

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



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

TRABAJO FIN DE GRADO

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE EL APRENDIZAJE
EN HABILIDADES OCULOMANUALES.
REVISIÓN DE PROTOCOLOS DE MEDIDA

Alumno: Alfonso Sanjuán Sanjuán

Tutor académico: Carla Caballero Sánchez

Curso Académico: 2022-2023

ÍNDICE

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	3
METODOLOGÍA.....	4
RESULTADOS	5
DISCUSIÓN.....	11
PROPUESTA PRÁCTICA	12
REFERENCIAS	13



RESUMEN

El aprendizaje motor tiene gran importancia en la vida de las personas debido a su implicación en diferentes ámbitos, como aprender tareas sencillas o recuperar funciones tras un accidente. Es por ello, que al ser un campo tan amplio surgen diferentes definiciones, conceptos y metodologías. El objetivo de esta revisión es, por un lado, revisar las diferentes terminologías utilizadas referentes al aprendizaje, y, por otro lado, ver si este proceso es realmente aprendizaje o una adquisición de habilidades. Este proceso, se ha observado en particular, sobre las acciones de coordinación oculomanuales al ser estas acciones indispensables en la vida diaria. Para ello se ha llevado a cabo una revisión de la literatura científica publicada en los diez últimos años destinada a estudiar esta temática, con la finalidad de analizar los diferentes protocolos realizados para medir el aprendizaje motor. El resultado de esta revisión muestra que hay una amplia heterogeneidad en los protocolos de aprendizaje y en la terminología utilizada, aunque si muestran en común los test y test de retención.

Palabras clave: aprendizaje motor, adquisición, habilidades, test de retención.

INTRODUCCIÓN

Una característica esencial del ser humano es el aprendizaje, que nos permite adquirir conocimientos, habilidades, actitudes, etc. a lo largo de la vida. Es una capacidad intrínseca que nos permite adaptarnos al entorno en el que vivimos.

En particular, el aprendizaje motor es un proceso complejo que se produce en el sistema nervioso central y periférico, y que implica cambios en la estructura y función de las neuronas, la organización de los patrones motores y la coordinación de los movimientos musculares (Schmidt et al., 2019). Este proceso se logra a través de la práctica, la experiencia y la retroalimentación, y puede estar influenciado por factores cognitivos, emocionales y motivacionales (Wulf & Lewthwaite, 2016). Es por ello, que al ser un concepto tan amplio podemos encontrar autores que enfocan este proceso desde diferentes perspectivas. Podemos ver enfoques más cognitivos, como ocurre con la Teoría del Esquema Motor de Schmidt (1975), definiendo el aprendizaje motor como los procesos que ocurren de manera interna, consecuencia de la práctica, produciendo un cambio relativamente permanente en sus esquemas motores. También podemos encontrar perspectivas que involucran al entorno como es la Teoría de los Sistemas Dinámicos, entendiendo el aprendizaje motor como una lucha interna entre el individuo, la tarea y el entorno, que finalmente provocan un estado de alarma permitiendo al deportista adaptarse a las nuevas tareas propuestas. En referencia a lo anterior, podemos ver que hay diferencias entre los que hablan de aprendizaje y adquisición. Los autores que hablan de aprendizaje consideran que este debe caracterizarse porque da como resultado un cambio que dura más que el período de formación (Schmidt y Lee, 2005), a diferencia de la adquisición, que puede ocurrir dentro de una sola sesión (Kitago & Krakauer, 2013). Sin embargo, la adaptación puede entenderse como el aprendizaje de una nueva relación entre movimientos bien aprendidos y un nuevo objetivo (Krakauer, 2009). Por el contrario, el aprendizaje de habilidades implica adquirir nuevos patrones de activación muscular y lograr un mayor nivel de rendimiento al reducir los errores sin reducir la velocidad de movimiento (Shmuelof et al., 2012).

El aprendizaje motor tiene importantes implicaciones en diversas áreas, incluyendo el deporte, la rehabilitación y la educación física. En el ámbito deportivo, el aprendizaje motor se utiliza para mejorar el rendimiento de los atletas y desarrollar nuevas habilidades y estrategias de juego (Slimani et al., 2016). En cambio, en la rehabilitación el aprendizaje motor se emplea para ayudar a los pacientes a recuperar la función motora después de lesiones o enfermedades (Cano-De-La-Cuerda et

al., 2015). Asimismo, en el ámbito de la educación física permite mejorar la calidad del movimiento y la eficacia de las actividades físicas en los estudiantes (Robinson et al., 2015).

Por otro lado, las acciones oculomanuales son una combinación de movimientos oculares y movimientos manuales que se utilizan para interactuar con un objeto o tarea en el entorno. Estas acciones pueden incluir mirar y señalar un objeto, mirar y tocar un objeto, o seguir un objeto con los ojos mientras se realiza una acción manual. Según Zimerman et al. (2013), este tipo de acciones resultan cada vez más importantes en una población cada vez más envejecida y que necesita aprender a manejar diferentes tipos de dispositivos electrónicos con el fin de mejorar su calidad de vida. En definitiva, las acciones oculomanuales son de gran importancia para la vida diaria ya que sin ellas no podríamos realizar tareas tan sencillas como preparar la comida (Hayhoe et al., 2003), lavarnos las manos (Pelz & Canosa, 2001) o practicar deportes (Land & McLeod, 2000).

