



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA DE LA SALUD

Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

Efecto de la aplicación de diferentes magnitudes de carga de variabilidad en el aprendizaje de la estabilidad del tronco

Tesis doctoral

Presentada por
Álvaro Covés García

Elche, 2017



El Dr. D. Juan Carlos Marzo Campos, director del Departamento de Psicología de la Salud de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

AUTORIZA:

Que el trabajo de investigación titulado: “EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES MAGNITUDES DE CARGA DE VARIABILIDAD EN EL APRENDIZAJE DE LA ESTABILIDAD DEL TRONCO” realizado por D. Álvaro Coves García bajo la dirección de Dr. D. Francisco Javier Moreno Hernández y Dr. D. Francisco David Barbado Murillo sea depositado en el departamento y posteriormente defendido como Tesis Doctoral en esta Universidad ante el tribunal correspondiente.

Lo que firmo para los efectos oportunos en

Elche a 2 de septiembre de 2017

Fdo.: Juan Carlos Marzo Campos

Director del Departamento de Psicología de la Salud

Universidad Miguel Hernández de Elche

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Departamento: Psicología de la Salud

Programa de Doctorado: Psicología de la Salud

Título de la Tesis

**EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES MAGNITUDES DE CARGA
DE VARIABILIDAD EN EL APRENDIZAJE DE LA ESTABILIDAD DEL
TRONCO**

Tesis Doctoral presentada por:

D. Álvaro Coves García

Dirigida por los doctores

D. Francisco Javier Moreno Hernández

D. Francisco David Barbado Murillo

El Director

El Director

El Doctorando

Elche, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA DE LA SALUD

Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

**Efecto de la aplicación de
diferentes magnitudes de carga
de variabilidad en el aprendizaje
de la estabilidad del tronco**

Tesis doctoral

Presentada por
Álvaro Coves García

Directores:
Dr. D. Francisco Javier Moreno Hernández
Dr. D. Francisco David Barbado Murillo

Elche, 2017

A mi familia, por estar siempre

que os he necesitado





AGRADECIMIENTOS

Aún no creo que este escribiendo esto, pero esta montaña rusa de constantes subidas y bajadas para la que cogimos el ticket hace ya unos años llega a su parada. Muchos momentos, reuniones y charlas pasan por la cabeza. Es mucha la gente que ha compartido este camino y sé que no hubiera sido posible realizarlo sin ella. Aún a estas alturas surgen algunas cuestiones de última hora como: ¿por dónde empezar?

Los que me conocéis sabéis que suelo ser hombre de incluso demasiadas palabras, pero parece que ponerse delante del ordenador a ordenar tantos pensamientos va a resultar más complicado que acabar esta tesis.

En primer lugar, empezar por la familia, agradecer a mis padres el apoyo que siempre he recibido por vuestra parte sin cuestionarme las decisiones que he ido tomando, ayudándome cuando ha sido necesario, aunque haya supuesto robaros en muchas ocasiones la atención que os merecéis. Sin duda nunca podré agradeceros todo lo que hacéis a diario, y sé que no os lo digo lo suficiente, GRACIAS. A mis hermanos, que aun estando esparcidos por la geografía os llevo siempre conmigo y en unos meses nos reuniremos para dar la bienvenida a un nuevo miembro. Y como no a mi tata, porque es la persona más buena que conoceré en mi vida y a la que no se puede no querer.

En segundo lugar, quiero darte las gracias Francis. Gracias por darme la oportunidad de trabajar en este laboratorio, de enseñarme este mundo de la variabilidad en el que sin darme cuenta me he ido metiendo y poder trabajar con un genio como tú, quien además de ser un enorme profesional al que respeto y admiro, lleva detrás a una gran persona. No debe ser nada sencillo compaginar todo lo que llevas a la par, en ocasiones me pregunto cómo puedes con todo, por lo que te agradezco enormemente el tiempo que me has dedicado para que esta tesis pueda llegar a buen puerto. Espero haber estado a la altura de las circunstancias, aunque sé que en ocasiones me ha sido complicado, he intentado trabajar duro para cumplir con todo. Gracias por todo lo que me has enseñado y las horas sentado en el laboratorio peleando cada trabajo.

Y como contentar a un director no es suficiente, agradecer a David su trabajo en esta tesis, que a pesar de que en ocasiones me ha vuelto loco moverme entre esas dos mentes pensantes, sin duda este trabajo ha subido varios niveles en calidad gracias a vuestra perseverancia y perfeccionismo. Incansable, creativo y cercano. Gracias por tu apoyo en lo profesional y en lo personal, aunque haya tenido que conseguir revisiones mientras echábamos unas canastas. Y a pesar de no ser mi director, debo añadir en este apartado a Rafa. Empezaste allá en 2011 siendo mi tutor en el TFM y has acabado siendo un amigo, compañero de trabajo y en ocasiones duro rival en las noches de juegos frikis. Gracias por haber ofrecido tu apoyo cuando lo he necesitado y cuando no. Sencillamente eres muy grande.

No se me olvida la familia de control motor: Carla, más que una compañera una amiga. Cuántas horas habremos pasado a unos metros con las locuras y delirios de unos y otros, gracias por todo lo que me has enseñado, aunque nunca te perdonaré haber aguantado tus meses de estrés pre-tesis y hayas huido a E.E.U.U. para no soportar los míos. Tomás, mi padrino en este laboratorio, una mano que siempre se ha ofrecido cuando he necesitado algo, algún día cumpliremos alguno de nuestros propósitos de nuevo año. Marta, la hermanita pequeña, fuiste la última en llegar, pero has acabado adelantando. Espero haberte sido de ayuda, ahora a seguir trabajando para conseguir lo que te propongas. Xoxe, el último gran fichaje de invierno del laboratorio, para mí un genio cuyo trabajo será valorado como merece tarde o temprano (antes tendrás que acabar de revisar los archivos de Polhemus). Raúl, por su implicación y pasión en aquello que hace, probablemente el mejor en lo suyo, y no por ello perdiendo la humanidad y la sonrisa en cada encuentro. Alba, la energía, el trabajo y el nervio sevillano se hicieron notar cada vez que nos visitabas para mediciones. Estoy seguro de que darás un enorme empujón al deporte adaptado. Héctor y Sandra, con los que compartí mis inicios y que uno por aventurarse y la otra por volver a casa habéis cruzado el charco, pronto podremos decir que el viaje ha tenido destino. Y Manolo, el eterno doctorando, ¡de este año no puede pasar!

Por supuesto no se me olvidan los compañeros y amigos que habéis hecho que ir al CID no sea tan solo ir a trabajar, sino a disfrutar de teneros día a día. Miguel, con quien he compartido aventuras desde el instituto, no se me olvidará nunca la charla de aquella noche junto a la glorieta a lágrima viva. Dra. Campayo, quién nos diría en el máster que estaríamos aún por aquí, eres un ejemplo. Gracias a Corean Boy y Adrián por haberme abierto las puertas de casa cuando lo necesité. A Iñaki con quien no puede uno aburrirse, ¡el próximo en el piso serás tú! Diego, quien, aun siendo poseedor de su oratoria destructiva, se hace de querer. Artur, persona que hace que siga creyendo en la bondad del ser humano, *sempre tendràs tir*. Y hablando de pachangas de basket, al destructivo Sarabia, nuestro amor odio en el baloncesto no cesa. Podría seguir, pero se acabarían los caracteres: Maripi, Diego López, Belén, Alicia, Félix, etc. en definitiva un placer haber compartido con vosotros esta etapa, habéis hecho que sea mucho más fácil. Aun no trabajando aquí, gracias Nacho por tu trabajo en la portada, tu labor altruista por una paella no tiene precio. Y aunque no he trabajado directamente con ellos, un gozo compartir centro con grandes como Fito, Pepo, Ayala, Vera, etc. con quienes un café puede ser risas o un seminario de máster. Mención especial a Vicente Beltrán, si algún día necesito un jefe de ceremonias sin duda solicitaré que seas tú, eres enorme.

Y a pesar de que el final del camino lo hemos hecho por separado darte las gracias Marta por haber empujado cuando lo he necesitado y haber recorrido conmigo buena parte del sendero. Parte de esta tesis es también tuya.

Para acabar la mami y el papi del CID, gracias Dori por tus alegres buenos días cada mañana y por preocuparte de nosotros. Gracias JP por tu amor por tu trabajo y por demostrar que con velcro puede uno hacer de todo. Con todo esto, como tú bien dirías: **SEGUIMOS.**

Si (Rudyard Kipling)

Si puedes conservar la cabeza cuando a tu alrededor
todos la pierden y te echan la culpa;
si puedes confiar en ti mismo cuando los demás dudan de ti,
pero al mismo tiempo tienes en cuenta su duda;
si puedes esperar y no cansarte de la espera,
o siendo engañado por los que te rodean, no pagar con mentiras,
o siendo odiado no dar cabida al odio,
y no obstante no parecer demasiado bueno, ni hablar con demasiada sabiduría...

Si puedes soñar y no dejar que los sueños te dominen;
si puedes pensar y no hacer de los pensamientos tu objetivo;
si puedes encontrarte con el triunfo y el fracaso
y tratar a estos dos impostores de la misma manera;
si puedes soportar el escuchar la verdad que has dicho:
tergiversada por bribones para hacer una trampa para los necios,
o contemplar destrozadas las cosas a las que habías dedicado tu vida
y agacharte y reconstruirlas con las herramientas desgastadas...

Si puedes hacer un hato con todos tus triunfos
y arriesgarlo todo de una vez a una sola carta,
y perder, y comenzar de nuevo por el principio
y no dejar escapar nunca una palabra sobre tu pérdida;
y si puedes obligar a tu corazón, a tus nervios y a tus músculos
a servirte en tu camino mucho después de que hayan perdido su fuerza,
excepto La Voluntad que les dice "¡Continuad!".

Si puedes hablar con la multitud y perseverar en la virtud
o caminar entre Reyes y no cambiar tu manera de ser;
si ni los enemigos ni los buenos amigos pueden dañarte,
si todos los hombres cuentan contigo, pero ninguno demasiado;
si puedes emplear el inexorable minuto
recorriendo una distancia que valga los sesenta segundos
tuya es la Tierra y todo lo que hay en ella,
y lo que es más, serás un hombre, hijo mío.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	LA VARIABILIDAD DEL MOVIMIENTO HUMANO.	3
1.2	EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA VARIABILIDAD COMO UN FACTOR DE ADAPTACIÓN.	7
1.3	RELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD Y EL APRENDIZAJE.	11
1.4	LA VARIABILIDAD AUMENTADA.	14
2	ESPECIFICACIÓN DEL PROBLEMA. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	21
2.1	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	23
2.2	OBJETIVOS.	25
2.3	HIPÓTESIS.	25
3	MÉTODO	27
3.1	PARTICIPANTES	29
3.2	TAREA EXPERIMENTAL.	29
3.3	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN Y DISEÑO	30
3.3.1	<i>Variable independiente</i>	30
3.3.2	<i>Variables dependientes</i>	31
3.3.2.1	Magnitud del error.	32
3.3.2.2	Tasa de aprendizaje.	32
3.3.2.3	Auto-correlación del desplazamiento del CdP del eje antero posterior y medio lateral.	33
3.3.3	<i>Variables contaminantes.</i>	34
3.3.3.1	Estandarización del Instrumental de registro.	34
3.3.3.2	Posición del participante durante el proceso registro.	35
3.3.3.3	Condiciones de registro	36
3.3.4	<i>Diseño.</i>	37
3.4	INSTRUMENTAL	37
3.5	PROCEDIMIENTO	42
3.5.1	<i>Medida de la tarea de evaluación</i>	42
3.5.2	<i>Medida de la tarea de transferencia</i>	43

3.5.3	<i>Protocolo de entrenamiento</i>	44
3.6	ANÁLISIS Y REDUCCIÓN DE DATOS.....	46
3.6.1	<i>Preparación de las series temporales de datos</i>	46
3.6.2	<i>Cálculo de las variables dependientes de rendimiento</i>	47
3.6.3	<i>Análisis de la auto-correlación de las series temporales.</i>	49
3.6.4	<i>Análisis estadístico.</i>	52
4	RESULTADOS	55
4.1	COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD MOSTRADA POR TODOS LOS PARTICIPANTES EN LA TAREA DE EVALUACIÓN EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE VARIABILIDAD APLICADA DURANTE EL ENTRENAMIENTO.	59
4.2	COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD MOSTRADA POR LOS PARTICIPANTES EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE VARIABILIDAD APLICADA DURANTE EL ENTRENAMIENTO, AGRUPADOS EN BASE AL RENDIMIENTO INICIAL EN LA TAREA DE EVALUACIÓN.....	61
4.3	COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD MOSTRADA POR LOS PARTICIPANTES EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE VARIABILIDAD APLICADA DURANTE EL ENTRENAMIENTO, AGRUPADOS EN BASE A LA VARIABILIDAD INICIAL EN LA TAREA DE EVALUACIÓN.....	64
4.4	COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD MOSTRADA POR TODOS LOS PARTICIPANTES EN LA TAREA DE TRANSFERENCIA EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE VARIABILIDAD APLICADA DURANTE EL ENTRENAMIENTO.....	67
4.5	COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD MOSTRADA POR LOS PARTICIPANTES EN LA TAREA DE TRANSFERENCIA EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE VARIABILIDAD APLICADA DURANTE EL ENTRENAMIENTO, AGRUPADOS EN BASE AL RENDIMIENTO INICIAL.	69
4.6	COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD MOSTRADA POR LOS PARTICIPANTES EN LA TAREA DE TRANSFERENCIA EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE VARIABILIDAD APLICADA DURANTE EL ENTRENAMIENTO, AGRUPADOS EN BASE A LA VARIABILIDAD INICIAL.....	71
4.7	ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL RENDIMIENTO A LO LARGO DE LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE VARIABILIDAD APLICADA DURANTE EL ENTRENAMIENTO.	73
5	DISCUSIÓN	81
5.1	EFFECTO DE LA MAGNITUD DE CARGA DE VARIABILIDAD AUMENTADA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD EN LA TAREA DE EVALUACIÓN.....	84
5.2	EFFECTO DE LA MAGNITUD DE CARGA DE VARIABILIDAD AUMENTADA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD EN LA TAREA DE EVALUACIÓN EN BASE AL RENDIMIENTO INICIAL.....	87

5.3	EFFECTO DE LA MAGNITUD DE CARGA DE VARIABILIDAD AUMENTADA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD EN LA TAREA DE EVALUACIÓN EN BASE A LA ESTRUCTURA DE LA VARIABILIDAD INICIAL.....	89
5.4	EFFECTO DE LA MAGNITUD DE CARGA DE VARIABILIDAD AUMENTADA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD EN LA TAREA DE TRANSFERENCIA.....	91
5.5	ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL RENDIMIENTO A LO LARGO DE LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE VARIABILIDAD APLICADA DURANTE EL ENTRENAMIENTO.	95
6	CONCLUSIONES	99
7	LIMITACIONES Y PROSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN	103
	7.1. Principales limitaciones encontradas en el estudio.	105
	7.2. Prospectivas de investigación.	108
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
9	ANEXOS	121



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA TRAYECTORIA DE LA DIANA EN EL EJE ANTEROPOSTERIOR.....	31
FIGURA 2. PARTICIPANTE DURANTE EL CÁLCULO DE LA POSICIÓN INICIAL.	36
FIGURA 3. ESTRUCTURA METÁLICA EMPLEADA PARA EL DESARROLLO DEL PROTOCOLO DE REGISTRO.	38
FIGURA 4. PLATAFORMA DE FUERZAS EMPLEADA PARA EL REGISTRO DEL DESPLAZAMIENTO DEL CDP	39
FIGURA 5. ASIENTO INESTABLE CON CAJÓN DE ESTABILIDAD COLOCADO SOBRE LA PLATAFORMA DE FUERZAS.....	39
FIGURA 6. PARTICIPANTE CON SUJECCIÓN DE TOBILLOS Y CADERA	40
FIGURA 7. SOFTWARE CREADO PARA REPRESENTACIÓN Y REGISTRO DE LAS TRAYECTORIAS DE LA DIANA Y EL CDP Y EL CÁLCULO DEL ERROR	41
FIGURA 8. PARTICIPANTE REALIZANDO LA TAREA DE EVALUACIÓN DE CONTROL POSTURAL EN EL EJE ANTEROPOSTERIOR.	43
FIGURA 9. SOFTWARE EN ENTORNO LABVIEW CREADO PARA EL CÁLCULO DEL ERROR EN LOS ENSAYOS.....	44
FIGURA 10. CRONOGRAMA DE LA SITUACIÓN EXPERIMENTAL.	46
FIGURA 11. SOFTWARE EN ENTORNO LABVIEW CREADO PARA EL CÁLCULO Y REPRESENTACIÓN DEL CDP.....	47
FIGURA 12. REPRESENTACIÓN DE LA TRAYECTORIA DEL CDP Y LA DIANA EN LA TAREA DE EVALUACIÓN ANTEROPOSTERIOR.....	48
FIGURA 13. LÍNEA DE REGRESIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO INICIAL MOSTRADO EN EL EJE HORIZONTAL Y EL APRENDIZAJE EN EL EJE VERTICAL ..	49
FIGURA 14. GRÁFICA EXTRAÍDA DEL SOFTWARE DESARROLLADO EN ENTORNO LABVIEW PARA EL CÁLCULO Y REPRESENTACIÓN DEL DFA	50
FIGURA 15. EJEMPLO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA VARIABILIDAD DEL ERROR Y VARIABILIDAD ORTOGONAL EN LA TAREA DE EVALUACIÓN Y TRANSFERENCIA.	58
FIGURA 16. ADAPTACIÓN A LAS DIFERENTES MAGNITUDES DE CARGA DE VARIABILIDAD DE LOS GRUPOS, AGRUPADOS EN FUNCIÓN DE SU NIVEL DE RENDIMIENTO INICIAL ENTRE LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO.....	76
FIGURA 17. EVOLUCIÓN DEL ERROR EN LA TAREA DE EVALUACIÓN PARTIENDO DEL RENDIMIENTO INICIAL MOSTRADO A LO LARGO DE LOS ENSAYOS DE EVALUACIÓN Y ENTRENAMIENTO EN FUNCIÓN DEL GRUPO DE PRÁCTICA.....	78
FIGURA 18. EVOLUCIÓN DE LA REDUCCIÓN DEL ERROR EN LA TAREA DE EVALUACIÓN PARTIENDO DEL RENDIMIENTO INICIAL MOSTRADO A LO LARGO DE LOS TEST EN FUNCIÓN DEL GRUPO DE PRÁCTICA.	79
FIGURA 19. APRENDIZAJE RELATIVO OBTENIDO POR LOS GRUPOS DE PRÁCTICA EN FUNCIÓN DEL RENDIMIENTO INICIAL ENTRE LAS EVALUACIONES RE-TEST ₂ Y PRE-TEST EN LA TAREA DE TRANSFERENCIA..	93
FIGURA 20. APRENDIZAJE RESIDUAL OBTENIDO POR LOS GRUPOS DE PRÁCTICA EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE VARIABILIDAD INICIAL ENTRE LAS EVALUACIONES RE-TEST ₂ Y PRE-TEST EN LA TAREA DE TRANSFERENCIA.	94

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DEL RENDIMIENTO MOSTRADO EN LA TAREA DE EVALUACIÓN POR LOS DISTINTOS GRUPOS DE PRÁCTICA EN LAS SUCESIVAS EVALUACIONES.	59
TABLA 2. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DEL APRENDIZAJE RELATIVO Y RESIDUAL CON INDICACIÓN DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS POR LOS DISTINTOS GRUPOS DE PRÁCTICA EN LAS SUCESIVAS EVALUACIONES.	60
TABLA 3. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DE LA ESTRUCTURA DE LA VARIABILIDAD DEL ERROR Y ORTOGONAL MEDIDAS EN LA TAREA DE EVALUACIÓN, EN FUNCIÓN DEL TIPO DE LA PRÁCTICA	61
TABLA 4. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DEL RENDIMIENTO EN LA TAREA DE EVALUACIÓN MOSTRADO POR LOS DISTINTOS GRUPOS DE PRÁCTICA DIVIDIDOS EN ALTO RENDIMIENTO INICIAL Y BAJO RENDIMIENTO INICIAL	62
TABLA 5. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DE LAS VARIABLES APRENDIZAJE RELATIVO Y RESIDUAL EN TAREA DE EVALUACIÓN DE LOS GRUPOS DE PRÁCTICA DIVIDIDOS POR NIVEL DE RENDIMIENTO INICIAL	63
TABLA 6. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DEL ERROR ABSOLUTO OBTENIDO EN LA TAREA DE EVALUACIÓN POR LOS PARTICIPANTES DE LOS DIFERENTES GRUPOS EN FUNCIÓN DEL DFA INICIAL	65
TABLA 7. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DE TASA RELATIVA DE APRENDIZAJE Y APRENDIZAJE RESIDUAL EN TAREA DE EVALUACIÓN DE LOS GRUPOS DE PRÁCTICA DIVIDIDOS POR DFA INICIAL.....	66
TABLA 8. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DE RENDIMIENTO (ERROR) EN TAREA DE TRANSFERENCIA DE LOS GRUPOS DE PRÁCTICA	68
TABLA 9. MEDIA Y DE DESVIACIÓN TÍPICA DEL APRENDIZAJE RELATIVO Y RESIDUAL DE LOS GRUPOS DE PRÁCTICA EN LA TAREA DE TRANSFERENCIA.	68
TABLA 10. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DE LA ESTRUCTURA DE LA VARIABILIDAD DEL ERROR Y ORTOGONAL MEDIDAS EN LA TAREA DE TRANSFERENCIA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE LA PRÁCTICA	69
TABLA 11. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DE RENDIMIENTO EN LA TAREA DE TRANSFERENCIA DE LOS GRUPOS DE PRÁCTICA DIVIDIDOS EN ALTO RENDIMIENTO INICIAL Y BAJO RENDIMIENTO INICIAL.....	70
TABLA 12. MEDIA Y DESVIACIONES TÍPICAS DE LAS VARIABLES DE APRENDIZAJE RELATIVO Y RESIDUAL EN TAREA DE TRANSFERENCIA DE LOS GRUPOS DE PRÁCTICA DIVIDIDOS POR NIVEL DE RENDIMIENTO INICIAL	71
TABLA 13. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DEL ERROR EN LA TAREA DE TRANSFERENCIAL DE LOS GRUPOS DE PRÁCTICA DIVIDIDOS POR NIVEL DE DFA INICIAL	72
TABLA 14. MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA DE TRA Y APR EN TAREA TRANSFERENCIA DE LOS GRUPOS DE PRÁCTICA DIVIDIDOS POR DFA INICIAL	72
TABLA 15. VALORES DE ADAPTACIÓN EXPRESADOS EN LA DIFERENCIA EN EL ERROR MEDIO ENTRE LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO.	74
TABLA 16. VALORES DE ADAPTACIÓN EXPRESADOS EN LA DIFERENCIA EN EL ERROR MEDIO ENTRE LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO, EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE RENDIMIENTO INICIAL.....	75

TABLA 17. DATOS DESCRIPTIVOS DE VALORES DE RENDIMIENTO Y ADAPTACIÓN EN SERIES DE ENTRENAMIENTO EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE DFA

INICIAL 77



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. DATOS DESCRIPTIVOS DE VALORES DE ERROR (MM) Y VARIABILIDAD EN TAREA DE EVALUACIÓN.	123
ANEXO 2. DATOS DESCRIPTIVOS DE VALORES DE ERROR (MM) Y VARIABILIDAD EN TAREA DE EVALUACIÓN REPRESENTADOS POR GRUPO DE PRÁCTICA Y NIVEL DE RENDIMIENTO INICIAL.	124
ANEXO 3. DATOS DESCRIPTIVOS DE VALORES DE APRENDIZAJE (%) EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE RENDIMIENTO INICIAL EN TAREA DE EVALUACIÓN EN LOS GRUPOS DIVIDIDOS SEGÚN EL NIVEL DE RENDIMIENTO INICIAL.	125
ANEXO 4. DATOS DESCRIPTIVOS DE VALORES DE ERROR (MM) Y VARIABILIDAD EN TAREA DE EVALUACIÓN DE LOS PARTICIPANTES AGRUPADOS EN BASE A LA VARIABILIDAD DEL ERROR EN EL TEST DE EVALUACIÓN INICIAL REPRESENTADOS POR GRUPO DE PRÁCTICA Y NIVEL DE VARIABILIDAD INICIAL.	126
ANEXO 5. DATOS DESCRIPTIVOS DE VALORES DE ERROR (MM) Y VARIABILIDAD EN TAREA DE TRANSFERENCIA.	127
ANEXO 6. DATOS DESCRIPTIVOS DE VALORES DE ERROR (MM) Y VARIABILIDAD EN TAREA DE TRANSFERENCIA REPRESENTADOS POR GRUPO DE PRÁCTICA Y PAREADO RESPECTO AL NIVEL DE RENDIMIENTO INICIAL EN TAREA DE EVALUACIÓN.	128
ANEXO 7. DATOS DESCRIPTIVOS DE VALORES DE ERROR (MM) Y VARIABILIDAD EN TAREA DE TRANSFERENCIA DE LOS PARTICIPANTES AGRUPADOS EN BASE A LA VARIABILIDAD DEL ERROR EN EL TEST DE EVALUACIÓN INICIAL REPRESENTADOS POR GRUPO DE PRÁCTICA Y NIVEL DE RENDIMIENTO INICIAL.	129
ANEXO 8. DATOS DESCRIPTIVOS DE LA MEDIA Y LA DESVIACIÓN TÍPICA DEL ERROR DE LAS SERIES DE ENTRENAMIENTO DE LOS TRES DÍAS DE PRÁCTICA.	130
ANEXO 9. DATOS DESCRIPTIVOS DE LA MEDIA Y LA DESVIACIÓN TÍPICA DEL ERROR DE LAS SERIES DE ENTRENAMIENTO DE LOS TRES DÍAS DE PRÁCTICA EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE RENDIMIENTO INICIAL.	130
ANEXO 10. DATOS DESCRIPTIVOS DE LA MEDIA Y LA DESVIACIÓN TÍPICA DEL ERROR DE LAS SERIES DE ENTRENAMIENTO DE LOS TRES DÍAS DE PRÁCTICA EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE DFA INICIAL.	130

GUÍA DE ABREVIATURAS

AP: Eje Antero-Posterior

ML: Eje Medio-Lateral

EA: Error Absoluto

CdP: Centro de Presiones

TE: Tarea de Evaluación

TT: Tarea de Transferencia

V0: Grupo de práctica sin variabilidad aumentada

V1: Grupo de práctica con variabilidad aumentada baja

V2: Grupo de práctica con variabilidad aumentada intermedia

V3: Grupo de práctica con variabilidad aumentada alta

DFA: Detrended Fluctuation Analysis

DFA_{ER}: Variabilidad en el eje de desplazamiento de la diana

DFA_{ORT}: Variabilidad en el eje perpendicular al desplazamiento de la diana

TRA: Tasa Relativa de Aprendizaje

TRA_{POST}: Tasa Relativa de Aprendizaje entre evaluación Pre-test y Post-test

TRA_{RET}: Tasa Relativa de Aprendizaje entre evaluación Pre-test y Re-test₂

ApR: Aprendizaje Residual

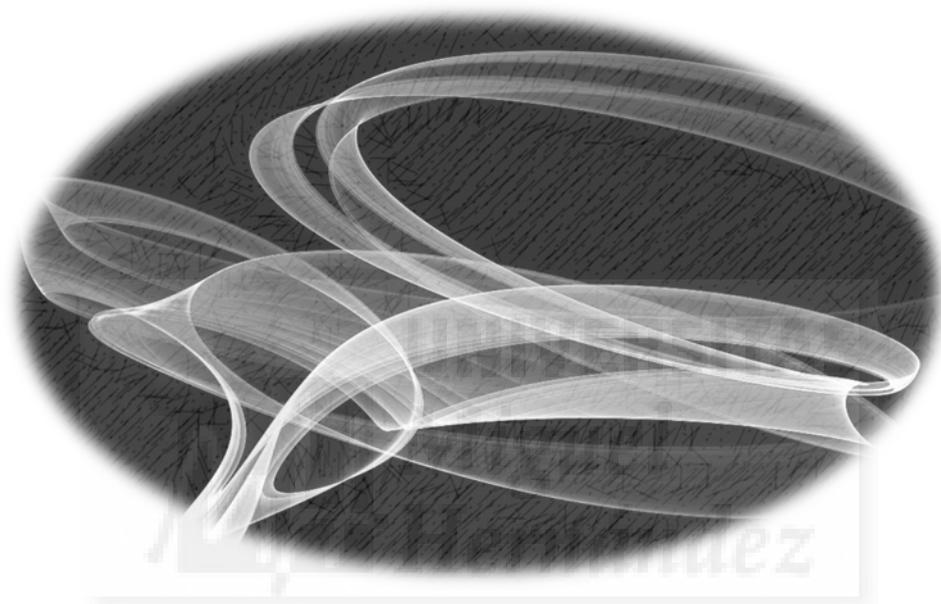
ApR_{POST}: Aprendizaje Residual entre evaluación Pre-test y Post-test

ApR_{RET}: Aprendizaje Residual entre evaluación Pre-test y Re-test₂

D1-5: Día de registro

S1-3: Media del error de las series en las sesiones de entrenamiento





INTRODUCCIÓN

1.1 *La variabilidad del movimiento humano*

Al analizar el comportamiento motor de los seres humanos, es fácil constatar que en la realización de múltiples repeticiones de una misma tarea siempre se observan variaciones entre una ejecución y otra (Glass & Mackey, 1988; Newell & Slifkin, 1998; Stergiou, Harbourne, & Cavanaugh, 2006). Así, si imaginamos por ejemplo el swing en golf, es fácilmente observable que, a priori, es una tarea que requiere de un movimiento consistente con el fin de conseguir el golpe exitoso. Sin embargo, como todos hemos podido comprobar, incluso los más hábiles golfistas son incapaces de repetir una acción de manera idéntica a la anterior. Debido a que la variabilidad se encuentra siempre presente, numerosos estudios han analizado el papel que la misma juega en el control del movimiento en muy diversos ámbitos, desde su relación con la realización de tareas de la vida cotidiana como la marcha y el equilibrio (Darling, Cole, & Abbs, 1988; Jaric, Ferreira, Tortoza, Marconi, & Almeida, 1999), hasta su implicación en el éxito de acciones deportivas (Button, Macleod, Sanders, & Coleman, 2003; Chow et al., 2003; Menayo, Fuentes, Moreno, Reina, & García, 2010; Urbán, Hernández-Davó, & Moreno, 2012).

Diversas teorías han intentado dilucidar y explicar qué papel desarrolla la variabilidad en el control motor. La Teoría de la Variabilidad del Impulso (Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank, & Quinn Jr, 1979) consideraba la variabilidad motora como fluctuaciones en los mecanismos neuromusculares durante la realización de tareas motoras. Esta variabilidad sería el resultado de una transmisión inexacta de los programas motores a la actividad neuromuscular, así como de las variaciones fisiológicas implicadas en las contracciones musculares necesarias para llevar a cabo un programa motor, las cuales generan ruido e imprecisión en el movimiento (Newell & Slifkin, 1998; Williams, Davids, & Williams, 1999). Como resultado de este ruido, si una persona intenta repetir una acción, nunca la realizará de manera exacta a la anterior. La consideración de la variabilidad motora como un ruido inevitable dependiente de la señal, el cual es proporcional a la intensidad del impulso

nervioso, se basa esencialmente en estudios de generación de fuerza isométrica (Jones, Hamilton, & Wolpert, 2002; Schmidt et al., 1979; Stein, Gossen, & Jones, 2005), donde la variabilidad motora ha sido abordada como medida de rendimiento. En estos estudios, la variabilidad ha sido interpretada como la dispersión de los datos en función de un valor criterio. Por tanto, para obtener un mayor rendimiento y optimizar el aprendizaje, la variabilidad mostrada en las acciones debe eliminarse o al menos minimizarse. La práctica es el proceso clave por el cual se reduce la variabilidad del movimiento incrementándose el rendimiento motor (Newell & Slifkin, 1998; Williams et al., 1999).

Sin embargo, numerosos estudios han confirmado que el papel de la variabilidad no puede ser interpretado como un mero ruido a eliminar, sino que juega un papel funcional, relacionado con procesos adaptativos que facilitan el control del movimiento (Newell, Glazier, Araujo, & Bartlett, 2003; Riley & Turvey, 2002). Button et al. (2003) observaron que jugadores de baloncesto de mayor nivel mostraban mayor variabilidad tanto en el ángulo de lanzamiento como en la cinemática del movimiento. Los jugadores expertos mostraron un patrón más flexible que les permitía compensar los movimientos angulares del codo y la muñeca, generando un aumento en la coordinación de estas articulaciones en el momento de lanzamiento. En base a estos resultados, una mayor flexibilidad mostrada en el movimiento es considerada como el mecanismo que determina el éxito del tiro libre en jugadores experimentados (Button et al., 2003; Miller, 2002; Mullineaux & Uhl, 2010). Resultados similares han sido encontrados en otros estudios en los cuales ha sido analizada la cinemática del movimiento comparando entre expertos e inexpertos. Konczak, vander Velden y Jaeger (2009) confirmaron que la variabilidad motora desempeña un papel importante en el aprendizaje al observar cómo durante la ejecución de una pieza musical, los violinistas más expertos mostraron una disminución de la variabilidad cinemática en el movimiento del codo pero una mayor variabilidad en otras articulaciones más proximales. Resultados similares han sido hallados en tareas como el tenis de mesa o el golpeo en

fútbol, donde los expertos muestran una reducción próximo distal de la variabilidad cinemática, obteniendo una mayor consistencia en la fase final de la ejecución (Bootsma & Van Wieringen, 1990; Williams & Hodges, 2005). Por tanto, este rol funcional de la variabilidad motora sería una característica inherente del ser humano, que reflejaría una mayor actividad de los circuitos sensorio-motores facilitando el aprendizaje (Herzfeld & Shadmehr, 2014; Tumer & Brainard, 2007; Wu, Miyamoto, Castro, Ölveczky, & Smith, 2014). Así, cuando un aprendiz tiene que adquirir el dominio de una nueva tarea, la variabilidad motora puede ser un método de exploración del espacio motor. A través de un proceso de ensayo y error, esta exploración podría, en línea con la teoría del aprendizaje por refuerzo (Kaelbling, Littman, & Moore, 1996; Sutton & Barto, 1998a), dirigir el sistema motor hacia patrones motores que optimicen el rendimiento (Shadmehr, Huang, & Ahmed, 2016).

Inicialmente, los estudios que analizaban la variabilidad motora se centraron en ciertas condiciones, como son las tareas abiertas, donde la variabilidad de ejecución puede ser un elemento adaptativo cuando el entorno es cambiante. Schmidt (2003) propuso que un esquema motor más flexible (más variable) permitiría al individuo adaptarse a las condiciones variables del entorno, proporcionándole herramientas para incrementar su rendimiento motor de acuerdo a las demandas de la tarea. En contraposición, en tareas cerradas, donde las condiciones de ejecución son muy estables, un patrón consistente estaría relacionado con un mayor rendimiento. En base a esto, una mayor variabilidad motora podría ser un elemento beneficioso a la hora de adaptarse a los requerimientos de tareas abiertas, mientras que se cuestionaba su utilidad el aprendizaje de tareas cerradas, donde las demandas de las mismas son estables. A pesar de la lógica de tales postulados, varios autores han subrayado que la naturaleza dicotómica de los mismos no es clara, cuestionando su generalización (Dhawale, Smith, & Ölveczky, 2017). El hecho de que todas las habilidades sean en parte abiertas o cerradas, pues ninguna se desarrolla en un entorno

completamente estable, hace que esta interpretación haya sido revisada en estudios posteriores, surgiendo otras interpretaciones respecto al papel de la variabilidad en el comportamiento motor.

Recientemente, nuevas interpretaciones basadas en la Teoría General de los Sistemas Dinámicos (Newell et al., 2003; Davids, Button, & Bennett, 2008) presentan una alternativa al papel de la variabilidad en los procesos de aprendizaje y control motor. Desde esta perspectiva, los seres humanos son estudiados como sistemas adaptativos complejos, en los cuales la variabilidad motora es un reflejo de las múltiples configuraciones articulares posibles que el sistema motor dispone para solventar las demandas de la tarea (Riley & Turvey, 2002). Bajo este enfoque, en lugar de priorizar el estudio en los procesos que se producen a nivel interno de forma aislada, se plantea un prisma global en el que se estudia el comportamiento motor como la relación del individuo con el entorno. En base a este paradigma, la variabilidad motora es interpretada como una característica funcional del sistema (Newell et al., 2003). El sistema motor humano está formado por múltiples elementos (músculos, huesos, tejidos, etc.) que se auto-organizan, facilitando la formación espontánea de patrones de comportamiento que permiten la aparición de nuevos estados de equilibrio del sistema. Este proceso se produce a partir de congelar o descongelar los grados de libertad del movimiento en función de las características del entorno (Newell & Vaillancourt, 2001) con el objetivo de satisfacer las demandas de la tarea (Faisal, Selen, & Wolpert, 2008; Rokni, Richardson, Bizzi, & Seung, 2007; Wu et al., 2014). Por tanto, la variabilidad motora facilitaría la exploración de las múltiples configuraciones posibles, desempeñando un papel importante en la capacidad de adaptación y el aprendizaje motor (Barbado, Caballero, Moreside, Vera-García, & Moreno, 2017; Newell et al., 2003; Lamothe, van Lummel, & Beek, 2009; Mandelblat-Cerf, Paz, & Vaadia, 2009; Moreno & Ordoño, 2009; Zhou et al., 2013).

