

VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

 Facultat de Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport



DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

“Efectos agudos de la actividad física y los videojuegos activos sobre las funciones cognitivas en jóvenes y adultos mayores”

Programa de Doctorado RD 1393/2007 en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

TESIS DOCTORAL

Doctorando:

D. JESÚS LÓPEZ GARCÍA

Directores:

Dr. D. JOSÉ F. GUZMÁN LUJÁN

Dr. D. JUAN CARLOS COLADO SÁNCHEZ

Valencia, Marzo de 2017



Dr. D. José F. Guzmán Luján,

Profesor Titular en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de Valencia.

Dr. D. Juan Carlos Colado Sánchez,

Profesor Titular en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad de Valencia.

CERTIFICAN:

Que la presente Tesis Doctoral titulada: “Efectos agudos de la actividad física y los videojuegos activos sobre las funciones cognitivas en jóvenes y adultos mayores” ha sido realizada por D. Jesús López García bajo nuestra dirección, en el Programa de Doctorado en “Ciencias de la Actividad Física y del Deporte RD 1393/2007” para la obtención del título de Doctor por la Universidad de Valencia.

Para que así conste a los efectos legales oportunos, se presenta esta Tesis Doctoral y se extiende la presente certificación en Valencia a 6 de Marzo del 2017.

Fdo.: Dr. D. José F. Guzmán Luján

Fdo.: Dr. D. Juan Carlos Colado Sánchez

*A Rattikan y Daniel,
porque juntos somos
una familia feliz.*

Agradecimientos

En especial a Jose. Por cómo me has guiado desde el primer momento. Por confiar en mí. Por todo lo que has compartido conmigo, lo que he aprendido y lo que me sigues enseñando. Porque trabajar junto a ti es un lujo y un placer al mismo tiempo. Por tu tiempo dedicado. Por tu paciencia. Por tu comprensión. Por estar ahí en todo momento siempre que te he necesitado. Por tu incondicional ayuda y compromiso durante estos cinco años. Porque eres una gran persona. Por acompañarme en esta introducción a la investigación. Sinceramente, me siento muy afortunado de haber tenido un director como tu. Muchas gracias por todo, Jose.

A Juan Carlos, Pedro, Víctor y Álvaro, por colaborar con nosotros. Honestamente, ha sido un placer trabajar juntos.

A todos los participantes, porque sin vuestra colaboración nada de esto sería posible.

A mi madre y a mi padre, por el amor incondicional que me habéis dado desde pequeño. En este caso, una mención especial a mi padre, por el apoyo y la motivación que me ha dado y me dará siempre.

A todas aquellas personas que no os veis reflejadas en este capítulo pero que de alguna forma, habéis formado parte de este proceso.

PUBLICACIONES Y DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS:

Artículos publicados:

Guzmán, J.F., y López-García, J. (2016). Acute effects of exercise and active video games on adults' reaction time and perceived exertion. *European Journal of Sport Science*, 30, 1-7.

“ Toda nuestra vida mental está causada por la conducta de neuronas, y todo lo que éstas hacen es incrementar o decrementar sus tasas de disparos...” Por lo tanto, nos planteamos ante el siguiente problema: ¿cómo es posible que disparos neuronales físicos, objetivos, cuantitativamente descriptibles, causen experiencias cualitativas, privadas y subjetivas?

(John Searle)

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	1
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.1.1. Actividad física y neurociencia cognitiva.	3
1.1.2. Teoría de la reserva cognitiva y actividad física.....	6
1.1.3. Efectos agudos y crónicos del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo.	14
1.2. TIEMPO DE REACCIÓN, VELOCIDAD DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y EJERCICIO FÍSICO	30
1.2.1. Importancia del tiempo de reacción complejo durante el ejercicio físico.....	30
1.2.2. Efectos del ejercicio físico sobre el tiempo de reacción complejo.....	36
1.2.3. Velocidad de procesamiento de la información cognitiva y estructural.	38
1.2.4. Modelos y bases neuroanatómicas de la velocidad de procesamiento de la información.	41
1.2.5. Factores que intervienen en la velocidad de procesamiento de la información y otros procesos cognitivos.	43
1.2.6. La evaluación de la velocidad de procesamiento de la información.	44
1.3. LA ACCIÓN MOTORA Y LAS FUNCIONES EJECUTIVAS.....	49
1.3.1. Control motor y cognición motora.....	49
1.3.2. Procesos cognitivos de la acción motora.	50
1.3.3. El acto motor voluntario.	53
1.3.4. Demandas cognitivas inherentes al ejercicio físico: movimiento motor complejo.....	55
1.3.5. Las funciones ejecutivas y sus componentes.	57
1.3.6. Modelos de las funciones ejecutivas.	63
1.3.7. Influencia del ejercicio físico sobre las funciones ejecutivas durante las etapas del desarrollo.	66
1.3.8. Efectos del ejercicio físico aeróbico sobre las funciones ejecutivas.	70
1.4. LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DEL ESFUERZO	74
1.4.1. Concepto, escalas y factores que intervienen en la percepción subjetiva del esfuerzo.....	74
1.4.2. La percepción subjetiva del esfuerzo como indicador válido y fiable de la intensidad del ejercicio físico.	77
1.4.3. Modelos de la percepción subjetiva del esfuerzo.....	79
1.4.4. Concepto de fatiga y relación con la percepción subjetiva del esfuerzo.	83
1.4.5. Fatiga física y cognitiva y TRC.	86
1.4.6. Carga cognitiva y funciones ejecutivas.	89
1.5. VIDEOJUEGOS ACTIVOS, ACTIVIDAD FÍSICA Y FUNCIONES COGNITIVAS	93
1.5.1. Actividad física, videojuegos activos y gasto energético.....	93
1.5.2. Juego real y videojuegos activos.....	96
1.5.3. Efectos de la práctica de videojuegos activos y pasivos sobre las funciones cognitivas.....	99
1.5.4. Efecto distractor de factores que influyen en la PSE.	106
CAPÍTULO II.....	109
PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	109
CAPÍTULO III.....	113
INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	113
3.1. ESTUDIO 1	115
3.1.1. INTRODUCCIÓN.....	116
3.1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	119
3.1.2.1. Objetivo general	119

3.1.2.2. Objetivos específicos.....	119
3.1.2.3. Hipótesis	119
3.1.3. METODOLOGÍA.....	119
3.1.3.1. Participantes.....	119
3.1.3.2. Material e instrumental	120
3.1.3.3. Procedimiento.....	126
3.1.3.3.1. Informe favorable del Comité de Ética	126
3.1.3.3.2. Obtención del consentimiento informado	126
3.1.3.3.3. Criterios de selección y exclusión de participantes	126
3.1.3.3.4. Medidas Pre y Post tratamiento	126
3.1.3.3.5. Protocolo experimental.....	127
3.1.3.3.6. Registro de los datos	130
3.1.3.4. Diseño	131
3.1.3.4.1. Variables independientes	131
3.1.3.4.2. Variables dependientes	131
3.1.3.5. Análisis estadístico de los datos.....	132
3.1.4. RESULTADOS	132
3.1.4.1. Análisis descriptivo y de normalidad del tiempo de reacción complejo.....	132
3.1.4.2. Análisis inferencial del tiempo de reacción complejo en función del momento: Pre y Post.....	134
3.1.4.2.1. Análisis de las diferencias Pre y Post en función de la actividad física aeróbica.....	134
3.1.4.2.2. Análisis de las diferencias Pre y Post en función de la actividad física aeróbica combinada con videojuegos activos	138
3.1.4.2.3. Análisis de las diferencias Pre y Post en el grupo de control.....	142
3.1.4.3. Análisis inferencial del tiempo de reacción complejo en función del tipo de actividad: actividad física aeróbica y actividad física aeróbica con videojuego interactivo	142
3.1.4.4. Análisis descriptivo y de normalidad de la percepción del esfuerzo	143
3.1.4.5. Análisis inferencial de la percepción del esfuerzo en función de la actividad: AF y AF+VJA.....	144
3.1.5. DISCUSIÓN.....	145
3.1.5.1. Efectos agudos de la actividad física aeróbica y la actividad física aeróbica con videojuego activo sobre el tiempo de reacción complejo	146
3.1.5.2. Efectos sobre el tiempo de reacción complejo en función de la actividad física aeróbica y de la actividad física aeróbica con videojuego activo	147
3.1.5.3. Efectos de la actividad física aeróbica y de la actividad física aeróbica con videojuego activo sobre la percepción subjetiva del esfuerzo.....	149
3.1.6. CONCLUSIONES.....	151
3.2. ESTUDIO 2	152
3.2.1. INTRODUCCIÓN.....	153
3.2.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	156
3.2.2.1. Objetivo general	156
3.2.2.2. Objetivos específicos.....	156
3.2.2.3. Hipótesis.....	156
3.2.3. METODOLOGÍA.....	156
3.2.3.1. Participantes.....	157
3.2.3.2. Material e instrumental	157
3.2.3.3. Procedimiento.....	159
3.2.3.3.1. Informe favorable del Comité de Ética	159
3.2.3.3.2. Obtención del consentimiento informado	159
3.2.3.3.3. Criterios de selección y exclusión de participantes	160