En relación a todo lo anterior, esta revisión surge con el propósito de averiguar cuáles son los protocolos a seguir a la hora de realizar pruebas de laboratorio que pretenden medir si hay, o no, aprendizaje, particularmente sobre acciones oculomanuales. También se pretende conocer cuáles son los tiempos que se suelen utilizar para adquirir o aprender una nueva habilidad, así como cual es la forma en la que se mide.

METODOLOGÍA

Para la realización de la presente revisión sistemática se han seguido los criterios incluidos en la declaración PRISMA (Moher et al., 2009; Urrútia & Bonfill, 2010). Se ha llevado a cabo una revisión sistemática de la literatura científica relacionada con el campo del aprendizaje motor. Para ello se realizó una búsqueda en la base de datos de PubMed. Para la búsqueda sistemática se utilizó la siguiente fórmula de palabras clave: (motor learning OR adaptation OR skill acquisition OR motor control OR retention) AND (visuomotor OR visual-motor) AND (visuomotor OR visual-motor) AND (visuomotor OR visual-motor).

Por otro lado, los criterios de inclusión fueron los siguientes:

1. Artículos desde 2013 en adelante.
2. Artículos que realicen pre test, post test y test de retención.
3. Artículos que midan acciones oculomanuales.

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

1. Artículos con personas con discapacidad o enfermedades.
2. Artículos que utilizaran electro estimulación.

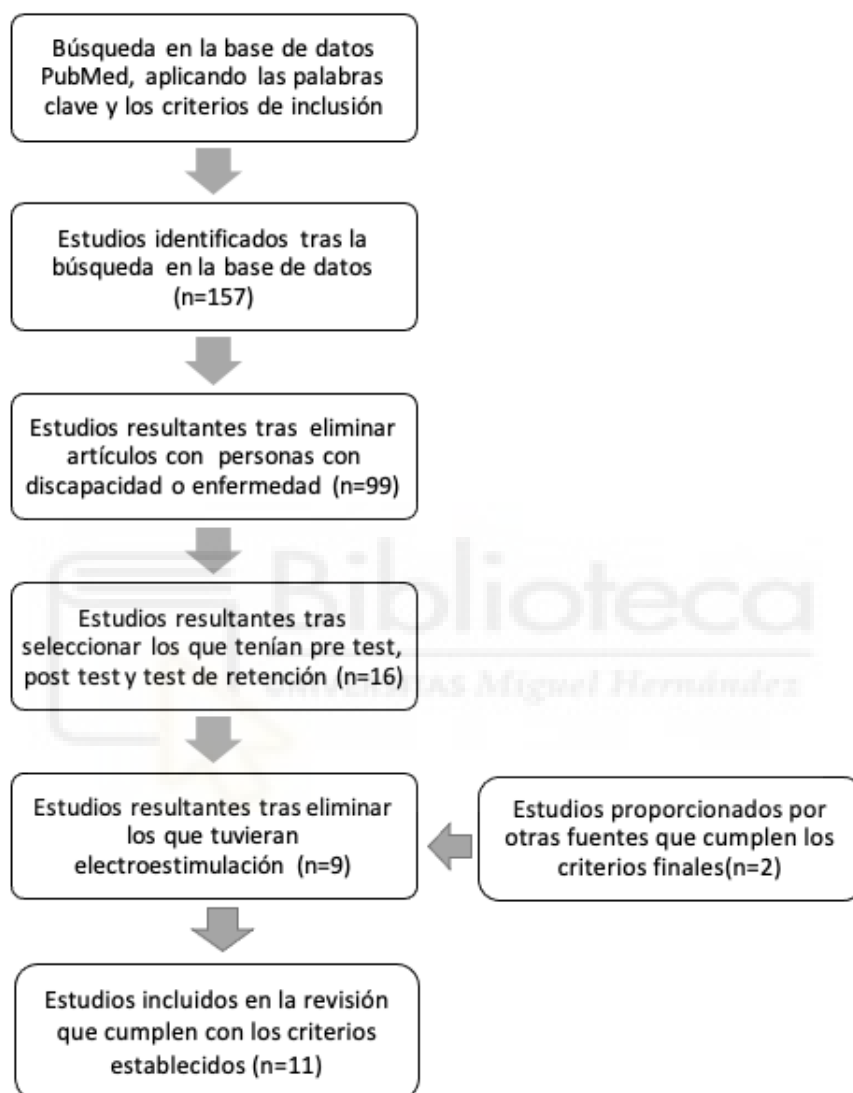
Tras acordar todos los criterios de selección y las palabras clave obtuvimos un total de 157 artículos. Después de revisar estos 157 artículos se descartaron un total de 58 ya que presentaban población con enfermedades o personas con discapacidad. Seguidamente se revisaron los artículos que tuvieran pre test, post test y test de retención, ya que para saber si había habido aprendizaje necesitábamos que hubiera un test de retención para conocer si el aprendizaje se había mantenido en el tiempo. Esto hizo que el número de artículos seleccionados se redujese a 16. A continuación, se eliminaron 7 estudios por haber utilizado la estimulación transcraneal, de manera que de esta búsqueda finalmente fueron seleccionados 9 artículos. A esta selección de estudios se añadieron otros 2 mediante búsqueda manual a través de otras fuentes, que también cumplían con nuestros criterios de selección.