1.2 *El análisis y la interpretación de la variabilidad como un factor de adaptación*

Desde el punto de vista de la teoría de los sistemas dinámicos, el comportamiento adaptativo de los sistemas hace referencia a la mejora progresiva del rendimiento en respuesta a las alteraciones a las que se ve sometido (Krakauer & Mazzoni, 2011). Bajo esta perspectiva, diversos trabajos han indagado acerca del papel que juega la variabilidad motora en la capacidad de adaptación del ser humano en entornos dinámicos (Newell et al., 2003; Renart & Machens, 2014; Riley & Turvey, 2002). En general, en dichos trabajos se ha observado que los participantes que mostraban una mayor variabilidad, obtenían un mayor rendimiento tras un periodo de adaptación lo cual ha sido interpretado como una mayor exploración del entorno que facilita encontrar la solución motora más adecuada a una tarea dada. Es importante subrayar que esta perspectiva funcional de la variabilidad no está en contraposición con la perspectiva tradicional que interpreta la variabilidad como ruido estocástico proveniente del sistema nervioso (Calvin & Stevens, 1968; Mainen & Sejnowski, 1995; White, Rubinstein, & Kay, 2000). La variabilidad no parece ser una característica unidimensional del sistema motor (Stergiou & Decker, 2011), sino que presenta múltiples facetas, las cuales, para ser reveladas, necesitan de distintas herramientas y variables.

Tradicionalmente, para el estudio de la variabilidad motora se han utilizado herramientas que cuantifican la magnitud de la variabilidad, analizando la dispersión mostrada por la repetición de varios movimientos. Entre las herramientas más utilizadas se encuentra la desviación típica o el coeficiente de variación, las cuales cuantifican la variabilidad motora como la dispersión del resultado de la acción respecto a un punto criterio o un valor medio (Borg & Laxåback, 2010; Le Clair & Riach, 1996). Estas variables han sido especialmente útiles para categorizar el rendimiento motor de un individuo, considerando que una mayor dispersión en el comportamiento motor está relacionada con una menor

consistencia en la ejecución motora, y por consiguiente un menor rendimiento (Stergiou & Decker, 2011). Sin embargo, algunos autores han indicado que estas herramientas lineales no proporcionan suficiente información sobre la naturaleza de la variabilidad (Dingwell & Cusumano, 2000; Dingwell & Kang, 2007; Harbourne & Stergiou, 2009; Miller, Stergiou, & Kurz, 2006; Stergiou & Decker, 2011) pues no son sensibles a la evolución de la misma a lo largo del tiempo. Es decir, no proporcionan información acerca de la estructura y la dinámica temporal de la variabilidad (Stergiou & Decker, 2011). Para el análisis de la variabilidad como elemento adaptativo se han utilizado diversas herramientas matemáticas que cuantifican, no la magnitud de la misma, sino su dinámica temporal, que también se ha denominado la estructura de la variabilidad (Amoud et al., 2007; Borg & Laxåback, 2010; Buzzi, Stergiou, Kurz, Hageman, & Heidel, 2003; Duarte & Sternad, 2008; Fino et al., 2016; Peng, Havlin, Stanley, & Goldberger, 1995; Stergiou & Decker, 2011). Actualmente, en la literatura científica se maneja una gran plétora de herramientas matemáticas denominadas no lineales, si bien no todas ellas cuantifican exactamente lo mismo.

Por un lado, se han propuesto herramientas que cuantifican la regularidad de una serie temporal, como son el Análisis de Recurrencia (Zbilut & Webber, 2006) y las variables de Entropía (Chen, Wang, Xie, & Yu, 2007; Pincus, 1991; Richman & Moorman, 2000). Este tipo de herramientas valoran cuan predecible es una serie temporal de datos. Concretamente, el Análisis de Recurrencia indica el estado repetitivo al que tiende un sistema, mostrado a través del número de veces que coinciden los datos y la proximidad de los puntos en un mapa de recurrencia con todas las posibles trayectorias (Ramos Villagrasa & García Izquierdo, 2011). El análisis de Recurrencia ha sido empleado para el estudio, entre otros, del control postural (Riley, Balasubramaniam, & Turvey, 1999), el análisis de la frecuencia cardíaca (Marwan, Wessel, Meyerfeldt, Schirdewan, & Kurths, 2002; Zbilut, Thomasson, & Webber, 2002) o el control del movimiento en tareas de precisión (Wijnants, Bosman, Hasselman, Cox, & Van Orden, 2009).

En el mismo sentido, las variables de Entropía, han sido utilizadas para medir la irregularidad de las fluctuaciones observadas en una serie temporal, siendo propuesta también como un índice de complejidad (Barbado, Solana, Vera-Garcia, Gusi, & Moreno, 2012; Harbourne & Stergiou, 2009). Concretamente, herramientas como la Entropía Aproximada (Pincus, 1991), Entropía Muestral (Richman & Moorman, 2000) o la Entropía Borrosa (Chen et al., 2007) han sido aplicadas a una gran variedad de señales biofisiológicas (Barbado et al., 2012; Kumar, Dewal, & Anand, 2014; Li et al., 2013; Liu et al., 2013). Estos autores relacionan sistemas más saludables con estructuras de la variabilidad más complejas (más irregulares o menos predecibles). Partiendo de que la complejidad de un sistema puede entenderse como el número de componentes de un sistema y el modo en que interaccionan entre ellos (Newell & Vaillancourt, 2001), un sistema más complejo mostraría mayor número y más variado de combinaciones entre sus componentes, y con ello un comportamiento más irregular e impredecible, identificado con altos niveles de entropía (Harbourne & Stergiou, 2009; Lipsitz, 2004). Barbado et al. (2012) utilizaron la Entropía Borrosa (Fuzzy Entropy) para evaluar la complejidad de las series temporales del Centro de Presiones (CdP) en diversas tareas de estabilidad, observando que aquellos participantes que mostraron mayores valores de entropía obtuvieron menores pérdidas en el rendimiento ante situaciones de equilibrio de mayor dificultad (superficies inestables). En base a dichos resultados, concluyeron que una mayor complejidad en el control postural podría tener relación con una mayor capacidad de adaptación ante tareas más desafiantes.

Los modelos desarrollados para el análisis de la entropía han ido optimizándose para satisfacer las necesidades de los investigadores en el ámbito del comportamiento motor. A pesar de ello, algunos autores ponen en duda que el análisis de la irregularidad de la señal sea un claro indicador de la complejidad de un sistema puesto que no siempre un comportamiento más irregular es síntoma de una mayor interacción entre los componentes

de un sistema (Goldberger, Peng, & Lipsitz, 2002). Por ello, se han propuesto otras herramientas que analizan la complejidad de la variabilidad del movimiento mediante el análisis de la dinámica de una señal a lo largo del tiempo (Buldyrev et al., 1995; Danos, 1958; Kantelhardt, Koscielny-Bunde, Rego, Havlin, & Bunde, 2001). La complejidad de un sistema, resultado de las múltiples interacciones de los diferentes elementos del éste, se reflejarían en fluctuaciones de alta frecuencia y baja amplitud que muestran las unidades menores del sistema, anidadas dentro de las variaciones de baja frecuencia y mayor amplitud que muestran los elementos de mayor escala del sistema (Wijnants, Hasselman, Cox, Bosman, & Van Orden, 2012). La presencia de este anidamiento de frecuencias altas y bajas en la variabilidad de un sistema se ha analizado con diversas herramientas, siendo una de las más empleadas el Análisis de Fluctuaciones sin Tendencias (Detrended Fluctuation Analysis, DFA) (Peng et al., 1994; Peng et al., 1995). Este método evalúa, mediante un índice de escala denominado α , las correlaciones a largo plazo dentro de las series temporales. Algunos autores han relacionado valores de α próximos a 1 con una estructura también denominada como “ruido rosa” o $1/f$ (Van Orden, Holden, & Turvey, 2005), donde la frecuencia del ruido es inversa a su amplitud. Una fluctuación con un índice de $\alpha = 1$ indicaría una complejidad óptima que parece estar vinculada con una dinámica funcional y comportamientos saludables de los sistemas biológicos (Van Orden, Kloos, & Wallot, 2011). Resultados en esta dirección se han podido observar en trabajos relacionados con la marcha (Hausdorff, 2007) y el control postural (Schmit, Regis, & Riley, 2005; Schmit et al., 2006). No obstante, esta relación entre la complejidad, el ruido $1/f$ y el rendimiento no parece presentar una clara unanimidad en la literatura científica actual (Hausdorff et al., 2007). Al parecer otras variables mediadoras pueden afectar a la estructura de la variabilidad y con ello a su relación con el rendimiento motor. Por ejemplo, un elemento influyente en la estructura de la variabilidad es la dificultad de la tarea. Cuando las tareas implican mayor dificultad, los valores de autocorrelación disminuyen alejándose de una estructura de $1/f$ y aproximándose a una estructura de ruido blanco (Clayton & Frey,

1997; Correll, 2008; Kello, Beltz, Holden, & Van Orden, 2007; Ward, 2002), mientras que en tareas con menor dificultad se observan valores próximos a $1/f$, identificada como de mayor complejidad (Chen, Ding, & Scott Kelso, 2001; Delignières & Torre, 2009). Esta sensibilidad mostrada por el análisis de autocorrelación puede aportar información respecto a la respuesta del sistema frente a diversos niveles de estrés, y discriminar entre poblaciones, proporcionando información relevante en el análisis del comportamiento motor.

1.3 *Relación entre la variabilidad y el aprendizaje*

Como se ha subrayado en el apartado anterior, el análisis de la magnitud y la estructura de la variabilidad está permitiendo analizar los procesos subyacentes relacionados con el control motor (Bays, Flanagan, & Wolpert, 2005; Sing, Joiner, Nanayakkara, Brayonov, & Smith, 2009). Sin embargo, el papel exacto de la variabilidad en los procesos de aprendizaje aún no está claro, especialmente en función de la forma de aprendizaje planteada y el tipo de análisis de la variabilidad utilizado (magnitud o estructura). Así, en un reciente estudio, Wu et al. (2014) analizaron el papel de la magnitud de la variabilidad motora en tareas de control manual cuyo aprendizaje estuvo basado en la aplicación de recompensas o en la percepción del error. Concretamente observaron que en ambos tipos de aprendizaje una mayor magnitud de la variabilidad motora evaluada de forma previa a la realización de la tarea objetivo, estaba asociada a una mayor tasa de aprendizaje. En el aprendizaje por refuerzo, donde el aprendiz no percibe el error que comete, sino que se le aplica una contingencia (“recompensa”) en función de si su comportamiento se acerca o no al deseado, la magnitud de la variabilidad motora reflejaría la capacidad de los individuos para explorar diferentes soluciones motora hasta encontrar la más adecuada o viable para cumplir con los objetivos de la tarea (“solución recompensada”). Sin embargo, el hecho de que dicha relación fuera observada no solo en el aprendizaje de tareas basado en la aplicación de recompensas sino también el basado

en la percepción del error, sugiere que la variabilidad puede reflejar un principio general del aprendizaje motor, donde aquellos individuos que muestran un mayor grado de exploración motora se adaptan más rápidamente a unas tareas que otros (Della-Maggiore, Scholz, Johansen-Berg, & Paus, 2009; Frank, Doll, Oas-Terpstra, & Moreno, 2009; Rutishauser, Ross, Mamelak, & Schuman, 2010; Tomassini et al., 2011). Investigaciones en pájaros cantores estudiaron el efecto de inactivar la función de retroalimentación auditiva, mediante la inhibición del circuito tálamo-cortical de los ganglios basales (Ölveczky, Andalman, & Fee, 2005; Tumer & Brainard, 2007). Esta función resulta fundamental en el proceso de evaluación necesario para el aprendizaje del canto. En los resultados se observó una reducción tanto de la capacidad de aprendizaje como de la variabilidad al inactivar dicho circuito. Por tanto, en relación al papel de la variabilidad como herramienta de exploración, se confirmaría que el sistema nervioso regula la variabilidad motora amplificándola, de forma que incrementa la exploración y facilita el aprendizaje (Roberts & Gharib, 2006; Stahlman & Blaisdell, 2011; Sutton & Barto, 1998b). Según estos autores, el circuito tálamo-cortical de los ganglios basales proyectaría directamente a un área cerebral de la corteza motora involucrada en el canto, generando variabilidad en la actividad motora para promover el aprendizaje (Kao, Doupe, & Brainard, 2005; Ölveczky et al., 2005; Tumer & Brainard, 2007). Por tanto, la variabilidad motora podría considerarse un mecanismo de exploración esencial para el aprendizaje, donde debe existir un equilibrio entre el conocimiento obtenido por la exploración y la explotación de dicho conocimiento (Kaelbling et al., 1996; Sutton & Barto, 1998a).

Los estudios publicados que han relacionado la variabilidad con el aprendizaje se han centrado mayoritariamente en el aprendizaje de tareas por refuerzo (Ölveczky et al., 2005; Pekny, Izawa, & Shadmehr, 2015; Tumer & Brainard, 2007). En dichas tareas, la variabilidad facilitaría encontrar soluciones motoras con mayor eficacia. Sin embargo, durante aprendizajes de tareas basadas en el error, no está claro su papel en el aprendizaje,

pues generalmente una reducción de la magnitud de la variabilidad es signo de un mayor rendimiento (Therrien, Wolpert, & Bastian, 2016). Si bien, como se ha comentado anteriormente, Wu et al. (2014) encontraron que la magnitud de la variabilidad también fue un buen predictor del grado de aprendizaje en una tarea de error, es importante subrayar que en ese estudio la variabilidad no estuvo analizada en la misma tarea a ser aprendida. Además, el hecho de que un individuo muestre una mayor magnitud de la variabilidad en una tarea de aprendizaje por error (e.g. tirar dardos) suele significar que tiene un peor rendimiento y, por tanto, un mayor margen de mejora, sesgando la relación variabilidad/aprendizaje. En este sentido, algunos autores ha sugerido que el análisis de la magnitud de la variabilidad puede no ser adecuado para analizar el papel funcional de la variabilidad en tareas en las cuales una reducción de la misma es un signo de rendimiento (Barbado et al., 2017). Por tanto, el empleo de herramientas de análisis no lineal, las cuales permiten analizar la estructura de la variabilidad en lugar de su magnitud, nos puede ayudar conocer los procedimientos de ajuste generados durante el aprendizaje, complementando el análisis de la magnitud de la variabilidad como herramientas de la valoración del rendimiento.

En el comentado estudio realizado por Barbado et al. (2017), se analizó la estructura de la variabilidad mediante DFA y el aprendizaje en tareas de equilibrio basadas en el error. El objetivo de aprendizaje era reducir la magnitud de las fluctuaciones del centro de presiones para obtener un menor error en la tarea. Se comparó la tasa de aprendizaje de dos grupos que inicialmente mostraban un equilibrio similar (similar magnitud de variabilidad), pero valores de DFA diferentes, diferenciando dos grupos, uno de alta y otro de baja autocorrelación. Los participantes con valores de autocorrelación menores mostraron una tasa de aprendizaje superior tras la práctica. Si bien estos resultados podrían ser interpretados como un incremento de los mecanismo exploratorios, estos autores creen que la estructura de la variabilidad observada durante el aprendizaje de tareas por error

podría estar también relacionada con la capacidad de medir y predecir el error motor, proceso relacionado principalmente con el cerebelo (Smith & Shadmehr, 2005). En este sentido, los participantes que muestren una mayor sensibilidad a su propio error motor, probablemente realizarán mayores ajustes a fin de reducir dicho error, lo cual vendrá reflejado en una estructura menos autocorrelacionada (menor DFA) de la variabilidad (Amoud et al., 2007; Wang & Yang, 2012). En esta tesis doctoral se espera profundizar acerca del comportamiento exploratorio y la percepción de error, a través del análisis de la estructura de la variabilidad en una tarea de equilibrio y su comportamiento en función de la dificultad de la tarea realizada.

1.4 *La variabilidad aumentada*

Como ha sido explicado a lo largo del texto, la variabilidad puede ser considerada un factor funcional relacionado con una exploración más activa del entorno, y/o reflejar una mayor capacidad de percibir y corregir el propio movimiento (sensibilidad al error). En base a esto, sería razonable pensar que incrementar la variabilidad motora puede ser un medio que facilite la aparición de dichos comportamientos exploratorios y el incremento de la percepción del propio error, lo cual conllevaría a su vez a un incremento de la capacidad de adaptación.

Desde 1974, en los trabajos promovidos por Richard Schmidt a partir de su teoría del esquema motor, se ha propuesto la utilidad de aumentar la variabilidad durante la práctica en el proceso de aprendizaje. La práctica variable facilitaría la flexibilidad de los programas motores, reflejándose en resultados positivos sobre el aprendizaje. En base a la teoría del esquema, la aplicación de la variabilidad aumentada tendría sentido especialmente en condiciones abiertas (habilidades abiertas, según la definición de Poulton en 1950), en las cuales un esquema motor más flexible permitiría que el sistema se adaptase con mayor facilidad a las condiciones cambiantes del entorno. Por el contrario, en una habilidad

cerrada, que requiere de un resultado más constante y controlado, sería razonable aplicar un tipo de práctica en consistencia que permitiese estabilizar un patrón motor con el fin de reducir el error (Lee, Magill, & Weeks, 1985; Shapiro, Schmidt, Kelso, & Clark, 1982; Van Rossum, 1990).

Sin embargo, los estudios experimentales que han analizado qué tipo de práctica (variabilidad o consistencia) es más adecuada para aprender diferentes habilidades, han mostrado resultados contradictorios. Si bien respecto al aprendizaje de tareas realizadas en entornos muy cambiantes (habilidades abiertas) parece razonable pensar que la práctica en variabilidad ofrecerá ventajas frente a la de consistencia al adaptarse a condiciones cambiantes (Wrisberg & Ragsdale, 1979), no existen resultados unánimes respecto al aprendizaje de tareas que se podrían catalogar como habilidades cerradas. Es fácil encontrar en la literatura científica estudios en la que diversos autores respaldan el uso de la práctica en consistencia en habilidades que requieren de una coordinación estable (Edwards & Hodges, 2012; Shea, Lai, Wright, Immink, & Black, 2001) . Sin embargo, existen números estudios que muestran una variedad resultados que impiden realizar afirmaciones concluyentes acerca de qué tipo de práctica es más idónea en habilidades cerradas. Por ejemplo, Johnson and McCabe (1982), comparando la práctica en variabilidad y en consistencia para el aprendizaje de tareas de lanzamiento, no encontraron diferencias en el error mostrado entre grupos de práctica. Elfaqir (1982) investigó la práctica variable y constante para analizar la mejora de la precisión en adultos, no encontrando diferencias en la transferencia y la retención. También en una tarea de precisión, modificando el peso del implemento mientras se mantenía la distancia, Pigott and Shapiro (1984) compararon los dos tipos de práctica en niños, donde ambas fueron igual de beneficiosas. Estudios posteriores a éstos han encontrado incluso resultados más controvertidos como el de Jarus and Goverover (1999), que en el aprendizaje de tareas de lanzamiento observaron que el grupo con alta variabilidad obtuvo menos error absoluto que el grupo en consistencia. De

hecho, en los últimos años, es posible encontrar un núcleo de estudios importante que observan mayores tasa de aprendizaje en habilidades cerradas tras la práctica en variabilidad (Hector Hernández-Davo, Urbán, Sarabia, Juan-Recio, & Javier Moreno, 2014; Menayo, Moreno, Fuentes, Reina, & Damas, 2012; Savelsbergh, Kamper, Rabiús, De Koning, & Schöllhorn, 2010; Schollhorn, Beckmann, & Davids, 2010; Wolfgang, Schöllhorn, Beckmann, Janssen, & Drepper, 2010). Por tanto, no parece esclarecerse qué tipo de metodología es más adecuada para el aprendizaje de determinadas tareas.

Una de las razones que podría explicar la controversia existente en la literatura acerca qué tipo de práctica es más adecuada, puede encontrarse en el papel mediador que pueden tener factores como el nivel del aprendiz, la dificultad de la tarea, el nivel de variabilidad aplicado, o incluso la interacción entre éstos.

Existen algunos trabajos que han estudiado cómo algunas características intrínsecas pueden mediar en el aprendizaje en condiciones de variabilidad. Los primeros estudios que estudiaron el efecto de las características de los individuos, proceden del análisis del tópico de interferencia contextual al practicar, encontrando que la edad de los participantes puede mediar en la idoneidad de un tipo de práctica u otra. Así, para los adultos, la práctica con grandes niveles de interferencia contextual (que podría relacionarse con altos niveles de variabilidad) provocó mayores tasas de aprendizaje respecto a la práctica sin interferencia contextual. Sin embargo, en niños estas diferencias no parecen ser tan evidentes (Lee et al., 1985; Shapiro et al., 1982). Estos resultados son similares a los observados en el meta-análisis realizado por Brady (2004) sobre los diferentes efectos de la interferencia contextual (práctica aleatorizada y en bloque) en adultos y niños. Este meta-análisis mostró que los mayores niveles de variabilidad en la práctica (aleatoria) promueven mayores tasas de aprendizaje en adultos que la práctica en bloque, no siendo así en los niños. Autores como Wulf & Schmidt (1994) han señalado que la práctica aleatoria podría provocar un incremento excesivo en la variabilidad de los niños, dificultando el desarrollo de una

ejecución motora que permita superar las demandas de la tarea. De forma más específica en la relación con la práctica variable, un reciente estudio de Garcia-Herrero, Sabido, Barbado, Martínez y Moreno (2016), realizado con jugadores de balonmano expertos y noveles, parece ir en una línea similar. Los jugadores expertos tan solo mejoraron con la práctica en variabilidad, mientras que los inexpertos obtuvieron un mayor aprendizaje con la práctica en consistencia. En base a estos resultados, los autores sugirieron que la práctica en variabilidad debe ajustarse al nivel de variabilidad expresado por los aprendices. Según dichos autores, en aquellas personas con comportamientos poco variables podría ser beneficioso el facilitar un mayor nivel de variabilidad, sin embargo, esta medida sería menos eficaz en aprendices que parten con niveles de variabilidad elevada (por ejemplo, noveles frente a expertos en una tarea). Los investigadores que han examinado los efectos de la práctica variable en personas con déficit cognitivos (Eidson & Stadulis, 1991), han observado resultados similares, encontrando que la práctica variable puede promover un aprendizaje más rápido en tareas de transferencia desarrolladas en ambientes relativamente estables (tareas cerradas). Sin embargo, en este estudio, la práctica en consistencia provocó una mayor mejora del rendimiento en tareas abiertas. Aunque estos hallazgos inicialmente podrían parecer opuestos a los resultados previos encontrados en la literatura respecto a los beneficios de la práctica variable en habilidades abiertas (Hector Hernández-Davo et al., 2014; Menayo, Moreno, Fuentes, Reina, & Damas, 2012 ; Savelsbergh et al., 2010; Schollhorn et al., 2010; Schöllhorn, Beckmann, Janssen, & Drepper, 2010), comparten la idea de que cuando un aprendiz muestra una alta variabilidad motora, de acuerdo a sus características intrínsecas, puede ser inapropiado inducir una mayor variabilidad motora a través de la práctica.

Hasta nuestro conocimiento son pocos los estudios que hayan manipulado la carga de variabilidad al practicar con objeto de identificar qué nivel puede ser más adecuado en función de las características de la tarea o el aprendiz. A pesar de las recomendaciones de

algunos autores de adaptar la cantidad de variabilidad a las características del aprendiz (Davids et al., 2008), la mayoría de los estudios se han limitado a comparar práctica variable frente a práctica en consistencia (Ranganathan & Newell, 2010; Hernández-Davo, Urbán, Sarabia, Juan-Recio, & Moreno, 2014; Menayo, Moreno, Fuentes, Reina, & Damas, 2012; Zipp & Gentile, 2010). Por tanto, parece relevante el abordar la modulación de la magnitud de variabilidad al practicar, en relación con las características del aprendiz, como un factor que puede ayudar a dar luz sobre la actual controversia en la aplicación de variabilidad aumentada. Algunos estudios se han aproximado a esta cuestión (Caballero, Luis & Sabido, 2012; Ranganathan & Newell, 2010), señalando que cantidades elevadas de variabilidad en la práctica parecen obtener peores resultados que niveles bajos, mientras que cargas intermedias obtienen mejores beneficios. En un estudio reciente de Moreno, Peláez, Urbán, & Reina (2011), se compararon 4 niveles de magnitud de carga de variabilidad sobre el aprendizaje, en una tarea de lanzamiento continuo a diana. En este experimento se manipuló la magnitud de la variabilidad modificando la distancia entre las dianas en mayor o menor amplitud dependiendo del nivel de variabilidad en la práctica. Los resultados mostraron que el grupo que practicó con carga media de variabilidad mostró los mejores resultados en la mejora de la precisión, comparado con elevados o bajos de variabilidad. Por tanto, estos resultados parecen indicar que podría existir una carga de variabilidad adecuada que permitiera maximizar el aprendizaje. Sin embargo, bajo nuestro conocimiento no existen estudios que hayan analizado la interacción entre la carga de variabilidad al practicar y las características de los individuos.

Finalmente, un aspecto que puede mediar en los efectos positivos de la carga de variabilidad al practicar, es el periodo necesario para observar las adaptaciones provocadas por los distintos tipos de práctica. Por ejemplo, en el estudio de Breslin, Hodges, Steenson, y Williams (2012), donde no se obtuvo una mayor tasa de aprendizaje de la práctica variable respecto a la constante, se trataba de un estudio con un Pre-test y un Post-test, en el cual

no se analizó el rendimiento de los participantes tras un periodo de descanso. Para afrontar el estudio de la interacción entre las características de la carga de variabilidad, las características individuales y el tiempo de descanso necesario, Moreno y Ordoño (2015) propusieron como marco teórico la capacidad de adaptación de los sistemas biológicos. Apoyándose en la teoría del síndrome general de adaptación (SGA), y bajo presupuestos compartidos por la Teoría General de Sistemas Dinámicos, proponen que la práctica en variabilidad debe modularse para suponer una estimulación que facilite al aprendiz una adaptación a un nivel de rendimiento superior y con ello optimizar el aprendizaje motor. La consideración de la variabilidad al practicar como una carga de entrenamiento permitiría individualizar la práctica y analizar si se está ajustando el nivel de carga adecuado a las características del sujeto y, para un determinado nivel de variabilidad, cuáles deben ser las características de esa tarea y los tiempos de recuperación.

En resumen, parece claro que el aprendizaje motor en condiciones de variabilidad, es un proceso multidimensional en el que intervienen diversos factores (Ranganathan & Newell, 2013; Schmidt & Lee, 2005) que habría que valorar: cómo afecta el nivel de carga de variabilidad, cómo se ve reflejado tras diferentes tiempos de descanso y cómo las características de los aprendices (en nuestro caso, la magnitud y la estructura de la variabilidad intrínseca) influyen en estos aspectos. Por ello, el objeto de esta tesis es abordar el efecto de diferentes magnitudes de variabilidad aumentada en el aprendizaje de una tarea de estabilidad del tronco, en función de las características intrínsecas de los participantes, así como la adaptación a las cargas en diferentes momentos temporales, a fin de conocer la existencia de una posible relación entre una carga adecuada a las características de los participantes y los tiempos de descanso adecuados para su correcta adaptación.



ESPECIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 *Problema de investigación*

Como se ha ido presentando a lo largo de la introducción, la variabilidad es un tópico de estudio dentro del Control Motor que ha sido abordado desde diferentes perspectivas, y a pesar del aumento y mejora que se ha producido en el conocimiento respecto a las herramientas de análisis y funcionalidad, aún quedan aspectos sobre los que profundizar para conocer en mayor medida su relación con el rendimiento y su uso como estrategia de aprendizaje.

Un aspecto en el que parecer haber consenso es en la relación positiva de la variabilidad al practicar con el aprendizaje de tareas abiertas que requieren de una mayor exploración del entorno del aprendiz. Por el contrario, en tareas cerradas los resultados son contradictorios probablemente debido a que en la literatura no se ha considerado específicamente algunos aspectos relevantes a la hora de la aplicación de la variabilidad al practicar en los aprendices. Entre los aspectos revisados en la introducción destacamos: 1) el rendimiento inicial de los aprendices, 2) las características de la variabilidad que muestran cuando afrontan la tarea y 3) la carga de variabilidad aplicada para mejorar el aprendizaje. La medida del rendimiento en diferentes momentos temporales, además, permitirían conocer cómo los individuos asimilan las cargas y el efecto de éstas.

Por tanto, esta tesis doctoral tratará de dar respuestas a algunas de estas cuestiones, abordando algunos de los aspectos claves planteados en la introducción.

1. ¿Existen diferencias en la respuesta y la adaptación en la aplicación de estímulos de diversa magnitud? Se manipulará la magnitud de la carga con la aplicación de diferentes niveles de intensidad, pudiendo valorar si existen cargas de variabilidad óptimas.
2. ¿Existe una relación entre las características individuales de los participantes y el efecto de distintas magnitudes de carga de variabilidad? Se valorará el aprendizaje

producido por diferentes magnitudes de carga en participantes con diferentes características individuales.

3. ¿Cómo se adaptan los participantes a las diferentes magnitudes y cuál es el tiempo necesario para que se produzca esa adaptación? Para ello, se valorará el rendimiento de los participantes en tres momentos temporales diferentes: inmediatamente después del último entrenamiento, a las 24 y a las 72 horas. Por último, realizaremos una tarea de transferencia para analizar las posibles diferencias en el rendimiento producidas por la aplicación de diferentes magnitudes de carga.

Consideramos que el estudio realizado en esta tesis doctoral sobre los aspectos mencionados permitirá arrojar luz sobre el papel de la variabilidad motora, la aplicación de la variabilidad como carga de práctica y la individualización de la práctica acorde a las características intrínsecas de los individuos. Este problema de investigación se expone de forma operativa en los siguientes objetivos e hipótesis de estudio.

2.2 Objetivos

- I. *Analizar el efecto de diferentes magnitudes de carga de variabilidad en la práctica en el rendimiento y la estructura de la variabilidad de la tarea.*
- II. *Analizar el efecto de diferentes magnitudes de carga de variabilidad en la práctica en el rendimiento y la estructura de la variabilidad de una tarea de transferencia.*
- III. *Analizar la influencia del nivel de rendimiento inicial de los participantes en el aprendizaje con diferentes magnitudes de carga de variabilidad en la práctica.*
- IV. *Analizar la influencia del nivel de variabilidad inicial de los participantes en aprendizaje con diferentes magnitudes de carga de variabilidad al practicar.*
- V. *Analizar la adaptación a la aplicación de diferentes magnitudes de carga de variabilidad a lo largo de las sesiones, reflejada en el rendimiento y en la variabilidad mostrada.*

2.3 Hipótesis

Hipótesis 1: La aplicación de diferentes magnitudes de carga de variabilidad, sin tener en cuenta las características intrínsecas de los participantes, no generará diferentes respuestas en el aprendizaje de una tarea de estabilidad sedente del tronco.

Hipótesis 2: La aplicación de altos niveles de variabilidad aumentada durante la práctica tendrá un efecto de transferencia mayor sobre una tarea de estabilidad del tronco no practicada que la práctica en consistencia o con bajos niveles de variabilidad.

Hipótesis 3: Cuando el nivel de rendimiento inicial del aprendiz sea elevado, la aplicación de elevadas cargas de variabilidad aumentada será más efectiva que la práctica con poca variabilidad, en el aprendizaje de una habilidad de estabilidad sedente.

Hipótesis 4: Cuando el nivel de rendimiento inicial del aprendiz sea bajo, la aplicación de bajas cargas de variabilidad aumentada será más efectiva que la práctica con altas cargas de variabilidad, en el aprendizaje de una habilidad de estabilidad sedente.

Hipótesis 5: Cuando la estructura de la variabilidad inicial del aprendiz sea más autocorrelacionada, la aplicación de elevadas cargas de variabilidad aumentada será más efectiva que la práctica con poca variabilidad, en el aprendizaje de una habilidad de estabilidad sedente.

Hipótesis 6: Cuando la estructura de la variabilidad inicial del aprendiz sea menos autocorrelacionada, la aplicación de bajas cargas de variabilidad aumentada será más efectiva que la práctica con alta variabilidad, en el aprendizaje de una habilidad de estabilidad sedente.

Hipótesis 7: Los niveles elevados de carga de variabilidad aumentada requerirán mayor tiempo para mostrar una adaptación a dicha carga, mientras que la práctica con bajos niveles de variabilidad mostrarán más rendimiento a corto término.



MÉTODO

3.1 *Participantes*

Noventa y un voluntarios participaron en este experimento (edad= 24.7 ± 5.23 años, peso = 70.7 ± 10.9 , altura = 173.3 ± 8.8 cm; momento de inercia del tronco = 564.8 ± 43.5 Kg·m²), siendo 62 de ellos hombres y 33 mujeres. Los participantes fueron miembros de la comunidad universitaria reclutados a través de la presentación del proyecto de estudio en diversas aulas en la que se explicó los objetivos y características del estudio, facilitando el contacto para la posterior organización del calendario de registro acorde a la disponibilidad y compatibilidad de cada uno de ellos.

A los participantes del estudio se les administró una encuesta estructurada para conocer su historial clínico. Los criterios de exclusión para esta fase del proyecto fueron: i) tener antecedentes de alteraciones cardiorrespiratorias, musculoesqueléticas o de cualquier otro tipo que contraindiquen la realización del protocolo de intervención.; ii) la existencia de algún tipo de alteración raquídea o dolor lumbar durante el estudio o en los 12 meses anteriores al mismo; iii) haber sido sometido a cirugía abdominal o lumbar. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado, basado en la Declaración de Helsinki de 2013 y aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

3.2 *Tarea experimental*

La tarea experimental consistió en una tarea de control postural en la que el participante debía mantener el equilibrio en posición sedente sobre un asiento inestable. En dicha tarea, mediante movimientos realizados con su tronco, cada participante debía ajustar su centro de presiones (CdP), representado frente a él mediante una proyección en tiempo real, a una diana que se desplazaba en un eje siguiendo una trayectoria sinusoidal.

El objetivo de la tarea fue tratar de que la distancia entre el CdP y la diana fuera la menor posible. Para ello, todos los participantes recibieron la instrucción “*trata de que el centro de presiones se mantenga lo más próximo posible a la diana*”.

La tarea se midió en dos condiciones diferentes que se denominarán tarea de evaluación y tarea de transferencia. En la tarea de evaluación, el desplazamiento de la diana se representó en el eje anteroposterior. En la tarea de transferencia, el desplazamiento de la diana se mostró en el eje medio lateral. El participante debía ajustar su CdP en el eje en el que se mostraba el desplazamiento de la diana. Como se detallará en el procedimiento, la tarea de transferencia no se practicó durante el entrenamiento y sólo se midió en el Pre-test y en los test finales y de retención.

3.3 Variables de investigación y diseño

3.3.1 Variable independiente

Para testar las hipótesis de este estudio, y cumplir con los objetivos de esta tesis, se consideró como variable independiente la magnitud de carga de variabilidad aplicada en el entrenamiento, con cuatro niveles experimentales:

- V0: práctica en las mismas condiciones de la tarea de evaluación.
- V1: carga baja de variabilidad sobre la trayectoria de la diana
- V2: carga intermedia de variabilidad sobre la trayectoria de la diana
- V3: carga alta de variabilidad sobre la trayectoria de la diana.

El primer nivel (V0) se corresponde con la práctica en las mismas condiciones de la tarea de evaluación.

En los diferentes niveles de variabilidad, al desplazamiento sinusoidal de la diana se le añadieron desviaciones en dicho desplazamiento con una frecuencia de 1 Hz y una amplitud aleatoria. La amplitud máxima de las desviaciones fue la resultante de hasta 1º de

inclinación del tronco para el nivel V1, 2° para el nivel V2 y de 3° de inclinación para el nivel V3. En la figura 1 se puede observar un ejemplo de la trayectoria de la diana en función de los niveles de carga aplicados.

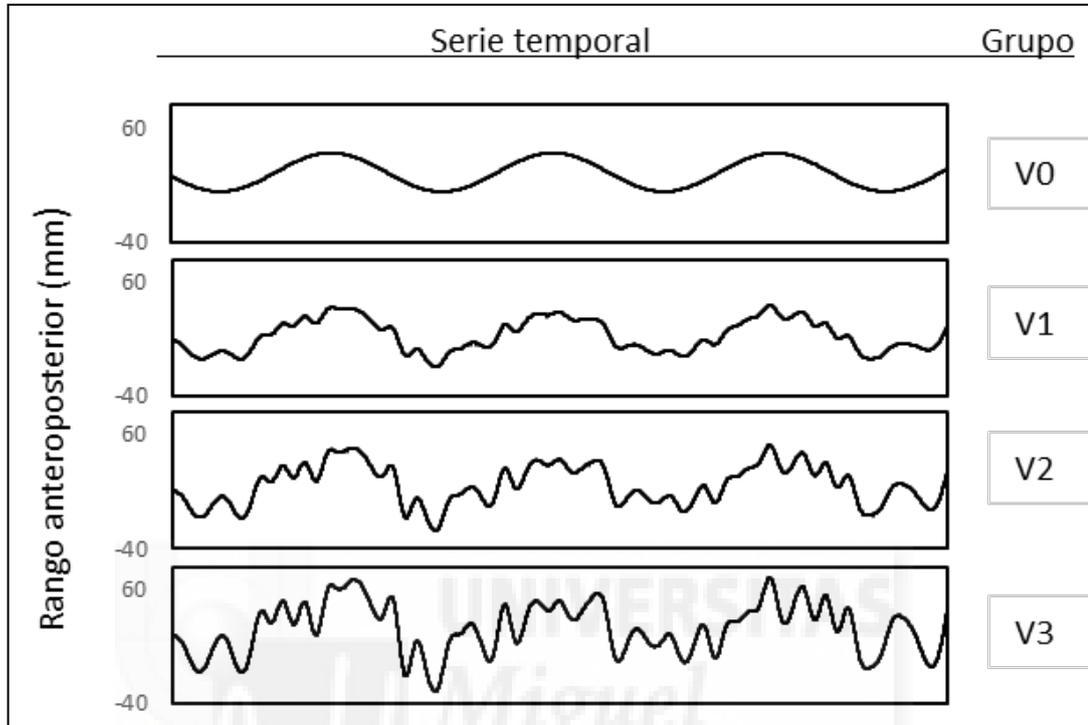


Figura 1. Representación gráfica de la trayectoria de la diana en el eje anteroposterior en el primer ensayo de entrenamiento en cada uno de los grupos de práctica.