3.2.3.3.4. Medidas Pre y Post tratamiento	160
3.2.3.3.5. Protocolo experimental	160
3.2.3.3.6. Registro de los datos	163
3.2.3.4. Diseño	163
3.2.3.4.1. Variables independientes	164
3.2.3.4.2. Variables dependientes	164
3.2.3.5. Análisis estadístico de los datos.....	164
3.2.4. RESULTADOS	165
3.2.4.1. Análisis inferencial del tiempo de reacción complejo en función del momento (pre-post) y la actividad (AF, AF+VJA, y VJA).....	165
3.2.4.1.1. Análisis de las diferencias en TRC en función del momento (pre y post) y actividad (AF / AF+VJA)	165
3.2.4.2.2. Análisis inferencial pre-post del TRC del grupo experimental 2 (AF y VJA).....	168
3.2.4.2.3. Análisis inferencial pre-post del TRC del grupo experimental 3 (AF+VJA y VJA).....	171
3.2.4.2. Análisis inferencial de la flexibilidad cognitiva post-tratamiento en función de la actividad.....	175
3.2.4.2.1. Análisis inferencial de la flexibilidad cognitiva post del grupo experimental 1 (AF / AF+VJA)	175
3.2.4.2.2. Análisis inferencial de la flexibilidad cognitiva post del grupo experimental 2 (AF / VJA)	176
3.2.4.2.3. Análisis inferencial post de la flexibilidad cognitiva del grupo experimental 3 (AF+ VJA / VJA)	179
3.2.4.3. Análisis inferencial de la percepción subjetiva de esfuerzo (PSE) en función de la actividad.....	181
3.2.5. DISCUSIÓN.....	185
3.2.5.1. Efectos agudos de la actividad física aeróbica, la actividad física aeróbica con videojuego activo y solo videojuego activo, sobre el tiempo de reacción complejo .	186
3.2.5.2. Efectos sobre el tiempo de reacción complejo en función de la actividad física aeróbica y de la actividad física aeróbica con videojuego interactivo	190
3.2.5.3. Efectos de la actividad física aeróbica y de la actividad física aeróbica con videojuego activo sobre la flexibilidad cognitiva	195
3.2.6. CONCLUSIONES.....	202
3.3. ESTUDIO 3	203
3.3.1. INTRODUCCIÓN.....	204
3.3.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	208
3.3.2.1. Objetivo general	208
3.3.2.2. Objetivos específicos.....	208
3.3.2.3. Hipótesis.....	208
3.3.3. METODOLOGÍA.....	208
3.3.3.1. Participantes.....	208
3.3.3.2. Material e instrumental	209
3.3.3.3. Procedimiento.....	209
3.3.3.3.1. Informe favorable del Comité de Ética	209
3.3.3.3.2. Obtención del consentimiento informado	209
3.3.3.3.3. Criterios de selección y exclusión de participantes	209
3.3.3.3.4. Medidas Pre y Post tratamiento	210
3.3.3.3.5. Protocolo experimental.....	210
3.3.3.3.6. Registro de los datos	210
3.3.3.4. Diseño	211
3.3.2.4.1. Variables independientes	211

3.3.2.4.2. Variables dependientes	211
3.3.3.5. Análisis estadístico de los datos.....	211
3.3.4. RESULTADOS	212
3.3.4.1. Análisis descriptivo y de normalidad del TRC de las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)	212
3.3.4.2. Control de las diferencias pre-tratamiento en TRC en las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)	212
3.3.4.3 Análisis inferencial de TRC pre y post-tratamiento en las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)	213
3.3.4.4. Análisis inferencial de TRC post-tratamiento en las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)	218
3.3.4.5. Análisis descriptivo y de normalidad de la PSE de las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)	218
3.3.4.6. Análisis inferencial de la PSE en función de la actividad: AF y AF+VJA.....	219
3.3.4.7. Análisis descriptivo y de normalidad de la FC de las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)	220
3.3.4.8. Análisis inferencial de la FC en función de la actividad: AF y AF+VJA.....	220
3.3.5. DISCUSIÓN.....	221
3.3.5.1. Efectos agudos de la AF y la AF+VJA sobre el TRC	222
3.3.5.2. Efectos comparativos de la AF y la AF+VJA sobre el TRC.....	225
3.3.5.3. Efectos de la AF y la Af+VJA sobre la PSE.....	228
3.3.6. CONCLUSIONES.....	231
CAPÍTULO IV	233
DISCUSIÓN GENERAL	233
4.1. EFECTOS AGUDOS DE LA PRÁCTICA DE AF, AF+VJA Y VJA SOBRE EL TRC EN LOS TRES ESTUDIOS EXPERIMENTALES.	238
4.2. EFECTOS AGUDOS SOBRE EL TRC EN FUNCIÓN DE LA PRÁCTICA DE AF Y AF+VJA EN LOS TRES ESTUDIOS EXPERIMENTALES.	242
4.3. EFECTOS AGUDOS DE LA PRÁCTICA DE AF Y AF+VJA SOBRE LA PSE EN LOS TRES ESTUDIOS EXPERIMENTALES.	246
CAPÍTULO V	253
CONCLUSIONES GENERALES.....	253
5.1. CONCLUSIONES GENERALES	255
CAPÍTULO VI	257
LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS, FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y APLICACIONES PRÁCTICAS.....	257
6.1. LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS	259
6.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	260
6.3. APLICACIONES PRÁCTICAS	261
CAPÍTULO VII	263
REFERENCIAS	263
CAPÍTULO VIII	307
ANEXOS.....	307
ANEXO 1.....	309
ANEXO 2.....	310
ANEXO 3.....	311
ANEXO 4.....	312

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática del incremento del volumen cerebral en el transcurso de la evolución homínida. Extraído de Redolar et al., (2015).....	4
Figura 2. Características de la eficiencia y la capacidad (reserva neural) propuesta por Yaakov Stern (2002).....	8
Figura 3. Representación esquemática de las principales variables de la reserva estudiadas. Extraído de Redolar et al., (2015).....	12
Figura 4. Regiones del hipocampo humano en las que se da la neurogénesis. Extraída de Pereira et al., (2007).....	21
Figura 5. Resultados obtenidos en las pruebas de comprensión lectora, ortográfica y aritmética. Extraída de Hillman et al., (2009).....	25
Figura 6. A la izquierda, se muestra la activación cerebral de los niños que participan en el programa de ejercicio físico. Extraído de Hillman et al., (2014).....	27
Figura 7. Gráfico en el que se muestra el mayor volumen del hipocampo de los jóvenes adultos con mayor capacidad aeróbica. Extraído de Chaddock et al., (2010).....	28
Figura 8. Activación durante las tareas de control cognitivo de la corteza prefrontal. Extraído de Chaddock et al., (2013).....	29
Figura 9. Fases del Tiempo de Reacción. Extraído de Yockkel, (2006).....	32
Figura 10. Representación esquemática de las conexiones anatómicas entre el córtex y los ganglios basales. Extraído de Obeso et al., (2011).....	60
Figura 11. Componentes de las FE, según varios autores.....	61
Figura 12. Modelo de las FE. Extraído de Thomas Brown, (2005).....	66
Figura 13. Modelos de generación de PE. Extraído de Pageaux, (2016).....	81
Figura 14. Realización del Test de TRC (Viena Test System).....	122
Figura 15. Valores de la escala de Borg (CR-10).....	123
Figura 16. Participante del estudio 1, realizando la prueba de AF+VJA.....	124
Figura 17. Aplicación Decibel Ultra de "Iphone 5s" para medir la intensidad del estímulo sonoro en db.....	125
Figura 18. Balanceo del orden entre dos condiciones experimentales (Estudio 1)....	127
Figura 19. Niveles o modalidades del factor o variable independiente (Estudio 1)....	131
Figura 20. Representación del VB del TR antes y después de AF (Estudio 1).....	134
Figura 21. Representación del Valor T del TR antes y después de AF (Estudio 1)...	135