Por último, en el proceso de selección de los artículos vemos que una gran cantidad de ellos fueron eliminados por no tener pre test, post test o test de retención. Si es cierto que hay artículos que no realizan test de retención y se habla de adquisición de habilidades (Panico et al., 2018), pero otros si hablan de aprendizaje sin tener test de retención (Harada et al., 2020; Vollmann et al., 2013)

e incluso podemos encontrar estudios sin pre y post test y que hablan de retención a corto plazo (Lum et al., 2018). Como podemos observar hay una gran heterogeneidad entre los protocolos para medir este proceso.

Figura 1

Diagrama de flujo donde se muestra el proceso de selección de los artículos científicos.



RESULTADOS

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los artículos seleccionados en la revisión.

Tabla 1

Resultados de los artículos seleccionados en la revisión.

AUTOR/AÑO	OBJETIVO	POBLACION	MATERIAL Y VARIABLES	PROTOCOLO	RESULTADO
Hung et al. (2021)	Determinar el efecto del descanso versus el ejercicio aeróbico en la retención de habilidades motoras.	n=45 (20-29 años) 23 hombres 22 mujeres	MATERIAL: Para la prueba visomotora se utilizó un dinamómetro que se usaba con el dedo pulgar y el índice y se traducía en el movimiento vertical de una pelota. Para la tarea aeróbica se usó un cicloergómetro. TAREA: VARIABLES: el rendimiento de la tarea visomotora se evaluó mediante tiempo en el objetivo. Y la tarea aeróbica se evaluó mediante la frecuencia cardiaca y el RPE.	Día 1: entrevista. Día 2: pre test de 20 intentos + práctica de 6 series/20 intentos + post test de 20 intentos de la tarea visomotora + el HIIT (10x1min/1min descanso) o descanso, según el grupo. Día 3: 24h después se hizo un test de retención y después 3 series de 20 intentos para ver si estaban en su techo.	Mejoraron significativamente el rendimiento de las habilidades motoras durante la adquisición pero no hubo diferencias grupales en la retención de habilidades motoras a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el ejercicio o el nivel de aptitud aeróbica no modificaron la retención de habilidades motoras.
Ju et al. (2018)	Investigar si el entrenamiento de lucha en niños tiene efecto en el rendimiento visomotor.	n=56 (9-12 años) 33 niños 23 niñas	MATERIAL: para la prueba ocular se utilizó una pantalla que se iluminaba y un rastreador de ocular. TAREA: Los sujetos debían mirar lo más rápido posible el objeto que se iluminara en la pantalla. Se midió la latencia de inicio y duración del movimiento sacádico del ojo dominante. Para la prueba motora se utilizó una pantalla con 20 recuadros que se iluminaban y debían tocarse con la mano dominante. VARIABLES: Se evaluó el tiempo que se tardaba entre golpes.	Se estableció un grupo control y un grupo que realizaba entrenamiento de lucha: 2 sesiones de 40 min/semana durante 8 semanas. Se realizaron las siguientes medidas: 1: 8 semanas antes del entrenamiento 2: 1 día antes del entrenamiento 3: 1 semana después del entrenamiento	Se observó que ambos grupos mejoraron tanto en la tarea visual como en la motora, siendo el grupo de entrenamiento de combate el que más mejoró.
Ferrer-Uris et al. (2017)	Observar el efecto de una sola sesión de ejercicio intenso sobre la	n=29 (21 años) 21 hombres 8 mujeres	MATERIAL: pantalla de 19 pulgadas y un joystick que se	Sesión 1: entrevista y antropometría. Sesión 2:	Se determinó que una sesión aguda de ejercicio intenso podría afectar

	adaptación y consolidación de una tarea visomotora rotacional.		agarraba con la mano derecha en forma de garra. TAREA: había que mover un círculo hasta el centro de la diana. La prueba física fue un HIIT de 13min en 20 m con cambios de dirección al 85% de VO ₂ max. VARIABLES: Se evaluó el porcentaje de error al centro de la circunferencia.	Grupo1: HIIT + prueba visomotora Grupo2: prueba visomotora + HIIT Grupo 3: prueba visomotora. Después de 1h test de retención. Sesión 3: test de retención 24h después Sesión 4: test de retención 7 días después.	positivamente la retención, aunque el orden en que se presenta el ejercicio no parece influir en sus beneficios durante las primeras etapas de consolidación.
Bootsma et al. (2018)	Determinar los efectos de la dificultad de la tarea funcional en la adquisición, retención y transferencia de habilidades motoras.	n=36 hombres	MATERIAL: iPad air 2, un espejo, un lápiz óptico y un cartón. TAREA: dibujo/seguimiento de estrellas con un nivel de dificultad bajo, medio y difícil definido por el ancho de banda de la estrella. VARIABLES: Se midió el tiempo que se tardaba en dibujar una figura, el porcentaje de error y el tiempo en movimiento.	Los sujetos se asignaron aleatoriamente a uno de los 3 grupos de dificultad. Todas las pruebas se desarrollaban en su nivel de dificultad asignado. Día 1: pre test (10 intentos) + práctica (160 intentos) + post test y test de retención (10 intentos). Día 2: 24 h después otro test de retención (10 intentos).	La dificultad de la tarea afectó al rendimiento motor, pero no afectó al aprendizaje motor y la transferencia. El nivel de habilidad inicial no correlacionó significativamente con la magnitud del aprendizaje en aquellos grupos que practicaron la tarea en el nivel de dificultad media y alta.
Lauber et al. (2013)	Observar si la retención de una tarea se puede perder al aprender otra y si esto también puede tener interferencia en la extremidad contralateral.	n=55 31 hombres 24 mujeres	MATERIAL: Ordenador, joystick, dinamómetro para medir la fuerza desarrollada. TAREA 1: aplicación de fuerza sobre un joystick de forma isométrica con la mano dominante y sentados, esta se llamó tarea principal. TAREA 2: seguimiento de una curva generada por ordenador	Se formaron 5 grupos. Pres test: de 5 contracciones y 3 min descanso. Práctica: 2 bloques de 30 contracciones con 2 min de descanso. Test: de retención 5 contracciones. Se	El resultado fue que si hubo interferencia negativa entre las tareas y entre extremidades contralaterales. Este efecto de interferencia depende de la cantidad de habilidad aprendida, ya que si esta práctica es más prolongada y hay un

