 33(2), 139-152. doi:10.1080/00222890109603146

Shmuelof, L., Krakauer, J. W., & Mazzoni, P. (2012). How is a motor skill learned? Change and invariance at the levels of task success and trajectory control. *Journal of Neurophysiology*, 108(2), 578-594. doi:10.1152/jn.00856.2011

Ramayya, A. G., Misra, A., Baltuch, G. H., & Kahana, M. J. (2014). Microstimulation of the human substantia nigra alters reinforcement learning. *Journal of Neuroscience*, 34(20), 6887-6895. doi:10.1523/JNEUROSCI.5445-13.2014

Rochester, L., Galna, B., Lord, S., & Burn, D. (2014). The nature of dual-task interference during gait in incident Parkinson's disease. *Neuroscience*, 265, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.01.041>

Rosenbaum, P. et al. (2007). A report: the definition and classification of cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol. Suppl.*, 109, 8-14.

Schneider, R. B., Iourinets, J., & Richard, I. H. (2017). Parkinson's disease psychosis: presentation, diagnosis and management. *Neurodegenerative Disease Management*, 7(6), 365-376. <https://doi.org/10.2217/nmt-2017-0028>

Stergiou, N., & Decker, L. M. (2011). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection? *Human Movement Science*, 30(5), 869-888. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.06.002>

Stergiou, N., Harbourne, R., & Cavanaugh, J. (2006). Optimal movement variability: a new theoretical perspective for neurologic physical therapy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(3), 120-129.

Tang, R., Kim, J., Gaebler-Spira, D. J., & Wu, M. (2019). Gradual increase of perturbation load induces a longer retention of locomotor adaptation in children with cerebral palsy. *Human Movement Science*, 63(November 2018), 20-33. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.11.006>

Therrien, A. S., Wolpert, D. M., & Bastian, A. J. (2016). Effective reinforcement learning following cerebellar damage requires a balance between exploration and motor noise. *Brain*, 139(Pt 1), 101-114. doi:10.1093/brain/awv329

Van Der Kooij, H., van Asseldonk, E.H., Geelen, J., van Vugt, J.P., & Bloem, B.R. (2007). Detecting asymmetries in balance control with system identification: First experimental results from Parkinson patients. *Journal of Neural Transmission*, 114(10), 1333-1337.

Wilmshurst, S., Ward, K., Adams, J. E., Langton, C. M., & Mughal, M. Z. (1996). Mobility status and bone density in cerebral palsy. *Archives of Disease in Childhood*, 75(2), 164-165.

Wu, H. G., Miyamoto, Y. R., Gonzalez Castro, L. N., Olveczky, B. P., & Smith, M. A. (2014). Temporal structure of motor variability is dynamically regulated and predicts motor learning ability. *Nature Neuroscience*, 17(2), 312-321. doi:10.1038/nn.3616

Yogev-Seligmann, G., Giladi, N., Brozgov, M., & Hausdorff, J. M. (2012). A training program to

improve gait while dual tasking in patients with Parkinson's disease: A pilot study.  
*Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(1), 176–181.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.06.005>

Zipp, G. P., & Gentile, A. (2010). Practice schedule and the learning of motor skills in children and adults: teaching implications. *Journal of college Teaching and Learning*, 7(2), 35.