3.3.2 Variables dependientes

En esta tesis doctoral se han analizado diversos grupos de variables dependientes. En el primero se encuentran las variables empleadas para valorar la magnitud del error cometido en la tarea. Estas variables de error fueron obtenidas en función de la distancia entre el CdP y la diana a lo largo de cada uno de los ensayos registrados. Se evaluó el desplazamiento del CdP tanto en el eje correspondiente al eje principal de movimiento de la diana y en el eje perpendicular (u ortogonal) a éste, del cual el participante no recibía feedback. Para conocer la tasa de aprendizaje de cada uno de los participantes, se calculó la variación del error en valores absolutos y valores porcentuales, con respecto al Pre-test, en las mediciones finales y de retención.

Por otro lado, se midió la auto-correlación de la diferencia del CdP y la diana en ambos ejes (que denominaremos eje del error y eje ortogonal). Esta variable se analizó para conocer la estructura de la variabilidad en el test inicial y cómo se modifica a lo largo de los ensayos de práctica y en los diferentes test aplicados.

A continuación, se presentan cada una de las variables dependientes analizadas en esta tesis doctoral, cuyo cálculo será detallado en el apartado de análisis y reducción de datos.

3.3.2.1 *Magnitud del error*

Para evaluar el error obtenido se analizaron los resultados del error absoluto (EA) para todos los ensayos de la tarea de evaluación y para la tarea de transferencia, considerado como el promedio de la distancia existente entre la diana y el CdP en el eje de movimiento de la diana - eje antero-posterior (AP) para la tarea de evaluación y el eje medio-lateral (ML) para la tarea de transferencia. Una vez obtenido el EA de los tres ensayos de cada test de evaluación, se promedió el resultado de los dos mejores.

3.3.2.2 *Tasa de aprendizaje*

La tasa de aprendizaje es una variable habitual en los estudios de aprendizaje motor y es calculada como la tasa de modificación de la conducta (en nuestro caso el error) tras un periodo de práctica (Singer, 1980; Ruiz, 1994; Schmidt y Lee, 2005). Esta variable pretende medir el efecto de la práctica sobre el rendimiento en la tarea de evaluación y en la tarea de transferencia. Se calculó la tasa relativa de aprendizaje (TRA), respecto al Pre-test, en la evaluación Post-test (TRA_{POST}) y re-test (TRA_{RET}).

Asimismo, se calculó el valor de la tasa de aprendizaje sin la influencia del nivel inicial de rendimiento. Para ello se obtuvo el valor residual obtenido de un ajuste de regresión lineal entre el EA_{PRE} como variable predictora y el TRA_{POST} y el TRA_{RET} como las variables

predichas. Así, se obtuvieron como variables dependientes el aprendizaje residual en la evaluación Post-test (ApR_{POST}) y en el re-test (ApR_{RET}).

El cálculo de estas variables se explica en el apartado de análisis y reducción de datos.

3.3.2.3 Auto-correlación del desplazamiento del CdP del eje antero posterior y medio lateral

El Análisis de Fluctuaciones sin Tendencia (DFA), es un método basado en la teoría de la trayectoria aleatoria (“*random walk*”), que evalúa la presencia de correlaciones de larga duración dentro de la serie temporal, mediante un parámetro definido como índice de escala α . (Peng et al., 1995; Peng et al., 1995; Roerdink et al., 2006). En base a la literatura, se han propuesto diversos valores de α que facilitan su interpretación: $\alpha > 0,5$ implica persistencia (es decir, la trayectoria de la señal analizada tiende a continuar en su dirección actual); $\alpha < 0,5$ implica anti-persistencia (es decir, la trayectoria tiende a regresar de donde proviene); $\alpha = 0,5$ implica una señal no auto-correlacionada (Roerdink et al., 2006). Por lo tanto, α identifica la medida en que los datos de una serie son dependientes de los datos previos (Jordan y Newell, 2008). Para maximizar la estimación de α y reducir el error, se seleccionó un rango de ventanas (n) de análisis $4 \leq n \leq N / 10$, donde N es la longitud de datos (Z. Chen et Al., 2002). Típicamente, el desplazamiento de CdP exhibe valores de α de 0,5 a 1,5.

Debido a que los participantes sólo obtuvieron feedback del eje en el que realizaban la tarea, y por tanto el comportamiento en cada uno de ellos podía estar condicionado por la percepción del error, α fue calculado para cada uno de los ejes por separado (Caballero et al., 2016), en el eje del desplazamiento de la diana (DFA_ER), y en el eje perpendicular (DFA_ORT).

3.3.3 Variables contaminantes

Para minimizar el efecto de las posibles variables contaminantes que pudieran afectar durante el registro de datos, se trataron de identificar y mantener controladas, en especial aquellas variables relacionadas con las condiciones de medida durante el experimento. Algunos de estas variables contaminantes fueron las siguientes:

3.3.3.1 Estandarización del Instrumental de registro

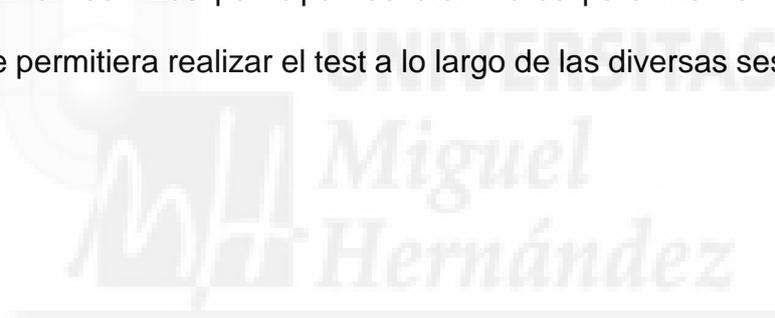
Previo a cada registro se realizó un protocolo para garantizar el adecuado funcionamiento del instrumental empleado en la recolección de datos. Para estabilizar el voltaje de la plataforma de fuerzas, la plataforma y la tarjeta analógica eran encendidas media hora previa al registro. Una vez estabilizado el voltaje, se realizaba la calibración de la tarjeta analógica mediante el software Instacal (Measurement Computing, Norton, MA, Estados Unidos), para garantizar el correcto ajuste de los parámetros de la plataforma previo al registro y la correcta toma de datos.

Antes de realizar el registro de cada ensayo, se calibró la posición del participante mediante una aplicación "ad hoc" realizada en el Centro de Investigación del Deporte en entorno Visual C# (Microsoft, Redmond, WA, Estados Unidos). Para ello se solicitaba a los participantes que permaneciesen en una posición estable y cómoda apoyando dos dedos sobre la barra de protección, a fin de evitar desequilibrios que pudiesen perturbar el cálculo de la posición inicial. De este modo se garantizó que la trayectoria del CdP mostrada por el participante partía siempre desde un punto medio de su base de sustentación.

El instrumental de medida empleado a lo largo de las evaluaciones fue el mismo para toda la investigación, con la finalidad de minimizar los posibles efectos contaminantes del empleo de diversos instrumentales sobre los resultados en las variables dependientes.

3.3.3.2 *Posición del participante durante el proceso registro*

A lo largo del estudio se trató de que los participantes realizaran la tarea siguiendo los mismos criterios y evitando que la posición en el inicio de la tarea afectase sobre los resultados obtenidos. Para ello, tal como se ha descrito anteriormente, se solicitó a los participantes que permanecieran los más quietos posible en su posición de equilibrio sentados sobre la plataforma, con dos dedos ligeramente apoyados sobre la barra de seguridad, manteniendo el tronco erguido (Figura 2). De este modo se registró durante 6 segundos previo a cada ensayo, calculándose su valor promedio como posición inicial, la cual fue utilizada como punto de origen sobre el que se aplicarían las trayectorias de la diana. Una vez calculada la posición de inicio, los participantes cruzaban las manos en el pecho para iniciar el test. Los participantes eran libres para mantener la posición más confortable que le permitiera realizar el test a lo largo de las diversas sesiones de medición y entrenamiento.



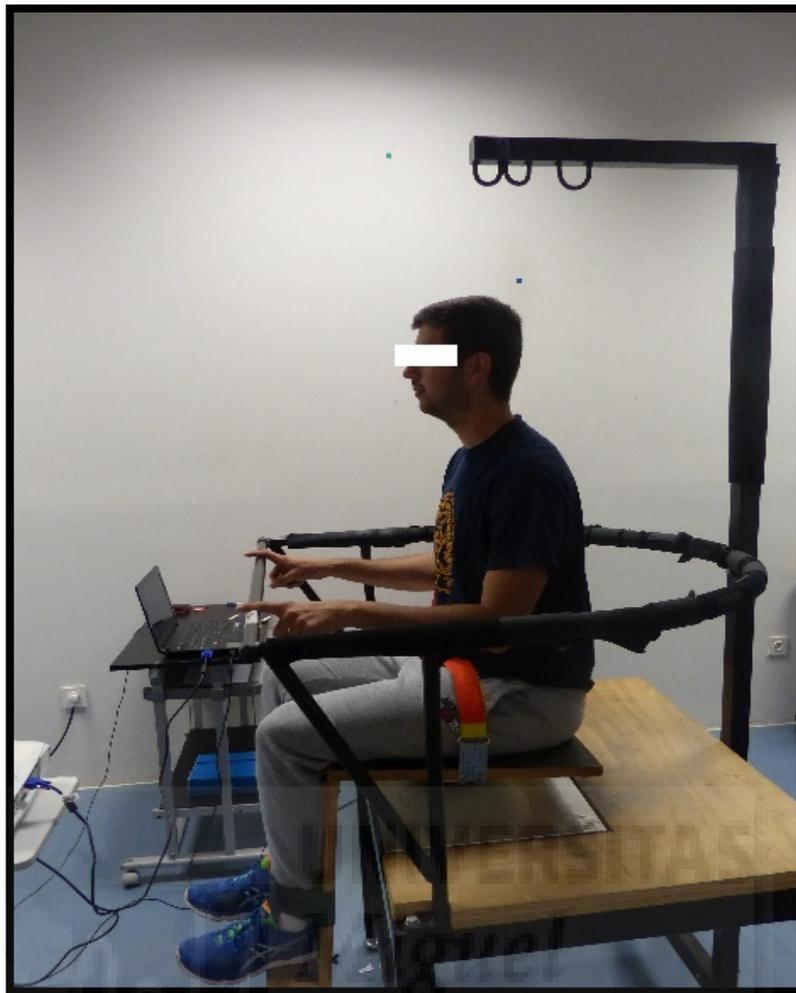


Figura 2. Participante durante el cálculo de la posición inicial.

3.3.3.3 Condiciones de registro

Las mediciones fueron realizadas en el laboratorio de Aprendizaje y Control Motor del Centro de Investigación del Deporte (CID), en el cual se mantuvieron controladas las condiciones de luz durante la toma de datos. Los test se realizaron con condiciones de iluminación constantes, empleando luz artificial a fin de que las condiciones ambientales debidas a la hora de registro no afectasen a los resultados ni a la percepción visual de los participantes. Durante los registros, se restringió el acceso al laboratorio para evitar posibles estímulos que pudiesen distraer a los participantes.

Para evitar que los resultados pudiesen verse afectados por el efecto del horario y la fatiga, se mantuvo constante en la medida de lo posible la hora de registro para cada uno de los participantes, a pesar de que en ocasiones la disponibilidad horaria de los mismos

dificultase esta constancia. A su vez, se pidió a los participantes que no modificasen sus hábitos de vida ni las actividades físicas que realizasen habitualmente, para que los posibles cambios en su rendimiento fuesen derivados de la práctica de la tarea de equilibrio en y no de factores externos.

3.3.4 *Diseño*

Dadas las variables independientes utilizadas en este estudio, así como el control de las variables contaminantes, el presente trabajo presentó un diseño experimental mixto de medidas independientes para el nivel de carga de variabilidad y de medidas repetidas para el efecto de la práctica en los diferentes test, final y de retención. En este diseño experimental los grupos fueron apareados respecto al nivel de rendimiento inicial.

Los participantes fueron también apareados “ad hoc” respecto a su nivel inicial de variabilidad y rendimiento inicial en cada grupo de práctica.

3.4 *Instrumental*

Para realizar el protocolo de evaluación de la estabilidad del tronco, se utilizó un asiento inestable apoyado sobre una plataforma de fuerzas Kistler 9286BA (Kistler Group, Winterthur, Suiza) con una frecuencia de registro de 1000 Hz. La plataforma se colocó sobre una estructura metálica y estable, a una altura de 80 cm del suelo (Figura 3).



Figura 3. Estructura metálica empleada para el desarrollo del protocolo de registro.

Para evitar cualquier desequilibrio debido a la pendiente de la base que pudiera alterar los resultados registrados por la plataforma, se emplearon unas pequeñas láminas de aluminio de 2 mm para asegurar que los cuatro puntos de apoyo de la plataforma estuviesen adecuadamente equilibrados. Sumado a esto, para evitar posibles desplazamientos de la plataforma debido a la propia ejecución del test, ésta fue ajustada en una tabla de madera desarrollada específicamente para eliminar cualquier desplazamiento lateral de la plataforma (Figura 4).

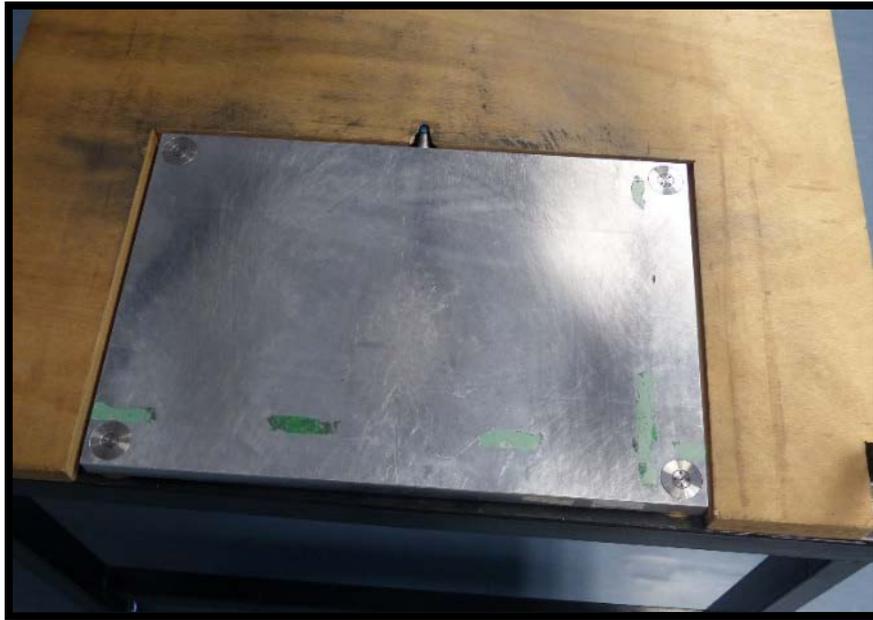


Figura 4. Plataforma de fuerzas empleada para el registro del desplazamiento del CDP ubicada sobre la estructura metálica de medición y ensamblada en la madera de ajuste.

La estructura metálica disponía de una barra de seguridad ubicada delante del participante, con objeto de proporcionar una sujeción de seguridad si los participantes percibían que no podían controlar su equilibrio.



Figura 5. Asiento inestable con cajón de estabilidad colocado sobre la plataforma de fuerzas

El asiento inestable consistió en una plataforma de madera (50 cm x 50 cm) fijada a la superficie plana de una hemiesfera de resina de poliéster (diámetro de la hemiesfera: 35 cm; altura del asiento respecto a la base de la hemiesfera: 12 cm) (Figura 5). El asiento fue equipado con soportes de madera para las piernas y pies para prevenir movimientos relativos a la plataforma del miembro inferior. A la silla se adosaron unos soportes que permitían a los participantes colocar los pies y fijarlos a través de bandas elásticas, para minimizar la participación del tren inferior en la tarea (Figura 6). La hemiesfera adosada a la silla era de resina de poliéster evitando de este modo la deformación del material y la influencia que el peso pudiera tener en el test. Para mantener constante las condiciones de la toma de datos, se realizaron diversas marcas para mantener el instrumental siempre en la misma posición.

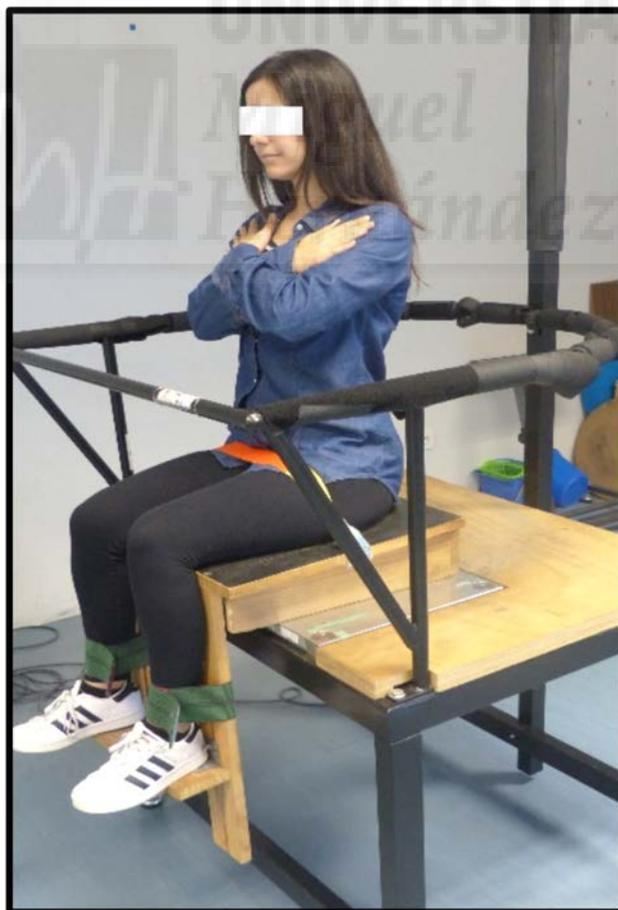


Figura 6. Participante con sujeción de tobillos y cadera. En la figura el asiento inestable se encuentra estabilizado mediante una estructura de madera.

Con objeto de valorar el control del tronco de cada participante se realizó una tarea de seguimiento que consistía en la representación de una diana a través de una proyección, cuya trayectoria debía ser seguida a través del desplazamiento del Centro de Presiones (CdP) del participante. Para llevar a cabo la valoración de la estabilidad del tronco se desarrolló un programa propio en lenguaje Visual C# (Microsoft, Redmond, WA, Estados Unidos) en el Centro de Investigación del Deporte de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Este programa proporcionaba feedback visual respecto a la posición del CdP del participante en tiempo real y mostraba una diana móvil utilizada como criterio a mantener durante la tarea. Dicho software no sólo proporciona feedback visual del desplazamiento del CdP (en el eje anteroposterior y/o medio-lateral) y de la diana, sino que permite configurar la trayectoria de dicha diana permitiendo individualizarla de acuerdo a las características de cada participante (Figura 7). La representación del software fue proyectada mediante un proyector 3M X55 (Hitachi, Tokio, Japón) sobre una pared blanca y lisa cuyo centro estaba ubicado a 3.5 m del participante y a una altura de 1.4 m. La posición del CdP y de la diana fueron registrados a 1000 Hz.

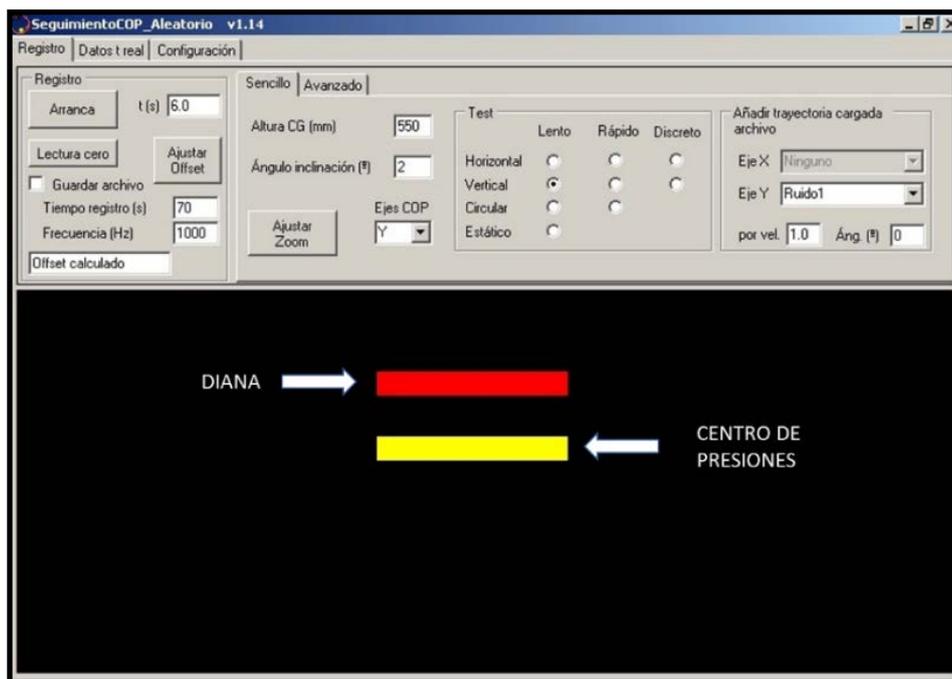


Figura 7. Software creado para representación y registro de las trayectorias de la diana y el CdP y el cálculo del error en cada ensayo.

3.5 Procedimiento

3.5.1 Medida de la tarea de evaluación

Para llevar a cabo la tarea de evaluación, se midió longitud del tronco para la individualización del rango de desplazamiento de la trayectoria de la diana, considerando la distancia entre el trocánter y el acromion, añadiendo posteriormente este parámetro al software para el ajuste de la trayectoria respecto al centro de masas del HAT (*head, arms and trunk*). La altura del centro de masas se considera a 62.6% de la distancia del acromion hasta el trocánter del fémur (Winter, 1990). Tras ello, se sentó a los participantes sobre el asiento inestable y se les ajustaron los soportes de acuerdo a sus medidas antropométricas. La altura del soporte de los pies fue ajustada individualmente para que el ángulo de la rodilla fuese de 90° y la planta del pie estuviese totalmente apoyada en su soporte, mientras unas correas elásticas aseguraban la parte inferior de la pierna de cada participante a su soporte específico. Se colocó una barra de seguridad delante del participante, proporcionando así una sujeción de seguridad en caso de que los participantes percibieran que no podían controlar su equilibrio. Con objeto de evitar una mayor práctica del participante entre ensayos que pudiera inducir a mayor aprendizaje y/o fatiga, el asiento inestable fue estabilizado entre repeticiones colocando una estructura de madera debajo del asiento para fijar su posición y evitar inestabilidad durante los periodos de descanso.

Una vez ajustado el participante, se extraía la estructura que estabilizaba el asiento y se llevaba a cabo una tarea de familiarización con la silla que consistió en 5 desplazamientos controlados en el eje anteroposterior y medio lateral. Esta tarea tenía el objetivo de evitar una ejecución limitada de los participantes por miedo a caer o por desconocimiento de la dificultad de la tarea.

En la tarea de evaluación, a los participantes les fue aportado biofeedback visual de su CdP en tiempo real, así como una diana a la que debían aproximarse con

desplazamiento anteroposterior del CdP. Los participantes tan sólo recibieron feedback visual en el eje en el que realizaban la tarea (AP), no pudiendo percibir visualmente su ejecución en el eje perpendicular (ML) (Figura 8). La tarea de evaluación consistió en 3 ensayos de 70 segundos, con descansos de 1 minuto, en los que los participantes debían permanecer sentados sobre la plataforma inestable tratando de aproximar lo máximo posible su CdP a la diana verticalmente representando su eje AP.



Figura 8. Participante realizando la tarea de evaluación de control postural en el eje anteroposterior.

3.5.2 Medida de la tarea de transferencia

Tras finalizar los tres ensayos de la tarea de evaluación, se realizó la medición de una tarea similar a la tarea de evaluación, pero en la que los participantes debían de seguir una diana que se desplazaba en el eje medio lateral, a fin de conocer la posible transferencia que la práctica en el eje AP, en cada uno de los niveles de entrenamiento, podría tener en el control del CdP en el eje ML.

Todo el protocolo de registro sigue el mismo procedimiento que en la tarea de evaluación, partiendo de nuevo cuando los participantes estaban relativamente estables

con las manos cruzadas en el pecho y recibiendo las mismas instrucciones: “trata de que el centro de presiones se mantenga lo más próximo posible a la diana”.

3.5.3 Protocolo de entrenamiento

Los participantes fueron distribuidos en 4 grupos de práctica en las que se le aplicaron los cuatro niveles de la variable independiente relacionada con las diferentes magnitudes de carga de variabilidad durante los ensayos de práctica.

Se realizó un apareo para la asignación de los participantes en los diferentes grupos de práctica en base al rendimiento inicial calculado como el promedio de los dos mejores ensayos del Pre-test en la tarea vertical (que se corresponde con la Variable dependiente: Error Absoluto del CdP con respecto a la diana). El análisis se automatizó a través de una aplicación específica en LabView 2009 (National Instruments, Austin, TX, Estados Unidos), para no alterar los tiempos de recuperación y práctica (Figura 9).

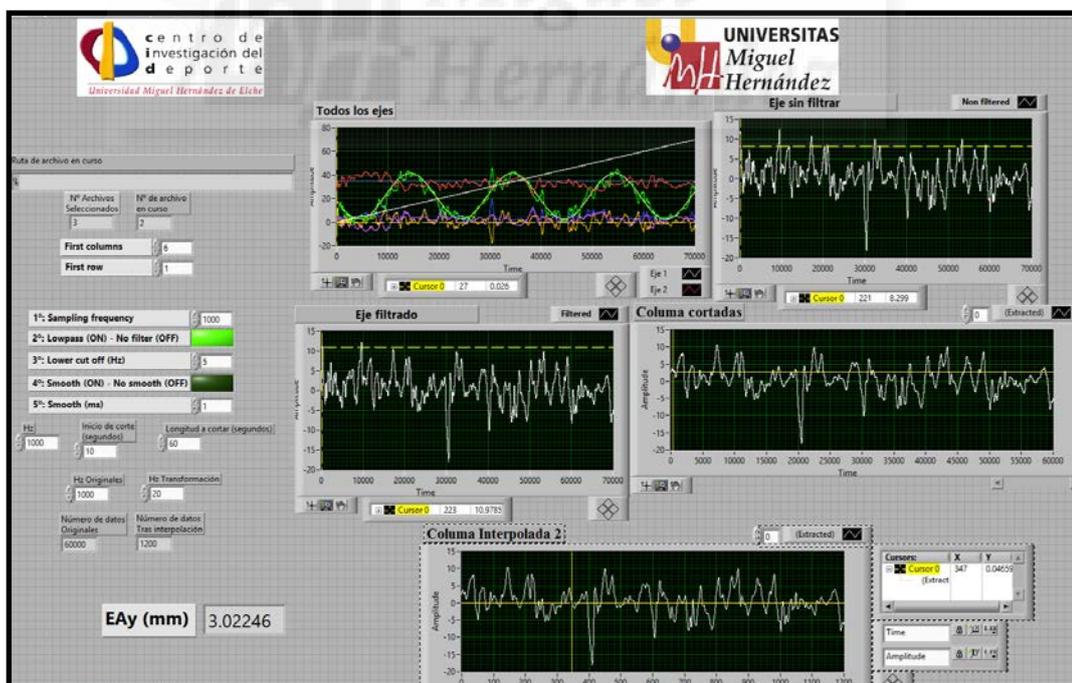


Figura 9. Software en entorno LabView creado para el cálculo del error en los ensayos.

Los participantes fueron evaluados durante 5 sesiones, una cada día, divididas en dos semanas: la primera semana fueron evaluados los días martes, miércoles, jueves y viernes

y en la segunda semana el lunes, tratando de mantener el horario de registro estable a lo largo de las diferentes mediciones.

Las tres primeras sesiones de entrenamiento tuvieron la siguiente estructura:

- Sesión 1 (martes):
 - o Pre-test en la tarea de transferencia: 3 ensayos de 70 segundos
 - o Pre-test en la tarea de evaluación: 3 ensayos de 70 segundos
 - o 6 ensayos de entrenamiento de 70 segundos, en el nivel de carga de variabilidad asignado
 - o Post-test en la tarea de evaluación: 3 ensayos de 70 segundos
- Sesión 2 (miércoles):
 - o Pre-test en la tarea de evaluación: 3 ensayos de 70 segundos
 - o 6 ensayos de entrenamiento de 70 segundos, en el nivel de carga de variabilidad asignado
 - o Post-test en la tarea de evaluación: 3 ensayos de 70 segundos
- Sesión 3 (jueves):
 - o Pre-test en la tarea de evaluación: 3 ensayos de 70 segundos
 - o 6 ensayos de entrenamiento de 70 segundos, en el nivel de carga de variabilidad asignado
 - o Post-test en la tarea de evaluación: 3 ensayos de 70 segundos
 - o Post-test en la tarea de transferencia: 3 ensayos de 70 segundos

Tras las sesiones de práctica se llevaron a cabo dos sesiones de retención a las 24 horas (viernes) y a las 72 horas (lunes). En cada una de las sesiones de retención se realizaron 3 ensayos de evaluación de la tarea de evaluación del control postural en el eje anteroposterior y 3 ensayos de la tarea de transferencia. En la figura 10 aparece un esquema del cronograma de las sesiones del protocolo aplicado.

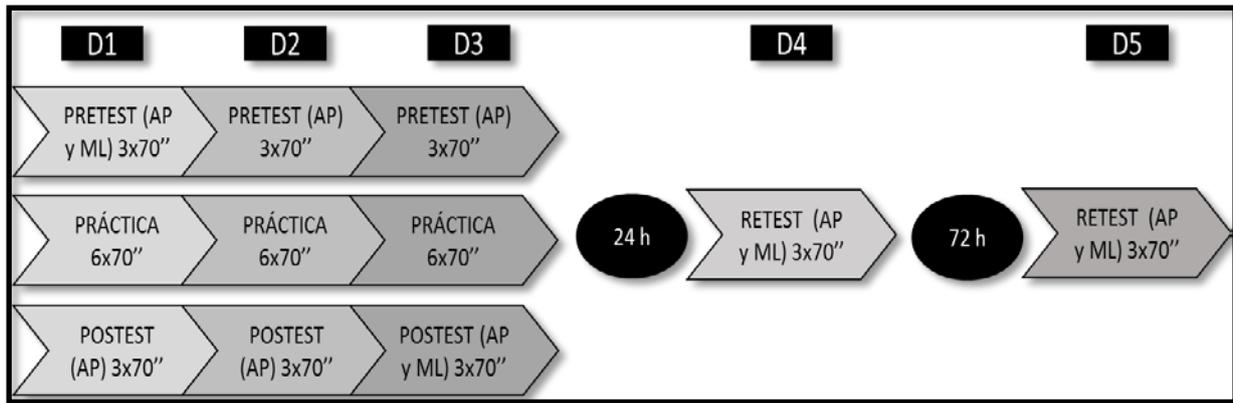


Figura 10. Cronograma de la situación experimental.

3.6 Análisis y reducción de datos Preparación de las series temporales de datos

Para la extracción de las principales variables del estudio se desarrolló una aplicación “ad hoc” en entorno LabView 2009 (Figura 11). A pesar de realizarse el registro de la señal del CdP a 1000 Hz, las series temporales del CdP se sub-muestraron a 20 Hz para evitar que el sobre-muestreo de la serie temporal del CdP pudiera incrementar de forma artificial los valores de autocorrelación (Rhea et al., 2011) permitiendo así analizar una frecuencia próxima a la dinámica natural del CdP (Caballero et al., 2013). Asimismo, los primeros 10 segundos de cada serie temporal del CdP fueron descartados para reducir la no estacionariedad asociada al inicio de la serie la temporal (van Dieën et al., 2010). Finalmente, la longitud final de las series fue de 1200 datos (60 s).

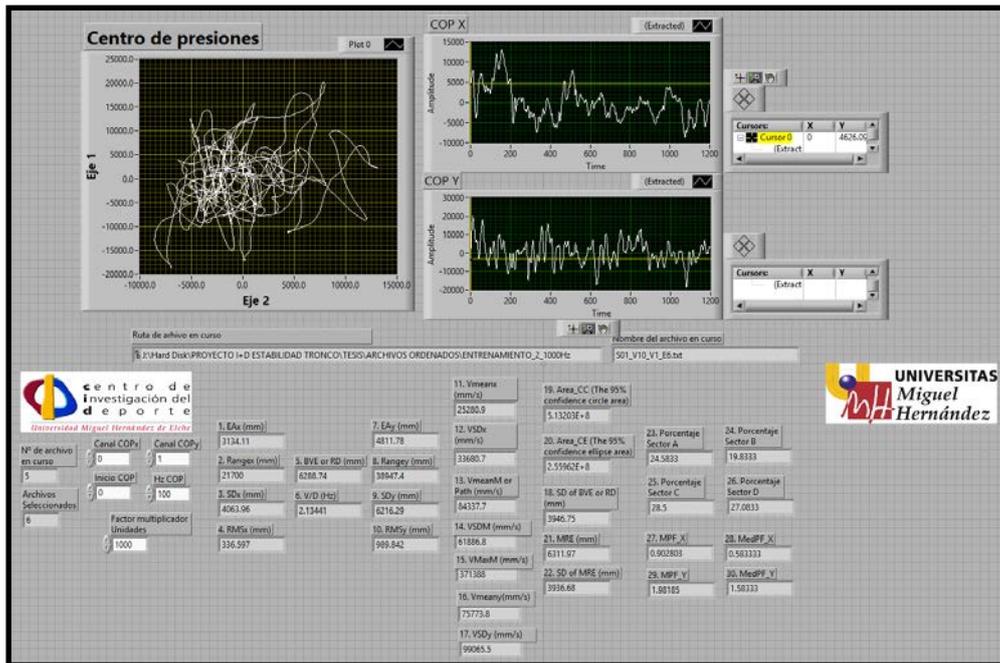


Figura 11. Software en entorno LabView creado para el cálculo y representación del CdP.

3.6.2 Cálculo de las variables dependientes de rendimiento

El rendimiento de los participantes fue analizado como el promedio del error absoluto (EA) de los dos mejores ensayos realizados en cada una de las evaluaciones: Pre-test, Post-test, Re-test. Para ello se calculó la distancia entre el CdP en el eje AP y ML y la posición de la diana para la tarea vertical y horizontal respectivamente a lo largo del ensayo (Ecuación 1). En la figura 12 se puede observar la representación gráfica de la diferencia entre la diana y el CdP. Tras obtener el resultado de los 3 ensayos de evaluación, se promediaron los valores de los dos mejores para cada una de las variables analizadas.

$$EA = \frac{\sum_{i=1}^n |Xi - C|}{N} \tag{1}$$

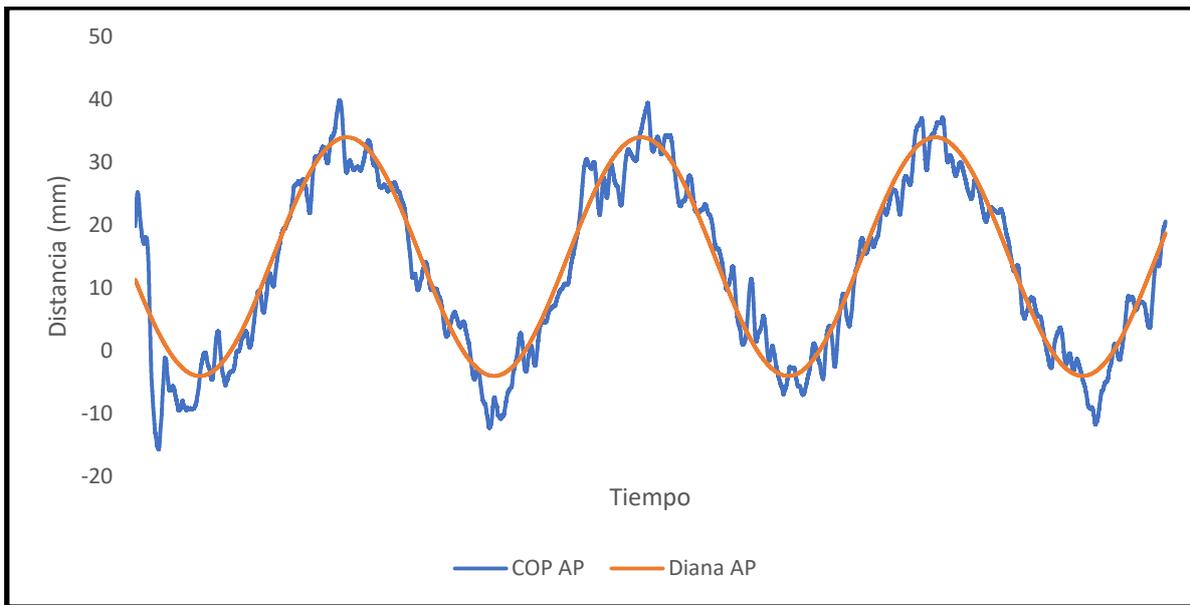


Figura 12. Representación de la trayectoria del Cdp y la diana en la tarea de evaluación anteroposterior.

Se calculó la diferencia entre el error en las diferentes evaluaciones para valorar la reducción del error por efecto de la práctica. Para ello se calculó la tasa relativa de aprendizaje (TRA)

La TRA_{POST} se calculó con respecto al rendimiento inicial de cada individuo mostrado en el Pre-test $[100 (EA_{PRE} - EA_{POST}) / EA_{PRE}]$. Para analizar las diferencias en la retención obtenidas por los diferentes grupos de práctica, se calculó la TRA_{RET} como el error en el Re-test relativo al error en el Pre-test $[100 (EA_{PRE} - EA_{RET}) / EA_{PRE}]$.