			<p>con la mano dominante, esta se llamó tarea de transferencia.</p> <p>VARIABLES: En la tarea 1 se evaluó la tasa de desarrollo de la fuerza y en la tarea 2 el tiempo que pasaron dentro de la curva generada por el ordenador.</p> <p>Para ver la interferencia, se compararon los pre-test y post test después de haber realizado la tarea 2.</p>	<p>realizaron 3 min de descanso.</p> <p>Tarea de precisión:</p> <p>G1: 6X30s G2: 2X6X30s G3: 3X6X30s G4: descanso G5: 4X6X30s (2 min de descanso entre bloques)</p> <p>Test de retención, 5 contracciones.</p>	<p>mayor aprendizaje las estructuras involucradas serán más susceptibles de producir cambios y adaptarse a diferentes tareas.</p>
Gerardín et al. (2015)	<p>Conocer si la atención puede afectar directamente la adaptación sacádica.</p>	n=16 mujeres (29 años)	<p>MATERIAL: Pantalla de ordenador, rastreador infrarrojo ocular y un software realizado en el laboratorio por ellos mismos.</p> <p>TAREA: se presentaban en la pantalla del ordenador cuadrados donde había un punto y se tenía que mirar lo más rápido posible. Estos cuadrados iban cambiando de textura aumentando así la dificultad.</p> <p>VARIABLES: evaluaron los movimientos sacádicos de los ojos.</p>	<p>Pre test de 2 series de 12 intentos.</p> <p>Fase de adaptación con 4 series de 12 intentos, más un post test de 2 series de 12 intentos.</p> <p>Test de retención: 30 min después, 2 series de 12 intentos.</p>	<p>Encontraron que aumentar la atención en el procesamiento visual de objetos idénticos mejora la capacidad de nuestros ojos para moverse rápidamente y con precisión (adaptación sacádica). También sugiere que los mecanismos detrás de esta adaptación y los efectos de la carga de atención pueden tener bases neuronales similares.</p>
Hwang et al. (2013)	<p>Conocer la cantidad de variabilidad e información es adecuada para que una habilidad se aprenda.</p>	n=36 17 hombres y 19 mujeres 20-29 años	<p>MATERIAL: un ordenador, un láser para medir la posición del dedo índice de la mano derecha y un electromiógrafo.</p> <p>TAREA: seguimiento de una onda con el dedo índice.</p>	<p>Se formaron tres grupos: dificultad, simple, complejo y aleatorio.</p> <p>Pre-test: 3 intentos de 20s + 20 min de descanso.</p> <p>Práctica: 15 intentos con 1 min de descanso entre</p>	<p>Se observó que el aprendizaje es más efectivo cuando se presenta una cantidad adecuada de información (grupos de dificultad), reduciendo los</p>

			VARIABLES: Se evaluó la trayectoria del dedo respecto a la onda que se presentaba y la actividad eléctrica del brazo.	ellos. Post-test: 3 intentos de 20 s. Test de retención 1 hora después: 3 intentos de 20 s.	movimientos secundarios y potenciando la oscilación muscular gamma.
Veldman et al. (2018)	Averiguar si la plasticidad en las redes motoras corticales depende de la edad, la actividad o la conectividad del aprendizaje motor.	n=24 adultos sanos diestros 10 hombres 14 mujeres	MATERIAL: un ordenador, un EEG y un joystick para la prueba visomotora con un software. TAREA: seguir unas plantillas que aprecian de izquierda a derecha. VARIABLES: Se midió la actividad eléctrica y la desviación media entre la plantilla preprogramada y la del sujeto.	Día 1: entrevista + pre test: 12 intentos de 5 s con cada mano + práctica: 3 bloques de 60 intentos de 5 s con 2 min de descanso entre bloques + Post test: igual que el pre test Día 2: test de retención + una encuesta de calidad de sueño.	Se encontró que ciertas medidas del EEG, especialmente el PSI, se correlacionaron con mejoras en el desempeño motor y se identificaron diferentes redes neuronales involucradas en la adquisición, consolidación y transferencia de habilidades motoras entre diferentes miembros del cuerpo.
Berghuis et al. (2015)	Determinar la magnitud del aprendizaje motor y la consolidación de la memoria motora en adultos mayores sanos.	n=22 (70 años) 14 hombres 8 mujeres	En este estudio se utilizó un ordenador y un joystick. Un grupo hacía coincidir unas plantillas en sus huecos utilizando una palanca que manejaban con la mano derecha y el otro grupo solo las seguía con la vista. Se evaluó el margen de error entre la plantilla preprogramada y la que los sujetos colocaban.	Se formaron dos grupos, uno de práctica motora y otro solo de observación. Día 1: pre test de 12 intentos + práctica (4 bloques de 60 intentos de 5 s con 2 min descanso entre bloques) + post test de 12 intentos Día 2: test de retención de 12 intentos, 24h después.	Se observó una mejora del aprendizaje motor tras la práctica de la tarea, pero no solo con el visionado. Por otro lado, este aprendizaje motor puede tener problemas para transferirlo a otra tarea.
Caballero et al. (2021)	Evaluar la relación potencial entre las diferentes dimensiones de la variabilidad motora y la tasa de aprendizaje en	n=44 33 hombres 11 mujeres	MATERIAL: Ordenador, sensor de fuerza conectado a un joystick. TAREA: realizar un lanzamiento a una diana situada en la parte superior izquierda que no se veía.	Día 1: Pretest de 100 intentos + Entrenamiento de 6x100 intentos + postest + test de retención de 100 intentos	Los resultados sugieren que explorar una gama más amplia de combinaciones exitosas de sinergia motora para