Figura 22. Representación del VB del TRM antes y después de AF (Estudio 1).....	135
Figura 23. Representación del RP del TR antes y después de AF (Estudio 1).....	136
Figura 24. Representación del RP del TRM antes y después de AF (Estudio 1).....	137
Figura 25. Representación del Valor T del TRM antes y después de AF (Estudio 1)	137
Figura 26. Representación del VB del TR antes y después de AF+VJA (Estudio 1)..	138
Figura 27. Representación del VB del TRM antes y después de AF+VJA (Estudio 1).....	139
Figura 28. Representación del Valor T del TRM antes y después de AF+VJA (Estudio 1).....	139
Figura 29. Representación del RP del TR antes y después de AF+VJA (Estudio 1)..	140
Figura 30. Representación del Valor T del TR antes y después de AF+VJA (Estudio 1).....	141
Figura 31. Representación del RP del TRM antes y después de AF+VJA (Estudio 1).....	141
Figura 32. PE después de practicar AF y AF+VJA (Estudio 1).....	144
Figura 33. Posición de las cartas al inicio de la realización del WCST.....	158
Figura 34. Material e instrumental utilizado en el estudio 2.....	159
Figura 35. Ejemplo de la realización de los tres tratamientos experimentales del estudio 2.....	161
Figura 36. Realización del test de TRC durante el estudio 2.....	161
Figura 37. Diseño del estudio 2: parcela dividida compuesta de tres condiciones experimentales.....	163
Figura 38. Diagrama de tallo y hojas del TR pre y post del grupo experimental 1.....	167
Figura 39. Diagrama de tallo y hojas del TRM pre y post del grupo experimental 1.....	167
Figura 40. Diagrama de tallo y hojas de la eficiencia pre y post del grupo experimental 1.....	167
Figura 41. Diagrama de tallo y hojas del TR pre y post del grupo experimental 2.....	170
Figura 42. Diagrama de tallo y hojas del TRM pre y post del grupo experimental 2.....	170
Figura 43. Diagrama de tallo y hojas de la eficiencia pre y post del grupo experimental 2.....	170
Figura 44. Diagrama de tallo y hojas del TR pre y post del grupo experimental 3.....	173
Figura 45. Diagrama de tallo y hojas del TRM pre y post del grupo experimental 3.....	174

Figura 46. Diagrama de tallo y hojas de la eficiencia pre y post del grupo experimental 3.....	174
Figura 47. TRM en función de la actividad tras AF+VJA (1) y VJA (2) del grupo experimental 3.....	174
Figura 48. Diagrama de tallo y hojas del porcentaje de errores no perseverativos en función de la actividad del grupo experimental 2.....	178
Figura 49. Diagrama de tallo y hojas de las respuestas correctas en función de la actividad del grupo experimental 3.....	180
Figura 50. Diagrama de tallo y hojas de la PSE en función de la actividad del grupo experimental 1.....	182
Figura 51. Diagrama de tallo y hojas de la PSE en función de la actividad del grupo experimental 2.....	183
Figura 52. Diagrama de tallo y hojas de la PSE en función de la actividad del grupo experimental 3.....	184
Figura 53. Balanceo del orden entre dos condiciones experimentales del estudio 3..	210
Figura 54. Niveles o modalidades del factor o variable independiente del estudio 3..	211
Figura 55. Diagrama de tallo del TR pre y Post AF.....	214
Figura 56. Diagrama de tallo del TRM pre y Post AF.....	215
Figura 57. Diagrama de tallo de la Eficiencia pre y post AF.....	215
Figura 58. Diagrama de tallo del TR pre y Post AF+VJA.....	216
Figura 59. Diagrama de tallo del TRM pre y Post AF+VJA.....	217
Figura 60. Diagrama de tallo de la Eficiencia pre y post AF+VJA.....	217
Figura 61. Diagrama de tallo de la PE post AF y AF+VJA.....	219

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Resumen conceptos básicos del modelo pasivo y modelo activo de la reserva.....	9
Tabla 2. Esquema de los estudios realizados acerca de los efectos agudos del ejercicio físico sobre la VPI y la eficiencia. Extraída de McMorris y Beverley, (2012)..	16
Tabla 3. Esquema de los estudios realizados acerca de los efectos agudos sobre las funciones cognitivas, durante y después de hacer ejercicio físico. Extraída de Lambourne y Tomporowski, (2010).....	18
Tabla 4. Efectos crónicos del entrenamiento aeróbico sobre diferentes FFEE. Extraída de Smith et al., (2010).....	26
Tabla 5. Niveles de funcionamiento cognitivo y VPI. Modificada de Zomerén, (2006).	46
Tabla 6. Señales provenientes de los estímulos aferentes en la PE. Extraída de Hampson et al., (2001).....	79
Tabla 7. Definición de los recursos a través de las tres dimensiones. Extraído de Wickens, (1984).....	91
Tabla 8. Principales soportes y ejemplos de videojuegos activos. Extraído de Beltrán-Carrillo et al. (2010).....	93
Tabla 9. Características de los participantes del Estudio 1.....	120
Tabla 10. Fiabilidad del Test “Análisis del TR” (Viena Test System).....	120
Tabla 11. Secuencia de estímulos del Test de TRC (Viena Test System) durante la práctica y la prueba.....	121
Tabla 12. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC durante AF (Estudio 1).....	132
Tabla 13. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC durante AF+VJA (Estudio 1).....	133
Tabla 14. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC en el grupo de control (Estudio 1).....	133
Tabla 15. Análisis Paramétrico: Prueba contrastes univariados Pre y Post en función de AF (Estudio 1).....	134
Tabla 16. Análisis No Paramétrico: Estadísticos de contraste Pre-Post durante AF (Estudio 1).....	136
Tabla 17. Análisis Paramétrico: Prueba contrastes univariados Pre-Post durante AF+VJA (Estudio 1).....	138
Tabla 18. Análisis No Paramétrico: Estadísticos de contraste Pre-Post durante AF+VJA (Estudio 1).....	140

Tabla 19. Análisis Paramétrico: Prueba contrastes univariados Pre-Post en el grupo de control (Estudio 1).....	142
Tabla 20. Análisis No Paramétrico: Estadísticos de contraste Pre-Post en el grupo de control (Estudio 1).....	142
Tabla 21. Análisis Paramétrico: Prueba contrastes univariados después de AF y AF+VJA (Estudio 1).....	143
Tabla 22. Análisis No Paramétrico: Estadísticos de contraste después de AF y AF+VJA (Estudio 1).....	143
Tabla 23. Prueba Kolmogorov-Smirnov de la PE después de AF y AF+VJA (Estudio 1).....	143
Tabla 24. Análisis No Paramétrico: Estadísticos de contraste y rangos después de AF y AF +VJA (Estudio 1).....	144
Tabla 25. Características demográficas de los sujetos de cada condición experimental.....	157
Tabla 26. Grupos experimentales del estudio 2.....	157
Tabla 27. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC en la C.E.1. del estudio 2 (AF y AF+VJA).....	165
Tabla 28. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC en la C.E.2. del estudio 2 (AF y VJA).....	166
Tabla 29. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC en la C.E.3. del estudio 2 (AF+VJA y VJA).....	166
Tabla 30. Resultados de la prueba Wilcoxon de la eficiencia pre y post AF+VJA en el grupo experimental 1.....	168
Tabla 31. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC en el grupo experimental 2 (AF y VJA).....	168
Tabla 32. Resultados de los contrastes univariados del TRC del grupo experimental 2, en función del momento (pre y post) y la actividad (AF y AF+VJA).....	169
Tabla 33. Descriptivos del TRC del grupo experimental 2 en función del momento (pre y post).....	169
Tabla 34. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon del TR pre y post AF en el grupo experimental 2.....	171
Tabla 35. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon de la eficacia pre y post AF en el grupo experimental 2.....	171
Tabla 36. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC en el grupo experimental 3 (AF+VJA y VJA).....	172