Debido a que el nivel de rendimiento inicial puede sesgar la tasa de aprendizaje, (especialmente si los grupos no son homogéneos), se realizó un análisis de regresión lineal entre el rendimiento inicial y la tasa de aprendizaje para comprobar este extremo. En la figura 13 se puede observar cómo participantes con un menor rendimiento inicial muestran mayores tasas de aprendizaje que los de mayor nivel. A través de este análisis se obtuvo el aprendizaje residual, calculado a partir de la diferencia entre los valores de mejora teóricos obtenidos a través del análisis de regresión (valor predicho) y que indicarían la mejora estimada en función del nivel inicial, y los valores reales mostrados por los sujetos. Esta variable se denominará tasa de aprendizaje residual (ApR). Un procedimiento similar

ya ha sido previamente utilizado en trabajos anteriores de nuestro grupo de investigación (Barbado et al. 2017) para discriminar el efecto de la práctica respecto al nivel de rendimiento inicial mostrado por los participantes. Al igual que en el caso del aprendizaje relativo, se calculó el aprendizaje residual en la evaluación Post-test (ApR_{POST}) y en el re-test (ApR_{RET}).

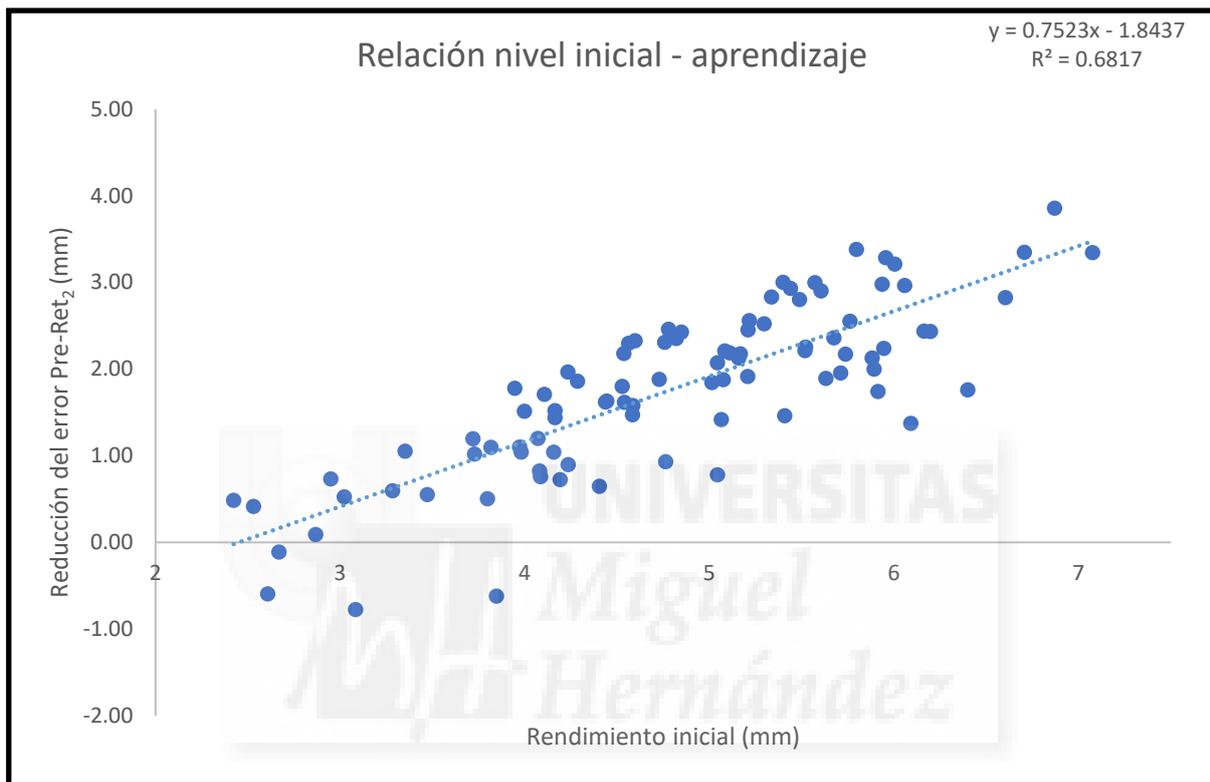


Figura 13. Línea de regresión entre el rendimiento inicial mostrado en el eje horizontal y el aprendizaje en el eje vertical.

3.6.3 Análisis de la auto-correlación de las series temporales

La autocorrelación de las series temporales resultantes de la diferencia entre la diana y el CdP en el eje AP y ML en la tarea de evaluación y la de transferencia fue calculado a través del DFA mediante el procedimiento previamente desarrollado por Peng, Havlin, Stanley & Goldberger (1995). DFA es un método basado en la teoría de la marcha aleatoria, que representa una modificación de un análisis clásico de la media cuadrática de la marcha, que evalúa la presencia de correlaciones a largo plazo dentro de la serie temporal mediante

un parámetro denominado índice de escala α (Peng et al., 1994, Peng et al., 1995, Roerdink et al., 2006). Diferentes valores de α identifican la medida en que otros datos son dependientes de los anteriores (Jordan & Newell, 2008). Típicamente, el desplazamiento de CdP exhibe valores de α de 0,5 a 1,5. Los datos de α en el análisis del CdP se han utilizado para evaluar la adaptabilidad humana a los ajustes posturales o de movimiento (Amoud et al., 2007, Wang & Yang, 2012). En la figura 14 se puede observar una imagen de la aplicación utilizada para realizar los cálculos del DFA.

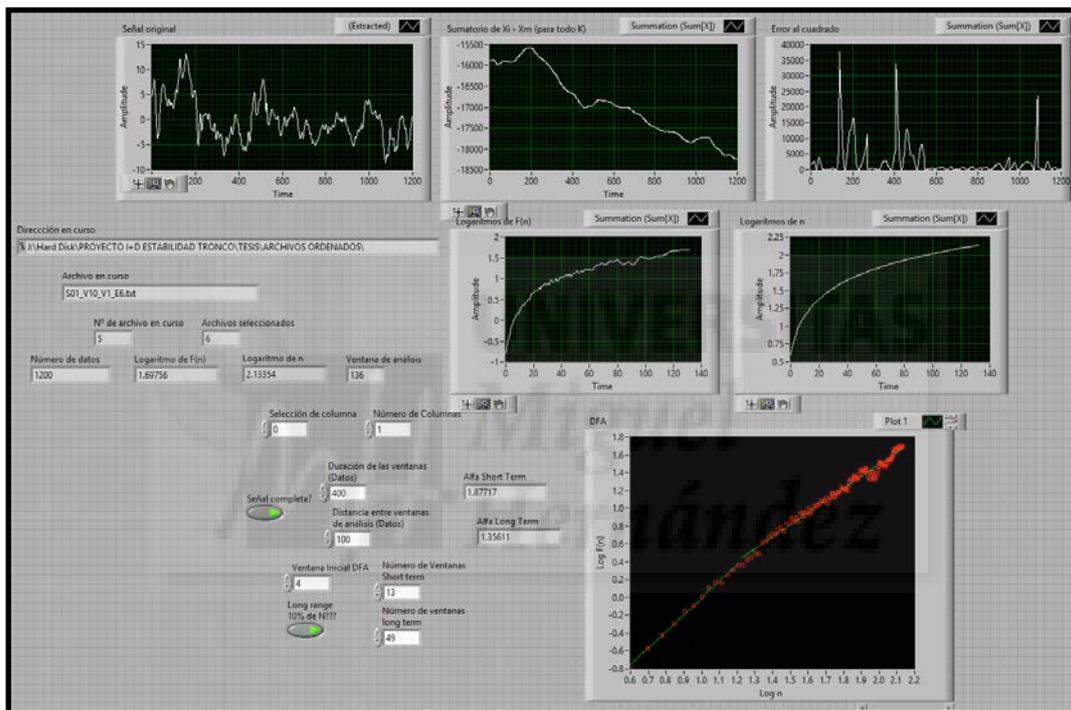


Figura 14. Gráfica extraída del software desarrollado en entorno LabView para el cálculo y representación del DFA

Para el cálculo del índice α , el DFA incluye una serie de operaciones: En primer lugar, la serie $X(t)$ analizada es integrada, para calcular para cada “t” la salida acumulada de la media de toda la serie (Ecuación 2):

$$X(k) = \sum_{i=1}^k [x(i) - \bar{x}]$$

(2)

En Segundo lugar, las series $X(k)$ integradas son divididas en intervalos no solapados de longitud "n". En cada intervalo, se lleva a cabo un ajuste de regresión lineal (que representa la tendencia local dentro del intervalo) que es ajustada a los datos. A cada serie $X(k)$ se le elimina la tendencia restando los valores teóricos $X_n(k)$ dados por la regresión. Por último, para cada longitud de intervalo "n", el tamaño de la fluctuación para esta serie integrada y sin tendencia es dado por (Ecuación 3):

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [X(k) - X_n(k)]^2}$$

(3)

Este cálculo es repetido en diferentes longitudes de segmento para producir el índice $F(n)$ como una función del tamaño del segmento "n". Típicamente $F(n)$ incrementa con la longitud del segmento. Finalmente, se realiza una relación lineal sobre un gráfico logarítmico doble que indica un grado de correlación caracterizado por un exponente α que es la pendiente de la recta de regresión en relación logarítmica $F(n)$ a $\log n$.

Valores de $\alpha < 0.5$ implica anti-persistencia (ej. La trayectoria posee una tendencia hacia el punto del que partió).

Valores de $\alpha = 0.5$ implican una señal no correlacionada, relacionada con la distribución denominada ruido blanco.

Valores de $\alpha > 0.5$ implican persistencia (ej. La trayectoria tiende a continuar en su dirección actual).

Valores de $\alpha = 1$ implican una señal correlacionada y relacionada con la distribución denominada ruido rosa.

Valores de $\alpha > 1$ implica una señal no estacionaria.

Para maximizar las correlaciones de largo alcance y para reducir el error de estimación de α , la correlación a largo plazo se caracterizó por la pendiente de α obtenida del rango de $4 \leq n \leq N / 10$, donde N es la longitud de datos (Chen, 2002). Los valores de α de cada participante se calcularon como el promedio de α obtenido de ambos ejes.

3.6.4 Análisis estadístico

Se realizó una prueba de Kolmogorov-Smirnov para constatar la distribución normal de los datos. Se realizó un ANOVA mixto, de medidas repetidas para las distintas evaluaciones (Pre-test, Post-test y retención1 y retención 2, considerado como factor intra-sujeto con cuatro niveles) y de medidas independientes en el factor “magnitud de carga de variabilidad al practicar” (con cuatro niveles: V0, V1, V2 y V3), que se utilizó para evaluar las diferencias en la evolución del aprendizaje y la complejidad en base a la carga de variabilidad aplicada en el entrenamiento. Los resultados del ANOVA fueron considerados estadísticamente significativos con valores de p inferiores a 0.05. Se aplicó el ajuste de Bonferroni de comparaciones múltiples para determinar las diferencias de rendimiento entre grupos acorde a cada factor intra-grupo.

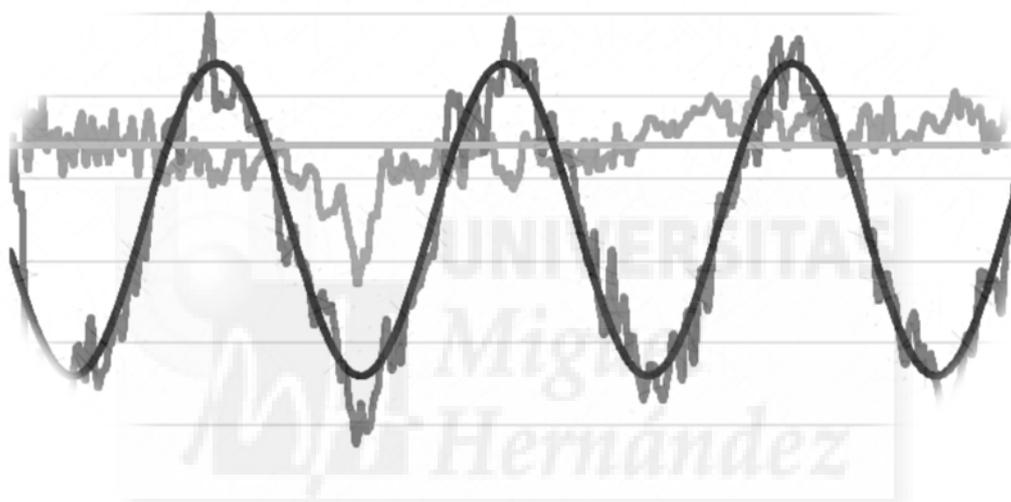
Se emplearon dos índices de tamaño del efecto para complementar la información estadística del ANOVA (F , p) y resaltar las diferencias encontradas. Por un lado, el tamaño del efecto fue medido a través de eta parcial al cuadrado (η_p^2) para determinar la proporción de la varianza total atribuida al factor. Los valores de tamaño del efecto mayores de 0.64 fueron considerados grandes, en el intervalo entre 0.64 y 0.25 se consideraron moderados y menores de 0.25 fueron considerados pequeños (Ferguson, 2009).

Para valorar la significación práctica, se utilizó la d de Cohen para calcular el tamaño del efecto de las diferencias por pares entre los grupos (Cohen, 1988). Para la interpretación de la d de Cohen se utilizaron los siguientes valores: superiores a 0.8 (grandes), entre 0.5 y 0.8 (moderados), entre 0.2 y 0.5 (pequeños), e inferior a 0.2 (triviales). Además, se calculó

el intervalo de confianza del 95% del tamaño del efecto según Lakens (2013) para valorar la significación de la comparación por pares. Si este intervalo de confianza incluye el valor 0, el tamaño del efecto no es estadísticamente significativo.

Tras el análisis general, se realizó una subdivisión de los grupos en función de su nivel inicial de rendimiento (entendido como el valor en la variable dependiente EA en la tarea de evaluación). En este proceso se consideró como criterio de división la mediana. Tras ello se generaron en cada grupo de práctica 2 subgrupos: alto rendimiento (AR) y bajo rendimiento (BR), generando un total de 8 subgrupos, obteniendo 2 subgrupos de 8 participantes por cada grupo de práctica. Este procedimiento también fue aplicado para generar subgrupos en base a los valores iniciales de autocorrelación del error del CdP con respecto a la diana (valor de la variable dependiente DFA_ER en la tarea de evaluación). En este caso se subdividió cada grupo seleccionando a los participantes con mayores y menores valores de DFA (ADFA y BDFA, respectivamente). Ambos procedimientos de división de los participantes fueron llevados a cabo debido a la relevancia que adquieren las características del individuo (rendimiento y variabilidad inicial) en la aplicación de cargas individualizadas, como ya fue expuesto en la introducción.

En función de la agrupación alto/bajo rendimiento o estructura de la variabilidad alto/bajo DFA, se realizó un ANOVA mixto, de medidas independiente en los factores inter-sujeto rendimiento y estructura de la variabilidad (con dos niveles: alto y bajo) y nivel de carga de variabilidad al practicar (con cuatro niveles: V0, V1, V2 y V3); y de medidas repetidas en el factor intra-sujeto momento del test (con cuatro niveles: Pre-test, Post-test, retención1 y retención2).



RESULTADOS

A lo largo de la exposición de los resultados obtenidos en este estudio, con la finalidad de facilitar la comprensión de los datos presentados en esta tesis doctoral, se utilizará la denominación de V0 al grupo de “práctica en consistencia”, V1 al grupo que practica con “baja variabilidad”, V2 para “variabilidad intermedia” y V3 para “variabilidad alta”, refiriéndose a la magnitud de variabilidad aumentada aplicada durante las sesiones de entrenamiento. El error en la tarea de evaluación será representado como EA_{TE} , en la tarea de transferencia se utilizará la denominación EA_{TT} . Además del error, como variables de rendimiento se valorará el aprendizaje mostrado por los participantes entre las diferentes evaluaciones en términos relativos (TRA) y el aprendizaje residual (ApR). Las variables de aprendizaje analizadas se calcularon respecto a dos momentos temporales, el aprendizaje obtenido entre la evaluación Pre-test y Post-test (TRA_{POST} y ApR_{POST}) y la reducción del error mostrada entre Pre-test y Re-test₂ (TRA_{RET} y ApR_{RET}) para valorar la retención del aprendizaje dependiendo del tipo de práctica aplicada.

Por último, las variables de autocorrelación se denominarán: “variabilidad del error” a la variabilidad mostrada por los participantes en el eje en el que se representa la diana, denominado como DFA_{ER} ; y “variabilidad ortogonal” a los valores de autocorrelación mostrados por los participantes en el eje perpendicular a la trayectoria de la diana, representado como DFA_{ORT} .

Con el objetivo de facilitar la comprensión de las variables DFA_{ER} y DFA_{ORT} , en la figura 15 se ha representado el desplazamiento del CdP en el eje de la diana (ER) y el perpendicular (ORT). El ensayo representado muestra valores de DFA_{ER} próximos a 1 y DFA_{ORT} de 1.4, tanto en la tarea de evaluación como en la de transferencia.

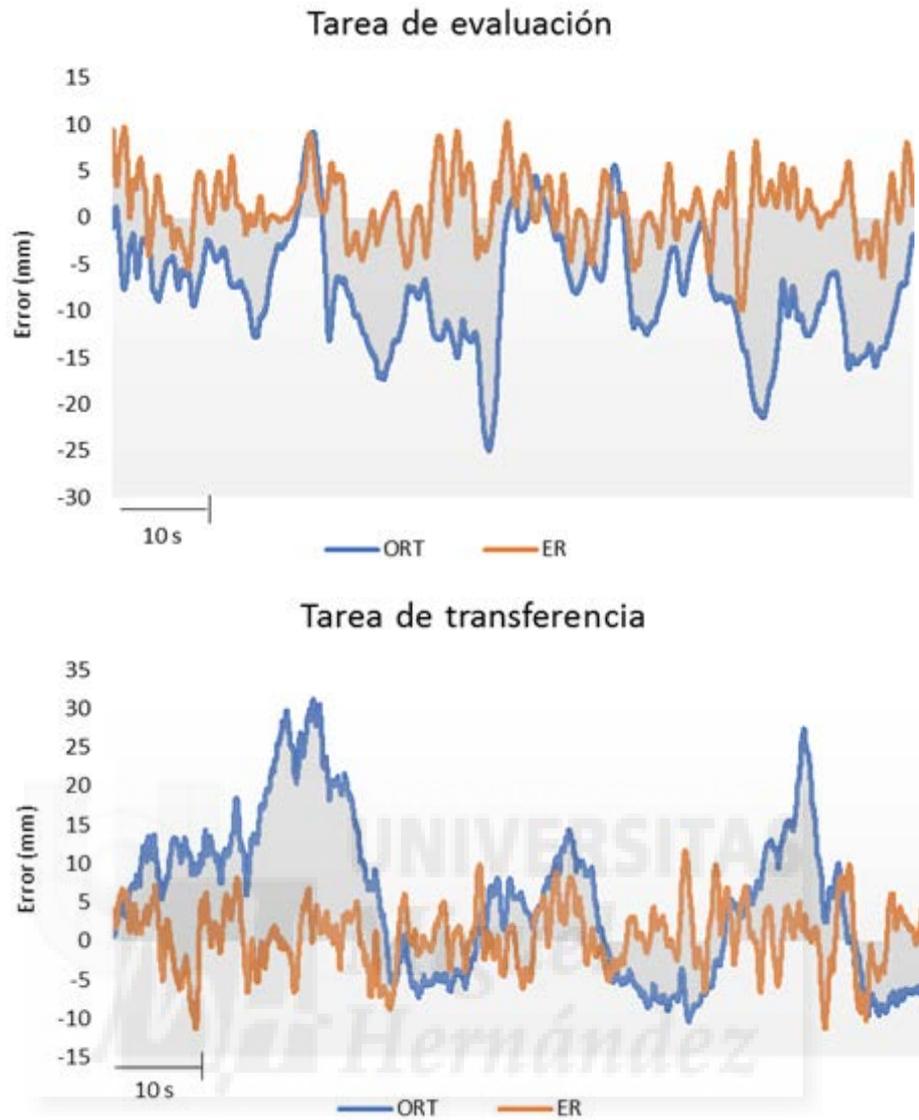


Figura 15. Ejemplo de la distribución de la variabilidad del error y variabilidad ortogonal en la tarea de evaluación (arriba) y transferencia (abajo) en ensayos con bajo DFA en variabilidad del error ($DFA \approx 1.0$) y alto en variabilidad ortogonal ($DFA \approx 1.4$).

Para facilitar el seguimiento de los resultados obtenidos en esta tesis, estos serán expuestos en el siguiente orden:

1. Resultados de rendimiento y variabilidad en la tarea de evaluación.
2. Resultados de rendimiento y variabilidad en la tarea de transferencia.
3. Resultados de la evolución del rendimiento durante el entrenamiento.

4.1 Comparación del rendimiento y la variabilidad mostrada por todos los participantes en la tarea de evaluación en función de la carga de variabilidad aplicada durante el entrenamiento

En el anexo 1 se muestran los estadísticos descriptivos obtenidos por los grupos de práctica durante los distintos test en el error y la variabilidad de la tarea de evaluación. Para valorar el efecto de la magnitud de la carga sobre el rendimiento y la variabilidad, se realizó un ANOVA mixto considerando la evaluación como factor intra-sujeto y el grupo de práctica como factor inter-sujeto.

En términos de rendimiento, la prueba de efectos con el factor intra-sujeto mostró una reducción significativa del error a lo largo de los test ($F_{3,87} = 298.560$; $p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.774$) no observándose diferencias entre grupos al comparar el EA_{TE} ($F_{3,87} = 2.078$; $p = 0.109$; $\eta_p^2 = 0.067$) ni efecto de interacción ($F_{3,75} = 0.909$; $p = 0.518$; $\eta_p^2 = 0.030$). Estos resultados fueron confirmados por el análisis post hoc (tabla 1), en el cual se observó que todos los grupos mostraron una mejora en el rendimiento en los diferentes test respecto al test inicial ($p < 0.001$). Hay que subrayar que ningún grupo mostró diferencias respecto al Post-test en los siguientes test de retención, salvo el grupo V0 cuyo rendimiento disminuyó en Re-test₂ respecto a Post-test ($p = 0.026$). En general, en la comparativa entre grupos el grupo V0 obtuvo un menor error, pero estas diferencias fueron únicamente significativas respecto al grupo V1 en la evaluación Post-test ($p = 0.010$), no observándose en el resto de evaluaciones.

Tabla 1. Media y desviación típica (mm) del rendimiento (error absoluto) mostrado en la tarea de evaluación por los distintos grupos de práctica en las sucesivas evaluaciones.

	PRE	POST	RET1	RET2
V0	4.57 ± 1.01	2.50 ± 0.38 ^{A,1}	2.79 ± 0.35 ^A	2.85 ± 0.48 ^{A,B}
V1	4.78 ± 1.38	3.06 ± 0.76 ^A	3.21 ± 0.85 ^A	3.23 ± 0.73 ^A
V2	4.94 ± 0.93	2.93 ± 0.58 ^A	3.15 ± 0.80 ^A	3.15 ± 0.60 ^A
V3	4.89 ± 0.77	2.77 ± 0.51 ^A	2.85 ± 0.59 ^A	2.87 ± 0.47 ^A

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

^A Diferencias significativas respecto a PRE. ^B Diferencias significativas respecto a POST. ¹ Diferencias significativas respecto a V1.

Si bien todos los grupos mejoraron su rendimiento a nivel global, si observamos las variables de aprendizaje relativo y el aprendizaje residual, encontramos diferencias entre los grupos en función del tipo de práctica realizado. En la tabla 2 se muestran los promedios y desviaciones típicas de las tasas relativas de aprendizaje (TRA) y la tasa de aprendizaje residual (ApR) entre las evaluaciones Pre-Post y entre Pre-Retest₂ en la tarea de evaluación. El análisis de las variables de aprendizaje mostró diferencias en el aprendizaje relativo entre Pre-test y Post-test (TRA_{POST}) en la tarea de evaluación. Los grupos V0 y V3 obtuvieron las mayores mejoras porcentuales, observándose diferencias significativas sólo con V1 (V0, $p = 0.042$; V3, $p = 0.037$). En las variables de aprendizaje residual, en el ApR_{POST} de la tarea de evaluación de nuevo los grupos V0 y V3 mostraron un valor superior ($p < 0.05$) respecto a V1, mientras que en ApR_{RET} tan solo el grupo V3 presentó un aprendizaje relativo superior con diferencias significativas respecto a V1 ($p = 0.007$).

Tabla 2. Media y desviación típica del aprendizaje relativo y residual con indicación de diferencias significativas por los distintos grupos de práctica en las sucesivas evaluaciones (valores porcentuales).

	TRA _{POST} TE	TRA _{RET} TE	ApR _{POST} TE	ApR _{RET} TE
V0	43.1 ± 13.5 ¹	35.2 ± 15.9	4.5 ± 9.5 ¹	2.9 ± 10.3
V1	34.1 ± 11.1	28.0 ± 22.9	-5.7 ± 8.9	-6.4 ± 16.4
V2	39.8 ± 9.4	34.5 ± 14.1	-0.8 ± 8.5	-1.3 ± 11.2
V3	43.0 ± 8.9 ¹	40.8 ± 7.0 ¹	2.6 ± 8.7 ¹	5.4 ± 8.2 ¹
F_{3,87}	3.504	2.503	5.767	4.314
P	0.019	0.065	0.001	0.007

ANOVA 1 Factor. Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

¹ Diferencias significativas respecto a V1. TRA: Tasa relativa de aprendizaje; ApR: Aprendizaje residual; TE: Tarea de evaluación.

En la Tabla 3 se muestran los promedios de los valores de DFA_{ER} y DFA_{ORT} de los grupos de práctica obtenidos en la tarea de evaluación realizados a los participantes. Tras el periodo de entrenamiento, los grupos muestran un aumento de DFA_{ER} entre la evaluación Pre y Post, mientras que en los segundos test de retención todos los grupos mostraron menores valores medios respecto a la evaluación Post, siendo tan solo significativas en el grupo V2 tanto en Re-test₁ [$d = 0.79$ (0.20, 1.38)] como Re-test₂ [$d = 0.83$ (0.24, 1.42)]. En ninguna de las evaluaciones se observaron diferencias entre los grupos. El análisis no

mostró diferencias en el efecto del tipo de práctica sobre la variabilidad del error ($F_{3,87} = 0.072$; $p = 0.517$; $\eta_p^2 = 0.026$) y la variabilidad ortogonal ($F_{3,87} = 2.202$; $p = 0.094$; $\eta_p^2 = 0.071$).

Tabla 3. Media y desviación típica de la estructura de la variabilidad del error (DF_{AER}) y ortogonal (DF_{AORT}) medidas en la tarea de evaluación, en función del tipo de la práctica realizada con indicación de diferencias significativas entre grupos y evaluaciones.

	PRE	POST	RET1	RET2
	<i>Variabilidad del error (DF_{AER})</i>			
V0	0.98 ± 0.10	1.03 ± 0.12	1.04 ± 0.12	0.98 ± 0.11
V1	1.00 ± 0.10	1.05 ± 0.11	1.05 ± 0.14	1.01 ± 0.10
V2	0.98 ± 0.11	1.06 ± 0.10 ^A	1.00 ± 0.10 ^B	0.98 ± 0.09 ^B
V3	0.99 ± 0.10	1.07 ± 0.10 ^A	1.03 ± 0.08 ^A	1.03 ± 0.09
	<i>Variabilidad Ortogonal (DF_{AORT})</i>			
V0	1.23 ± 0.11	1.44 ± 0.11 ^A	1.44 ± 0.12 ^A	1.43 ± 0.14 ^A
V1	1.23 ± 0.11	1.43 ± 0.10 ^A	1.42 ± 0.09 ^A	1.42 ± 0.13 ^A
V2	1.23 ± 0.15	1.37 ± 0.10 ^A	1.37 ± 0.12 ^A	1.40 ± 0.11 ^A
V3	1.19 ± 0.09	1.37 ± 0.11 ^A	1.37 ± 0.13 ^A	1.39 ± 0.11 ^A

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

^A Diferencias significativas respecto a PRE. ^B Diferencias significativas respecto a POST.

4.2 Comparación del rendimiento y la variabilidad mostrada por los participantes en función de la carga de variabilidad aplicada durante el entrenamiento, agrupados en base al rendimiento inicial en la tarea de evaluación

Con objeto de evaluar cómo el nivel de rendimiento inicial del aprendiz pudo influir en el efecto de los distintos niveles de variabilidad al practicar, se dividió a los participantes de cada grupo en función del error mostrado en la evaluación Pre-test de la tarea de evaluación. Concretamente, cada grupo de práctica fue dividido en dos subgrupos: participantes de Alto Rendimiento inicial (AR) y de Bajo Rendimiento inicial (BR). De este modo, se obtuvieron 8 subgrupos experimentales. Con el objetivo de analizar la influencia del nivel de rendimiento inicial a la hora de valorar el efecto que la magnitud de carga de variabilidad aplicada pudiese tener sobre el rendimiento y el DFA, se realizó un ANOVA mixto con un factor intra-sujeto, las evaluaciones, y dos factores inter-sujeto: el grupo de práctica (V0, V1, V2 y V3) y el nivel de rendimiento obtenido en el test inicial de la tarea de

evaluación (AR y BR), cuyos resultados se muestran en la tabla 4. Los descriptivos completos se muestran en el anexo 1.

Tabla 4. Media y desviación típica (mm) del rendimiento (Error absoluto) en la tarea de evaluación mostrado por los distintos grupos de práctica divididos en alto rendimiento inicial (AR) y bajo rendimiento inicial (BR), con indicación de diferencias significativas tras el ANOVA mixto y las comparaciones múltiples.

	PRE	POST	RET1	RET2
V0_AR	3.77 ± 0.70*	2.39 ± 0.35 ^A	2.61 ± 0.35 ^A	2.66 ± 0.36 ^A
V0_BR	5.16 ± 0.48	2.57 ± 0.41 ^{A,1,2,3}	2.90 ± 0.23 ^{A,1}	2.94 ± 0.47 ^A
V1_AR	3.57 ± 0.83*	2.51 ± 0.43 ^{*A}	2.71 ± 0.64 ^{*A}	2.84 ± 0.62 ^{*A}
V1_BR	6.00 ± 0.56	3.55 ± 0.49 ^A	3.69 ± 0.82 ^A	3.46 ± 0.65 ^A
V2_AR	4.22 ± 0.62*	2.67 ± 0.49 ^{*A}	3.02 ± 0.68 ^A	3.03 ± 0.55 ^A
V2_BR	5.79 ± 0.52	3.18 ± 0.53 ^A	3.29 ± 0.88 ^A	3.33 ± 0.64 ^A
V3_AR	4.24 ± 0.44*	2.41 ± 0.37 ^{*A}	2.48 ± 0.47 ^{*A}	2.52 ± 0.22 ^{*A}
V3_BR	5.42 ± 0.43	3.07 ± 0.39 ^A	3.11 ± 0.41 ^A	3.15 ± 0.37 ^A

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

^A Diferencias significativas respecto a PRE. ^B Diferencias significativas respecto a POST. ^C Diferencias significativas respecto a RET1.

* Diferencias significativas respecto a Nivel de Rendimiento.

¹ Diferencias significativas respecto a V1. ² Diferencias significativas respecto a V2. ³ Diferencias significativas respecto a V3.

Como era esperable, al analizar los resultados de todos los participantes, se observaron diferencias en el error entre los grupos de nivel (alto y bajo rendimiento) ($F_{1,86} = 86.397$; $p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.519$). Hay que subrayar que estas diferencias entre los participantes de acuerdo a su nivel de rendimiento inicial, se mantuvo a lo largo del resto de evaluaciones en los grupos V1 y V3, pero no fue así para los grupos V0 y V2, donde ya no se observaron diferencias en el nivel de rendimiento en los dos test de retención.

Asimismo, se observaron diferencias en el rendimiento de la tarea de evaluación al comparar los distintos grupos de práctica ($F_{3,84} = 3.781$; $p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.176$) así como en la interacción entre *grupo* y *nivel* ($F_{3,80} = 3.317$; $p = 0.024$; $\eta_p^2 = 0.111$).

De acuerdo al análisis de comparaciones múltiples, los participantes de bajo rendimiento inicial que entrenaron en consistencia (V0) obtuvieron un mayor rendimiento en la evaluación Post-test en comparación con el resto de grupos. Dichas diferencias se mantuvieron respecto a V1 en el primer Re-test ($p < 0.001$).

Respecto a los participantes de alto rendimiento inicial, si bien aquellos que entrenaron en alta variabilidad mostraron los menores valores promedio de error en la evaluación Re-test₂, estas diferencias no fueron significativas entre grupos. Sin embargo, al analizar las variables relacionadas con la tasa de aprendizaje relativo, con objeto de clarificar si existieron diferencias entre grupos de práctica (tabla 5 y anexo 3), el ANOVA de medidas independientes confirmó dichas diferencias en la variable TRA_{POST} ($F_{1,42} = 5.498$; $p = 0.002$; $\eta_p^2 = 0.169$) y TRA_{RET} ($F_{1,42} = 6.763$; $p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.200$). Concretamente, las comparaciones realizadas mediante el ajuste de Bonferroni, mostraron que los participantes de alto rendimiento que entrenaron en alta variabilidad (V3) obtuvieron una mayor tasa de aprendizaje TRA_{POST} (42.78%) aunque las diferencias solo fueron significativas respecto a V1 (27.48%). Esto se puso nuevamente de manifiesto en la variable TRA_{RET}, donde nuevamente el grupo V3 fue el que mayor aprendizaje mostró (40.12%). En cuanto al aprendizaje residual (ApR), en el segundo test de retención de los participantes de alto rendimiento, el grupo V3 (11.27%) mostró el mayor porcentaje de mejora seguido del grupo V0 (3.40%), sin embargo, ambos grupos solo mostraron diferencias significativas con respecto al grupo V1 (-12.57%).

Tabla 5. Media y desviación típica de las variables aprendizaje relativo y residual en tarea de evaluación de los grupos de práctica divididos por nivel de rendimiento inicial con indicaciones de diferencias significativas entre grupos de práctica y nivel de rendimiento (valores porcentuales).

		TRA _{POST} TE	TRA _{RET} TE	ApR _{POST} TE	ApR _{RET} TE
V0	AR	35.20 ± 11.77*	27.43 ± 16.17* ¹	1.28 ± 9.46	3.40 ± 11.04 ¹
	BR	50.19 ± 10.97 ¹	42.18 ± 12.41	7.37 ± 8.69 ^{1,2}	2.44 ± 10.02
V1	AR	27.48 ± 9.67* ³	7.31 ± 20.05* ^{2,3}	-4.10 ± 8.11	-12.57 ± 19.78* ³
	BR	37.20 ± 9.68	41.25 ± 9.03	-7.39 ± 10.33	-1.63 ± 13.31
V2	AR	37.52 ± 8.42	26.28 ± 14.01*	1.41 ± 6.89	-1.61 ± 12.20
	BR	41.93 ± 10.12	42.08 ± 9.71	-3.04 ± 9.56	-1.46 ± 10.82
V3	AR	42.78 ± 10.18	40.12 ± 7.72	6.12 ± 9.22	11.27 ± 5.18*
	BR	43.20 ± 8.16	41.48 ± 6.51	-0.75 ± 7.19	-0.25 ± 6.92

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

* Diferencias significativas respecto a Nivel de Rendimiento. ¹ Diferencias significativas respecto a V1. ² Diferencias significativas respecto a V2. ³ Diferencias significativas respecto a V3. TRA_{POST}: Tasa relativa de aprendizaje PRE-POST; TRA_{RET}: Tasa relativa de aprendizaje RET₂; POST; ApR_{POST}: Aprendizaje residual PRE-POST; ApR_{RET}: Aprendizaje residual RET₂-POST; TT: Tarea de transferencia.

Por otro lado, en los participantes de bajo rendimiento (BR) fue el grupo V0 el que mostró la mayor tasa de aprendizaje TRA_{POST} (50.19%) aunque la diferencia solo fue significativa respecto a V1 (37.20%). Este mayor aprendizaje mostrado por los participantes de bajo rendimiento que practicaron en V0 se vuelve a manifestar en el aprendizaje residual del Post-test (ApR_{POST}). Las comparaciones por pares mostraron que el grupo V0 obtuvo un mayor aprendizaje (7.37%), siendo significativo respecto a V1 (-7.39%) y V2 (-3.04%).

4.3 Comparación del rendimiento y la variabilidad mostrada por los participantes en función de la carga de variabilidad aplicada durante el entrenamiento, agrupados en base a la variabilidad inicial en la tarea de evaluación

Como fue mencionado en la introducción, una de las características a considerar a la hora de adecuar la magnitud de carga de variabilidad al practicar es la propia variabilidad intrínseca mostrada por los individuos, la cual ha sido relacionada con la capacidad de exploración y la sensibilidad al propio error. Con la finalidad de conocer la influencia de este factor y la posible relación que esta característica tuviese a la hora de optimizar la carga de variabilidad al practicar, al igual que con el rendimiento inicial, se realizó una agrupación de los participantes en base a la variabilidad del error (DFA_{ER}) mostrada en el test inicial. Posteriormente, se realizó un ANOVA mixto con un factor intra-grupo, las evaluaciones, y dos factores entre-grupos, *grupo de práctica* y el *nivel de variabilidad inicial* mostrado en el error en la tarea de evaluación del test inicial. Los resultados completos obtenidos por los participantes, agrupados en base al DFA inicial (altos valores de DFA “ADFA” y bajos valores “BDFA”), tanto en las variables de error, como en la variabilidad del error y la variabilidad ortogonal en la tarea de evaluación, se muestran en el anexo 4.

Tal como se puede observar en la tabla 6, todos los participantes independientemente del grupo de práctica y variabilidad inicial mostrada obtuvieron mejoras tras el periodo de

entrenamiento, manteniendo dichas mejoras en los test de retención respecto al error mostrado en la evaluación inicial. El ANOVA no mostró diferencias en el efecto de interacción entre el grupo de práctica y el nivel de DFA inicial sobre el rendimiento ($F_{3,80} = 0.623$; $p < 0.602$; $\eta_p^2 = 0.023$) ni en función de grupo de práctica ($F_{3,84} = 2.470$; $p < 0.068$; $\eta_p^2 = 0.084$) y nivel de DFA inicial ($F_{1,86} = 0.074$ $p < 0.787$; $\eta_p^2 = 0.001$). Todos los grupos mostraron una reducción de su rendimiento en los test de retención, pero dicho descenso tan solo fue significativo en el grupo V2 con bajo DFA inicial ($p = 0.036$).