	tareas basadas en aprendizaje por recompensa.		VARIABLES: Se evaluó la magnitud de la fuerza, la tasa de acierto para ver la precisión, y la tasa de aprendizaje en referencia al pretest.	tras un descanso de 10 min. Día 2: test de retención 24h después. Día 3: test de retención 1 semana después.	lograr el objetivo de la tarea puede facilitar un mayor aprendizaje durante las tareas basadas en recompensas.
Ruano et al. (2022)	Analizar el efecto de aplicar la práctica variable en diferentes momentos temporales: no aplicarla, aplicarla desde el principio o después de que el sujeto estabilice su desempeño.	n=32 23 hombres 9 mujeres	MATERIAL: Ordenador, sensor de fuerza conectado a un joystick. TAREA: realizar un lanzamiento a una diana móvil que había que acertar en un espacio determinado. VARIABLES: Se evaluó la precisión mediante el error absoluto entre la posición final de la pelota y el objetivo.	Se formaron tres grupos de entrenamiento en función de la práctica (Constante, Variable y Estabilizado). Día 1: pretest 3x10rep Entrenamiento 44x10rep Postest 3x10 rep Día 2: 24h después test de retención 3x10 Día 3: 7 días después test de retención 3x10rep	La práctica variable no mostró una mejora significativa en comparación con la práctica constante, aunque los tres grupos mejoraron.
<p>n: número de sujetos del estudio. HIIT: entrenamiento de intervalos de alta intensidad. VO₂max: cantidad máxima de oxígeno que el organismo puede absorber, transportar y consumir en un tiempo determinado. EEG: electroencefalograma. PSI: índice de sincronización de fase, es una medida utilizada en el análisis de señales cerebrales que indica la sincronización de las oscilaciones eléctricas entre diferentes regiones del cerebro.</p>					

DISCUSIÓN

Esta revisión sistemática ha sido realizada con el objetivo de conocer cuáles son los protocolos que los científicos siguen a la hora de medir aprendizaje motor o adquisición de habilidades, en las tareas oculomanuales. Este análisis se realizó en la base de datos PubMed, donde tras un proceso de filtrado se seleccionaron 11 artículos que cumplieran con los requisitos establecidos.

Lo primero a destacar es el problema que surge en relación a la terminología. Hay autores que utilizan el término adquisición de habilidades (Gerardín et al., 2015), mientras que otros emplean aprendizaje motor (Bootsma et al., 2018; Caballero et al., 2022; Hwang et al., 2013; Lauber et al., 2013; Ruano et al., 2022). El resto de artículos de esta revisión diferencian entre el proceso donde los sujetos entrenan la actividad visomotora, refiriéndose a este proceso como adquisición de habilidades, y posteriormente tras realizar test de retención se habla de si hay o no aprendizaje, ya que según Schmidt (2019) el aprendizaje debe producir un cambio relativamente permanente en la capacidad motriz. Añadir que como se ha indicado en el método, al realizar la revisión hemos observado artículos que hablaban de aprendizaje pero no realizan test de retención para ver si se mantiene en el tiempo.

Por otro lado, todos los artículos comparten unas características generales en relación a las tareas oculomanuales, aunque cada uno de ellos tiene diferentes propósitos. Entre los 12 artículos estudiados, en 3 de ellos se analiza el efecto del ejercicio físico sobre el aprendizaje de una tarea oculomanual, y se observa que el ejercicio puede favorecer las primeras etapas de adquisición de habilidades. En otros 5, se hacía referencia a cómo diferentes variaciones de la misma actividad o complejidad de la tarea, influyen en el aprendizaje. Encontramos estudios donde se establecen tres niveles de dificultad y se medían cómo estos niveles influyen en el aprendizaje (Bootsma et al., 2018; Hwang et al., 2013). Por otra parte, solo en 1 de los 11 artículos seleccionados se evaluaba el aprendizaje sobre población mayor (Berghuis et al., 2015). Por último, en el artículo de Caballero et al. (2021) se relacionaba la variabilidad intrínseca con el aprendizaje, mientras que en el de Ruano et al. (2022) se analizaba la práctica variable en diferentes momentos.