Tabla 37. Resultados de los contrastes univariados del TRC del grupo experimental 3, en función del momento (pre y post) y la actividad (AF y AF+VJA).....	172
Tabla 38. Descriptivos del TRC del grupo experimental 3 en función del momento (pre y post).....	173
Tabla 39. Descriptivos del TRM del grupo experimental 3 en función de la actividad (AF+VJA y VJA).....	173
Tabla 40. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon del TR post VJA y post AF+VJA en el grupo experimental 3.....	175
Tabla 41. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la flexibilidad cognitiva en el grupo experimental 1 (AF y AF+VJA).....	176
Tabla 42. Resultados de contrastes univariados de la flexibilidad cognitiva del grupo experimental 1 en función de la actividad (AF y AF+VJA).....	176
Tabla 43. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la flexibilidad cognitiva en el grupo experimental 2 (AF y VJA).....	177
Tabla 44. Resultados de contrastes univariados de la flexibilidad cognitiva del grupo experimental 2 en función de la actividad (AF y VJA).....	177
Tabla 45. Descriptivos del porcentaje de errores no perseverativos post AF y VJA del grupo experimental 2.....	178
Tabla 46. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon de las respuestas correctas tras VJA y tras AF en el grupo experimental 3.....	178
Tabla 47. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la flexibilidad cognitiva en el grupo experimental 3 (VJA y AF+VJA).....	179
Tabla 48. Resultados de contrastes univariados de la flexibilidad cognitiva del grupo experimental 2 en función de la actividad (VJA y AF+VJA).....	179
Tabla 49. Descriptivos del porcentaje de respuestas correctas post AF+VJA y VJA del grupo experimental 3.....	180
Tabla 50. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon del porcentaje de errores no perseverativos en función de la actividad en el grupo experimental 3.....	180
Tabla 51. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la PSE en el grupo experimental 1 (AF y AF+VJA).....	181
Tabla 52. Resultados de la prueba de Wilcoxon de la PSE tras AF y tras AF+VJA...	181
Tabla 53. Descriptivos del porcentaje de respuestas correctas post AF+VJA y VJA del grupo experimental 3.....	181
Tabla 54. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la PSE en el grupo experimental 2 (AF y VJA).....	182

Tabla 55. Resultados de la prueba de Wilcoxon de la PSE tras AF y tras VJA.....	182
Tabla 56. Descriptivos del porcentaje de respuestas correctas post AF y AF+VJA del grupo experimental 3.....	183
Tabla 57. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la PSE en el grupo experimental 3 (VJA y AF+VJA).....	183
Tabla 58. Resultados de la prueba de Wilcoxon de la PSE tras AF+VJA y VJA.....	184
Tabla 59. Descriptivos del porcentaje de respuestas correctas post AF+VJA y VJA del grupo experimental 3.....	184
Tabla 60. Características de los participantes del Estudio 3.....	209
Tabla 61. Estadísticos descriptivos y de normalidad pre y post del TRC en las dos condiciones experimentales del estudio 3 (AF y AF+VJA).....	212
Tabla 62. Puntuaciones pre-tratamiento antes de AF y antes de AF+VJA.....	213
Tabla 63. Puntuaciones pre y post tratamiento en la realización de AF.....	214
Tabla 64. Puntuaciones pre y post tratamiento en la realización de AF+VJA.....	216
Tabla 65. Comparación de las puntuaciones post tratamiento del TRC tras la realización de AF y AF+VJA.....	218
Tabla 66. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la PE en el estudio 3 (AF y AF+VJA).....	218
Tabla 67. Comparación de las puntuaciones post tratamiento de la PE tras la realización de AF y AF+VJA.....	219
Tabla 68. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la FC del estudio 3 (AF y AF+VJA).....	220
Tabla 69. Comparación de las puntuaciones post tratamiento de la FC tras la realización de AF y AF+VJA.....	220

ÍNDICE ABREVIACIONES

AF: Actividad física

AF+VJA: Actividad física combinada con videojuego activo

AMS: Área motora suplementaria

BDNF: Factor neurotrófico derivado del cerebro

CB: Contra balanceo

CE: Condición experimental

CPF: Corteza pre frontal

CRC: Capacidad de reserva cerebral

DT: Desviación típica

EEG: Electroencefalograma

EMG: Electromiografía

F: Distribución de probabilidad continua

FC: Frecuencia cardíaca

FC_{Máx.}: Frecuencia cardíaca máxima

FFEE: Funciones ejecutivas

fMRI: Imagen por resonancia magnética funcional

GI: Grados de libertad

M1: Área motora primaria

M: Media

M.C: Media Cuadrática

min: Minuto

MLG: Modelo lineal general

ms: Milisegundos

PE: Percepción de esfuerzo

PP: Potencial preparatorio

ppm: Pulsaciones por minuto

RP: Rango porcentual

s: Segundos

SC III: Tipo tres de suma de cuadrados

Sig.: Significación estadística

SNC: Sistema nervioso central

T: Muestra de valores normales

TR: Tiempo de reacción

TRS: Tiempo de reacción simple

TRC: Tiempo de reacción complejo

TRM: Tiempo de reacción motórico

VB: Valor bruto

VJA: Videojuego activo

VJC: Videojuego convencional

VPI: Velocidad de procesamiento de la información

VO_{2Máx.}: Consumo máximo de oxígeno

WCST: Winsconsin Card Sorting Test

Z: Estadístico de prueba

λ : Lambda de Wilks

η^2 : Eta parcial al cuadrado

$1 - \beta$: Potencia observada

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1. Actividad física y neurociencia cognitiva.

Constantemente estamos rodeados de estímulos que aparecen y desaparecen con rapidez, pero que han de ser procesados para una adecuada adaptación al entorno. La capacidad de detectarlos y emitir respuestas rápidas cobra una enorme relevancia para obtener un alto rendimiento deportivo. Siempre que practicamos actividad física, multitud de factores relacionados y dependientes entre sí, determinan el grado o nivel del rendimiento alcanzado (Matveiev, 1985; Nitsch et al., 2002; Platonov, 1988). Actualmente, existen indicadores fisiológicos que nos ayudan a valorar de forma objetiva las respuestas de nuestro organismo frente a un ejercicio físico específico: la frecuencia cardíaca (FC) y su variabilidad, la ventilación pulmonar, la sudoración, la temperatura corporal, el nivel de lactato en sangre, la activación muscular, etc. Gracias a estos indicadores podemos obtener información sobre nuestro estado de forma actual y así utilizarlo como punto de referencia para valorar nuestro rendimiento y reajustar las cargas del entrenamiento. También existen otras variables genéticas, sociales, ambientales, etc., que afectan directamente al rendimiento deportivo: las características antropométricas y el metabolismo de cada atleta, la temperatura y la humedad en el ambiente, la presión atmosférica, el viento, etc. Sin embargo, las variables relacionadas con las funciones cognitivas, todavía poseen un carácter más subjetivo debido a la falta de conocimiento y evidencia científica.

La psicología cognitiva demuestra que los procesos mentales pueden inferirse y ser estudiados de forma científica a través de medidas indirectas obtenidas en experimentos cuidadosamente diseñados para tal fin. Ciertas variables dependientes como el tiempo de reacción complejo (TRC) o el rendimiento en las tareas planteadas, constituyen valiosas fuentes de evidencia científica que arrojan luz sobre las funciones cognitivas que intervienen. Poco a poco, se ha ido acumulando un volumen impresionante de datos que verifican o refutan distintas hipótesis planteadas por diferentes autores, y que son explicados desde diferentes modelos teóricos que pretenden describir el funcionamiento de la mente humana en sus diversos componentes.