Tabla 6. Media y desviación típica del error absoluto (EA) obtenido en la tarea de evaluación por los participantes de los diferentes grupos en función del DFA inicial indicando diferencias significativas función del nivel de DFA, evaluación y grupo de práctica (valores expresados en mm).

	EA _{TE_PRE}	EA _{TE_POST}	EA _{TE_RET1}	EA _{TE_RET2}
0_BDFA	4.46 ± 1.21	2.34 ± 0.37 ^A	2.70 ± 0.30 ^A	2.65 ± 0.32 ^A
V0_ADFA	4.47 ± 0.56	2.63 ± 0.36 ^A	2.81 ± 0.35 ^A	2.95 ± 0.50 ^A
V1_BDFA	4.66 ± 1.57	2.94 ± 0.84 ^A	3.24 ± 1.17 ^A	3.10 ± 0.84 ^A
V1_ADFA	4.88 ± 1.34	3.11 ± 0.58 ^A	3.16 ± 0.59 ^A	3.19 ± 0.58 ^A
V2_BDFA	5.20 ± 1.09	2.90 ± 0.43 ^A	3.34 ± 0.92 ^{A,B}	3.31 ± 0.70 ^{A,B}
V2_ADFA	4.84 ± 0.87	2.95 ± 0.67 ^A	3.01 ± 0.64 ^A	3.07 ± 0.51 ^A
V3_BDFA	5.06 ± 0.80	2.78 ± 0.57 ^A	2.97 ± 0.71 ^A	2.99 ± 0.58 ^A
V3_ADFA	4.73 ± 0.75	2.76 ± 0.47 ^A	2.74 ± 0.46 ^A	2.77 ± 0.33 ^A

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

^A Diferencias significativas respecto a PRE. ^B Diferencias significativas respecto a POST.

BDFA: Bajo DFA inicial; ADFA: Alto DFA inicial.

Al analizar las diferencias existentes en la evolución de estas variables comparando a los participantes en relación al grupo de práctica, se observaron algunas tendencias próximas a la significación que son destacables. Así, los participantes con bajo DFA del grupo V0 mostraron los menores valores medios de error en todas las evaluaciones obteniendo diferencias casi significativas respecto a V2 en Re-test₂ ($p = 0.051$) mientras que en el grupo con alto DFA, en ese nivel de carga de variabilidad, no se observó ningún resultado cercano a la significación.

En la tabla 7 aparecen los valores de aprendizaje relativo y de aprendizaje residual en los participantes agrupados por el nivel de DFA inicial. En cuanto a los participantes de bajo DFA sólo se observó una tendencia en relación con el aprendizaje residual. Así, el

grupo V0 fue el que obtuvo un mayor aprendizaje residual en la evaluación Post-test. Aunque no se llegó a obtener significación estadística en el ANOVA, en las comparaciones por pares, atendiendo a los valores del tamaño del efecto, éstos mostraron un valor elevado indicando una significación práctica en ApR_{POST} respecto a V1 [$d = 0.99$ (0.06, 1.92)].

Por otro lado, en los participantes de alto DFA, fue el grupo V3 el que mostró las mayores tasas de aprendizaje. Volviendo a atender al tamaño del efecto, la d de Cohen mostró un alto valor de significación práctica en TRA_{POST} en comparación al grupo V1 [$d = 1.00$ (0.15, 1.86)], mientras que en el test de retención (TRA_{RET}) el aprendizaje fue mayor respecto a todos los grupos con tamaños del efecto entre moderados y altos [V0: $d = 1.02$ (0.12, 1.91); V1: $d = 1.57$ (0.65, 2.50); V2: $d = 0.85$ (0.25, 1.67)]. En el aprendizaje residual, de nuevo el grupo V3 mostró un mayor aprendizaje en la evaluación Post-test (ApR_{POST}), obteniendo valores del efecto elevados sobre todos respecto a V1 [$d = 1.27$ (0.39, 2.15)].

Tabla 7. Media y desviación típica de tasa relativa de aprendizaje y aprendizaje residual con indicación de diferencias significativas en función de grupos y nivel de DFA en tarea de evaluación de los grupos de práctica divididos por DFA inicial (valores porcentuales).

		TRA_{POST_TE}	TRA_{RET_TE}	ApR_{POST_TE}	ApR_{RET_TE}
V0	BDFA	42.26 ± 17.03	35.05 ± 20.32	4.84 ± 11.35	4.27 ± 11.07
	ADFA	38.87 ± 10.74	32.13 ± 14.86	0.52 ± 8.07	-0.14 ± 11.83
V1	BDFA	32.90 ± 8.72	27.43 ± 12.82	-5.33 ± 8.05	-4.63 ± 10.78
	ADFA	34.69 ± 12.80	32.18 ± 26.67	-5.34 ± 7.94	-2.71 ± 17.36
V2	BDFA	39.48 ± 11.94	33.28 ± 15.77	-1.72 ± 7.75	-3.45 ± 9.92
	ADFA	39.42 ± 8.17	35.86 ± 10.95	-1.23 ± 8.86	0.01 ± 11.37
V3	BDFA	45.77 ± 6.73	38.67 ± 6.85	3.98 ± 10.39	1.02 ± 10.88
	ADFA	46.29 ± 9.22	43.57 ± 5.60	4.84 ± 7.52	6.45 ± 5.43

BDFA: Bajo DFA inicial; ADFA: Alto DFA inicial; TRA: Tasa relativa de aprendizaje; ApR: Aprendizaje residual.

4.4 *Comparación del rendimiento y la variabilidad mostrada por todos los participantes en la tarea de transferencia en función de la carga de variabilidad aplicada durante el entrenamiento*

Una vez conocidos los efectos provocados por el efecto de diferentes magnitudes de carga de variabilidad en el aprendizaje considerando las características de los participantes en la tarea de evaluación, se evaluó el efecto que pudiesen tener dicha carga de entrenamiento sobre la tarea de transferencia, siendo esta una tarea de equilibrio realizada en un eje diferente, aunque con características similares a las de evaluación. Para conocer el efecto de la magnitud de la carga sobre la tarea de transferencia se realizó un ANOVA mixto de medidas repetidas en el factor evaluaciones y de medidas independientes en el factor grupo de carga de práctica en variabilidad para valorar sus efectos sobre el rendimiento. Los resultados completos obtenidos por los participantes tanto en las variables de error, como en los resultados obtenidos DFA_{ER} y DFA_{ORT} de la tarea de transferencia se muestran en el anexo 5.

En la tabla 8 se muestran los resultados del análisis inferencial de los grupos de práctica en cada uno de los test realizados a los participantes en la tarea de transferencia. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre los grupos de práctica ($F_{3,87} = 1.847$; $p = 0.145$; $\eta_p^2 = 0.060$). En términos de rendimiento, todos los participantes mostraron una mejora significativa en el rendimiento respecto al test inicial ($F_{3,87} = 61.723$; $p < 0.01$; $\eta_p^2 = 0.685$), no obteniendo diferencias respecto al Post-test en los siguientes test de retención.

Tabla 8. Media y desviación típica de rendimiento (error) en tarea de transferencia de los grupos de práctica con indicación de diferencias significativas entre evaluaciones y grupos (valores expresados en mm).

	PRE	POST	RET1	RET2
V0	4.16 ± 1.14	3.10 ± 0.50 ^A	3.06 ± 0.56 ^A	3.10 ± 0.61 ^A
V1	4.50 ± 1.33	3.64 ± 1.06 ^A	3.44 ± 0.85 ^A	3.47 ± 0.82 ^A
V2	4.62 ± 1.18	3.33 ± 0.88 ^A	3.34 ± 0.91 ^A	3.35 ± 0.89 ^A
V3	4.17 ± 0.82	3.20 ± 0.65 ^A	3.00 ± 0.71 ^A	2.99 ± 0.46 ^A

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

^A Diferencias significativas respecto a PRE.

Al igual que en el análisis del rendimiento, en el que no se observaron diferencias entre grupos debido a que todos mejoraron su rendimiento a nivel global, en las variables de aprendizaje relativo y residual tampoco se observaron diferencias significativas entre grupos (tabla 9). A pesar de no existir diferencias entre los grupos, resaltar que aquellos individuos que practicaron con las magnitudes de carga de variabilidad más elevada (V2 y V3) mostraron los mayores valores en la variable TRA_{RET} (26.4% y 26.7% respectivamente), mientras que en TRA_{POST} fue el grupo V2 (27.2%). Por último, destacar que en la variable ApR_{RET} el grupo V3 mostró el mayor aprendizaje en el test de retención (4.7%), mientras que los peores valores los obtuvo V1 (-5.2%).

Tabla 9. Media y de desviación típica del aprendizaje relativo y residual con indicación de diferencias significativas en función de los grupos de práctica en la tarea de transferencia (valores porcentuales).

	TRA_{POSTTT}	TRA_{RETTT}	ApR_{POSTTT}	ApR_{RETTT}
V0	21.9 ± 17.1	22.1 ± 20.5	0.9 ± 12.7	0.1 ± 16.2
V1	17.9 ± 11.9	19.5 ± 19.8	-5.1 ± 11.7	-5.2 ± 15.9
V2	27.2 ± 10.4	26.4 ± 13.5	3.6 ± 10.9	0.7 ± 13.8
V3	21.9 ± 15.6	26.7 ± 13.1	0.8 ± 13.8	4.7 ± 9.8

ANOVA 1 Factor. Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

¹ Diferencias significativas respecto a V1. ² Diferencias significativas respecto a V2. ³ Diferencias significativas respecto a V3.

Como se muestra en la tabla 10, no se observaron diferencias entre grupos en la variabilidad del error de la tarea de transferencia ($F_{3,87} = 1.138$; $p = 0.338$; $\eta_p^2 = 0.038$). El análisis de medidas repetidas mostró un aumento en DFA_{ORT} en todas las evaluaciones respecto a los valores del Pre-test en todos los grupos, no produciéndose cambios significativos en las evaluaciones posteriores. En la variable DFA_{ER} no se observaron

diferencias entre los grupos ($F_{3,87} = 1.633$; $p = 0.188$; $\eta_p^2 = 0.053$). En el análisis de medidas repetidas, la comparación por pares mostró un aumento en el grupo V2 en $Re-test_2$ respecto a $Re-test_1$ ($p = 0.042$).

Tabla 10. Media y desviación típica de la estructura de la variabilidad del error (DFA_{ER}) y ortogonal (DFA_{ORT}) medidas en la tarea de transferencia, en función del tipo de la práctica realizada con indicación de diferencias significativas entre grupos y evaluaciones.

	PRE	POST	RET1	RET2
	<i>Variabilidad del error (DFA_{ER})</i>			
V0	0.94 ± 0.12	0.95 ± 0.10	0.95 ± 0.08	0.97 ± 0.11
V1	0.99 ± 0.11	1.01 ± 0.12	0.99 ± 0.10	0.99 ± 0.09
V2	0.97 ± 0.09	0.95 ± 0.10	0.94 ± 0.09	0.99 ± 0.10 ^C
V3	0.97 ± 0.12	1.00 ± 0.13	1.00 ± 0.09	1.02 ± 0.10
	<i>Variabilidad Ortogonal (DFA_{ORT})</i>			
V0	1.30 ± 0.18	1.43 ± 0.11 ^A	1.45 ± 0.13 ^A	1.49 ± 0.16 ^A
V1	1.27 ± 0.15	1.41 ± 0.14 ^A	1.42 ± 0.16 ^A	1.43 ± 0.16 ^A
V2	1.22 ± 0.16	1.41 ± 0.13 ^A	1.41 ± 0.12 ^A	1.41 ± 0.13 ^A
V3	1.23 ± 0.11	1.45 ± 0.09 ^A	1.46 ± 0.10 ^A	1.48 ± 0.11 ^A

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

^A Diferencias significativas respecto a PRE; ^C Diferencias significativas respecto a RET₁.

4.5 Comparación del rendimiento y la variabilidad mostrada por los participantes en la tarea de transferencia en función de la carga de variabilidad aplicada durante el entrenamiento, agrupados en base al rendimiento inicial

Al igual que se hizo con la tarea de evaluación, se analizó el efecto de la magnitud de carga de variabilidad aplicada en función de rendimiento inicial mostrado sobre las variables de rendimiento y variabilidad en la tarea de transferencia, para valorar el efecto del nivel de rendimiento inicial y la magnitud de carga aplicada sobre el aprendizaje y el DFA. Los valores descriptivos obtenidos en la tarea de transferencia en las variables de error, variabilidad del error y variabilidad ortogonal por los participantes agrupados en base al rendimiento inicial se muestran en el anexo 6.

Al analizar los resultados mostrados en la tabla 11 se observaron diferencias entre los grupos de alto rendimiento y bajo rendimiento en el EA de la tarea de transferencia ($F_{1,86} = 46.449$; $p < 0.000$; $\eta_p^2 = 0.364$), no observando diferencias en la interacción entre

grupo y nivel ($F_{3,80} = 0.833$; $p = 0.480$; $\eta_p^2 = 0.030$). En las comparaciones múltiples todos los grupos mostraron mejoras respecto al test inicial, con la excepción del grupo de alto rendimiento en el nivel V0, que no mostró mejoras significativas respecto al test inicial.

Tabla 11. Media y desviación típica de rendimiento (EA) en la tarea de transferencia de los grupos de práctica divididos en alto rendimiento inicial (AR) y bajo rendimiento inicial (BR), con indicación de diferencias significativas tras el ANOVA mixto y las comparaciones múltiples (valores expresados en mm).

	PRE	POST	RET ₁	RET ₂
V0_AR	3.37 ± 0.68*	2.76 ± 0.34*	2.92 ± 0.59	2.94 ± 0.65
V0_BR	4.88 ± 1.01	3.42 ± 0.40 ^{A,1}	3.19 ± 0.52 ^A	3.24 ± 0.55 ^A
V1_AR	3.42 ± 0.89*	2.77 ± 0.48 ^A	2.87 ± 0.60*	3.05 ± 0.84*
V1_BR	5.21 ± 0.95	4.18 ± 0.79 ^A	3.83 ± 0.83 ^A	3.78 ± 0.68 ^A
V2_AR	4.09 ± 0.76*	2.93 ± 0.42 ^A	3.07 ± 0.81 ^A	2.91 ± 0.54 ^A
V2_BR	5.10 ± 1.31 ^A	3.70 ± 1.04 ^A	3.59 ± 0.95 ^A	3.75 ± 0.97 ^A
V3_AR	3.70 ± 0.69*	2.68 ± 0.28 ^A	2.56 ± 0.53 ^A	2.73 ± 0.34 ^A
V3_BR	4.60 ± 0.70	3.67 ± 0.50 ^A	3.40 ± 0.62 ^A	3.22 ± 0.44 ^A

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

^A Diferencias significativas respecto a PRE.

* Diferencias significativas respecto a Nivel de Rendimiento.

¹ Diferencias significativas respecto a V1.

Al analizar las variables de tasa de aprendizaje en cada nivel de rendimiento para cada uno de los grupos de práctica (tabla 12), se observó un efecto significativo de interacción entre *grupo* y *nivel* para la variable TRA_{RET} ($F_{3,84} = 2.741$; $p = 0.049$; $\eta_p^2 = 0.92$). Este efecto interacción subraya las diferencias de aprendizaje en la tarea de transferencia en función del grupo de práctica. Así, mientras que en los participantes de bajo nivel parecen mejorar de la misma forma independientemente del grupo de práctica, los participantes de alto nivel que practicaron en alta y moderada variabilidad (V2 y V3) mejoraron en mayor medida que los pertenecientes a los grupos V0 y V1. Sin embargo, estas diferencias en el efecto interacción no se pusieron de manifiesto estadísticamente en el análisis de la comparación por pares, donde solo se observó una mayor tasa relativa de aprendizaje en el Re-test del grupo V2 respecto a V1 ($p = 0.048$) en los participantes de alto rendimiento.

Inciendo en la comparación del nivel de rendimiento, también se observó que los participantes de alto rendimiento de los grupos V0 y V1 obtuvieron menor TRA_{RET} que los

de bajo rendimiento (V0, $p = 0.02$; V1, $p = 0.011$), mientras que en ApR_{POST} el grupo V3 de alto rendimiento mostró una mayor tasa de aprendizaje relativo que los de bajo rendimiento ($p = 0.016$).

Tabla 12. Media y desviaciones típicas de las variables de aprendizaje relativo y residual en tarea de transferencia de los grupos de práctica divididos por nivel de rendimiento inicial con indicaciones de diferencias significativas entre grupos de práctica y nivel de rendimiento (valores porcentuales).

		TRA_{POSTTT}	$TRA_{RET TT}$	ApR_{POSTTT}	$ApR_{RET TT}$
V0	AR	15.73 ± 16.85	10.46 ± 23.00*	-0.52 ± 13.79	-4.95 ± 20.56
	BR	27.49 ± 16.08	32.66 ± 10.42	1.82 ± 11.58	4.80 ± 9.53
V1	AR	16.30 ± 15.14	8.52 ± 22.59* ²	-0.27 ± 11.83	-7.32 ± 20.63
	BR	19.41 ± 9.81	26.26 ± 14.35	-8.32 ± 10.26	-4.32 ± 12.65
V2	AR	27.04 ± 10.72	27.36 ± 14.62 ¹	6.30 ± 8.17	6.01 ± 11.83
	BR	27.42 ± 10.56	25.52 ± 13.01	0.33 ± 13.12	-4.22 ± 14.25
V3	AR	25.25 ± 15.84	24.22 ± 13.77	6.94 ± 12.24*	6.09 ± 9.89
	BR	18.76 ± 15.32	29.01 ± 12.58	-5.21 ± 12.68	3.40 ± 9.97

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

* Diferencias significativas respecto a Nivel de Rendimiento.

¹ Diferencias significativas respecto a V1. ² Diferencias significativas respecto a V2.

TRA_{POST} : Tasa relativa de aprendizaje PRE-POST; TRA_{RET} : Tasa relativa de aprendizaje RET₂; POST; ApR_{POST} : Aprendizaje residual PRE-POST; ApR_{RET} : Aprendizaje residual RET₂-POST; TT: Tarea de transferencia.

4.6 Comparación del rendimiento y la variabilidad mostrada por los participantes en la tarea de transferencia en función de la carga de variabilidad aplicada durante el entrenamiento, agrupados en base a la variabilidad inicial

Al igual que se hizo en la tarea de evaluación, se realizó un análisis con los participantes diferenciados en base a su variabilidad inicial (DFA) para valorar la influencia de esta característica sobre la mejora del rendimiento en la tarea de transferencia. Los valores descriptivos obtenidos por los participantes agrupados en base al DFA inicial tanto en las variables de error, como en los resultados obtenidos en la variabilidad del error y la variabilidad ortogonal de la tarea de transferencia se muestran en el anexo 7.

Al igual que en la tarea de evaluación, en la tarea de transferencia (tabla 13), los participantes mejoraron sus valores de error tras la práctica, pero tampoco se observaron diferencias significativas en el análisis entre los grupos.

Tabla 13. Media y desviación típica del error en la tarea de transferencial de los grupos de práctica divididos por nivel de DFA inicial indicando diferencias significativas en función del nivel de DFA, evaluación y grupo de práctica (valores expresados en mm).

	EA _{TT} _PRE	EA _{TT} _POST	EA _{TT} _RET ₁	EA _{TT} _RET ₂
V0_BDFA	4.25 ± 1.26	3.07 ± 0.58 ^A	3.03 ± 0.48 ^A	2.89 ± 0.50
V0_A DFA	3.85 ± 0.83	3.08 ± 0.43 ^A	2.98 ± 0.57 ^A	3.21 ± 0.65 ^A
V1_BDFA	4.29 ± 1.29	3.41 ± 1.04 ^A	3.60 ± 0.94	3.40 ± 0.85 ^A
V1_A DFA	4.74 ± 1.48	4.00 ± 1.05 ^A	3.46 ± 0.76 ^{A,B}	3.66 ± 0.77 ^A
V2_BDFA	4.75 ± 1.22	3.29 ± 0.81 ^A	3.50 ± 0.89 ^A	3.46 ± 0.75 ^A
V2_A DFA	4.64 ± 1.23	3.39 ± 0.94 ^A	3.26 ± 0.93 ^A	3.30 ± 1.00 ^A
V3_BDFA	4.19 ± 0.61	3.27 ± 0.77 ^A	3.03 ± 0.52 ^A	3.00 ± 0.40 ^A
V3_A DFA	4.15 ± 1.00	3.13 ± 0.53 ^A	2.97 ± 0.88 ^A	2.97 ± 0.53 ^A

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

^A Diferencias significativas respecto a PRE. ^B Diferencias significativas respecto a POST. BDFA: Bajo DFA inicial; ADFA: Alto DFA inicial.

Como se aprecia en la tabla 14 no se observaron en general diferencias entre los grupos de práctica al comparar los niveles de aprendizaje tanto relativo como residual. Tan solo los participantes de bajo DFA del grupo V0 mostraron valores de ApR_{RET} superiores a los de los obtenidos por los participantes de alto DFA ($p = 0.048$). Por otro lado, los participantes con alto DFA del grupo V3 mostraron valores medios de aprendizaje relativo y residual superiores a los de bajo DFA de su mismo grupo, observándose más claramente en ApR_{POST} si bien las diferencias no llegaron a ser significativas ($p = 0.085$).

Tabla 14. Media y desviación típica de TRA y ApR en tarea transferencia de los grupos de práctica divididos por DFA inicial con indicación de diferencias significativas en función de grupos y nivel de DFA (valores porcentuales).

		TRA _{POST} _TT	TRA _{RET} _TT	ApR _{POST} _TT	ApR _{RET} _TT
V0	BDFA	18.70 ± 16.32	25.72 ± 16.63	-2.90 ± 17.21	7.46 ± 11.44*
	ADFA	14.50 ± 15.78	10.58 ± 24.83	-7.12 ± 16.75	-7.58 ± 20.49
V1	BDFA	16.73 ± 9.66	10.73 ± 24.39	-4.68 ± 10.03	-8.99 ± 20.05
	ADFA	16.87 ± 11.55	21.34 ± 16.24	-3.48 ± 12.69	-6.42 ± 12.23
V2	BDFA	27.98 ± 11.09	21.96 ± 9.63	6.86 ± 11.64	0.07 ± 11.90
	ADFA	25.54 ± 12.73	27.37 ± 17.90	4.50 ± 12.78	4.84 ± 18.45
V3	BDFA	17.85 ± 15.47	24.70 ± 10.91	-3.42 ± 15.65	3.85 ± 7.41
	ADFA	30.35 ± 14.63	31.87 ± 16.17	9.52 ± 15.69	7.72 ± 10.61

Las comparaciones múltiples fueron realizadas mediante el ajuste de Bonferroni.

BDFA: Bajo DFA inicial; ADFA: Alto DFA inicial; TRA: Tasa relativa de aprendizaje; ApR: Aprendizaje residual.

* Diferencias significativas respecto a Nivel de Rendimiento.

4.7 Análisis de la evolución del rendimiento a lo largo de las sesiones de entrenamiento en función de la carga de variabilidad aplicada durante el entrenamiento

Uno de los objetivos de esta tesis es analizar la adaptación de los participantes a las diferentes magnitudes de carga de variabilidad. Tal y como se planteó en la introducción, existen resultados contradictorios en la literatura al comparar los efectos de la práctica en consistencia y la práctica en variabilidad, lo cual puede ser debido a que no se ha cuantificado las magnitudes de carga de variabilidad o no se ha valorado la respuesta adaptativa a dichas cargas en diferentes momentos temporales durante el entrenamiento.

Para analizar esta cuestión, se comparó la respuesta adaptativa de los participantes a los diferentes niveles de carga de variabilidad, valorando el error que mostraban durante las series de entrenamiento (con cargas de V0 a V3) a lo largo de los días de práctica. Para ello, se calculó el promedio del error mostrado por los participantes en los 6 ensayos de práctica con carga de variabilidad, realizados en cada uno de los tres días de entrenamiento (error promedio de la sesión 1 "S1", error promedio de la sesión 2 "S2" y error promedio de la sesión 3 "S3").

La evolución del error mostrado en los ensayos realizados los tres días de entrenamiento refleja la adaptación de los participantes a las cargas aplicadas. Teniendo en cuenta que las mayores magnitudes de carga generarán un mayor error en las evaluaciones de entrenamiento, los datos se presentarán en términos absolutos (presentada como adaptación al entrenamiento) y relativos (porcentaje de adaptación al entrenamiento) para valorar la reducción porcentual del error de acuerdo al nivel de carga de variabilidad aplicada durante la práctica.

En la tabla 15 se muestran los datos descriptivos de las variables registradas en los tres días de entrenamiento. En ellos se muestran los valores de error y de adaptación al

entrenamiento en términos absolutos y relativos entre los tres días de práctica (los descriptivos completos se pueden observar en el anexo 8).

Tabla 15. Valores de adaptación expresados en la diferencia en el error medio entre las sesiones de entrenamiento.

	Adaptación Entrenamiento (mm)			% Adaptación Entrenamiento		
	S2-S1	S3-S2	S3-S1	S2-S1	S3-S2	S3-S1
V0	-0.65 ± 0.38	-0.33 ± 0.31	-0.97 ± 0.54	-16.62 ± 8.79	-9.66 ± 8.68	-24.66 ± 10.73
V1	-0.79 ± 0.68	-0.26 ± 0.61	-1.05 ± 0.55	-11.48 ± 9.48	-3.46 ± 10.60	-15.15 ± 7.70
V2	-0.80 ± 0.50	-0.64 ± 0.45	-1.44 ± 0.57	-7.97 ± 4.84	-6.75 ± 4.25	-14.21 ± 5.63
V3	-1.03 ± 0.87	-0.61 ± 0.89	-1.64 ± 0.60	-7.43 ± 6.45	-4.57 ± 6.50	-11.95 ± 4.46

S1, S2 y S3 indican la sesión 1, sesión 2 y sesión 3 de práctica respectivamente.

En la parte izquierda de la tabla se muestra la reducción del error entre sesiones en términos absolutos. La parte derecha muestra la reducción del error en términos relativos y expresados porcentualmente.

Para valorar los efectos de la magnitud de carga en la adaptación al entrenamiento, se realizó un ANOVA de 1 factor para comparar la reducción del error mostrada por los participantes en los diferentes grupos de práctica. Los resultados del análisis mostraron diferencias entre los grupos al comparar la reducción de error entre S1 y S3 en valores absolutos ($F_{3,87} = 6.824$, $p < 0.001$) observando que los grupos con mayor carga de variabilidad (V3) redujeron su error en mayor magnitud respecto a los de baja carga de variabilidad. Sin embargo, en valores relativos se observaron diferencias entre grupos en la adaptación S1-S3 ($F_{3,87} = 11.879$, $p < 0.001$) siendo el grupo V0 el que obtuvo porcentajes de adaptación superiores al resto de grupos. En la adaptación entre S2 y S3 no se observaron diferencias entre grupos, obteniendo diferencias próximas a la significación en la adaptación relativa S2-S3 ($F_{3,87} = 2.588$, $p < 0.058$) mostrando de nuevo que el grupo V0 obtuvo los mayores porcentajes de adaptación. También se observaron diferencias en la adaptación al entrenamiento relativa entre S1-S2 ($F_{3,87} = 6.551$, $p < 0.001$) siendo V0 el grupo con una adaptación mayor que los grupos que practicaron en variabilidad.

Tras conocer el efecto de la magnitud de carga de variabilidad en la adaptación al entrenamiento, se valoró el efecto de las características intrínsecas de los participantes en este proceso de adaptación. Por este motivo, al igual que en los apartados previos, se

subdividieron los grupos de acuerdo al rendimiento y variabilidad inicial de los participantes mostrado en el test inicial. Los estadísticos descriptivos de los participantes agrupados en base a su rendimiento inicial en las tres sesiones de entrenamiento se muestran en la tabla 16 y anexo 9.

Tabla 16. Valores de adaptación expresados en la diferencia en el error medio entre las sesiones de entrenamiento, en función del nivel de rendimiento inicial.

		Adaptación Entrenamiento (mm)			% Adaptación Entrenamiento		
		S2-1	S3-2	S3-1	S2-1	S3-2	S3-1
V0	AR	-0.54 ± 0.32	-0.16 ± 0.21 ³	-0.70 ± 0.33 ^{*3}	-15.83 ± 8.51 ^{2,3}	-5.09 ± 7.48 [*]	-20.27 ± 9.19 ^{*1}
	BR	-0.75 ± 0.42	-0.50 ± 0.29	-1.25 ± 0.58	-17.42 ± 9.46	-14.22 ± 7.54 ³	-29.04 ± 10.76 ^{1,2,3}
V1	AR	-0.69 ± 0.72	-0.10 ± 0.68 ³	-0.79 ± 0.51 ^{*3}	-10.35 ± 9.92	-0.96 ± 13.02	-12.12 ± 7.07 [*]
	BR	-0.89 ± 0.65	-0.42 ± 0.51	-1.32 ± 0.47	-12.62 ± 9.30	-5.96 ± 7.21	-18.18 ± 7.36
V2	AR	-0.69 ± 0.35	-0.61 ± 0.38	-1.30 ± 0.60	-6.76 ± 3.39	-6.24 ± 3.16	-12.56 ± 4.76
	BR	-0.92 ± 0.60	-0.66 ± 0.53	-1.58 ± 0.53	-9.19 ± 5.85	-7.27 ± 5.22	-15.86 ± 6.14
V3	AR	-0.81 ± 0.94	-0.86 ± 1.00 [*]	-1.67 ± 0.42	-5.95 ± 7.22	-6.53 ± 7.48	-12.54 ± 3.08
	BR	-1.26 ± 0.77	-0.35 ± 0.65	-1.61 ± 0.75	-8.91 ± 5.51	-2.62 ± 4.93	-11.37 ± 5.62

S1, S2 y S3 indican la sesión 1, sesión 2 y sesión 3 de práctica respectivamente.

En la parte izquierda de la tabla se muestra la reducción del error entre sesiones en términos absolutos. La parte derecha muestra la reducción del error en términos relativos. * Diferencias significativas respecto a Nivel de DFA. ¹ Diferencias significativas respecto a V1. ² Diferencias significativas respecto a V2. ³ Diferencias significativas respecto a V3.

Se realizó un ANOVA con los factores grupo de práctica y nivel de rendimiento inicial, con la finalidad de conocer si existe relación entre el nivel inicial y la adaptación a la carga de variabilidad aumentada.

Los resultados mostraron diferencias en la adaptación entre la primera y la última sesión de entrenamiento (S1-S3) en función del nivel de rendimiento inicial en términos absolutos ($F_{1,86} = 7.977$, $p = 0.006$; $\eta_p^2 = 0.089$) y relativo ($F_{1,86} = 8.212$, $p = 0.005$; $\eta_p^2 = 0.091$), mostrando el grupo de bajo rendimiento (BR) una mayor adaptación que los de alto rendimiento inicial (AR).

Sin embargo, un análisis más pormenorizado de los resultados, muestra efectos de interacción entre el nivel inicial y el grupo de práctica, con diferencias significativas en la adaptación relativa en S2-S3 ($F_{3,80} = 2.903$, $p = 0.040$, $\eta_p^2 = 0.096$). Al analizar las diferencias entre grupos en los dos niveles de rendimiento se observa que, los participantes

de BR muestran una adaptación superior a la de los AR en el nivel de carga de variabilidad V0 [$d = 1.16 (0.21, 2.12)$]. Sin embargo, entre S2-S3 estas diferencias se van atenuando conforme el nivel de carga de variabilidad se incrementa, acompañado de una disminución del tamaño del efecto hasta el nivel V2 [$d = 0.23 (-0.65, 1.11)$], y volviendo a elevarse en V3, pero con una diferencia en la dirección contraria [$d = -0.59 (-1.49, 0.31)$]. Esto es, en la situación de V3, se observan valores menores en BR que en AR (aunque con diferencias no significativas en la comparación por pares). Estos resultados indican una asociación entre el nivel de adaptación a niveles elevados de magnitud de la carga, con un nivel de rendimiento inicial elevado. En la figura 16 se pueden observar estos resultados y cómo los valores medios de adaptación evolucionan en función del nivel de carga de variabilidad aplicado.

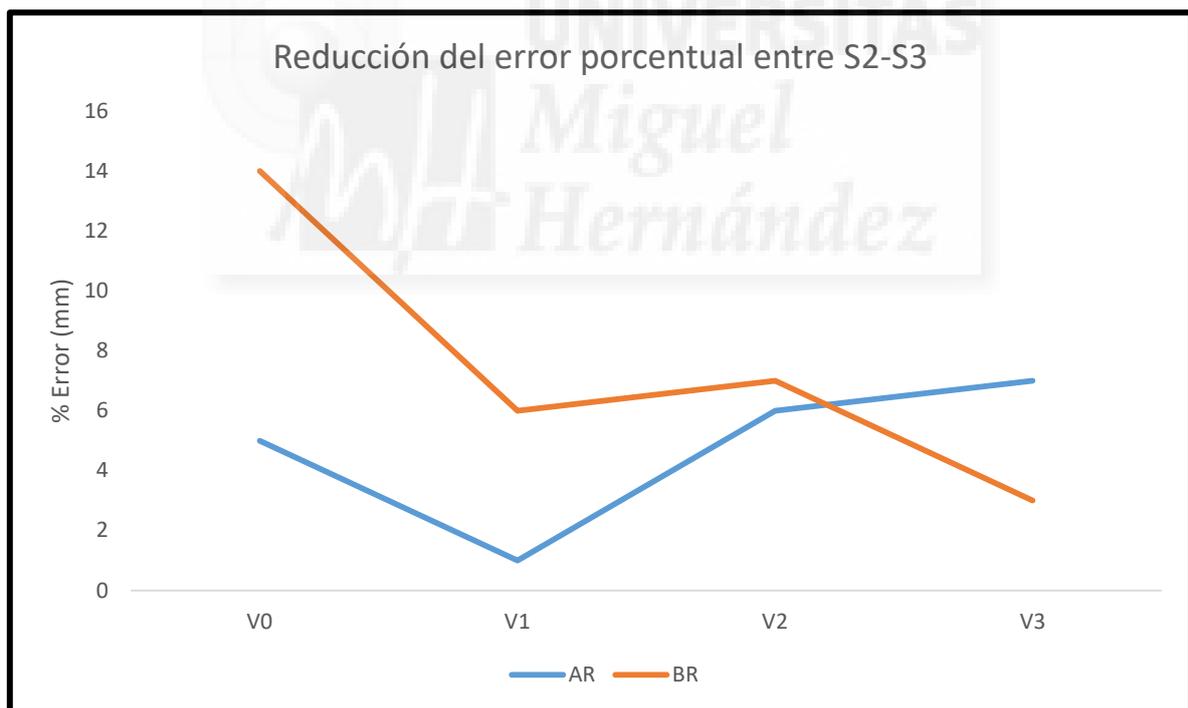


Figura 16. Adaptación a las diferentes magnitudes de carga de variabilidad de los grupos, agrupados en función de su nivel de rendimiento inicial (alto rendimiento y bajo rendimiento), entre las sesiones de entrenamiento 2 (S2) y 3 (S3), representado en valores porcentuales de adaptación.

Al igual que con el rendimiento, la adaptación al entrenamiento también fue analizada comparando a los participantes en función de los valores de DFA mostrados en la tarea

inicial. El ANOVA para comparar los participantes en base a su nivel de DFA y el grupo de práctica no mostraron diferencias entre nivel ni en la interacción entre grupo y nivel. Las pruebas pos-hoc mostraron que tan solo en el grupo V3 los participantes con bajo DFA obtuvieron una mayor adaptación en valores absolutos que los participantes de alto DFA entre las evaluaciones 2 y 3. Mientras que, en valores relativos, en el grupo V1 fueron los participantes con alto DFA los que mostraron una mayor adaptación al entrenamiento. Al comparar la adaptación entre grupos, los grupos que practicaron con mayor magnitud de variabilidad (V3 y V2) mostraron una mayor reducción del error en valores absolutos en los participantes con bajo DFA entre las sesiones 1 y 3, lo cual puede entenderse debido al mayor error mostrado en las sesiones de entrenamiento (anexo 9). En valores relativos, el grupo V0 obtuvo los mayores porcentajes de adaptación tanto en los participantes de alto como de bajo DFA. En bajo DFA el grupo V0 consiguió una adaptación entre las sesiones 1 y 3 (S1 - S3) significativamente superior respecto a V1 ($p = 0.021$), mientras que en los participantes de alto DFA fue superior al grupo V3 ($p = 0.008$).

Tabla 17. Datos descriptivos de valores de rendimiento y adaptación en series de entrenamiento en función del nivel de DFA inicial.

		Adaptación Entrenamiento (mm)			% Adaptación Entrenamiento		
		S1-2	S2-3	S1-3	S1-2	S2-3	S1-3
V0	BDFA	0.56 ± 0.46	0.26 ± 0.25	0.83 ± 0.53 ³	15.33 ± 11.32	7.95 ± 7.75	22.01 ± 12.55 ¹
	ADFA	0.60 ± 0.21	0.32 ± 0.22	0.92 ± 0.33	15.05 ± 4.78	9.38 ± 6.16	23.03 ± 6.54 ³
V1	BDFA	0.70 ± 0.92	0.02 ± 0.75 ³	0.72 ± 0.52 ^{2,3}	9.75 ± 12.30	-0.31 ± 14.75	10.79 ± 7.19*
	ADFA	1.08 ± 0.55	0.19 ± 0.53	1.27 ± 0.57	16.10 ± 7.66	2.78 ± 8.84	18.66 ± 8.42
V2	BDFA	0.74 ± 0.63	0.84 ± 0.61	1.58 ± 0.73 ³	7.02 ± 5.74	8.24 ± 4.89	14.76 ± 5.66
	ADFA	0.73 ± 0.42	0.75 ± 0.25	1.48 ± 0.52	6.87 ± 4.05	7.39 ± 1.93	13.73 ± 4.48
V3	BDFA	0.71 ± 1.26	0.95 ± 1.24*	1.66 ± 0.80	4.92 ± 9.33	7.14 ± 8.85	12.26 ± 5.98
	ADFA	1.30 ± 0.42	0.14 ± 0.46	1.44 ± 0.65	9.67 ± 3.24	1.05 ± 3.79	10.61 ± 4.71

S1, S2 y S3 indican la sesión 1, sesión 2 y sesión 3 de práctica respectivamente.