En tercer lugar, otro de los puntos que se pretenden abordar, es en relación a la distribución del tiempo, tanto entre las sesiones, como entre los pre test, post test y test retención. Como podemos observar en la tabla, hay tanto diferentes protocolos como duración de estos. Por un lado, encontramos trabajos donde el protocolo que se utilizó para medir el aprendizaje motor duraba una sesión (Gerardín et al., 2015; Hwang et al., 2013), estos realizaban un pre test seguido de la práctica, más un post test, y tras esto el test de retención. Otro protocolo que podemos ver que se ha utilizado con más frecuencia es el que utiliza dos días, el primero de ellos se utilizaba para realizar un pre test, la práctica y el post test, y en el segundo día se realizaba el test de retención (Berghuis et al., 2015; Bootsma et al., 2018; Hung et al., 2021; Veldman et al., 2018;). Esta segunda sesión observamos que se hace 24 horas después de la primera. Por último, podemos observar que en el resto de artículos el protocolo se distribuye en 3 días. El primero se utiliza para realizar el pretest, el período de práctica y el post test; el segundo día se realiza un test de retención 24 horas después; y para finalizar, el último día se realiza otro test de retención. Este último día está espaciado en el tiempo de diferente forma en los artículos, de manera que encontramos protocolos donde esta última sesión se realiza una semana después de la última intervención (Caballero et al., 2022; Ferrer-Uris et al., 2017; Ju et al., 2018; Ruano et al., 2022;). Destacar que en el artículo de Ju et al. (2018) se realizan dos pre test, uno 8 semanas antes y otro 1 semana antes de empezar la prueba, y esta prueba la realizan durante un periodo más largo de tiempo, 8 semanas con 2 días de entrenamiento al día de 40 minutos de duración.

En relación a las tareas que se utilizan para medir el aprendizaje motor en los artículos, se seleccionaron únicamente tareas de coordinación oculomanual, pero podemos observar tres tipos de tareas diferentes. La más común es la tarea que se desarrolla con el ordenador de forma simulada, donde los sujetos deben seguir trayectorias, lanzar a una diana, dibujar o hacer coincidir plantillas usando joystick, ratón, lápiz digital o dinamómetro (Berghuis et al., 2015; Bootsma et al., 2018; Caballero et al., 2021; Ferrer-Uris et al., 2017; Hwang et al., 2013; Lauber et al., 2013; Ruano et al., 2022). Otra de las tareas que podemos observar es la que utiliza un dinamómetro con el fin de que el sujeto realice una cierta presión y esta se traduzca en una onda que se ve en la pantalla (Hung et al., 2021). Por último, vemos tareas donde se utilizan rastreadores oculares con el fin de medir el movimiento de los ojos respecto a los objetivos que se presentan en una pantalla (Gerardín et al., 2015; Ju et al., 2018). Tras ver los diferentes tipos de tareas podemos determinar que la más común son las tareas que se realizan en ordenador, esto puede deberse a que son tareas fáciles de realizar, no requiere de una gran preparación y el equipo necesario no es caro. En cuanto a la cantidad de práctica de estas tareas podemos afirmar que hay un gran abanico de protocolos, desde estudios con 48 repeticiones (Gerardín et al., 2015) a otros con 600 repeticiones (Caballero et al., 2021). En lo que sí podemos ver una pequeña similitud es en la distribución de las series, ya que en casi todos se hacen entre 3 y 4 series, exceptuando el estudio de Ruano et al. (2022) donde se realizan 44 series de 10 repeticiones.

Por último, añadir algunas limitaciones que han surgido a la hora de realizar el trabajo. Por un lado, la heterogeneidad de los protocolos en los artículos seleccionados, ya que en ninguno de ellos el protocolo dura más de tres sesiones. No obstante, es cierto que hay estudios que realizan test de retención a los 7 días, pero no más allá, y hubiera sido interesante haber visto protocolos que se extendieran más en el tiempo y observar qué pasa con el efecto de la práctica. Otro aspecto que ha limitado el trabajo ha sido el uso de la terminología, ya no por la diferencia entre adaptación y aprendizaje, si no por diversidad de conceptos que se usan en este campo. Asimismo, no se ha podido abarcar toda la literatura relacionada con el aprendizaje motor debido a la gran cantidad de información científica publicada.

En conclusión, sí hay una clara diferencia entre los protocolos que usan los distintos autores, pero se observa que en su mayoría se realizan pruebas de retención, más allá del día de práctica, con el fin de ver si esa adquisición de habilidades se ha mantenido en el tiempo dando lugar a un aprendizaje.