Paralelamente, desde la neurociencia, el estudio de las lesiones cerebrales y sus efectos sobre las funciones cognitivas, ha ayudado a entender mejor el funcionamiento del cerebro y la mente. Los datos procedentes de las técnicas de neuroimagen, son en realidad nuevas variables dependientes que añaden valor a las ya disponibles. La

neurociencia cognitiva constituye un campo científico relativamente reciente que surge de la convergencia de estas dos disciplinas que, hasta hace escasas décadas, habían transitado por caminos distanciados: la neurociencia y la psicología cognitiva. Cada una de ellas cuenta con su propia tradición investigadora, sus métodos y sus técnicas de trabajo específicas, y las dos han acumulado notables progresos teóricos y empíricos que, llegados a este punto de madurez epistemológica, se pueden compaginar de forma enriquecedora y sinérgica. La neurociencia cognitiva aborda el estudio del funcionamiento cerebral incidiendo en distintos planos de análisis en un orden de complejidad ascendente. Comprende el nivel molecular, celular, sistémico, conductual y cognitivo.

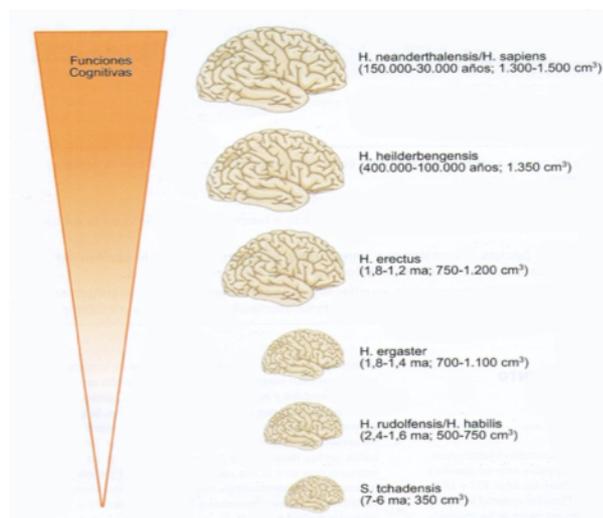


Figura 1. Representación esquemática del incremento del volumen cerebral en el transcurso de la evolución homínida. Se muestran algunos representantes de diferentes especies pertenecientes a la familia "Hominidae", con su volumen cerebral aproximado y el potencial de las funciones cognitivas. ma: millones de años. Extraído de Redolar et al., (2015).

Este estudio trata abordar el problema de investigación únicamente desde el análisis cognitivo, el cual corresponde, en parte, a la comprensión de los mecanismos neurales que hacen posible el análisis del TRC, las funciones ejecutiva (FFEE) y la percepción de esfuerzo (PE). El objetivo principal consiste en valorar los efectos agudos provocados por diferentes tipos de actividad física aeróbica sobre dichos procesos cognitivos.

Una distinción que se suele utilizar para contrastar la psicología cognitiva y la neurociencia es similar a la que sucede entre el "software" y el "hardware" en un sistema computacional. Un programa informático tiene su propia lógica de funcionamiento, un algoritmo o conjunto de instrucciones simbólicas que son independientes del "hardware" o sistema material sobre el que está implementado. El mismo programa puede

ejecutarse en ordenadores distintos y contruidos con materiales diversos, y la naturaleza del “*hardware*” no informa de nada acerca de las instrucciones del programa. Dicho de otra forma: “*Un jaque mate es el mismo con piezas de ajedrez de plástico o de madera, y la naturaleza del material de éstas últimas no informa sobre las reglas y el funcionamiento del ajedrez*”. Esta visión simplista, heredera de los primeros enfoques del procesamiento de la información, ha conducido a creer que el estudio de la neuroanatomía del cerebro carece de valor informativo sobre la función cognitiva. Por ejemplo, Harley (2004) y Coltheart (2004) ponen en cuestión el valor de los registros suministrados por técnicas electrofisiológicas y de neuroimagen, y se preguntan si alguna vez este tipo de datos ha servido para progresar teóricamente entre los modelos cognitivos actuales. Sin embargo, los últimos avances ponen de relieve que el enfoque multidisciplinar de la neurociencia cognitiva es enriquecedor y abre nuevas posibilidades, como así lo reconoce la mayor parte de la comunidad científica. Así lo corrobora el incremento exponencial de publicaciones de corte neurocognitivo durante los últimos años. Siguiendo a Richard Henson (2005) y a muchos otros autores, puede considerarse que ambas aproximaciones son complementarias, antes que excluyentes.

Por otra parte, la experiencia ha demostrado que el enfoque cognitivo convencional del procesamiento de la información resulta insuficiente para caracterizar toda la complejidad del funcionamiento mental. En la actividad cerebral no cabe una separación tan nítida como en un ordenador entre el “*software*” y el “*hardware*”, y su naturaleza computacional es fundamentalmente paralela, íntimamente enraizada en las redes neuronales. Cuando los científicos reacios a la utilidad de las neuroimágenes las asimilan al “*hardware*” cerebral, que no dice nada acerca del “*software*” funcional, olvidan, en palabras de Henson (2005), que las imágenes funcionales proporcionan más información que la del simple “*hardware*”: proporcionan información del funcionamiento sobre la distribución espacial de los procesos que ocurren mientras el “*software*” está en funcionamiento. Tampoco es cierto que la naturaleza material de los procesos no sea informativa sobre el funcionamiento de éstos. Así, una teoría psicológica podría postular que el reconocimiento de las caras que observamos se basa en un mecanismo de comparación serial entre el estímulo sensitivo de entrada (o una abstracción de este) y las representaciones faciales almacenadas en la memoria. Según Henson (2005), la consideración del tiempo mínimo de procesamiento de las neuronas (decenas de milisegundos) excluye esta posibilidad y sugiere que tal algoritmo secuencial sería incompatible con el número de rostros que cada individuo es capaz de reconocer y el tiempo típico que requiere la identificación de un rostro (centenas de milisegundos).

Existen innumerables ejemplos en los que el “*dónde*” sí dice cosas sobre el “*cómo*” de la función cognitiva.

De forma recíproca, la psicología cognitiva enriquece y guía a la neurociencia en el planteamiento de las cuestiones pertinentes que deben de ser abordadas y respondidas, a la vez que contribuye a la interpretación teórica de los datos que se obtienen. La neurociencia cognitiva no es el mero estudio anatómico y fisiológico del cerebro, sino que busca encontrar la base material de los procesos cognitivos y emocionales que operan en el funcionamiento de nuestras vidas. En este sentido, la psicología cognitiva cuenta con un arsenal de herramientas y un valioso conjunto de observaciones y modelos teóricos que intentan explicar la actividad mental y la conducta humana. Así, algunos trabajos muestran que al leer el verbo acción como “coger” se activan, además de las áreas del lenguaje, las zonas motoras que representan a la mano; el verbo “besar” activa las áreas del rostro, y verbos como “chutar”, las áreas del pie (Hauk, Johnsrude y Pulvermüller, 2004; Pulvermüller y Fadiga, 2010; Pulvermüller, Shtyrov, y Ilmoniemi, 2005). Todos estos son claros ejemplos de que conocer el “*dónde*” de las activaciones cerebrales proporciona pistas sobre el *cómo* de los procesos mentales y su naturaleza íntima, y ése es el camino para los próximos años.

En este primer apartado introductorio, podemos concluir que para tratar de valorar los efectos de la actividad física sobre las funciones cognitivas, es indispensable contar con la contribución de la psicología cognitiva con el objetivo de ser capaces de formular las preguntas correctas e interesantes y, al mismo tiempo, responderlas enmarcando conceptualmente los datos que ofrece la neurociencia.