En la parte izquierda de la tabla se muestra la reducción del error entre sesiones en términos absolutos. La parte derecha muestra la reducción del error en términos relativos.

* Diferencias significativas respecto a Nivel de DFA.

¹ Diferencias significativas respecto a V1. ² Diferencias significativas respecto a V2. ³ Diferencias significativas respecto a V3.

En la figura 17 se observa el error mostrado por los participantes en función del tipo de magnitud aplicada, observando la evolución del error a lo largo de las series de

entrenamiento y de evaluación, donde se aprecia el efecto de las diferentes intensidades de carga sobre el error y la adaptación a éstas.

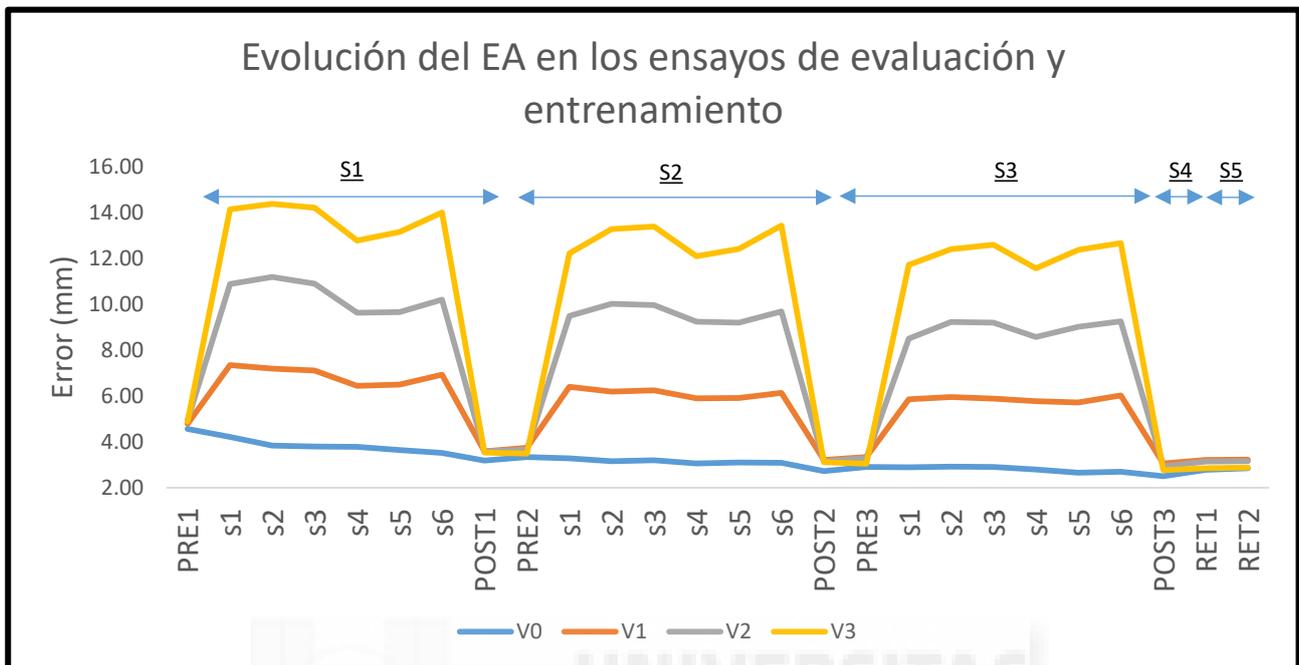


Figura 17. Evolución del error en la tarea de evaluación partiendo del rendimiento inicial mostrado a lo largo de los ensayos de evaluación y entrenamiento en función del grupo de práctica.

S: Sesión de práctica; s: serie de entrenamiento; PRE: promedio de las series de evaluación previas a entrenar; POST: promedio de las series de evaluación tras entrenar; RET: promedio de las series de retención.

Como se aprecia en la figura 17, el error mostrado por los diferentes grupos de práctica en las series de entrenamiento muestra una progresión en base a la magnitud de carga de variabilidad que se aplicó en la que a medida que se incrementaba la dificultad de la tarea un nivel, se generaba un incremento en el error similar, pudiendo valorar la respuesta de los participantes en los test de evaluación en base a la práctica realizada y la progresiva adaptación de los participantes mostrada en la reducción de error a lo largo de los test.

En la figura 18 se muestra la reducción del error obtenido por los grupos en la tarea de evaluación en los Pre-test y Post-test de cada sesión a lo largo de los tres días de entrenamiento. Los valores se expresan diferencialmente con respecto a su rendimiento inicial, por ello todos los grupos comienzan con un valor cero en el primer Pre-test, que coincide con la evaluación inicial. En la figura se observa que los grupos muestran una

mejora intra-sesión en los tres días de práctica y un descenso entre el Post-test de la sesión anterior y el Pre-test de la sesión posterior, salvo el grupo V3. El grupo de nivel de variabilidad aumentada V3 mantiene el rendimiento, o lo incrementa, entre el Post-test de la sesión anterior y el Pre-test de la sesión siguiente (esto es, tras el periodo de descanso). En esta figura se destaca además la mayor retención mostrada por el grupo V3.

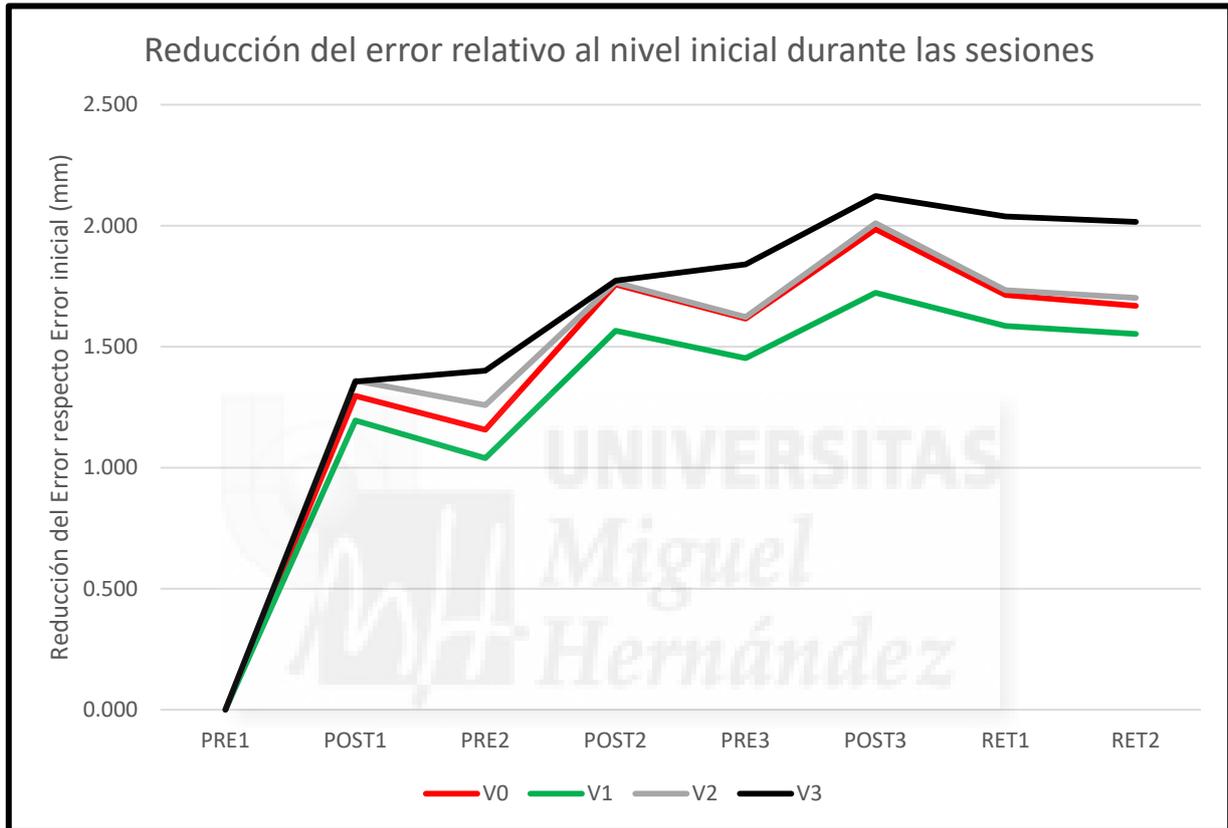


Figura 18. Evolución de la reducción del error en la tarea de evaluación partiendo del rendimiento inicial mostrado a lo largo de los test en función del grupo de práctica. A mayor valor, mayor reducción del error.



DISCUSIÓN

El empleo de la variabilidad en la práctica como herramienta para el aprendizaje ha sido uno de los tópicos más estudiados en las últimas décadas dentro del ámbito del Control Motor (Clifton, 1985; Garcia-Herrero et al., 2016; Graydon & Griffin, 1996; Moreno, Peláez, Urbán, & Reina, 2011; Newell & Shapiro, 1976; Shea et al., 2001). Sin embargo, a pesar de que existen multitud de trabajos que han comparado la práctica en variabilidad y la práctica en consistencia como herramientas para maximizar el aprendizaje de diversas tareas, los resultados obtenidos hasta la fecha son poco esclarecedores (Green, Whitehead, & Sugden, 1995; Kaipa, Robb, & Jones, 2016; Lee et al., 1985; Pigott & Shapiro, 1984; Shea & Kohl, 1990; van den Tillaar & Marques, 2013; Zipp & Gentile, 2010). Basado en la teoría del esquema motor de Schmidt, la literatura indica que la práctica en condiciones de variabilidad resulta más adecuada para el aprendizaje de tareas abiertas. En base a dicha teoría, un tipo de metodología que exija al aprendiz practicar en diversas condiciones, proporcionaría un esquema motor más flexible que le permitiría resolver las demandas de tareas, con características altamente cambiantes (Lee et al., 1985; Shapiro et al., 1982; Van Rossum, 1990). Sin embargo, en habilidades cerradas, los trabajos no han observado resultados concluyentes respecto a qué tipo de metodología permite optimizar en mayor medida el aprendizaje (Edwards & Hodges, 2012; Jarus & Goverover, 1999; Johnson & McCabe, 1982; Shea et al., 2001). Una de las limitaciones que puede explicar la falta de claridad de estos resultados está relacionada con el hecho de que la mayoría de los estudios se han limitado a comparar los efectos de la práctica en variabilidad respecto a la práctica en consistencia, sin valorar algunos factores que pueden mediar en el aprendizaje. Así existe un gran desconocimiento acerca del efecto, entre otros, de factores como la carga de variabilidad al practicar, el periodo de recuperación necesario para asimilar dicha carga de entrenamiento y las características del aprendiz, en especial, el rendimiento inicial mostrado, así como su variabilidad intrínseca. En el presente estudio se busca analizar como dichos factores modulan la efectividad de la práctica en variabilidad como herramienta de aprendizaje.

5.1 *Efecto de la magnitud de carga de variabilidad aumentada sobre el rendimiento y la variabilidad en la tarea de evaluación*

El primero de los factores analizados es el de la magnitud de carga de variabilidad. Este factor está asociado con la intensidad del estímulo de entrenamiento aplicado sobre los aprendices, lo cual generará diferentes niveles de estrés sobre el sistema (Moreno & Ordoño, 2009). Por tanto, al aplicar estímulos con diferentes intensidades, es esperable que las respuestas/adaptaciones generadas en los individuos también sean diferentes. A pesar de la lógica de este planteamiento, hasta nuestro conocimiento son escasos los trabajos que han valorado el efecto de la manipulación de la carga sobre el aprendizaje por lo que son numerosas las cuestiones que faltan por conocer sobre sus efectos (Moreno et al., 2011). ¿Genera el mismo efecto la práctica en variabilidad independientemente de su magnitud? ¿Practicar con mayores magnitudes de carga generaría un efecto positivo en la retención y la transferencia? ¿Cuál es la magnitud adecuada para maximizar el aprendizaje? ¿Es generalizable a todos los participantes?

Con el objetivo de responder a estas cuestiones, en nuestro estudio se comparó el efecto de diferentes magnitudes de carga de variabilidad al practicar (V0, V1, V2 y V3) sobre el rendimiento y la variabilidad intrínseca en una tarea de equilibrio. Concretamente se analizó sus efectos en diferentes momentos temporales, para valorar la adaptación de los participantes en función del tiempo de recuperación utilizado.

Tal como fue hipotetizado, el ANOVA mixto mostró que todos los grupos de práctica mejoraron en niveles similares tras el periodo de práctica (tabla 1) no observándose diferencias entre grupos. Estos resultados parecen coincidir con los obtenidos en otros estudios en los cuales la práctica en consistencia y la práctica en variabilidad no mostraron diferencias entre sí en la mejora del rendimiento en tareas de lanzamiento (Jarus & Goverover, 1999; van den Tillaar & Marques, 2013). Por tanto, podría pensarse que la magnitud de carga de variabilidad al practicar no es influyente en el aprendizaje en la tarea

de estabilidad sedente utilizada en el presente trabajo. Sin embargo, estos resultados son consistente con nuestra hipótesis por la cual la falta de diferencias entre grupos estaría relacionada con la no adecuación de la carga de entrenamiento (“carga de variabilidad al practicar”) a las características de cada participante.

Un análisis más pormenorizado de los datos muestra que aun cuando el grupo que practicó en consistencia (V0) mostró un mayor incremento del rendimiento en la evaluación Post-test, éste era retenido en menor medida que el resto de grupos tras el periodo sin práctica (tabla 2). Por el contrario, el grupo V3 mostró la mayor tasa de aprendizaje (TRA_{RET} y ApR_{RET}) en el test de retención. Estos resultados están en consonancia con estudios previos en los cuales se ha observado cómo la práctica en consistencia parece proporcionar rápidas mejoras del rendimiento en cortos espacios temporales, mientras que los efectos de la práctica en variabilidad no solo requieren de un mayor periodo de adaptación para ser observados sino que parecen ser más resistentes al olvido (Hall & Magill, 1995; Shea & Kohl, 1990; Shute & Gawlick, 1995; Tsutsui, Lee, & Hodges, 1998; Williams & Hodges, 2005; Yao, Cordova, De Sola, Hart, & Yan, 2012; Zetou et al., 2014). Este hecho podría explicarse a través de la teoría del Síndrome General de Adaptación. En base a ésta, Moreno y Ordoño (2009) postularon que la aplicación de una carga de práctica superior a la habitual para el participante provocará una fase de alarma que generará una disminución de la capacidad funcional de éste, disminuyendo temporalmente su rendimiento. El sistema respondería a esta situación iniciando una serie de mecanismos que le permitan responder a la nueva carga de trabajo dando lugar a un proceso de adaptación. En esta fase de adaptación, el sistema experimenta una serie de cambios (mecánicos, estructurales o bioquímicos), preparándose para superar una posterior aplicación de esta carga (Moreno & Ordoño, 2009; Stone, O'bryant, Garhammer, McMillan, & Rozenek, 1982). Si consideramos que la práctica en variabilidad supone un aumento de la intensidad de la carga respecto a la práctica en consistencia, esta supondría un mayor estrés sobre el aprendiz, lo cual a su

vez, requeriría de un mayor periodo temporal para generar la adaptación (Moreno & Ordoño, 2014). En este sentido, algunos de los trabajos que no han observado beneficios en la práctica en variabilidad respecto a la práctica en consistencia, han sido diseños pre-post en los cuales no fue evaluado el rendimiento tras un periodo de descanso (Breslin, Hodges, Steenson, & Williams, 2012). Esta podría ser una de las causas de la controversia existente en relación a estos dos tipos de práctica, lo cual lleva a resaltar la necesidad de realizar una valoración del rendimiento tras un periodo de descanso para obtener una información completa respecto a la capacidad del organismo para adaptarse a dicha carga.

Sin embargo, a pesar de la tendencia observada en los datos, hay que subrayar que en los grupos V1 y V2, los beneficios de la práctica en variabilidad, en especial en el test de retención, no fueron tan evidentes. Estos resultados parecen indicar que las cargas aplicadas en estos grupos no se adecuaron plenamente a las características de los individuos lo cual enfatiza una vez más la necesidad de realizar un análisis de acuerdo a las características intrínsecas de los participantes.

Finalmente cabe resaltar que la variabilidad intrínseca mostrada por los distintos grupos de práctica solo se modificó incrementando los valores de autocorrelación de la variabilidad. Una mayor autocorrelación en la variabilidad ha sido relacionada por una parte con una menor cantidad de ajustes posturales, compatible con una menor exploración motora en busca de la mejor solución posible a la tarea a realizar, y por otra con una menor percepción del propio movimiento (Barbado et al., 2017; Shadmehr et al., 2016). Los resultados parecen indicar que a medida que los participantes logran mejorar su equilibrio, existe menos necesidad de realizar ajustes posturales en el eje que no es objeto de evaluación (señales más autocorrelacionadas). Esta mejora en el equilibrio favorecería un comportamiento de ajuste continuo en el eje del movimiento en el que se presenta el feedback visual, lo cual se observa en que apenas se observan cambios en el DFA de este eje.

5.2 Efecto de la magnitud de carga de variabilidad aumentada sobre el rendimiento y la variabilidad en la tarea de evaluación en base al rendimiento inicial

Aun no habiendo numerosos trabajos que hayan considerado las características intrínsecas de los participantes al analizar los efectos de diferentes tipos de práctica, el rendimiento es uno de los aspectos que ha sido más estudiado (Duarte & Sternad, 2008; Rey, Wughalter, & Whitehurst, 1982; Zipp & Gentile, 2010). En ellos en general se ha observado que la práctica en variabilidad suele presentar una mayor eficacia para incrementar el aprendizaje en individuos expertos/adultos que en inexpertos/niños (Brady, 2004; Garcia-Herrero et al., 2016; Lee et al., 1985; Shapiro et al., 1982; Wulf & Schmidt, 1994). Los resultados obtenidos en el presente estudio parecen resaltar la importancia de adecuar la carga al rendimiento de los participantes. Tal como se observó en la tabla 5, aquellos participantes con un bajo nivel de rendimiento inicial que realizaron práctica en consistencia mostraron las mayores tasas relativas de aprendizaje (TRA) en la evaluación Post-test ($V0$ [$d = 1.21$ (0.27, 2.15)] respecto a $V1$). Sin embargo, los participantes con un alto rendimiento inicial mostraron un mayor aprendizaje cuando practicaron en condiciones de alta variabilidad ($V3$ [$d = 1.48$ (0.53, 2.43)] seguido de $V2$ [$d = 1.06$ (0.17, 1.96)] respecto a $V1$). Estos resultados están en consonancia con estudios como el de García-Herrero et al. (2016), en el cual jugadores expertos de balonmano tan solo mejoraron su precisión en el lanzamiento con la práctica en variabilidad, mientras que los inexpertos obtuvieron un mayor aprendizaje con la práctica en consistencia, poniendo de manifiesto que la carga de variabilidad al practicar debe ser adecuada a las características del aprendiz. De igual forma estos hallazgos están en línea con los estudios que comparan la efectividad de la práctica en variabilidad y la práctica en consistencia en función de si es aplicada a adultos o a niños, considerando la edad un aspecto relacionado con la experiencia. Así, la práctica en variabilidad parece tener mejores resultados en adultos, mientras que en niños este tipo de práctica no parece proporcionar mayores beneficios que la práctica en consistencia (Lee et

al., 1985; Moore, Reeve, & Pissanos, 1981; Pigott & Shapiro, 1984; Zipp & Gentile, 2010). Bajo la luz de estos resultados, aquellos individuos sin un patrón motor estable que responda a las demandas de una tarea (inexpertos-niños), durante la propia práctica la habilidad a aprender se encontraría en una fase de exploración (alta variabilidad) para encontrar la mejor solución motora. En este caso, inducir una mayor variabilidad intrínseca mediante la práctica variable podría ser contraproducente, dificultando la búsqueda y estabilización del patrón motor más adecuado para resolver la tarea (García-Herrero et al., 2016). Por el contrario, en aquellos individuos con un nivel de destreza elevado y patrones motores más estables en relación a la tarea a aprender (expertos-adultos), la práctica en consistencia podría no ser un estímulo suficiente para mejorar, es decir, bajo el síndrome general de adaptación, dicha carga no supone un estrés suficiente para generar una respuesta adaptativa en el individuo (Moreno & Ordoño, 2009). En estos casos se requeriría estímulos adicionales que permitan explorar nuevas soluciones motoras (Lee et al., 1985; Shapiro et al., 1982). En base a lo expuesto, la práctica en variabilidad supondría un estrés a los individuos expertos y “forzaría al sistema” a adaptarse a niveles más elevados para superar la tarea (Hernández-Davo, Urbán, Sarabia, Juan-Recio, & Moreno, 2014).

La idoneidad de un tipo de práctica u otra en relación al nivel del aprendiz también viene reforzada por el análisis de los test de retención. Así, si bien la práctica en variabilidad posibilita una mayor retención del aprendizaje tras un periodo sin práctica (Hall & Magill, 1995; Shea & Kohl, 1990; Shute & Gawlick, 1995; Tsutsui et al., 1998; Williams & Hodges, 2005; Yao et al., 2012; Zetou et al., 2014), en nuestro estudio este efecto positivo solo se observó en los individuos con un alto rendimiento inicial. Al analizar el aprendizaje en los test de retención, se observó que en el grupo de alto rendimiento que practicó en alta variabilidad (V3) obtuvo las mayores tasas de aprendizaje en los test de retención (V0: $d = 0.89 [-0.01, 1.79]$; V1: $d = 1.59 [0.62, 2.55]$; V2: $d = 1.30 [0.40, 2.21]$). Sin embargo, no se encontraron diferencias entre grupos en los individuos de bajo rendimiento. En

consonancia con el trabajo de Garcia-Herrero et al. (2016), estos resultados ponen de manifiesto la importancia de la individualización de las cargas de acuerdo a las características de los participantes, como el nivel de rendimiento. Así, para los participantes con un bajo rendimiento la propia práctica de la tarea objetivo parece ser suficiente para aprender, de tal forma que la práctica en variabilidad no parece proporcionar ninguna ventaja adicional. Sin embargo, para aquellos participantes que muestran un alto dominio inicial de la tarea, la exposición a una práctica que desafíe al sistema motor, como es la práctica en alta variabilidad, parece ser la clave para maximizar el aprendizaje.

A pesar de los resultados observados, estos deben ser tomados con cautela pues los mayores efectos de la práctica variable en individuos de alto rendimiento inicial se observaron en el grupo V3, no siendo tan claros sus beneficios en los grupos de práctica V1 y V2. Creemos que la dicotomía observada principalmente entre V0 y V3 podría ser debida a que solo hemos podido hacer dos grupos en base al nivel de rendimiento inicial. Probablemente si la muestra hubiera sido mayor, se hubiera podido observar si cargas intermedias de variabilidad al practicar son más beneficiosas para grupos con rendimientos iniciales moderados.

5.3 Efecto de la magnitud de carga de variabilidad aumentada sobre el rendimiento y la variabilidad en la tarea de evaluación en base a la estructura de la variabilidad inicial

El segundo de los factores intrínsecos que fue valorado en esta tesis fue la estructura de la variabilidad inicial de los participantes. Una estructura poco autocorrelacionada de la variabilidad (menor predictibilidad) ha sido relacionada con una mayor cantidad de ajustes posturales, lo cual a su vez puede ser debido a que, o bien el individuo muestra una mayor exploración motora en busca de la mejor solución posible a la tarea a realizar, o que muestra una mayor percepción del propio movimiento, lo cual le permite realizar las correcciones necesarias para llevarlo a cabo de forma exitosa (Barbado et al., 2017; Shadmehr et al.,

2016). De acuerdo con estos resultados, sería lógico pensar que en aquellos individuos con una baja variabilidad intrínseca (alto DFA), la práctica en variabilidad favoreciese mecanismos de exploración y/o de percepción del error, maximizando el aprendizaje. Por el contrario, aquellos individuos que mostrasen una alta variabilidad intrínseca (bajo DFA) no necesitarían de la variabilidad al practicar como estímulo adicional para incrementar las estrategias exploratorias o la propia sensibilidad al movimiento (Barbado, et al., 2017). A pesar de estas hipótesis, en nuestra muestra la comparación de los participantes respecto a su variabilidad inicial no mostró resultados esclarecedores en la tarea de evaluación. Nuestros resultados no mostraron diferencias en el rendimiento ni el aprendizaje de los participantes en función de su nivel de DFA ni se observó diferentes comportamientos en función de la magnitud de variabilidad aplicada en la práctica. Aun así, es importante reseñar que, si bien no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, si pudieron apreciarse ciertas tendencias que inducen a pensar que una mayor o menor carga de variabilidad al practicar tiene un efecto diferencial sobre el aprendizaje en función de la variabilidad intrínseca del aprendiz. El cálculo del tamaño del efecto resaltó algunas tendencias que se observaron en los análisis previos, en la que los participantes del grupo V3 obtuvieron los mejores valores de TRA_{RET} siendo superiores a V0 (y casi significativamente a V2).

Una de las razones que pueden explicar la no confirmación clara de nuestra hipótesis es que la tarea de aprendizaje empleada en este estudio dispone de un biofeedback en tiempo real minimizando la importancia de la autopercepción del error como factor que influye en el aprendizaje. Si bien estudios como el de Barbado et al (2017) han observado como aquellos individuos con mayor variabilidad inicial (mayor percepción del error) muestran una mayor tasa de aprendizaje en tareas de equilibrio, en dichas tareas se les solicitaba a los participantes únicamente estar lo más quieto posible. Así, en esos casos, la propia percepción del movimiento parece crucial para optimizar el aprendizaje. Sin

embargo, en nuestro trabajo, el biofeedback, al facilitar la percepción del error, parece ser un elemento que atenúa la necesidad de manipular la propia variabilidad con el objeto de percibir y corregir el movimiento.

5.4 Efecto de la magnitud de carga de variabilidad aumentada sobre el rendimiento y la variabilidad en la tarea de transferencia

Una de los aspectos que la literatura ha destacado es que la práctica en variabilidad muestra mejores resultados que la práctica en consistencia al valorar la transferencia de su entrenamiento a otro tipo de tareas (Carson & Wiegand, 1979; Gerson & Thomas, 1977; Moxley, 1979; Newell & Shapiro, 1976; Wrisberg & Ragsdale, 1979). Sin embargo, al igual que en la tarea de evaluación, en la tarea de transferencia tampoco se observaron diferencias entre grupos en cuanto a la reducción del error. Los resultados obtenidos al analizar el efecto de diferentes magnitudes de carga de variabilidad en la retención no mostraron diferencias entre sí. Estos resultados parecen indicar que, aun en una tarea de transferencia, introducir variabilidad al practicar no tiene por qué ser beneficioso de por sí, sino que nuevamente los niveles de variabilidad deben estar dentro de un rango óptimo que depende de las características del individuo (Newell et al., 2003). Por tanto, el hecho de que los resultados no sean concluyentes podría deberse a que la carga de variabilidad no se adaptó a las características de los participantes como son el nivel de rendimiento inicial y la propia variabilidad intrínseca.

Al analizar los efectos de los distintos tipos de práctica en función del rendimiento inicial en la tarea de transferencia, hay varios resultados que parecen confirmar la hipótesis de que la carga de variabilidad debe ser ajustada a las características del individuo (tablas 11 y 12). Al comparar el error obtenido por los grupos en función del nivel de rendimiento (tabla 11) no se observaron diferencias entre los grupos, sin embargo, al comparar el error entre los participantes de cada grupo en función de su nivel se aprecian diferencias entre ellos. En la evaluación Pre-test y Post-test, todos los grupos mostraron diferencias

significativas entre AR y BR, sin embargo, en los test de retención estas diferencias tan solo se mantuvieron en los grupos que practicaron con variabilidad aumentada. A su vez, los participantes con un alto rendimiento inicial tan solo mejoraron de forma significativa cuando practicaron con altas cargas de variabilidad aumentada (grupos V2 y V3). Estos resultados nuevamente apoyan la idea de que una vez alcanzado un alto rendimiento en la tarea, incluso en una no específicamente entrenada como es la de transferencia, los participantes requieren de mayores estímulos en la práctica para generar una adaptación (Davids et al., 2008; Garcia-Herrero et al., 2016). Por su parte, en los participantes de bajo rendimiento no se observaron diferencias entre los grupos, por lo que independientemente de la carga de variabilidad aumentada, en participantes noveles la propia práctica genera una adaptación similar. Nuestros resultados parecen estar en consonancia con el estudio de Eidson & Stadulis (1991) los cuales observaron resultados controvertidos en relación a la transferencia proporcionada por la práctica en variabilidad y consistencia en tareas abiertas o cerradas en función de las características del aprendiz. Concretamente, estos autores encontraron que, en jóvenes sin discapacidad, la práctica en variabilidad proporcionaba una mayor transferencia en tareas abiertas que en las cerradas. Sin embargo, en jóvenes con discapacidad intelectual, la práctica en variabilidad posibilitaba una mayor transferencia en habilidades cerradas, pero no en habilidades abiertas. Estos resultados parecen indicar nuevamente que una excesiva carga de variabilidad de acuerdo a las características de la tarea del aprendiz dificulta la búsqueda de las soluciones motoras más útiles no solo para la tarea a evaluar, sino para tareas similares.

Estos resultados fueron igualmente confirmados al analizar el aprendizaje relativo y residual. Cuando se compararon los niveles de aprendizaje de los participantes de alto y bajo rendimiento de los diferentes grupos, se observó que en la TRARET los participantes de alto rendimiento de los grupos V0 [$d = 1.19 (0.23, 2.15)$] y V1 [$d = 0.90 (0.02, 1.78)$] mostraron valores de aprendizaje inferiores que los de bajo rendimiento, mientras que en

los grupos V2 [$d = -0.13 (-0.93, 0.67)$] y V3 [$d = 0.35 (-0.49, 1.19)$] las tasas de aprendizaje fueron similares.

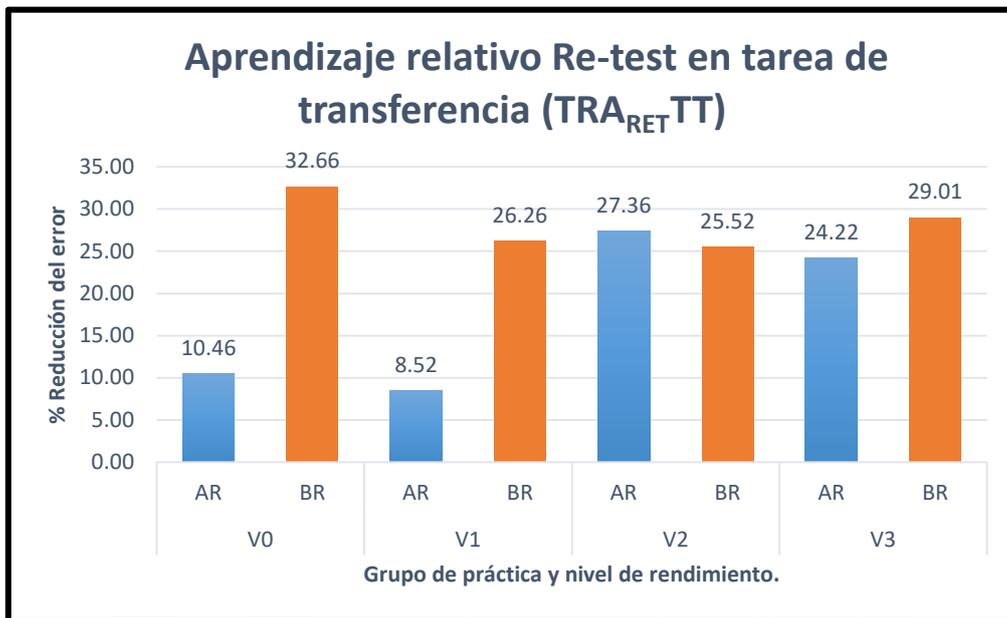


Figura 19. Aprendizaje relativo obtenido por los grupos de práctica en función del rendimiento inicial entre las evaluaciones Re-test₂ y Pre-test en la tarea de transferencia. En azul están representados los participantes de Alto Rendimiento (AR) y en naranja los de Bajo Rendimiento.

Por último, el análisis de la influencia del nivel de DFA sobre el rendimiento (tabla 13) no mostró diferencias entre los grupos de práctica independientemente del nivel de DFA inicial. Sin embargo, al contrario que en la tarea de evaluación, en la tarea de transferencia se observaron pequeñas diferencias que cumplen parcialmente la hipótesis realizada. A pesar de la gran dispersión mostrada por los participantes en los valores de aprendizaje (tabla 14), el aprendizaje residual de la tarea de transferencia mostrado por los participantes con bajo DFA fue mayor en comparación con los de alto DFA cuando practicaron en consistencia (V0). Estos resultados son similares a los encontrados por (Barbado et al., 2017) los cuales encontraron igualmente que aquellos individuos con bajo DFA aprendieron en mayor medida que los de alto en tareas de equilibrio, solo que dichos autores observaron la relación en la tarea de evaluación. Para estos autores, una mayor variabilidad era índice de una mayor capacidad de realizar ajustes, lo cual a su vez podía estar relacionado con una mayor exploración motora o una mayor sensibilidad al error. Esta mayor capacidad

para realizar más número de correcciones posibilitaba a su vez mostrar una mayor tasa de aprendizaje.

Sin embargo, en nuestro estudio, aunque los resultados no fueron significativos, se observó la tendencia opuesta al analizar los efectos de practicar en variabilidad (V1, V2 y V3) en relación al DFA inicial mostrado siendo más acusada dicha tendencia en el grupo V3. Es decir, los participantes con altos niveles de DFA obtuvieron valores medios de aprendizaje más elevados que los de bajo DFA (figura 20).

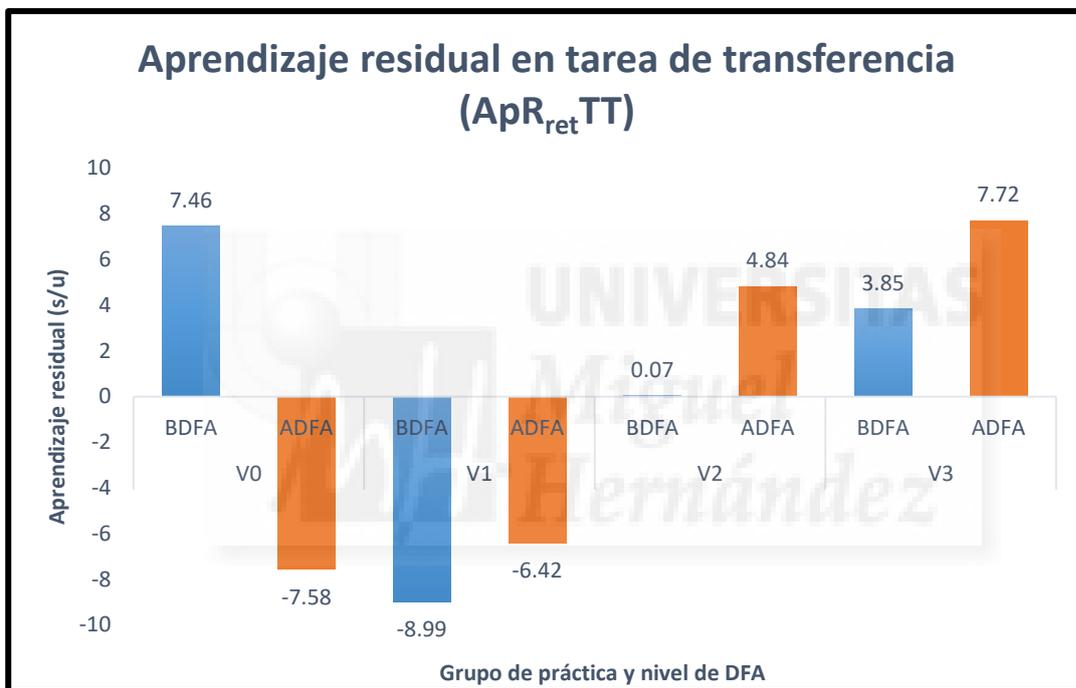


Figura 20. Aprendizaje residual obtenido por los grupos de práctica en función del nivel de variabilidad inicial entre las evaluaciones Re-test₂ y Pre-test en la tarea de transferencia. En azul están representados los participantes con Bajo DFA (BDFA) y en naranja los de Alto DFA (ADFA).

A pesar de que estos resultados no permiten extraer conclusiones evidentes, nuevamente parecen indicar que los participantes con comportamientos más exploratorios o con mayor sensibilidad al error responderían de manera adecuada a la práctica en consistencia, mientras que la práctica en variabilidad podría ser incluso hasta contraproducente. Por el contrario, los participantes con una estructura más autocorrelacionada, responden de manera más positiva a la práctica en variabilidad. Es decir, al no mostrar un comportamiento exploratorio de manera intrínseca, la aplicación de

metodologías que favorezcan dicha exploración, genera un impacto beneficioso en su aprendizaje. En la fase de adaptación a la carga puede observarse una mayor variabilidad individual, compatible con una pérdida de rendimiento tras la cual el sistema se estabiliza (Haken, Kelso & Bunz, 1985) como consecuencia de los procesos exploratorios y la búsqueda del rendimiento óptimo (Davids et al., 2003, Scholz & Schöner, 1999, Van Emmerik y Van Wegen, 2000).

5.5 Análisis de la evolución del rendimiento a lo largo de las sesiones de entrenamiento en función de la carga de variabilidad aplicada durante el entrenamiento

Una de las cuestiones abordadas en este estudio ha sido analizar el efecto en las sesiones de entrenamiento al aplicar diferentes magnitudes de carga de variabilidad, así como la adaptación de los participantes y los periodos temporales requeridos para ello. Para ello, se analizó la adaptación a las sesiones de entrenamiento en función de la carga y de las características intrínsecas de los participantes. Considerando que a medida que se incrementa la intensidad del estímulo éste genera un mayor estrés en los participantes, esta respuesta se verá probablemente reflejada en un menor aprendizaje a lo largo de las sucesivas sesiones de entrenamiento. A su vez, si la magnitud del estímulo es excesiva, podría impedir que los participantes se adaptaran y, por tanto, redujeran en menor medida el error que grupos con un menor nivel de dificultad.