PROPUESTA PRÁCTICA

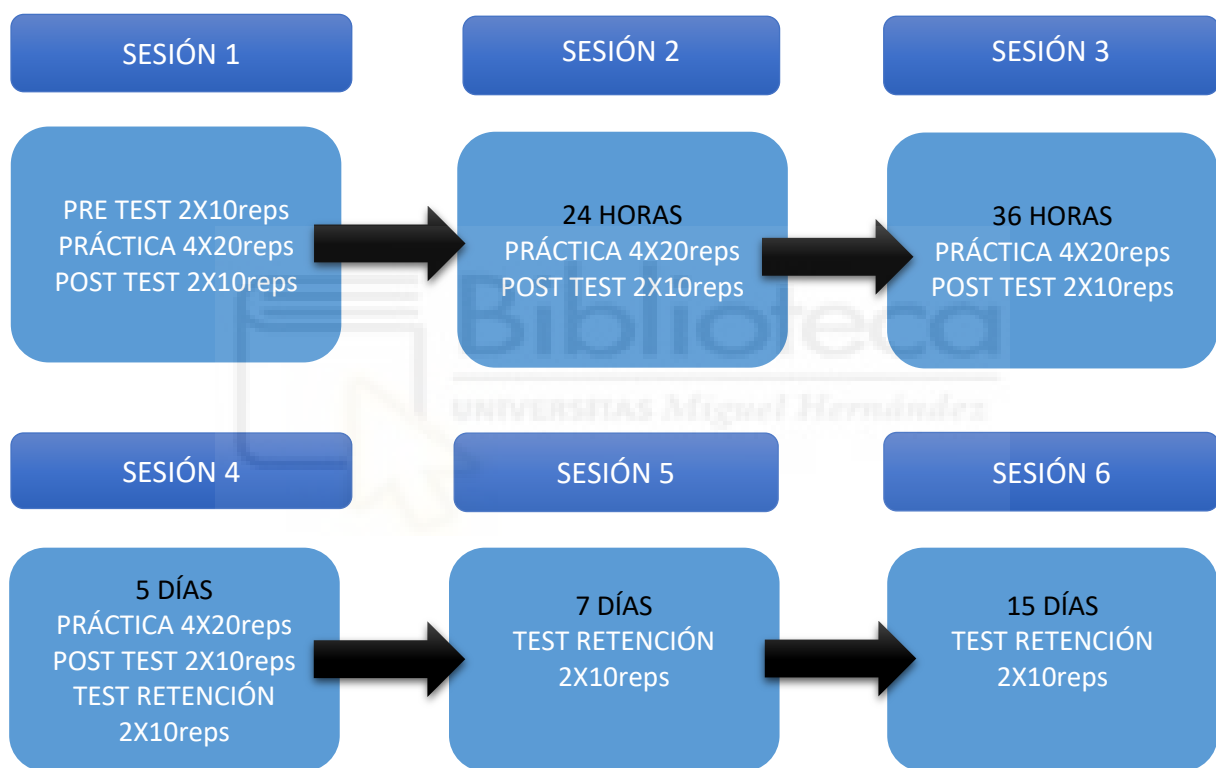
Una vez revisados los artículos seleccionados, y analizadas tanto las diferencias como las similitudes entre los diferentes protocolos, se sugiere una propuesta práctica cuyo objetivo es ofrecer un protocolo que contenga las pruebas necesarias para determinar si hay aprendizaje motor, al mismo tiempo que se diferencia entre lo que es adaptación y lo que es aprendizaje, así como un tiempo de práctica óptimo para que se produzcan adaptaciones. Para llevar a cabo el protocolo se necesitarán 6 sesiones. La tarea se realizará en ordenador, mediante un joystick agarrado con la mano dominante y sentados en una silla, y el objetivo será lanzar a una diana. La distribución de las sesiones serán las siguientes:

- Día 1: Pre test más práctica más post test.
- Día 2: Practica más post test (24 horas después).
- Día 3: Practica más post test (36 horas después).
- Día 4: Practica más post test más test de retención (5 días).
- Día 5: Test de retención (7 días).
- Día 6: Test de retención (14 días).

Se ha optado por tener en cuenta distintas pruebas debido a la información que podemos obtener de cada una de ellas. El pre test nos arroja un valor inicial, mientras que el post test nos permite valorar si ha habido adquisición durante el proceso, asimismo el test de retención nos proporciona información acerca de si esa adquisición se mantiene en el tiempo. Magelssen et al. (2022) argumentan que diferentes tipos de aprendizaje pueden suponer resultados diferentes en cuanto a adquisición, retención y transferencia de habilidades motoras. Por tanto, este protocolo nos permite compara entre diferentes tipos de práctica y observar la evolución que tiene cada una de ellas en las distintas etapas mencionadas anteriormente. En la siguiente figura (Figura 2) se detallan las series y repeticiones de cada prueba.

Figura 2

Distribución temporal de las pruebas.



REFERENCIAS

Berghuis, K. M., Veldman, M. P., Solnik, S., Koch, G., Zijdwind, I., & Hortobágyi, T. (2015). Neuronal mechanisms of motor learning and motor memory consolidation in healthy old adults. *Age*, 37(3). <https://doi.org/10.1007/s11357-015-9779-8>

- Bootsma, J. M., Hortobágyi, T., Rothwell, J. C., & Caljouw, S. R. (2018). The Role of Task Difficulty in Learning a Visuomotor Skill. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *50*(9), 1842-1849. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000001635>
- Caballero, C., Moreno, F. A., & Barbado, D. (2021). Motor Synergies Measurement Reveals the Relevant Role of Variability in Reward-Based Learning. *Sensors*, *21*(19), 6448. <https://doi.org/10.3390/s21196448>
- 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>
- Ferrer-Uris, B., Busquets, A., López-Alonso, V., Fernández-Del-Olmo, M., & Angulo-Barroso, R. M. (2017). Enhancing consolidation of a rotational visuomotor adaptation task through acute exercise. *PLOS ONE*, *12*(4), e0175296. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175296>
- Gerardin, P., Nicolas, J., Farnè, A., & Péliçon, D. (2015). Increasing Attentional Load Boosts Saccadic Adaptation. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *56*(11), 6304. <https://doi.org/10.1167/iovs.14-16149>
- Harada, T., Hara, M., Matsushita, K., Kawakami, K., Kawakami, K., Anan, M., & Sugata, H. (2020). Off-line effects of alpha-frequency transcranial alternating current stimulation on a visuomotor learning task. *Brain and behavior*, *10*(9). <https://doi.org/10.1002/brb3.1754>
- Hayhoe, M., Shrivastava, A., Mruczek, R. E. B., & Pelz, J. B. (2003). Visual memory and motor planning in a natural task. *Journal of Vision*, *3*(1), 6. <https://doi.org/10.1167/3.1.6>
- Hung, A., Roig, M., Gillen, J. B., Sabiston, C. M., Swardfager, W., & Chen, J. L. (2021). Aerobic exercise and aerobic fitness level do not modify motor learning. *Scientific Reports*, *11*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84764-y>