1.1.2. Teoría de la reserva cognitiva y actividad física.

La “*reserva*” es la capacidad del cerebro para afrontar los cambios cerebrales producidos por el envejecimiento normal o por un proceso neuropatológico, que contribuye a disminuir sus manifestaciones clínicas. Es una capacidad dinámica e inestable del cerebro que cambia y permanece durante toda la vida (Meng y D’Arcy, 2012). Según la teoría de la “*reserva cognitiva o cerebral*”, ésta modularía la relación entre las lesiones cerebrales y sus manifestaciones clínicas, limitando el impacto negativo de estas lesiones en la función cognitiva. Cualquier daño cerebral puede causar déficits cognitivos en una persona, pero no en otra. Uno de los pioneros en este campo fue Birren, quien en 1959 informaba sobre una serie de cambios que aparecían en el envejecimiento y que no tenían ninguna relación con las diferencias individuales. Este tipo de cambios no eran los mismos en todos los sujetos ni tenían porqué aparecer

con la misma intensidad. Birren señalaba que algunas personas mostraban un envejecimiento “más saludable” que otras.

La reserva cognitiva, o la habilidad del cerebro para tolerar mejor los efectos del envejecimiento, puede ser el resultado de una habilidad innata o de los efectos de las experiencias vividas, tales como la educación o la ocupación laboral (Manly, Schupf, Tang y Stern, 2005). Siguiendo esta línea, la reserva cognitiva se considera como un mecanismo activo basado en la aplicación de los recursos aprendidos gracias a una buena educación, profesión, actividad física e inteligencia pre-mórbida (Stern, Albert, Tang y Tsal, 1999).

Los estudios de Dennis, Spiegler y Hetherington (2000), entienden que la reserva cerebral se refiere al tejido del SNC disponible para el cambio adaptativo, o la plasticidad en respuesta a los eventos normales y anormales ocurridos durante toda la vida. Mientras que la reserva cognitiva se relaciona con la inteligencia, la cual se usa para definir la capacidad adaptativa, la eficiencia y la flexibilidad en la resolución de problemas a través de varios dominios, presentándose desde la educación y la experiencia. La reserva cerebral y la cognitiva interactúan entre ellas, por ejemplo, una mayor reserva cognitiva, entendida como las estrategias y habilidades conseguidas gracias a un alto nivel educativo, de actividad física y ocupacional, hace tener un mayor número de neuronas y densidad sináptica. Otros autores sugieren el término “reserva cerebral” para hablar de ideas más pasivas de reserva, basándose en características propias del individuo tales como el tamaño cerebral, el número de neuronas o la densidad sináptica que ayudan a compensar posibles enfermedades degenerativas del sistema nervioso central (SNC). Los mecanismos por los cuales se establece la reserva cerebral de cada individuo pueden estar genéticamente determinados, como en el caso del tamaño cerebral, la inteligencia innata y las enfermedades hereditarias (Carnero-Pardo, 2000).

El concepto de reserva cerebral o neuronal se ha desarrollado como posible explicación para el hecho de que no existe una relación directa entre el grado de patología cerebral y los síntomas clínicos (Stern, 2002). La hipótesis de la reserva cerebral asume que tanto la inteligencia innata como las experiencias de la vida (educación, actividad física, etc.) pueden proporcionar una reserva en la forma de habilidades cognitivas que permiten a algunas personas tolerar mejor que a otras los cambios patológicos del cerebro. Esto ha llevado a que Satz (1993), proponga el término de “*capacidad de reserva cerebral*” (CRC) como un constructo hipotético que puede ser considerado en términos de tamaño cerebral o en términos de relaciones anatómicas y

funcionales, tratándose como un concepto que se relaciona con la conducta adaptativa. En el cerebro, esta reserva se implementa a través de redes que, ante una tarea de alta demanda cognitiva, serán más eficientes y tendrán más capacidad. La “*capacidad*” se refiere al grado de activación neuronal que una red específica alcanza para realizar una determinada tarea. La capacidad máxima de una red específica se evidenciará cuando la activación de esta red vaya aumentando en función de la demanda de la tarea, hasta llegar a un punto a partir del cual el aumento de la dificultad de la tarea no producirá aumento en la actividad neuronal, y esto se verá reflejado en la ejecución. Así, una misma red podría ser utilizada para diferentes niveles de dificultad de una tarea específica y, en un punto determinado, los individuos con mayor reserva podrán utilizarla para demandas más altas de estas tareas, y los de menor reserva no podrán hacerlo. La “*eficiencia*” se refiere a la habilidad de realizar una tarea de manera óptima utilizando la cantidad menor de recursos disponibles. Según este concepto, si se compara la realización de una tarea específica por parte de individuos con alta y baja reserva, los primeros activarán menos las áreas asociadas a esta tarea ejecutando la tarea igual o mejor que los individuos de baja reserva, porque necesitan menos recursos cerebrales.

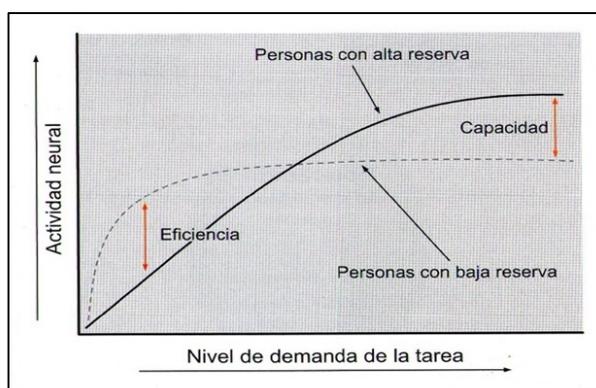


Figura 2. Características de la eficiencia y la capacidad (reserva neural) propuesta por Yaakov Stern (2002).

Cuando la demanda de la tarea es baja, las personas con alta reserva mostrarán una menor activación neuronal que aquellas con menos reserva, es decir, para realizar esta tarea necesitan menos recursos cerebrales. Sin embargo, esta observación se invierte cuando la demanda de la tarea es alta, ya que en las personas con alta reserva se evidenciará una activación neuronal mayor en función del aumento de la demanda, mientras que en aquellas con baja reserva se excederá la capacidad máxima de la red específica, de manera que no podrán responder el aumento de la demanda de la tarea con un aumento en la actividad neuronal. Extraído de Redolar et al., (2015).

Se han propuesto dos mecanismos subyacentes a la reserva cerebral o cognitiva. La “*reserva neural*” hace referencia a la utilización de estrategias cognitivas preexistentes en forma de redes neuronales o paradigmas cognitivos para enfrentarse a las demandas de una tarea. Estas redes neuronales que se utilizan serían más

eficaces y flexibles y menos susceptibles al daño cerebral. Se considera que la reserva neural engloba a la normalidad de la respuesta al incrementar la demanda de la tarea: puede implicar un reclutamiento diferencial de la misma red neural y/o un reclutamiento alternativo de redes cuando la capacidad de la red original se haya excedido. Por otro lado, la “*compensación neural*” es la utilización de nuevas redes neuronales compensatorias después de que la enfermedad haya impactado en aquellas redes que los individuos utilizan normalmente para resolver las tareas determinadas.

Existen diferentes variables para tratar de valorar la reserva cerebral de cualquier individuo. Las características referidas al potencial anatómico del cerebro (reserva cerebral) como el tamaño cerebral, el número de neuronas y la densidad de las sinapsis, los factores genéticos, que se han asociado con determinados perfiles cognitivos, y también las variables educativas, ocupacionales y relacionadas con las actividades físicas y sociales. El concepto de “*reserva*” ha sufrido cambios o actualizaciones en su conceptualización a lo largo de los años, existiendo actualmente una disociación teórica que refleja, más allá de una clasificación excluyente, dos perspectivas metodológicas o modelos teóricos interrelacionados para el estudio de la reserva.

Tabla 1. Resumen conceptos básicos del modelo pasivo y modelo activo de la reserva. Extraído de Redolar et al. (2015).