Al analizar a los grupos de manera global (sin discriminar en función de sus características) se observó que el grupo V3 mostró una mayor disminución del error en valores absolutos en las series de entrenamiento, debida principalmente a que, al suponer una mayor dificultad en la tarea, la magnitud de error a reducir es significativamente mayor. Tal como se observó en la figura 17, el error obtenido en las sesiones en función del tipo de práctica mostró una relación evidente entre la magnitud de carga y el error en las series

de práctica. Sin embargo, al analizar la reducción del error a lo largo de las sesiones en términos relativos, se observó que el grupo V0 mostró los mayores niveles de adaptación. Estos resultados pueden deberse a que, al suponer una dificultad baja, los participantes independientemente de su nivel, poseen las capacidades necesarias para adaptarse al estímulo, mientras que los grupos que practican en variabilidad, los participantes encontrarían mayores dificultades para adaptarse a dicha carga.

Al considerar el nivel de rendimiento inicial de los participantes para valorar la capacidad de adaptación a las cargas, los participantes con bajo rendimiento que practicaron en consistencia (V0) mostraron mayores porcentajes de reducción del error entre sesiones que los de alto rendimiento. De nuevo, estos resultados indicarían que, en participantes con bajo nivel, la práctica sin variabilidad aumentada genera el estímulo suficiente para provocar mejoras, siendo un grado de dificultad adecuado a su nivel. Sin embargo, a medida que se incrementa la magnitud de carga en los grupos, vemos que las diferencias en la adaptación se atenúan a partir de V2, mientras que en V3 llegan a invertirse (de manera no significativa) mostrando una mayor adaptación los participantes de alto rendimiento. Este hecho consideramos que es de gran relevancia, ya que, si analizamos el porcentaje de adaptación al entrenamiento mostrado en la tabla 16, se observa que salvo en el grupo V3, los participantes de bajo rendimiento muestran mayores valores de adaptación que los de alto rendimiento tanto entre sesiones sucesivas, como entre la sesión inicial y final. Tan solo en el grupo V3 esta relación se invierte, lo cual, aun no siendo estadísticamente significativo, podría indicar un punto de inflexión en el que la magnitud de carga supone una dificultad excesiva para los participantes de bajo rendimiento. Por el contrario, dicha carga parece ser más adecuada para los participantes con un nivel de rendimiento mayor. Aun no siendo resultados concluyentes, estas diferencias observadas en la adaptación a las cargas en base a su magnitud es concurrente con los resultados obtenidos en los test de evaluación y de transferencia y podría reforzar

la explicación previamente vertida en esta tesis referente a la controversia existente en la literatura. Por ello, la individualización de la carga y su adecuación a los participantes cobra una elevada importancia y debería considerarse al diseñar protocolos que comparen diferentes metodologías de aprendizaje, y el impacto que suponen en los participantes.

Por último, al valorar la adaptación intra-sesión e inter-sesiones de los participantes en los diferentes test de evaluación (figura 18), en lugar de en las sesiones de entrenamiento, observamos que todos los grupos mostraron una mejora en el rendimiento entre el Pre-test y el Post-test de cada una de las sesiones. Estos resultados son esperables debido al aprendizaje intra-sesión y la adaptación a la tarea, especialmente en las primeras sesiones de práctica. A su vez, el nivel de rendimiento disminuye al comparar el Post-test con el Pre-test del siguiente día, debido a que el primero se produce tras las series de entrenamiento y el segundo tras 24 horas de descanso. Sin embargo, el grupo V3 no muestra dicho descenso tras el descanso entre los días de práctica, sino que mejora ligeramente tras el periodo de recuperación, siendo el único grupo que muestra dicho comportamiento. De este modo, no solo es el grupo que más mantiene el rendimiento en los test de retención, sino entre las propias sesiones de entrenamiento. Este hecho llevaría a considerar no solo las características intrínsecas de los participantes al individualizar las magnitudes de carga de entrenamiento, sino que el tipo de práctica y su magnitud generen efectos asociados a su realización.



CONCLUSIONES

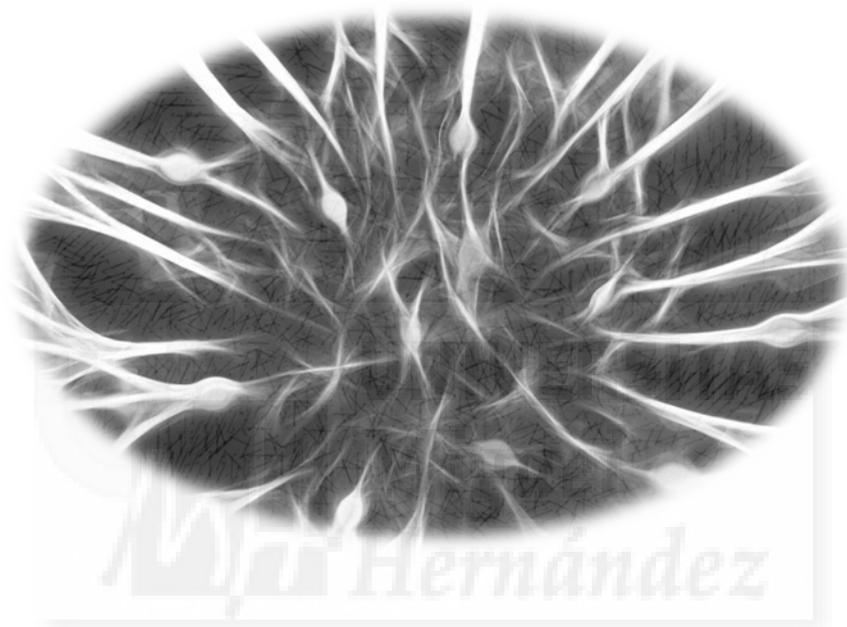
A continuación, se presentan las conclusiones de este estudio, que resumen las principales aportaciones y resultados de la Tesis Doctoral:

- Al respecto de la hipótesis 1, se confirma que la aplicación de diferentes magnitudes de carga de variabilidad, sin tener en cuenta las características intrínsecas de los participantes, no genera diferentes respuestas en el aprendizaje de una tarea de estabilidad sedente del tronco.
- Al respecto de la hipótesis 2, no se confirma que la variabilidad aumentada durante el aprendizaje tenga un efecto de transferencia sobre una habilidad no practicada mayor que la práctica en consistencia. Así, los grupos de práctica en variabilidad no mostraron un mayor rendimiento en la tarea de transferencia, sino resultados similares a los del grupo en consistencia.
- Al respecto de la hipótesis 3, se confirma que, cuando el nivel de rendimiento inicial del aprendiz es elevado, la aplicación de elevadas cargas de variabilidad aumentada es más efectiva que la práctica con poca variabilidad, en el aprendizaje de una habilidad de estabilidad sedente, tanto en la tarea de evaluación como en la de transferencia.
- Al respecto de la hipótesis 4, aunque puedan existir indicios en los resultados, no se puede confirmar que, cuando el nivel de rendimiento inicial del aprendiz es bajo, la aplicación de bajas cargas de variabilidad sea más efectiva que altas cargas de variabilidad, en el aprendizaje de una habilidad de estabilidad sedente, tanto en la tarea de evaluación como en la de transferencia.
- Al respecto de las hipótesis 5 y 6, éstas se confirman parcialmente dependiendo de si el efecto se observa en la tarea de evaluación o la tarea de transferencia. Los resultados no permiten afirmar que la estructura de la variabilidad inicial de los aprendices tenga una influencia sobre el efecto de distintos niveles de variabilidad aumentada en aprendizaje de la tarea de evaluación.

No obstante, los aprendices con una variabilidad inicial menos autocorrelacionada muestran mejores niveles de rendimiento en la tarea de transferencia con bajos niveles de variabilidad aumentada. Así mismo, existen indicios de que los aprendices con una variabilidad inicial más autocorrelacionada muestren mejor rendimiento en la tarea de transferencia con niveles elevados de variabilidad aumentada.

- Al respecto de la hipótesis 7, no se puede confirmar, pues no se obtienen datos concluyentes en los test de retención de que los niveles elevados de carga de variabilidad aumentada, requieran de mayor tiempo para mostrar una adaptación a dicha carga. Igualmente, la práctica con bajos niveles de variabilidad aumentada no muestra más rendimiento a corto término.





**LIMITACIONES Y PROSPECTIVAS DE
INVESTIGACIÓN**

7.1. Principales limitaciones encontradas en el estudio

En esta tesis doctoral hemos testado las hipótesis planteadas, abordando algunos de los aspectos más relevantes relacionados con el tópico de la práctica en variabilidad. Nuestro grupo de trabajo lleva analizando durante años la relación existente entre el aprendizaje y la variabilidad motora, con el objetivo de profundizar en los factores influyentes en esta relación. Algunos trabajos publicados en esta línea han analizado la estructura de la variabilidad y el aprendizaje, así como el efecto de diferentes niveles de dificultad en la estructura de la variabilidad. Esta tesis ha tratado de proseguir en esa línea, afrontando además el efecto de diferentes magnitudes de carga. Sin embargo, a lo largo del desarrollo del estudio, hemos encontrado algunas limitaciones que deberían ser tenidas en cuenta tanto para interpretar los resultados como a la hora de abordar futuros trabajos relacionados con esta temática.

Debido a la controversia mostrada en la literatura respecto a la práctica en consistencia y la práctica en variabilidad, y a los trabajos que parecen indicar que el aprendizaje está relacionado con las características de los aprendices, se abordó la interacción de ambos elementos en relación con los niveles de carga de variabilidad. Sin embargo, al no existir trabajos previos que valoren el efecto de la aplicación de diferentes magnitudes de variabilidad al practicar, se seleccionaron cuatro niveles hasta un valor de carga elevado que no supusiera la caída durante la ejecución de la tarea. Por tanto, desconocemos los efectos que hubiera provocado la aplicación de niveles de variabilidad más elevados. A su vez, la aplicación de un mayor número de niveles intermedios de carga a los propuestos en este trabajo permitiría profundizar la relación entre la magnitud de carga y las características intrínsecas de los participantes.

Por otro lado, la valoración de diversos factores interactuantes como el rendimiento inicial y la estructura de la variabilidad inicial de cada individuo, supone dividir la muestra en numerosos subgrupos, de tal forma que la reducción muestral consiguiente limitó la

claridad de algunos resultados, disminuyendo la potencia estadística y no pudiendo confirmar algunas de las hipótesis planteadas. Por ello, se requeriría una muestra aún más elevada que la valorada en este trabajo. Sin embargo, hay que subrayar la complejidad que supone aumentar la muestra al tener que coordinar a tantos participantes, material e instalaciones para su registro. El registro presentado en la presente tesis (cerca de los 100 participantes) supuso un año completo de mediciones.

En relación con la adecuación de las cargas a las características intrínsecas de los participantes, otras de las cuestiones que no han podido ser analizadas en mayor profundidad han sido el nivel de rendimiento y el nivel de variabilidad inicial. Considerando la muestra evaluada, la división por niveles dentro de cada grupo tuvo que limitarse a dos, lo cual dificulta el establecimiento de conclusiones en relación a la carga óptima de variabilidad al practicar. Esta limitación ha podido afectar a los resultados obtenidos por los grupos de variabilidad intermedia (V1 y V2), por lo que futuros trabajos deberán analizar la adecuación de diferentes niveles de carga en poblaciones con diversos niveles de rendimiento y variabilidad intrínseca para valorar si existe una relación directa entre estas variables.

La heterogeneidad de la muestra ha supuesto dificultades en la comparación de los grupos ya que factores como el nivel de condición física o la modalidad deportiva practicada, y otras características no contempladas en la tesis, podrían repercutir en los resultados. Algunos de estos factores fueron valorados en el cuestionario inicial que rellenaron todos los participantes, sin embargo, debido a la multitud de variables presentes, no se ha considerado su análisis en los resultados propuestos en esta tesis.

La tarea escogida en este trabajo se trata de una tarea continua de equilibrio, y los resultados deben ser tomados con cautela en su generalización, pudiendo no ser extrapolables a otro tipo de tareas tales como las discretas o basadas en el aprendizaje por recompensa. Esta podría ser una causa de las diferencias encontradas en nuestro trabajo

respecto a los resultados del trabajo de Wu, et al. (2014). Además, se han propuesto una tarea que se desarrolla en condiciones dinámicas y naturalmente variables, realizadas sobre una plataforma oscilante. Algunos trabajos que han valorado la estabilidad sedente lo han hecho en situaciones estáticas que no han sido estudiadas en este trabajo, por lo que desconocemos el efecto que ha podido tener el entrenamiento realizado sobre el control postural estático.

La silla inestable en la que se realizaban los test se ha tratado de ajustar a la altura de cada participante, sin embargo, ciertos parámetros no son ajustables (la posición del participante respecto a la base de sustentación o la profundidad del asiento). Aunque a través del ajuste de la silla a los participantes se trataba de estandarizar el centro de presiones sobre el centro de la base de sustentación, es razonable pensar que los participantes adoptaran posturas ligeramente diferentes entre ellos, debido por ejemplo a la altura o la longitud de las extremidades inferiores, partiendo de posiciones diferentes del centro de presiones.

Por último, las herramientas de análisis no lineal empleadas en nuestro estudio han sido seleccionadas entre aquellas que la literatura ha mostrado como más fiables y que habían sido empleadas en trabajos con tareas similares, por lo que consideramos que han permitido contrastar las hipótesis planteadas. Sin embargo, como se mencionó en la introducción, el desarrollo de herramientas de análisis no lineal es un tópico en auge en el que se continúa trabajando para optimizar el análisis de la dinámica global del comportamiento motor. Por tanto, el empleo de otras herramientas podría aportar información complementaria a los resultados obtenidos debiendo profundizar en este tópico en el futuro.

7.2. *Prospectivas de investigación*

En relación con las limitaciones que hemos destacado en este estudio, y en consonancia con los objetivos futuros planteados por el grupo de investigación en el que se desarrolló la tesis doctoral, se plantean a continuación algunas perspectivas de investigación en este campo de estudio.

Debido a limitaciones temporales, los datos analizados respecto a la correlación entre la estructura de la variabilidad, el rendimiento y el aprendizaje, no han podido ser presentados en esta tesis, pero son considerados para futuros estudios. Los resultados preliminares parecen indicar que el nivel de rendimiento y de DFA tienen relación con el aprendizaje, y esta relación parece verse afectada por la magnitud de carga de variabilidad.

En relación con los aspectos metodológicos, es necesario continuar investigando en el desarrollo de herramientas de análisis no lineal que permitan caracterizar la variabilidad motora y sean sensibles a las características de los participantes. Como ha mostrado la literatura, la estructura de la variabilidad es capaz de caracterizar algunas poblaciones con alteraciones en el control motor, por lo que deben realizarse futuros estudios que profundicen en la optimización de las herramientas que aborden la medida de la variabilidad desde una perspectiva no lineal.

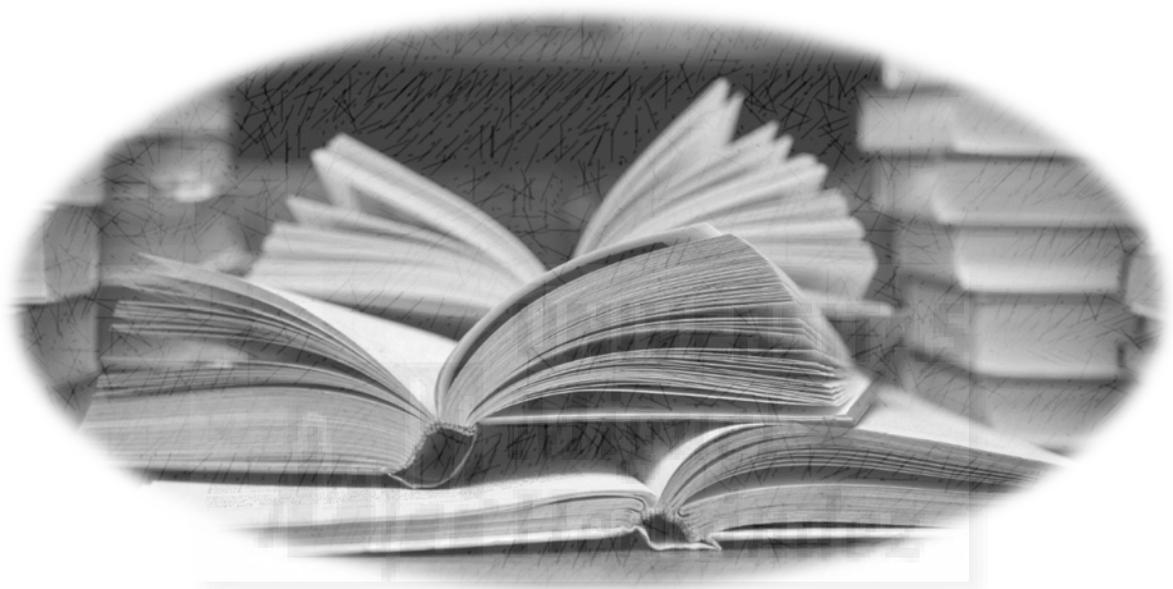
Como hemos mencionado en el apartado anterior, este estudio se ha realizado tan solo en una tarea de equilibrio dinámico en sedestación. Por este motivo, la realización de futuros estudios que consideren los factores propuestos en este trabajo en otro tipo de tareas, permitirían valorar si los resultados obtenidos son generalizables o si, por el contrario, las características de la tarea son un elemento mediador en esta relación.

Dentro de estas características se encuentra que el aprendizaje de nuestra tarea está basado en la percepción error. La literatura ha mostrado que dependiendo de si el aprendizaje de una tarea está basado en la aplicación de recompensa o en la percepción

del error, implica diferentes áreas cerebrales relacionadas con el aprendizaje. Por tanto, se propone que en el futuro se apliquen procedimientos similares que analicen el efecto de la práctica en variabilidad y su interacción con otras variables mediadora, en tareas de aprendizaje por recompensa.

Además de considerar las características de la tarea, profundizar en las características de los participantes podría aportar información relevante en la relación entre el aprendizaje y la individualización de la variabilidad aumentada. Algunas características como la edad, la experiencia en la tarea o en otras habilidades deportivas, así como la existencia de alteraciones en el control motor, podrían ser de interés para incrementar el conocimiento del rol de la variabilidad en la optimización del aprendizaje motor.

Desde el laboratorio de Aprendizaje y Control Motor de la Universidad Miguel Hernández de Elche actualmente se está trabajando en un nuevo proyecto que estudia la variabilidad en poblaciones con diversidad funcional. En él se está investigando, entre otros aspectos, la relación entre la variabilidad motora y la capacidad de adaptación de los participantes, así como la existencia de características en la estructura de la variabilidad que puedan discriminar algunas alteraciones motoras relacionadas con el aprendizaje y el control motor. Su estudio trata de generar una aplicación práctica más allá del estudio de tareas de laboratorio, con el objetivo de aportar información que permita diseñar programas adecuados a las características de la población. Algunos de sus aplicaciones podrían desarrollarse en la rehabilitación de lesiones o en el tratamiento de personas con alteraciones sensorio-motoras que requieren de programas de entrenamiento individualizados a sus características. Su aplicación permitirá profundizar en el estudio de metodologías de aprendizaje que se adecuen a las características de personas con diversidad funcional y su extrapolación a tareas que mejoren su calidad de vida.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amoud, H., Abadi, M., Hewson, D. J., Michel-Pellegrino, V., Doussot, M., & Duchêne, J. (2007). Fractal time series analysis of postural stability in elderly and control subjects. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 4(1), 12.
- Barbado, D., Caballero, C., Moreside, J., Vera-García, F. J., & Moreno, F. J. (2017). Can the structure of motor variability predict learning rate?
- Barbado, D., Solana, R., Vera-García, F. J., Gusi, N. G., & Moreno, F. J. (2012). Effect of increasing difficulty in standing balance tasks with visual feedback on postural sway and EMG: complexity and performance. *Human movement science*, 31(5), 1224-1237.
- Bays, P. M., Flanagan, J. R., & Wolpert, D. M. (2005). Interference between velocity-dependent and position-dependent force-fields indicates that tasks depending on different kinematic parameters compete for motor working memory. *Experimental Brain Research*, 163(3), 400-405.
- Bootsma, R. J., & Van Wieringen, P. C. (1990). Timing an attacking forehand drive in table tennis. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 16(1), 21.
- Borg, F. G., & Laxåback, G. (2010). Entropy of balance-some recent results. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 7(1), 38.
- Brady, F. (2004). Contextual interference: a meta-analytic study. *Perceptual and Motor skills*, 99(1), 116-126.
- Breslin, G., Hodges, N. J., Steenson, A., & Williams, A. M. (2012). Constant or variable practice: Recreating the especial skill effect. *Acta Psychologica*, 140(2), 154-157.
- Buldyrev, S., Goldberger, A., Havlin, S., Mantegna, R., Matsu, M., Peng, C.-K., . . . Stanley, H. (1995). Long-range correlation properties of coding and noncoding DNA sequences: GenBank analysis. *Physical review E*, 51(5), 5084.
- Button, C., Macleod, M., Sanders, R., & Coleman, S. (2003). Examining movement variability in the basketball free-throw action at different skill levels. *Research quarterly for exercise and sport*, 74(3), 257-269.
- Buzzi, U. H., Stergiou, N., Kurz, M. J., Hageman, P. A., & Heidel, J. (2003). Nonlinear dynamics indicates aging affects variability during gait. *Clinical Biomechanics*, 18(5), 435-443.
- Caballero, C., Luis, V., & Sabido, R. (2012). Efecto de diferentes estrategias de aprendizaje sobre el rendimiento y la cinemática en el lanzamiento del armado clásico en balonmano. *European Journal of Human Movement*(28), 83-100.
- Calvin, W. H., & Stevens, C. F. (1968). Synaptic noise and other sources of randomness in motoneuron interspike intervals. *J Neurophysiol*, 31(4), 574-587.
- Carson, L. M., & Wiegand, R. L. (1979). Motor schema formation and retention in young children: A test of Schmidt's schema theory. *Journal of motor behavior*, 11(4), 247-251.
- Chen, W., Wang, Z., Xie, H., & Yu, W. (2007). Characterization of surface EMG signal based on fuzzy entropy. *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 15(2), 266-272.
- Chen, Y., Ding, M., & Scott Kelso, J. (2001). Origins of timing errors in human sensorimotor coordination. *Journal of motor behavior*, 33(1), 3-8.
- Chen, Z., Ivanov, P. C., Hu, K., & Stanley, H. E. (2002). Effect of nonstationarities on detrended fluctuation analysis. *Physical Review E*, 65(4), 041107.
- Chow, J., Carlton, L., Lim, Y.-T., Chae, W.-S., Shim, J.-H., Kuenster, A., & Kokubun, K. (2003). Comparing the pre-and post-impact ball and racquet kinematics of elite tennis players' first and second serves: a preliminary study. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 529-537.
- Clayton, K., & Frey, B. B. (1997). Studies of mental "noise". *Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences*, 1(3), 173-180.
- Clifton, M. A. (1985). Practice variability and children's motor behavior. *Perceptual and Motor skills*, 60(2), 471-476.
- Correll, J. (2008). 1/f noise and effort on implicit measures of bias. *Journal of Personality and Social Psychology*, 94(1), 48.

- Danos, M. (1958). On the long-range correlation model of the photonuclear effect. *Nuclear Physics*, 5, 23-32.
- Darling, W., Cole, K., & Abbs, J. (1988). Kinematic variability of grasp movements as a function of practice and movement speed. *Experimental Brain Research*, 73(2), 225-235.
- Davids, K., Glazier, P., Araujo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems. *Sports medicine*, 33(4), 245-260.
- Davids, K. W., Button, C., & Bennett, S. J. (2008). *Dynamics of skill acquisition: A constraints-led approach*: Human kinetics.
- Delignières, D., & Torre, K. (2009). Fractal dynamics of human gait: a reassessment of the 1996 data of Hausdorff et al. *Journal of applied physiology*, 106(4), 1272-1279.
- Della-Maggiore, V., Scholz, J., Johansen-Berg, H., & Paus, T. (2009). The rate of visuomotor adaptation correlates with cerebellar white-matter microstructure. *Human brain mapping*, 30(12), 4048-4053.
- Dhawale, A. K., Smith, M. A., & Ölveczky, B. P. (2017). The Role of Variability in Motor Learning. *Annual Review of Neuroscience*(0).
- 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.
- Dingwell, J. B., & Kang, H. G. (2007). Differences between local and orbital dynamic stability during human walking. *Journal of biomechanical engineering*, 129(4), 586-593.
- Duarte, M., & Sternad, D. (2008). Complexity of human postural control in young and older adults during prolonged standing. *Experimental Brain Research*, 191(3), 265-276.
- Edwards, C., & Hodges, N. (2012). Acquiring a novel coordination movement with non-task goal related variability. *The Open Sports Sciences Journal*, 5, 1-M7.
- Eidson, T. A., & Stadulis, R. E. (1991). Effects of variability of practice on the transfer and performance of open and closed motor skills. *Adapted physical activity quarterly*, 8(4), 342-356.
- Elfaqir, F. (1982). Effet de la specificité et de la variabilité de la pratique sur l'apprentissage dun geste global [The effect of specificity and variability of practice on the acquisition of a gross motor skill]. *Unpublished thesis (MSc. Physical Education), University of Montreal, Montreal, Canada*.
- Faisal, A. A., Selen, L. P., & Wolpert, D. M. (2008). Noise in the nervous system. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4), 292-303.
- Fino, P. C., Mojdehi, A. R., Adjerid, K., Habibi, M., Lockhart, T. E., & Ross, S. D. (2016). Comparing postural stability entropy analyses to differentiate fallers and non-fallers. *Annals of biomedical engineering*, 44(5), 1636-1645.
- Frank, M. J., Doll, B. B., Oas-Terpstra, J., & Moreno, F. (2009). Prefrontal and striatal dopaminergic genes predict individual differences in exploration and exploitation. *Nature neuroscience*, 12(8), 1062-1068.
- Garcia-Herrero, J. A., Sabido, R., Barbado, D., Martinez, 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.
- Gerson, R. F., & Thomas, J. R. (1977). Schema theory and practice variability within a neo-Piagetian framework. *Journal of motor behavior*, 9(2), 127-134.
- Glass, L., & Mackey, M. C. (1988). *From clocks to chaos: the rhythms of life*: Princeton University Press.
- Goldberger, A. L., Peng, C.-K., & Lipsitz, L. A. (2002). What is physiologic complexity and how does it change with aging and disease? *Neurobiology of aging*, 23(1), 23-26.
- Graydon, J., & Griffin, M. (1996). Specificity and variability of practice with young children. *Perceptual and Motor skills*, 83(1), 83-88.

- Green, D. P., Whitehead, J., & Sugden, D. A. (1995). Practice variability and transfer of a racket skill. *Perceptual and Motor skills*, 81(3 suppl), 1275-1281.
- Hall, K. G., & Magill, R. A. (1995). Variability of practice and contextual interference in motor skill learning. *Journal of motor behavior*, 27(4), 299-309.
- Harbourne, R. T., & Stergiou, N. (2009). Movement variability and the use of nonlinear tools: principles to guide physical therapist practice. *Physical therapy*, 89(3), 267.
- Hausdorff, J. M. (2007). Gait dynamics, fractals and falls: finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. *Human movement science*, 26(4), 555-589.
- Heitman, R. J., Pugh, S. F., Kovalski, J. E., Norell, P. M., & Vicory, J. R. (2005). Effects of specific versus variable practice on the retention and transfer of a continuous motor skill. *Perceptual and Motor skills*, 100(3_suppl), 1107-1113.
- Hernández-Davo, H., Urbán, T., Sarabia, J., Juan-Recio, C., & Moreno, F. (2014). Variable training: effects on velocity and accuracy in the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 32(14), 1383-1388.
- Hernández-Davo, H., Urbán, T., Sarabia, J. M., Juan-Recio, C., & Javier Moreno, F. (2014). Variable training: effects on velocity and accuracy in the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 32(14), 1383-1388.
- Herzfeld, D. J., & Shadmehr, R. (2014). Motor variability is not noise, but grist for the learning mill. *Nature neuroscience*, 17(2), 149-150.
- Jaric, S., Ferreira, S. M., Tortoza, C., Marconi, N. F., & Almeida, G. L. (1999). Effects of displacement and trajectory length on the variability pattern of reaching movements. *Journal of motor behavior*, 31(4), 303-308.
- Jarus, T., & Goverover, Y. (1999). Effects of contextual interference and age on acquisition, retention, and transfer of motor skill. *Perceptual and Motor skills*, 88(2), 437-447.
- Johnson, R., & McCabe, J. (1982). Schema theory: A test of the hypothesis, variation in practice. *Perceptual and Motor skills*, 55(1), 231-234.
- Jones, K. E., Hamilton, A. F. d. C., & Wolpert, D. M. (2002). Sources of signal-dependent noise during isometric force production. *Journal of neurophysiology*, 88(3), 1533-1544.
- Kaelbling, L. P., Littman, M. L., & Moore, A. W. (1996). Reinforcement learning: A survey. *Journal of artificial intelligence research*, 4, 237-285.
- Kaipa, R., Robb, M., & Jones, R. (2016). The Effectiveness of Constant, Variable, Random, and Blocked Practice in Speech-Motor Learning. *Journal of Motor Learning and Development*, 1-36.
- Kantelhardt, J. W., Koscielny-Bunde, E., Rego, H. H., Havlin, S., & Bunde, A. (2001). Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 295(3), 441-454.
- Kao, M. H., Doupe, A. J., & Brainard, M. S. (2005). Contributions of an avian basal ganglia-forebrain circuit to real-time modulation of song. *Nature*, 433(7026), 638-643.
- Kello, C. T., Beltz, B. C., Holden, J. G., & Van Orden, G. C. (2007). The emergent coordination of cognitive function. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(4), 551.
- Konczak, J., vander Velden, H., & Jaeger, L. (2009). Learning to play the violin: motor control by freezing, not freeing degrees of freedom. *Journal of motor behavior*, 41(3), 243-252.
- Krakauer, J. W., & Mazzoni, P. (2011). Human sensorimotor learning: adaptation, skill, and beyond. *Current opinion in neurobiology*, 21(4), 636-644.
- Kumar, Y., Dewal, M., & Anand, R. (2014). Epileptic seizures detection in EEG using DWT-based ApEn and artificial neural network. *Signal, Image and Video Processing*, 8(7), 1323-1334.
- Lamoth, C. J., van Lummel, R. C., & Beek, P. J. (2009). Athletic skill level is reflected in body sway: a test case for accelometry in combination with stochastic dynamics. *Gait & Posture*, 29(4), 546-551.

- Le Clair, K., & Riach, C. (1996). Postural stability measures: what to measure and for how long. *Clinical Biomechanics*, 11(3), 176-178.
- Lee, T. D., Magill, R. A., & Weeks, D. J. (1985). Influence of practice schedule on testing schema theory predictions in adults. *Journal of motor behavior*, 17(3), 283-299.
- Leving, M. T., Vegter, R. J., de Groot, S., & van der Woude, L. H. (2016). Effects of variable practice on the motor learning outcomes in manual wheelchair propulsion. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 13(1), 100.
- Li, P., Liu, C., Wang, X., Li, L., Yang, L., Chen, Y., & Liu, C. (2013). Testing pattern synchronization in coupled systems through different entropy-based measures. *Medical & biological engineering & computing*, 51(5), 581-591.
- Lipsitz, L. A. (2004). Physiological complexity, aging, and the path to frailty. *Science's SAGE KE*, 2004(16), pe16.
- Liu, C., Li, K., Zhao, L., Liu, F., Zheng, D., Liu, C., & Liu, S. (2013). Analysis of heart rate variability using fuzzy measure entropy. *Computers in biology and Medicine*, 43(2), 100-108.
- Mainen, Z. F., & Sejnowski, T. J. (1995). Reliability of spike timing in neocortical neurons. *Science*, 268(5216), 1503.
- Mandelblat-Cerf, Y., Paz, R., & Vaadia, E. (2009). Trial-to-trial variability of single cells in motor cortices is dynamically modified during visuomotor adaptation. *Journal of Neuroscience*, 29(48), 15053-15062.
- Marwan, N., Wessel, N., Meyerfeldt, U., Schirdewan, A., & Kurths, J. (2002). Recurrence-plot-based measures of complexity and their application to heart-rate-variability data. *Physical review E*, 66(2), 026702.
- McCracken, H. D., & Stelmach, G. E. (1977). A test of the schema theory of discrete motor learning. *Journal of motor behavior*, 9(3), 193-201.
- Menayo, R., Fuentes, J. P., Moreno, F. J., Reina, R., & García, J. (2010). Relación entre variabilidad de la práctica y variabilidad en la ejecución del servicio plano en tenis. *European Journal of Human Movement*(25), 75-92.
- 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.
- Menayo, R., Moreno, F. J., Fuentes, J., Reina, R., & Damas, J. (2012). Relationship between motor variability, accuracy, and ball speed in the tennis serve. *Journal of human kinetics*, 33, 45-53.
- Miller, D. J., Stergiou, N., & Kurz, M. J. (2006). An improved surrogate method for detecting the presence of chaos in gait. *Journal of biomechanics*, 39(15), 2873-2876.
- Miller, S. (2002). Variability in basketball shooting: practical implications. *International research in sports biomechanics*, 27-34.
- Moore, J. B., Reeve, T. G., & Pissanos, B. (1981). Effects of variability of practice in a movement-education program on motor skill performance. *Perceptual and Motor skills*, 52(3), 779-784.
- Moreno, F., & Ordoño, E. (2009). Aprendizaje motor y síndrome general de adaptación. *European Journal of Human Movement*(22), 1-19.
- Moreno, F., & Ordoño, E. (2014). Variability and practice load in motor learning.[Variabilidad y carga de práctica en el aprendizaje motor]. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. doi: 10.5232/ricyde, 11(39), 62-78.
- Moreno, F., Peláez, M., Urbán, T., & Reina, R. (2011). *Different levels of variability versus specificity of practice applied to increase the performance under statics task constraints*.
- Moreno, F. J., & Ordoño, E. (2009). Aprendizaje motor y síndrome general de adaptación. *European Journal of Human Movement*(22), 1-19.
- Moxley, S. (1979). Schema: The variability of practice hypothesis. *Journal of motor behavior*, 11(1), 65-70.

- Mullineaux, D. R., & Uhl, T. L. (2010). Coordination-variability and kinematics of misses versus swishes of basketball free throws. *Journal of Sports Sciences*, 28(9), 1017-1024.
- Newell, K., & Shapiro, D. C. (1976). Variability of practice and transfer of training: Some evidence toward a schema view of motor learning. *Journal of motor behavior*, 8(3), 233-243.
- Newell, K. M., & Slifkin, A. B. (1998). The nature of movement variability. *Motor behavior and human skill: A multidisciplinary perspective*, 143-160.
- Newell, K. M., & Vaillancourt, D. E. (2001). Dimensional change in motor learning. *Human movement science*, 20(4), 695-715.
- Ölveczky, B. P., Andalman, A. S., & Fee, M. S. (2005). Vocal experimentation in the juvenile songbird requires a basal ganglia circuit. *PLoS biology*, 3(5), e153.
- Pekny, S. E., Izawa, J., & Shadmehr, R. (2015). Reward-dependent modulation of movement variability. *Journal of Neuroscience*, 35(9), 4015-4024.
- Peng, C.-K., Buldyrev, S. V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1994). Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical review E*, 49(2), 1685.
- Peng, C. K., Havlin, S., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1995). Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 5(1), 82-87.
- Pérez, L. M. R. (2002). Deporte y aprendizaje: procesos de adquisición y desarrollo de habilidades. *Visor*.
- Pigott, R. E., & Shapiro, D. C. (1984). Motor schema: The structure of the variability session. *Research quarterly for exercise and sport*, 55(1), 41-45.
- Pincus, S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(6), 2297-2301.
- Poulton, E. C. (1950). Perceptual anticipation and reaction time. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2(3), 99-112.
- Ramos Villagrasa, P. J., & García Izquierdo, A. L. (2011). Técnicas de análisis de patrones caóticos: revisión de estudios empíricos en Psicología. *Anales de psicología*, vol. 27, nº 1, 2011.
- Ranganathan, R., & Newell, K. M. (2010). Motor learning through induced variability at the task goal and execution redundancy levels. *Journal of motor behavior*, 42(5), 307-316.
- Ranganathan, R., & Newell, K. M. (2013). Changing up the routine: intervention-induced variability in motor learning. *Exercise and sport sciences reviews*, 41(1), 64-70.
- Renart, A., & Machens, C. K. (2014). Variability in neural activity and behavior. *Current opinion in neurobiology*, 25, 211-220.
- Rey, P. D., Wughalter, E. H., & Whitehurst, M. (1982). The effects of contextual interference on females with varied experience in open sport skills. *Research quarterly for exercise and sport*, 53(2), 108-115.
- Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278(6), H2039-H2049.
- Riley, M., Balasubramaniam, R., & Turvey, M. (1999). Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. *Gait & Posture*, 9(1), 65-78.
- Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2002). Variability and determinism in motor behavior. *Journal of motor behavior*, 34(2), 99-125.
- Roberts, S., & Gharib, A. (2006). Variation of bar-press duration: where do new responses come from? *Behavioural Processes*, 72(3), 215-223.
- Rokni, U., Richardson, A. G., Bizzi, E., & Seung, H. S. (2007). Motor learning with unstable neural representations. *Neuron*, 54(4), 653-666.
- Rutishauser, U., Ross, I. B., Mamelak, A. N., & Schuman, E. M. (2010). Human memory strength is predicted by theta-frequency phase-locking of single neurons. *Nature*, 464(7290), 903-907.