- Hwang, I. S., Huang, C., Yang, J. F., & Guo, M. C. (2013). Characterization of Information-Based Learning Benefits with Submovement Dynamics and Muscular Rhythmicity. *PLOS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082920>
- Ju, Y., Liu, Y., Cheng, C., Lee, Y., Chang, S., Sun, C., & Cheng, H. K. (2018). Effects of combat training on visuomotor performance in children aged 9 to 12 years - an eye-tracking study. *BMC Pediatrics*. <https://doi.org/10.1186/s12887-018-1038-6>
- Kitago, T., & Krakauer, J. W. (2013). Motor learning principles for neurorehabilitation. En *Handbook of Clinical Neurology* (pp. 93-103). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52901-5.00008-3>
- Krakauer, J. W. (2009). Motor Learning and Consolidation: The Case of Visuomotor Rotation. En *Springer eBooks* (pp. 405-421). https://doi.org/10.1007/978-0-387-77064-2_21
- Land, M. F., & McLeod, P. J. (2000). From eye movements to actions: how batsmen hit the ball. *Nature Neuroscience*, 3(12), 1340-1345. <https://doi.org/10.1038/81887>
- Lauber, B., Lundbye-Jensen, J., Keller, M. B., Gollhofer, A., Taube, W., & Leukel, C. (2013). Cross-Limb Interference during Motor Learning. *PLOS ONE*, 8(12), e81038. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081038>
- Lum, J. A. G., Mills, A. C., Plumridge, J. M. A., Sloan, N. L., Hedenius, M., & Enticott, P. G. (2018). Transcranial direct current stimulation enhances retention of a second (but not first) order conditional visuo-motor sequence. *Brain and Cognition*, 127, 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2018.09.006>
- Magelssen, C., Haugen, P. K., Reid, R. L., & Gilgien, M. (2022). Is there a contextual interference effect for sub-elite alpine ski racers learning complex skills? *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.966041>
- Magill, R. A., & Anderson, D. (2020). *Motor Learning and Control: Concepts and Applications*.

- Marinelli, L., Quartarone, A., Hallett, M., Frazzitta, G., & Ghilardi, M. F. (2017). The many facets of motor learning and their relevance for Parkinson's disease. *Clinical Neurophysiology*, *128*(7), 1127-1141. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.03.042>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, *6*(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Panico, F., Sagliano, L., Grossi, D., & Trojano, L. (2018). Bi-cephalic parietal and cerebellar direct current stimulation interferes with early error correction in prism adaptation: Toward a complex view of the neural mechanisms underlying visuomotor control. *Cortex*, *109*, 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.09.020>
- Pelz, J. B., & Canosa, R. L. (2001). Oculomotor behavior and perceptual strategies in complex tasks. *Vision Research*, *41*(25-26), 3587-3596. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(01\)00245-0](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(01)00245-0)
- Robinson, L. E., Stodden, D. F., Barnett, L. M., Lopes, V. P., Logan, S. W., Rodrigues, L., & D'Hondt, E. (2015). Motor Competence and its Effect on Positive Developmental Trajectories of Health. *Sports Medicine*, *45*(9), 1273-1284. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0351-6>
- Ruano, C. R., Caballero, C., & Moreno, F. A. (2022). The effect of enhanced variability after performance stabilization through constant practice. *PeerJ*, *10*, e13733. <https://doi.org/10.7717/peerj.13733>
- Schmidt, R. A., Lee, T., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. (2019). *Motor Control and Learning*, 6E. Human Kinetics.
- Schmidt, R. R. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, *82*(4), 225-260. <https://doi.org/10.1037/h0076770>
- 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. <https://doi.org/10.1152/jn.00856.2011>

- Simon, A., & Bock, O. (2016). Influence of divergent and convergent thinking on visuomotor adaptation in young and older adults. *Human Movement Science, 46*, 23-29.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.11.020>
- Slimani, M., Chamari, K., Boudhiba, D., & Chéour, F. (2016). Mediator and moderator variables of imagery use-motor learning and sport performance relationships: a narrative review. *Sport Sciences for Health, 12*(1), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11332-016-0265-1>
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clinica, 135*(11), 507-511.
<https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Veldman, M. P., Maurits, N. M., Nijland, M., Wolters, N., Mizelle, J. C., & Hortobágyi, T. (2018). Spectral and temporal electroencephalography measures reveal distinct neural networks for the acquisition, consolidation, and interlimb transfer of motor skills in healthy young adults. *Clinical Neurophysiology, 129*(2), 419-430. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.12.003>
- Vollmann, H., Conde, V., Sewerin, S., Taubert, M., Sehm, B., Witte, O. W., Villringer, A., & Ragert, P. (2013). Anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) over supplementary motor area (SMA) but not pre-SMA promotes short-term visuomotor learning. *Brain Stimulation, 6*(2), 101-107. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.03.018>
- Wulf, G., & Lewthwaite, R. (2016). Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning. *Psychonomic Bulletin & Review, 23*(5), 1382-1414. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0999-9>
- Zimmerman, M., Nitsch, M., Giroux, P., Gerloff, C., Cohen, L. G., & Hummel, F. C. (2013). Neuroenhancement of the aging brain: Restoring skill acquisition in old subjects. *Annals of Neurology, 73*(1), 10-15. <https://doi.org/10.1002/ana.23761>