MODELO PASIVO	MODELO ACTIVO
Medidas de reserva: anatómicas, número de neuronas, tamaño cerebral, densidad sináptica.	Medidas de reserva: educación, ocupación, actividades físicas, actividades de ocio.
Características: diferencias interindividuales en la tolerancia a los cambios cerebrales antes de que los déficits clínicos emerjan.	Características: diferencias interindividuales en la utilización de procesos cognitivos preexistentes y redes cerebrales de forma efectiva (reserva neural).
Implicaciones: fase preclínica más larga antes de que se sobrepase el umbral crítico, evolución más rápida una vez realizado el diagnóstico.	Implicaciones: las situaciones estimulantes a lo largo de la vida permite desarrollar la capacidad para tolerar los cambios cerebrales.
Técnicas de neuroimagen: resonancia magnética anatómica.	Técnicas de neuroimagen: resonancia magnética funcional.

El “*modelo pasivo*” habla de una reserva cerebral fundamentada en factores genéticos y en características anatómicas cerebrales, como el mayor número de neuronas o la mayor densidad sináptica. El volumen de sustancia gris determina la capacidad de reserva cerebral y por lo tanto, prolonga el estado preclínico de la patología. Utiliza la neuroimagen como herramienta para detectar los cambios cerebrales y no tiene en cuenta el procesamiento cognitivo o funcional. La hipótesis pasiva o “*hardware*” postula que los cerebros grandes toleran más daño antes de

mostrar una disfunción porque al tener un mayor número de neuronas sanas o puntos de contacto entre dos células nerviosas sanas significa que queda un mayor número de ellas disponibles cuando se afectan por un proceso patológico (Katzman et al., 1988).

El “*modelo activo*”, enfatiza que la reserva es cognitiva. Así, entiende la reserva cognitiva como la habilidad individual dinámica para utilizar los procesos cognitivos y redes neuronales de una manera efectiva, que permita disminuir al mínimo el impacto de los cambios asociados al envejecimiento y a los procesos neuropatológicos. La hipótesis activa o “*software*” postula que una mayor reserva cognitiva se manifiesta en un uso más eficaz de las redes cerebrales alternativas, es decir, una habilidad más eficaz para cambiar las operaciones o circuitos alternativos. En este sentido, los años de educación serían un indicador de la habilidad del cerebro para compensar las patologías por medio de un uso de esas redes alternativas (Stern, 2002).

Una vez descritos los modelos de reserva, es importante destacar que esta teoría tiene una gran relevancia ya que proporciona un marco teórico de referencia que permite entender la relación entre determinados cambios cerebrales y el perfil cognitivo. Así, podrán describirse y entenderse mejor los cambios anatómicos y funcionales del cerebro y el impacto diferencial de éstos en los procesos cognitivos relacionando estos hechos con la mayor o menor reserva cerebral. La variabilidad individual de la reserva cognitiva puede derivarse de diferencias genéticas innatas o de experiencias vividas, tales como la educación o formación, experiencias ocupacionales o laborales entre otras (Stern et al., 2003). Según Lee (2003), es necesario tener en cuenta los factores genéticos para comprender la reserva cognitiva, ya que estudios con gemelos sugieren que hay un componente genético importante en la memoria, la inteligencia general y el lenguaje. Se han llevado a cabo estudios que asocian otro tipo de factores socio-ambientales relacionados con la aparición de la demencia, como el lugar de residencia (Yesavage, 1985) y el grado de relaciones sociales, tanto en su cantidad como en su nivel de satisfacción (Mortimer y Graves, 1993; Geerlings et al., 1999). Estas relaciones sociales incrementarían la reserva cognitiva al exigir a los sujetos una mayor y más eficiente capacidad comunicativa así como la participación en tareas complejas que exigen la puesta en marcha de recursos y capacidades cognitivas (Haan et al., 2000).

Por otro lado, son varios los factores que aumentan la reserva cerebral y por tanto retrasan la aparición de los síntomas de demencia en individuos con patología cerebral. Es probable que la reserva cerebral sea multifactorial y esté relacionada con el número de neuronas, la densidad de sus interconexiones y el número y la sofisticación

de sus estrategias para resolver problemas (Mortimer, 1997). Entre estos factores que podrían incrementar la reserva cerebral están un mayor tamaño cerebral y su correlato en el tamaño craneal (Reynolds, Johnson, Dodge, Dekosky y Ganguli, 1999). De hecho, se ha confirmado que son factores protectores para el desarrollo de deterioro cognitivo con o sin demencia. En la misma dirección también se ha descrito que en sujetos con un menor tamaño cerebral el deterioro cognitivo avanza más rápidamente (Graves et al., 1996; Stern et al., 1999).

En la actualidad el estudio de la reserva cognitiva se mueve hacia una aproximación más integradora, en la que se entiende que ésta se debe a un conjunto de factores diferentes, cada uno de los cuales realiza su contribución específica. Estos factores incluyen las capacidades innatas con las que nacemos, los factores socioeconómicos que rodean nuestra infancia, la educación, la actividad física, el puesto de trabajo que desempeñamos, y las subsiguientes actividades de ocio a edad más avanzada. Es importante pensar que la reserva cognitiva no es estable, sino que cambia en el transcurso de nuestra vida. Hay numerosos factores que influyen en el desarrollo y en la trayectoria de las funciones cognitivas. Además de los determinantes genéticos y las exposiciones prenatales, las influencias tempranas incluyen el orden de nacimiento (Belmont y Marolla, 1973), las condiciones materiales domésticas, el ánimo o apoyo de los padres (Douglas, 1964), el crecimiento físico (Richards et al., 2002) y la salud física (Kramer et al., 1995).

La plasticidad de las neuronas permite que la reserva cognitiva se potencie o se mantenga durante la edad adulta (Richards y Sacker, 2003). Los factores asociados con los beneficios cognitivos durante la madurez incluyen la actividad física (Albert et al., 1995; Carmelli et al., 1997; Kramer et al., 1999; Richards et al., 2003), la nutrición (Gale et al., 1996; Jama et al., 1996; La Rue et al., 1997) y el compromiso social e intelectual (Arbuckle et al., 1992; Bassuk et al., 1999). Estos factores están unidos a los determinantes tempranos, de modo que los elementos de riesgo y protección probablemente se acumulan durante la vida. Por ejemplo, la salud física del adulto está influida por la salud en la infancia (Kuh y Ben Shlomo, 1997) así como un estilo de vida activo en el adulto muestra ya antecedentes en la niñez (Kuh y Cooper, 1992). También se han llevado a cabo estudios que revelan la influencia de la clase social y de la ocupación de los padres en las habilidades cognitivas (Feinstein, 2003).