- 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.
- Schmidt, R., & Lee, T. (2005). Sensory contributions to motor control. *Motor control and learning: a behavioural emphasis*, 4, 125-162.
- Schmidt, R. A. (2003). Motor schema theory after 27 years: reflections and implications for a new theory. *Research quarterly for exercise and sport*, 74(4), 366-375.
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn Jr, J. T. (1979). Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological review*, 86(5), 415.
- Schmit, J. M., Regis, D. I., & Riley, M. A. (2005). Dynamic patterns of postural sway in ballet dancers and track athletes. *Experimental Brain Research*, 163(3), 370-378.
- Schmit, J. M., Riley, M. A., Dalvi, A., Sahay, A., Shear, P. K., Shockley, K. D., & Pun, R. Y. (2006). Deterministic center of pressure patterns characterize postural instability in Parkinson's disease. *Experimental Brain Research*, 168(3), 357-367.
- Schöllhorn, W., Beckmann, H., & Davids, K. W. (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). 6 Stochastic perturbations in athletics field events enhance skill acquisition. *Motor learning in practice: A constraints-led approach*, 69.
- Schöllhorn, W. I., Beckmann, H., Janssen, D., & Drepper, J. (2010). Stochastic perturbations in athletics field events enhance skill acquisition. *Motor learning in practice: a constraints-led approach*. Chicago: Routledge.
- Shadmehr, R., Huang, H. J., & Ahmed, A. A. (2016). A representation of effort in decision-making and motor control. *Current biology*, 26(14), 1929-1934.
- Shapiro, D., Schmidt, R., Kelso, J., & Clark, J. (1982). The schema theory: Recent evidence and developmental implications. *The development of movement control and coordination*, 113-150.
- Shea, C. H., & Kohl, R. M. (1990). Specificity and variability of practice. *Research quarterly for exercise and sport*, 61(2), 169-177.
- 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.
- Shute, V. J., & Gawlick, L. A. (1995). Practice effects on skill acquisition, learning outcome, retention, and sensitivity to relearning. *Human Factors*, 37(4), 781-803.
- Sing, G. C., Joiner, W. M., Nanayakkara, T., Braynov, J. B., & Smith, M. A. (2009). Primitives for motor adaptation reflect correlated neural tuning to position and velocity. *Neuron*, 64(4), 575-589.
- Singer, R. N. (1968). *Motor Learning and Human Performance; an Application to Physical Education*. New York: Macmillan.
- Singer, R. N. (1980). *Motor learning and human performance* (3rd ed.). New York: Macmillan.
- Smith, M. A., & Shadmehr, R. (2005). Intact ability to learn internal models of arm dynamics in Huntington's disease but not cerebellar degeneration. *Journal of neurophysiology*, 93(5), 2809-2821.
- Stahlman, W. D., & Blaisdell, A. P. (2011). The modulation of operant variation by the probability, magnitude, and delay of reinforcement. *Learning and motivation*, 42(3), 221-236.
- Stein, R. B., Gossen, E. R., & Jones, K. E. (2005). Neuronal variability: noise or part of the signal? *Nature Reviews Neuroscience*, 6(5), 389-397.

- Stergiou, N., & Decker, L. M. (2011). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: is there a connection? *Human movement science*, 30(5), 869-888.
- Stergiou, N., Harbourne, R. T., & Cavanaugh, J. T. (2006). Optimal movement variability: a new theoretical perspective for neurologic physical therapy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(3), 120-129.
- Stone, M. H., O'bryant, H., Garhammer, J., McMillan, J., & Rozenek, R. (1982). A Theoretical Model of Strength Training. *Strength & Conditioning Journal*, 4(4), 36-39.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1998a). *Introduction to reinforcement learning* (Vol. 135): MIT Press Cambridge.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1998b). *Reinforcement learning: An introduction* (Vol. 1): MIT press Cambridge.
- 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(1), 101-114.
- Tomassini, V., Jbabdi, S., Kincses, Z. T., Bosnell, R., Douaud, G., Pozzilli, C., . . . Johansen-Berg, H. (2011). Structural and functional bases for individual differences in motor learning. *Human brain mapping*, 32(3), 494-508.
- Tsutsui, S., Lee, T. D., & Hodges, N. J. (1998). Contextual interference in learning new patterns of bimanual coordination. *Journal of motor behavior*, 30(2), 151-157.
- Tumer, E. C., & Brainard, M. S. (2007). Performance variability enables adaptive plasticity of 'crystallized' adult birdsong. *Nature*, 450(7173), 1240-1244.
- Urbán, T., Hernández-Davó, H., & Moreno, F. J. (2012). Kinematics and movement variability related to service performance in young tennis players. *European Journal of Human Movement*, 29, 49-60.
- van den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2013). Effect of specific versus variable practice upon overhead throwing speed in children. *Perceptual and Motor skills*, 116(3), 872-884.
- Van Orden, G. C., Holden, J. G., & Turvey, M. T. (2005). Human cognition and 1/f scaling. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134(1), 117.
- Van Orden, G. C., Kloos, H., & Wallot, S. (2011). Living in the pink: Intentionality, wellbeing, and complexity. *Philosophy of complex systems. handbook of the philosophy of science*, 10.
- Van Rossum, J. H. (1990). Schmidt's schema theory: The empirical base of the variability of practice hypothesis: A critical analysis. *Human movement science*, 9(3), 387-435.
- Wang, C.-C., & Yang, W.-H. (2012). Using detrended fluctuation analysis (DFA) to analyze whether vibratory insoles enhance balance stability for elderly fallers. *Archives of gerontology and geriatrics*, 55(3), 673-676.
- Ward, L. M. (2002). *Dynamical cognitive science*: MIT press.
- White, J. A., Rubinstein, J. T., & Kay, A. R. (2000). Channel noise in neurons. *Trends in neurosciences*, 23(3), 131-137.
- Wijnants, M., Hasselman, F., Cox, R., Bosman, A., & Van Orden, G. (2012). An interaction-dominant perspective on reading fluency and dyslexia. *Annals of dyslexia*, 62(2), 100-119.
- Wijnants, M. L., Bosman, A. M., Hasselman, F., Cox, R. F., & Van Orden, G. C. (2009). 1/f scaling in movement time changes with practice in precision aiming. *Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences*, 13(1), 79.
- Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. P. (1999). *Visual perception and action in sport*: Taylor & Francis.
- Williams, A. M., & Hodges, N. J. (2005). Practice, instruction and skill acquisition in soccer: Challenging tradition. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 637-650.
- Wrisberg, C. A., & Ragsdale, M. R. (1979). Further tests of Schmidt's schema theory: Development of a schema rule for a coincident timing task. *Journal of motor behavior*, 11(2), 159-166.

- Wu, H. G., Miyamoto, Y. R., Castro, L. N. G., Ölveczky, 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.
- Wulf, G., & Schmidt, R. A. (1994). Feedback-Induced Variability and the Learning of Generalized Motor Programs. *J Mot Behav*, *26*(4), 348-361. doi:10.1080/00222895.1994.9941691
- Yao, W., Cordova, A., De Sola, W., Hart, C., & Yan, A. (2012). The effect of variable practice on wheelchair propulsive efficiency and propulsive timing. *Eur J Phys Rehabil Med*, *48*, 209-216.
- Zbilut, J. P., Thomasson, N., & Webber, C. L. (2002). Recurrence quantification analysis as a tool for nonlinear exploration of nonstationary cardiac signals. *Medical engineering & physics*, *24*(1), 53-60.
- Zbilut, J. P., & Webber, C. L. (2006). Recurrence quantification analysis. *Wiley encyclopedia of biomedical engineering*.
- Zetou, E., Papadakis, L., Vernadakis, N., Derri, V., Bebetos, E., & Filippou, F. (2014). The effect of variable and stable practice on performance and learning the header skill of young athletes in soccer. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *152*, 824-829.
- Zhou, S.-H., Tan, Y., Oetomo, D., Freeman, C., Burdet, E., & Mareels, I. (2013). *Point-to-point learning in human motor systems*. Paper presented at the American Control Conference (ACC), 2013.
- 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.





ANEXOS

Anexo 1. Datos descriptivos de valores de error (mm) y variabilidad en tarea de evaluación.

	EA _{TE}				DFA_ER _{TE}				DFA_ORT _{TE}			
	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD
V0 (n= 21)												
PRE	2.53	6.60	4.57	1.01	0.84	1.13	0.98	0.10	1.00	1.41	1.23	0.11
POST	1.72	3.45	2.50	0.38	0.76	1.26	1.03	0.12	1.19	1.69	1.44	0.11
RET1	2.05	3.42	2.79	0.35	0.81	1.28	1.04	0.12	1.27	1.73	1.44	0.12
RET2	2.12	3.83	2.85	0.48	0.82	1.23	0.98	0.11	1.11	1.68	1.43	0.14
V1 (n = 23)												
PRE	2.42	7.07	4.78	1.38	0.81	1.20	1.00	0.10	1.04	1.50	1.23	0.11
POST	1.89	4.62	3.06	0.76	0.84	1.22	1.05	0.11	1.25	1.65	1.43	0.10
RET1	1.83	4.97	3.21	0.85	0.72	1.35	1.05	0.14	1.24	1.56	1.42	0.09
RET2	1.94	4.64	3.23	0.73	0.85	1.19	1.01	0.10	1.11	1.64	1.42	0.13
V2 (n = 24)												
PRE	2.87	6.71	4.94	0.93	0.78	1.21	0.98	0.11	0.89	1.53	1.23	0.15
POST	2.00	4.43	2.93	0.58	0.90	1.17	1.06	0.10	1.20	1.61	1.37	0.10
RET1	2.00	5.64	3.15	0.80	0.83	1.28	1.00	0.10	1.10	1.55	1.37	0.12
RET2	2.42	4.72	3.15	0.60	0.80	1.15	0.98	0.09	1.25	1.70	1.40	0.11
V3 (n = 23)												
PRE	3.35	6.20	4.89	0.77	0.80	1.18	0.99	0.10	0.96	1.35	1.19	0.09
POST	1.81	3.69	2.77	0.51	0.79	1.22	1.07	0.10	1.10	1.62	1.37	0.11
RET1	1.76	4.02	2.85	0.59	0.87	1.25	1.03	0.08	1.12	1.67	1.37	0.13
RET2	2.27	3.95	2.87	0.47	0.85	1.18	1.03	0.09	1.13	1.62	1.39	0.11

EA_{TE}: Error Absoluto en tarea de evaluación; DFA_ER: Variabilidad del error; DFA_ORT: Variabilidad ortogonal.

Anexo 2. Datos descriptivos de valores de error (mm) y variabilidad en tarea de evaluación representados por grupo de práctica y nivel de rendimiento inicial.

	Nivel	EA _{TE}				DFA_ER _{TE}				DFA_ORT _{TE}			
		Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD
V0 (n AR = 10; n BR = 10)													
PRE	AR	2.53	4.56	3.77	0.70	0.84	1.13	0.99	0.10	1.09	1.41	1.25	0.12
	BR	4.58	5.96	5.16	0.48	0.85	1.12	0.97	0.11	1.00	1.36	1.20	0.11
POST	AR	1.72	2.90	2.40	0.35	0.76	1.21	1.00	0.12	1.19	1.59	1.41	0.12
	BR	2.21	3.45	2.57	0.41	0.80	1.26	1.05	0.12	1.28	1.69	1.47	0.11
RET1	AR	2.05	3.34	2.61	0.35	0.81	1.28	1.03	0.14	1.28	1.48	1.38	0.07
	BR	2.50	3.28	2.90	0.23	0.92	1.27	1.03	0.11	1.27	1.73	1.50	0.14
RET2	AR	2.12	3.26	2.66	0.36	0.82	1.17	0.98	0.11	1.11	1.56	1.37	0.14
	BR	2.40	3.83	2.94	0.47	0.88	1.23	0.98	0.12	1.30	1.68	1.50	0.13
V1 (n AR = 11; n BR = 11)													
PRE	AR	2.42	4.82	3.60	0.80	0.88	1.13	0.98	0.09	1.04	1.41	1.23	0.10
	BR	5.34	7.07	5.97	0.54	0.81	1.20	1.02	0.12	1.10	1.50	1.24	0.13
POST	AR	1.89	3.14	2.49	0.42	0.90	1.19	1.03	0.09	1.29	1.55	1.43	0.09
	BR	2.50	4.62	3.64	0.56	0.84	1.22	1.07	0.13	1.25	1.65	1.43	0.11
RET1	AR	1.83	3.81	2.71	0.64	0.93	1.35	1.05	0.11	1.31	1.53	1.45	0.07
	BR	2.34	4.97	3.69	0.82	0.78	1.21	1.06	0.13	1.24	1.56	1.40	0.11
RET2	AR	1.94	4.47	2.98	0.75	0.88	1.19	1.02	0.10	1.11	1.64	1.43	0.15
	BR	2.50	4.64	3.49	0.63	0.85	1.18	1.00	0.11	1.15	1.49	1.41	0.10
V2 (n AR = 12; n BR = 12)													
PRE	AR	2.87	5.08	4.22	0.62	0.80	1.10	0.97	0.09	0.89	1.53	1.21	0.18
	BR	5.21	6.71	5.79	0.52	0.78	1.21	0.98	0.13	1.06	1.42	1.24	0.12
POST	AR	2.00	3.86	2.67	0.49	0.90	1.17	1.04	0.10	1.23	1.61	1.36	0.12
	BR	2.25	4.43	3.18	0.53	0.91	1.17	1.08	0.08	1.20	1.52	1.38	0.09
RET1	AR	2.25	4.37	3.02	0.68	0.86	1.28	1.00	0.12	1.18	1.54	1.35	0.12
	BR	2.00	5.64	3.29	0.88	0.83	1.14	1.01	0.09	1.10	1.55	1.39	0.13
RET2	AR	2.42	4.27	3.03	0.55	0.80	1.15	0.99	0.11	1.28	1.55	1.40	0.09
	BR	2.42	4.72	3.33	0.64	0.91	1.10	0.99	0.07	1.25	1.70	1.40	0.12
V3 (n AR = 11; n BR = 11)													
PRE	AR	3.35	4.78	4.24	0.44	0.82	1.13	0.98	0.10	0.96	1.27	1.18	0.09
	BR	5.01	6.16	5.42	0.43	0.80	1.18	1.00	0.10	1.11	1.35	1.21	0.08
POST	AR	1.81	3.00	2.41	0.37	0.88	1.15	1.04	0.08	1.29	1.62	1.40	0.11
	BR	2.57	3.69	3.07	0.39	0.79	1.22	1.09	0.12	1.10	1.45	1.33	0.11
RET1	AR	1.76	3.28	2.48	0.47	0.87	1.08	1.00	0.07	1.32	1.67	1.43	0.11
	BR	2.58	3.83	3.11	0.41	0.93	1.25	1.06	0.09	1.12	1.50	1.31	0.12
RET2	AR	2.27	2.93	2.52	0.22	0.90	1.09	0.99	0.06	1.24	1.62	1.42	0.10
	BR	2.79	3.95	3.15	0.37	0.85	1.18	1.07	0.11	1.13	1.50	1.34	0.11

AR: Alto Rendimiento; BR: Bajo Rendimiento; EA_{TE}: Error en tarea de evaluación; DFA_ER: Variabilidad del error; DFA_ORT: Variabilidad ortogonal; TE: Tarea de evaluación; TT: Tarea de transferencia.

Anexo 3. Datos descriptivos de valores de aprendizaje (%) en función del nivel de rendimiento inicial en tarea de evaluación en los grupos divididos según el nivel de rendimiento inicial.

Grupo	Nivel	TRA _{POST}				TRA _{RET}			
		Mínimo	Máximo	Media	SD	Mínimo	Máximo	Media	SD
V0	AR	9.92%	48.11%	35.20%	11.77%	-4.26%	50.39%	27.43%	16.17%
	BR	31.63%	62.96%	50.19%	10.97%	19.49%	55.58%	42.18%	12.41%
V1	AR	10.48%	43.16%	27.48%	9.67%	-25.20%	24.83%	7.31%	20.05%
	BR	19.15%	55.18%	37.20%	9.68%	27.48%	53.79%	41.25%	9.03%
V2	AR	25.65%	51.68%	37.52%	8.42%	3.12%	50.01%	26.28%	14.01%
	BR	23.91%	61.19%	41.93%	10.12%	22.53%	58.30%	42.08%	9.71%
V3	AR	22.51%	56.64%	42.78%	10.18%	27.32%	51.47%	40.12%	7.72%
	BR	28.43%	55.18%	43.20%	8.16%	26.99%	53.48%	41.48%	6.51%
		ApR _{POST}				ApR _{RET}			
		Mínimo	Máximo	Media	SD	Mínimo	Máximo	Media	SD
V0	AR	-15.79%	14.45%	2.85%	9.42%	-16.28%	20.36%	4.43%	11.21%
	BR	-8.24%	17.50%	8.71%	8.65%	-13.32%	16.45%	4.11%	10.05%
V1	AR	-17.72%	10.38%	-2.47%	8.09%	-41.34%	10.35%	-11.70%	19.74%
	BR	-24.85%	12.03%	-6.09%	10.36%	-21.59%	19.41%	0.17%	13.13%
V2	AR	-7.34%	13.51%	2.93%	6.87%	-20.17%	16.34%	-0.42%	12.22%
	BR	-19.14%	16.68%	-1.75%	9.56%	-23.48%	15.22%	0.37%	10.73%
V3	AR	-9.56%	21.00%	7.63%	9.20%	4.78%	18.88%	12.50%	5.23%
	BR	-12.25%	10.56%	0.57%	7.18%	-12.23%	8.33%	1.50%	6.83%

TRA_{POST}: Tasa relativa de aprendizaje Pre-POST; TRA_{RET}: Tasa relativa de aprendizaje Pre-Ret₂; ApR_{POST}: Aprendizaje residual Pre-Post; ApR_{RET}: Aprendizaje residual Pre-Ret₂.



Anexo 4. Datos descriptivos de valores de error (mm) y variabilidad en tarea de evaluación de los participantes agrupados en base a la variabilidad del error en el test de evaluación inicial representados por grupo de práctica y nivel de variabilidad inicial.

	Nivel	EA _{TE}				DFA_ER _{TE}				DFA_ORT _{TE}			
		Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD
V0 (n ADFA = 10; n BDFA = 10)													
PRE	BDFA	2.53	5.96	4.46	1.21	0.84	0.94	0.89	0.04	1.00	1.39	1.20	0.12
	ADFA	3.47	5.40	4.47	0.56	0.96	1.13	1.06	0.07	1.09	1.41	1.24	0.12
POST	BDFA	1.72	3.14	2.34	0.37	0.76	1.12	0.99	0.10	1.19	1.55	1.41	0.12
	ADFA	2.16	3.45	2.63	0.36	0.80	1.26	1.06	0.13	1.32	1.69	1.47	0.11
RET1	BDFA	2.05	2.96	2.70	0.30	0.81	1.16	0.97	0.10	1.27	1.73	1.43	0.13
	ADFA	2.38	3.34	2.81	0.35	0.92	1.28	1.09	0.12	1.30	1.65	1.45	0.12
RET2	BDFA	2.12	3.11	2.65	0.32	0.82	1.11	0.94	0.09	1.11	1.66	1.41	0.17
	ADFA	2.26	3.83	2.95	0.50	0.88	1.23	1.02	0.12	1.30	1.68	1.45	0.13
V1 (n ADFA = 11; n BDFA = 11)													
PRE	BDFA	2.42	6.87	4.68	1.48	0.81	0.98	0.92	0.05	1.04	1.24	1.17	0.06
	ADFA	2.61	7.07	4.88	1.34	1.00	1.20	1.08	0.07	1.14	1.50	1.29	0.12
POST	BDFA	1.89	4.62	3.01	0.94	0.84	1.19	0.99	0.11	1.25	1.65	1.41	0.12
	ADFA	2.16	4.01	3.11	0.58	0.92	1.22	1.11	0.09	1.34	1.59	1.46	0.08
RET1	BDFA	1.83	4.97	3.24	1.17	0.78	1.35	1.04	0.16	1.24	1.51	1.43	0.09
	ADFA	2.27	4.03	3.16	0.59	0.98	1.19	1.07	0.08	1.24	1.56	1.43	0.10
RET2	BDFA	1.94	4.64	3.27	0.87	0.85	1.14	0.97	0.09	1.11	1.64	1.41	0.16
	ADFA	2.27	4.17	3.19	0.58	0.89	1.19	1.05	0.10	1.31	1.57	1.43	0.08
V2(n ADFA = 12; n BDFA = 12)													
PRE	BDFA	3.72	6.71	5.20	1.09	0.80	0.97	0.90	0.06	0.89	1.40	1.15	0.14
	ADFA	2.87	6.06	4.84	0.87	0.78	1.21	1.04	0.10	1.06	1.53	1.29	0.13
POST	BDFA	2.25	3.42	2.90	0.43	0.90	1.17	1.07	0.10	1.20	1.50	1.36	0.11
	ADFA	2.00	4.43	2.95	0.67	0.91	1.17	1.06	0.10	1.26	1.61	1.38	0.10
RET1	BDFA	2.00	5.64	3.34	0.92	0.86	1.14	1.00	0.10	1.20	1.52	1.39	0.12
	ADFA	2.25	4.37	3.01	0.64	0.83	1.28	1.01	0.11	1.10	1.55	1.36	0.13
RET2	BDFA	2.42	4.72	3.31	0.70	0.80	1.10	0.98	0.09	1.25	1.53	1.38	0.10
	ADFA	2.43	4.27	3.07	0.51	0.83	1.15	0.99	0.09	1.27	1.70	1.41	0.12
V3 (n ADFA = 11; n BDFA = 11)													
PRE	BDFA	4.00	6.20	5.06	0.80	0.80	0.99	0.92	0.07	0.96	1.35	1.17	0.10
	ADFA	3.35	6.00	4.73	0.75	0.99	1.18	1.06	0.06	1.10	1.30	1.21	0.07
POST	BDFA	1.81	3.66	2.78	0.57	0.79	1.19	1.02	0.12	1.10	1.62	1.38	0.14
	ADFA	2.06	3.69	2.76	0.47	1.03	1.22	1.11	0.05	1.26	1.56	1.36	0.09
RET1	BDFA	1.76	4.02	2.97	0.71	0.87	1.18	0.99	0.08	1.20	1.49	1.34	0.09
	ADFA	2.04	3.83	2.74	0.46	0.99	1.25	1.07	0.07	1.12	1.67	1.40	0.15
RET2	BDFA	2.27	3.95	2.99	0.58	0.85	1.17	1.02	0.09	1.13	1.50	1.36	0.12
	ADFA	2.30	3.27	2.77	0.33	0.90	1.18	1.05	0.09	1.24	1.62	1.41	0.11

BDFA: Bajo DFA inicial; ADFA: Alto DFA inicial; EA_{TE}: Error en tarea de evaluación; DFA_ER: Variabilidad del error; DFA_ORT: Variabilidad ortogonal; TE: Tarea de evaluación; TT: Tarea de transferencia.

Anexo 5. Datos descriptivos de valores de error (mm) y variabilidad en tarea de transferencia.

	EA _{TT}				DFA_ORT _{TT}				DFA_ER _{TT}			
	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD
V0 (n= 21)												
PRE	2.37	6.39	4.16	1.14	0.92	1.62	1.30	0.18	0.74	1.17	0.94	0.12
POST	2.18	4.13	3.10	0.50	1.19	1.56	1.43	0.11	0.78	1.18	0.95	0.10
RET1	2.32	4.32	3.06	0.56	1.21	1.68	1.45	0.13	0.84	1.10	0.96	0.08
RET2	2.17	4.42	3.10	0.61	1.17	1.73	1.49	0.16	0.75	1.17	0.97	0.11
V1 (n= 23)												
PRE	2.31	6.99	4.50	1.33	1.03	1.58	1.27	0.15	0.81	1.18	0.99	0.11
POST	2.21	6.09	3.64	1.06	1.09	1.62	1.41	0.14	0.85	1.27	1.01	0.12
RET1	2.01	5.26	3.44	0.86	0.85	1.60	1.42	0.16	0.83	1.21	0.99	0.10
RET2	2.15	5.07	3.47	0.82	1.06	1.71	1.43	0.16	0.76	1.17	0.99	0.09
V2 (n= 24)												
PRE	2.98	7.93	4.62	1.18	0.85	1.44	1.22	0.16	0.80	1.14	0.97	0.09
POST	2.28	5.62	3.33	0.88	1.07	1.63	1.41	0.14	0.72	1.14	0.95	0.10
RET1	2.28	5.54	3.34	0.91	1.09	1.58	1.41	0.12	0.77	1.09	0.94	0.09
RET2	2.22	5.47	3.35	0.89	1.12	1.67	1.41	0.13	0.78	1.16	0.99	0.10
V3 (n= 23)												
PRE	2.75	6.21	4.17	0.82	0.97	1.43	1.23	0.11	0.76	1.16	0.97	0.12
POST	2.34	4.44	3.20	0.65	1.28	1.58	1.45	0.09	0.73	1.30	1.00	0.13
RET1	1.74	4.71	3.00	0.71	1.18	1.64	1.46	0.10	0.87	1.25	1.00	0.09
RET2	2.12	3.91	2.99	0.46	1.29	1.75	1.48	0.11	0.79	1.15	1.02	0.10

EA_{TT}: Error Absoluto en tarea de transferencia; DFA_ER: Variabilidad del error; DFA_ORT: Variabilidad ortogonal.

Anexo 6. Datos descriptivos de valores de error (mm) y variabilidad en tarea de transferencia representados por grupo de práctica y pareado respecto al nivel de rendimiento inicial en tarea de evaluación.

		EA _{TT}				DFA_ORT _{TT}				DFA_ER _{TT}			
		Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD
V0 (n AR = 10; n BR = 10)													
PRE	AR	2.94	4.83	3.37	0.68	1.12	1.51	1.31	0.14	0.78	1.05	0.97	0.10
	BR	3.96	6.39	4.88	1.01	0.92	1.62	1.33	0.26	0.74	1.17	0.95	0.15
POST	AR	2.43	3.31	2.76	0.34	1.28	1.56	1.44	0.09	0.89	1.10	0.99	0.08
	BR	2.86	3.88	3.42	0.41	1.27	1.56	1.47	0.11	0.83	1.18	0.95	0.11
RET1	AR	2.40	4.32	2.92	0.59	1.35	1.56	1.47	0.07	0.90	1.10	0.96	0.06
	BR	2.32	3.71	3.19	0.52	1.21	1.65	1.46	0.16	0.84	1.08	0.95	0.09
RET2	AR	2.36	4.42	2.94	0.65	1.22	1.72	1.46	0.18	0.82	1.17	1.00	0.11
	BR	2.23	3.91	3.24	0.55	1.33	1.73	1.54	0.14	0.86	1.09	0.98	0.10
V1 (n AR = 11; n BR = 11)													
PRE	AR	2.55	5.34	3.42	0.89	1.07	1.58	1.31	0.18	0.82	1.09	0.96	0.11
	BR	4.00	6.99	5.21	0.96	1.03	1.48	1.23	0.16	0.82	1.15	1.04	0.11
POST	AR	2.21	3.96	2.78	0.48	1.21	1.60	1.40	0.14	0.88	1.09	1.01	0.06
	BR	3.17	5.22	4.18	0.79	1.09	1.62	1.42	0.20	0.87	1.27	1.07	0.15
RET1	AR	2.55	4.40	2.87	0.60	1.37	1.60	1.47	0.09	0.83	1.14	0.98	0.11
	BR	2.54	5.26	3.83	0.83	1.15	1.57	1.42	0.14	0.89	1.21	1.05	0.10
RET2	AR	2.65	4.82	3.05	0.84	1.16	1.71	1.46	0.16	0.89	1.17	1.00	0.08
	BR	2.90	4.15	3.78	0.69	1.06	1.65	1.39	0.19	0.76	1.09	0.98	0.12
V2 (n AR = 12; n BR = 12)													
PRE	AR	3.07	4.88	4.09	0.76	0.96	1.44	1.20	0.15	0.83	1.14	0.97	0.11
	BR	3.44	6.11	5.10	1.31	0.85	1.40	1.22	0.20	0.80	1.10	0.95	0.10
POST	AR	2.43	3.68	2.93	0.42	1.07	1.63	1.34	0.19	0.72	1.14	0.95	0.14
	BR	2.28	4.10	3.70	1.04	1.28	1.54	1.43	0.09	0.83	1.04	0.92	0.07
RET1	AR	2.56	5.00	3.07	0.81	1.09	1.58	1.36	0.16	0.77	1.08	0.94	0.11
	BR	2.28	4.03	3.59	0.95	1.26	1.56	1.42	0.11	0.81	1.09	0.94	0.10
RET2	AR	2.22	4.15	2.91	0.54	1.12	1.67	1.37	0.16	0.82	1.16	0.99	0.12
	BR	2.73	4.54	3.76	0.97	1.25	1.63	1.42	0.13	0.78	1.15	0.98	0.10
V3 (n AR = 11; n BR = 11)													
PRE	AR	2.75	4.35	3.70	0.69	1.15	1.37	1.28	0.08	0.76	1.10	0.93	0.13
	BR	3.96	5.68	4.60	0.70	1.18	1.37	1.25	0.08	0.87	1.10	1.02	0.08
POST	AR	2.34	3.00	2.68	0.28	1.36	1.57	1.48	0.07	0.91	1.16	0.98	0.08
	BR	3.34	4.44	3.67	0.50	1.29	1.58	1.43	0.11	0.93	1.30	1.06	0.11
RET1	AR	2.09	3.10	2.56	0.53	1.37	1.64	1.51	0.09	0.87	1.11	0.99	0.08
	BR	2.47	4.01	3.40	0.62	1.18	1.52	1.42	0.11	0.89	1.09	1.00	0.08
RET2	AR	2.31	3.08	2.73	0.34	1.34	1.60	1.49	0.08	0.79	1.12	1.00	0.11
	BR	2.47	3.65	3.22	0.45	1.29	1.55	1.44	0.10	0.89	1.15	1.05	0.10

AR: Alto Rendimiento; BR: Bajo Rendimiento; EA_{TT}: Error en tarea de transferencia; DFA_ER: Variabilidad del error; DFA_ORT: Variabilidad ortogonal.

Anexo 7. Datos descriptivos de valores de error (mm) y variabilidad en tarea de transferencia de los participantes agrupados en base a la variabilidad del error en el test de evaluación inicial representados por grupo de práctica y nivel de rendimiento inicial.

		EA _{TT}				DFA_ORT _{TT}				DFA_ER _{TT}			
		Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD
V0 (n ADFA = 10; n BDFA = 10)													
PRE	BDFA	2.37	6.08	3.91	1.10	0.92	1.62	1.25	0.21	0.79	0.95	0.87	0.05
	ADFA	2.94	5.67	3.89	0.92	1.12	1.60	1.39	0.16	0.81	1.17	1.03	0.10
POST	BDFA	2.18	4.13	3.07	0.66	1.19	1.56	1.38	0.14	0.78	0.98	0.89	0.07
	ADFA	2.77	3.88	3.22	0.35	1.28	1.56	1.47	0.10	0.83	1.18	0.99	0.12
RET1	BDFA	2.32	3.45	2.91	0.44	1.21	1.68	1.42	0.17	0.85	1.07	0.95	0.09
	ADFA	2.51	4.32	3.12	0.55	1.35	1.63	1.50	0.09	0.84	1.10	0.97	0.09
RET2	BDFA	2.17	3.40	2.78	0.49	1.17	1.69	1.45	0.18	0.75	1.07	0.91	0.12
	ADFA	2.53	4.42	3.35	0.65	1.22	1.73	1.52	0.16	0.88	1.17	1.02	0.09
V1 (n ADFA = 11; n BDFA = 11)													
PRE	BDFA	2.31	6.27	4.07	1.34	1.07	1.47	1.23	0.14	0.82	1.11	0.94	0.10
	ADFA	2.79	6.99	4.95	1.57	1.03	1.48	1.28	0.16	0.82	1.18	1.05	0.10
POST	BDFA	2.21	5.22	3.37	1.15	1.09	1.52	1.37	0.15	0.87	1.16	0.96	0.11
	ADFA	2.83	6.09	4.02	1.15	1.20	1.58	1.39	0.12	0.97	1.27	1.08	0.11
RET1	BDFA	2.29	5.26	3.65	1.03	1.15	1.60	1.42	0.14	0.83	1.07	0.96	0.08
	ADFA	2.54	4.57	3.52	0.83	1.33	1.56	1.43	0.08	0.84	1.21	1.01	0.13
RET2	BDFA	2.23	5.07	3.47	0.91	1.06	1.71	1.39	0.22	0.76	1.08	0.97	0.11
	ADFA	2.47	4.82	3.74	0.87	1.23	1.62	1.39	0.12	0.86	1.17	0.99	0.11
V2 (n ADFA = 12; n BDFA = 12)													
PRE	BDFA	3.07	6.11	4.30	0.98	0.96	1.28	1.13	0.14	0.80	0.95	0.89	0.06
	ADFA	3.44	5.02	4.37	0.59	1.18	1.44	1.33	0.08	0.81	1.14	0.99	0.10
POST	BDFA	2.28	4.10	3.06	0.64	1.07	1.63	1.37	0.19	0.71	1.02	0.89	0.10
	ADFA	2.74	4.98	3.25	0.76	1.20	1.54	1.42	0.11	0.83	1.06	0.94	0.09
RET1	BDFA	2.56	5.00	3.41	0.87	1.09	1.49	1.34	0.13	0.77	1.09	0.92	0.11
	ADFA	2.49	4.53	3.06	0.64	1.23	1.56	1.43	0.10	0.81	1.04	0.92	0.09
RET2	BDFA	2.22	4.54	3.34	0.77	1.12	1.45	1.33	0.10	0.82	1.15	0.97	0.10
	ADFA	2.27	5.46	3.17	0.98	1.36	1.63	1.50	0.10	0.87	1.10	0.99	0.07
V3 (n ADFA = 11; n BDFA = 11)													
PRE	BDFA	2.74	4.92	4.19	0.72	0.96	1.37	1.24	0.14	0.80	1.09	0.95	0.12
	ADFA	2.93	6.21	4.43	1.07	1.10	1.43	1.23	0.10	0.76	1.10	0.99	0.11
POST	BDFA	2.34	4.44	3.42	0.84	1.30	1.58	1.43	0.09	0.73	1.30	1.02	0.17
	ADFA	2.36	3.45	3.01	0.43	1.29	1.57	1.47	0.09	0.91	1.05	1.00	0.05
RET1	BDFA	2.09	3.92	3.04	0.61	1.18	1.55	1.43	0.12	0.91	1.11	1.00	0.07
	ADFA	1.74	3.73	2.79	0.68	1.37	1.58	1.48	0.09	0.87	1.09	0.99	0.09
RET2	BDFA	2.51	3.67	3.10	0.41	1.29	1.63	1.47	0.11	0.90	1.13	1.04	0.09
	ADFA	2.12	3.65	2.90	0.49	1.39	1.75	1.53	0.11	0.79	1.14	1.00	0.12

BDFA: Bajo DFA inicial; ADFA: Alto DFA inicial; EATT: Error en tarea de transferencia; DFA_ER: Variabilidad del error; DFA_ORT: Variabilidad ortogonal.

Anexo 8. Datos descriptivos de la media y la desviación típica del error de las series de entrenamiento de los tres días de práctica.

EA			
	S1	S2	S3
V0 (n = 21)	03.76 ± 0.62	03.11 ± 0.50	02.79 ± 0.36
V1 (n = 23)	06.93 ± 1.18	06.14 ± 1.27	05.87 ± 1.10
V2 (n = 24)	10.17 ± 1.82	09.37 ± 1.75	08.73 ± 1.59
V3 (n = 23)	13.81 ± 1.28	12.78 ± 1.41	12.17 ± 1.43

S1: Promedio del error obtenido en las series del día de práctica 1; S2: Promedio del error obtenido en las series del día de práctica 2. S3: Promedio del error obtenido en las series del día de práctica 3.

Anexo 9. Datos descriptivos de la media y la desviación típica del error de las series de entrenamiento de los tres días de práctica en función del nivel de rendimiento inicial.

EA				
		S1	S2	S3
V0	AR	3.33 ± 0.49	2.79 ± 0.42	2.63 ± 0.35
	BR	4.19 ± 0.42	3.44 ± 0.33	2.94 ± 0.31
V1	AR	6.40 ± 1.02	5.71 ± 0.99	5.61 ± 0.90
	BR	7.46 ± 1.12	6.56 ± 1.41	6.14 ± 1.25
V2	AR	10.03 ± 1.74	9.34 ± 1.61	8.73 ± 1.34
	BR	10.31 ± 1.97	9.40 ± 1.95	8.73 ± 1.86
V3	AR	13.35 ± 1.37	12.54 ± 1.45	11.68 ± 1.34
	BR	14.27 ± 1.05	13.01 ± 1.41	12.66 ± 1.39

S1: Promedio del error obtenido en las series del día de práctica 1; S2: Promedio del error obtenido en las series del día de práctica 2. S3: Promedio del error obtenido en las series del día de práctica 3. En todos los grupos n = 10.

Anexo 10. Datos descriptivos de la media y la desviación típica del error de las series de entrenamiento de los tres días de práctica en función del nivel de DFA inicial.

EA				
		S1	S2	S3
V0	BDFA	3.50 ± 0.69	2.94 ± 0.59	2.67 ± 0.39
	ADFA	3.95 ± 0.38	3.35 ± 0.26	3.03 ± 0.25
V1	BDFA	6.59 ± 1.14	5.89 ± 1.05	5.87 ± 1.08
	ADFA	6.84 ± 1.31	5.76 ± 1.29	5.57 ± 1.19
V2	BDFA	10.32 ± 1.69	9.58 ± 1.60	8.73 ± 1.15
	ADFA	10.69 ± 1.45	9.96 ± 1.44	9.21 ± 1.26
V3	BDFA	13.55 ± 1.10	12.84 ± 1.11	11.89 ± 1.28
	ADFA	13.50 ± 0.87	12.20 ± 1.01	12.06 ± 0.93

S1: Promedio del error obtenido en las series del día de práctica 1; S2: Promedio del error obtenido en las series del día de práctica 2. S3: Promedio del error obtenido en las series del día de práctica 3.

En la parte izquierda de la tabla se muestra el error promedio mostrado por los diferentes grupos en las tres sesiones de entrenamiento. La parte derecha muestra la adaptación entre las sesiones en términos absolutos y relativos. En todos los grupos n = 8.