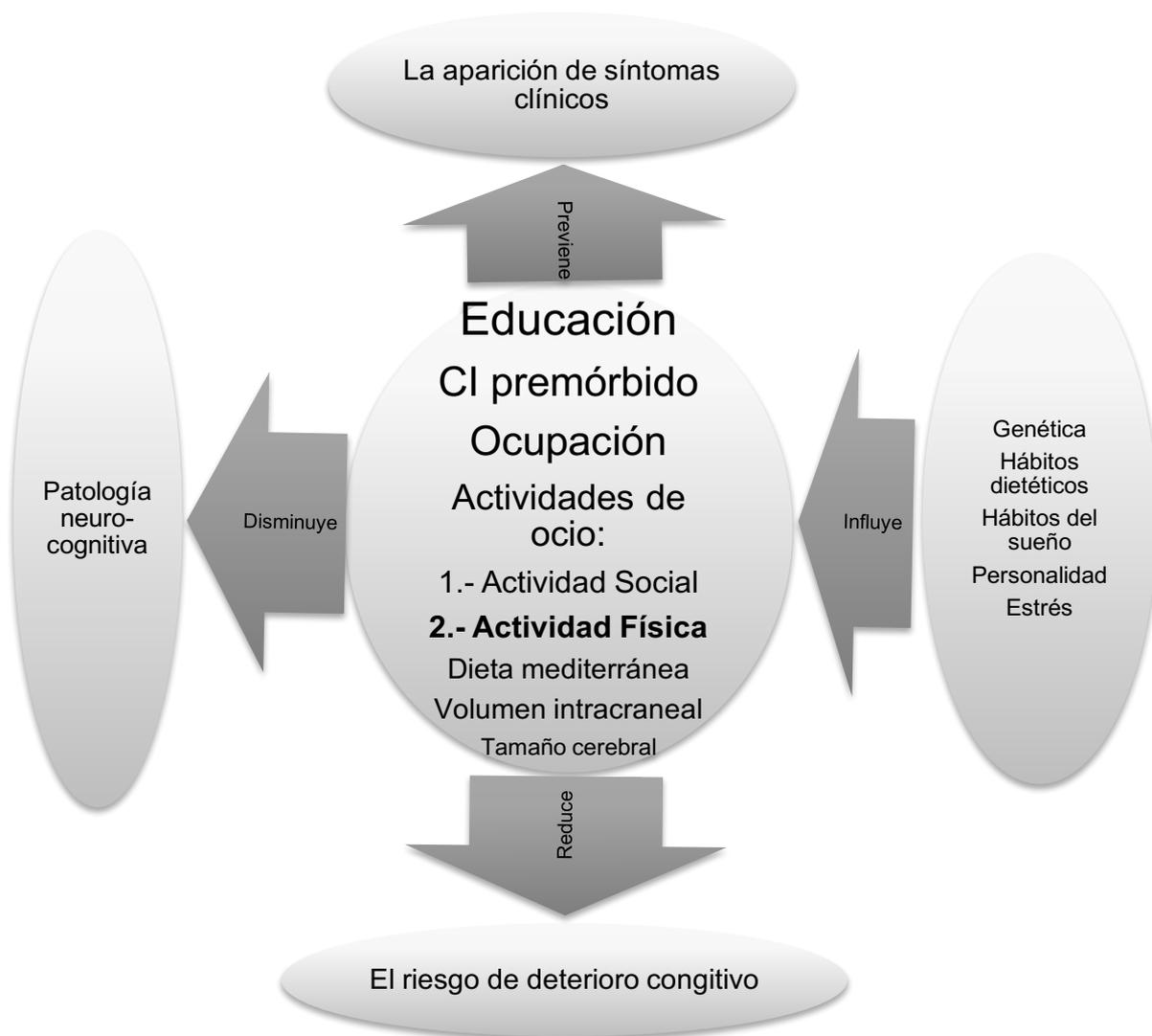


Figura 3. Representación esquemática de las principales variables de la reserva estudiadas. En el centro aparecen las variables que han sido ampliamente estudiadas, entre las que destacan de educación, el coeficiente intelectual (CI) y la actividad física. Extraído de Redolar et al., (2015).

Tradicionalmente se ha utilizado la educación como paradigma para la reserva cognitiva, ya que comprende un conjunto de actividades durante una parte muy crucial de nuestro desarrollo. Aprender a leer y escribir puede cambiar fundamentalmente la arquitectura funcional del cerebro, permitiendo compensaciones activas frente a los cambios relacionados con el envejecimiento (Manly et al., 2003). También el proceso de alfabetización (aprenderlo y usarlo) puede aumentar la densidad de las conexiones nerviosas del cerebro igual que otros factores que forman parte de un “ambiente enriquecido” (Diamond, 1988). Sin embargo, los años de educación no son la mejor representación para el concepto de reserva cognitiva, especialmente cuando se manejan estudios multiculturales, en los que la calidad de la educación varía ampliamente. Esto ha llevado a que recientemente se haya descrito que la cultura es

mejor paradigma que la educación, porque representa mejor lo que la gente ha logrado que la cantidad de tiempo que se ha estado en la escuela (Stern et al., 2004). Por otra parte, el bajo nivel educativo puede estar relacionado con factores que pueden aumentar el riesgo de demencia durante la vida (Mortimer y Graves, 1993). Según Carnero-Pardo (2000), si se considera que la educación conlleva mejoras en la nutrición, mayores niveles de práctica de actividad física, mayor control de las enfermedades infecciosas, menor exposición a conductas de riesgo (drogas, tabaco, alcohol, etc.), la inversión en educación podría ser la forma más eficaz de mejorar la salud física y mental de una sociedad.

Se piensa que la participación en actividades cognitivamente estimulantes contribuye a la reserva cognitiva (Wilson et al., 2003). De hecho, si la reserva cognitiva se basa en el nivel de eficacia y flexibilidad de los sistemas cognitivos, parece probable que el uso frecuente de estos sistemas en tareas que impliquen un reto intelectual estaría asociado con un nivel de reserva cognitiva más alto (Stern, 2002). Un estudio realizado por (Zabar et al., 1996), evaluó el tiempo que un grupo de personas dedicaban a participar en actividades complejas (tocar un instrumento musical, hacer manualidades, etc.) y en actividades básicas (comer, vestirse, etc.), los resultados mostraron que el participar regularmente en actividades complejas frente a las simples reduce en dos años el riesgo de desarrollar demencia. Obviamente, los aspectos culturales diferenciables y la complejidad de este último tipo de actividades hacen que se deba de precisar más que tipo de actividades (simples o complejas) y que durabilidad son necesarias.

En la misma línea, (Fabrigoule et al., 1995) observaron que actividades como viajar, realizar trabajos complejos y tejer estaban asociados con un bajo riesgo de demencia. Aquellos ancianos que tienen más actividades de ocio presentan un 38% menos de riesgo de desarrollar demencia, y el riesgo se reduce un 12% aproximadamente por cada actividad de ocio adoptada (Scarmeas et al., 2001; Scarmeas et al., 2003).

Una de las actividades de ocio más estudiadas es el ejercicio físico. Varios estudios han mostrado una asociación positiva entre la actividad física y el funcionamiento cognitivo en personas mayores (Chodzko-Zajko y Moore, 1994). Uno de los mecanismos por los cuales la actividad física puede ser beneficiosa para la cognición es que dicha actividad estimula los factores tróficos y el crecimiento neuronal, posiblemente proporcionando una reserva contra la degeneración y la demencia (Gómez-Pinilla et al., 1998; Van Praga et al., 1999). Otros autores (Dik et al., 2003),

encontraron en sus estudios una relación importante entre la actividad física en las primeras etapas de la vida, independientemente de la actividad física actual, con la velocidad de procesar información. Esto sugiere que los individuos físicamente activos en las primeras etapas de su vida pueden beneficiarse de ello en términos de una mayor velocidad de procesamiento de la información (VPI) en la vejez. También se ha demostrado que la actividad física mantiene y estimula el flujo sanguíneo cerebral (Rogers et al., 1999) al aumentar la vascularización del cerebro (Dik et al., 2003). Esta situación puede provocar una mejora en la capacidad aeróbica y la llegada de nutrientes al cerebro (Spirduso, 1980; Dustman et al., 1984). Además de los cambios estructurales en el cerebro (reserva cerebral), la actividad física en las primeras etapas de la vida puede aumentar la capacidad funcional del cerebro (reserva cognitiva), al aumentar la eficacia nerviosa (Stern, 2002).

El efecto positivo del ejercicio físico ha sido relacionado con una menor atrofia asociada con la edad en estudios de resonancia electromagnética, incluso con patrones diferenciales de activación, lo que sugiere una mejora en la plasticidad funcional cerebral. Por otro lado, tanto el ejercicio físico como la estimulación cognitiva regulan factores que incrementan la neuroplasticidad y la resistencia a la muerte celular. Por ejemplo, se han encontrado aumentos de volumen cerebral en sustancia gris y sustancia blanca cerebral con el ejercicio aeróbico durante 6 meses por personas mayores, en comparación con personas que no lo realizaron.

Para finalizar este apartado, podemos concluir que involucrarse en actividades voluntarias complejas como la actividad física, mejora la reserva cognitiva. Este hecho podría ser debido a una gran variedad de procesos neurobiológicos, como la activación neuronal crónica, asociada con un aumento del trabajo del cerebro, mejor circulación de la sangre en la zona cerebral y mejor metabolismo de glucosa y oxígeno o incluso a través de una mayor habilidad para la generación de nuevas redes neuronales (Friedland, 1993).

1.1.3. Efectos agudos y crónicos del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo.

El ejercicio físico genera una serie de respuestas agudas y crónicas que promueven condiciones que aumentan el rendimiento cognitivo. Por lo tanto, las investigaciones más relevantes se orientan fundamentalmente a explicar los mecanismos psicológicos que permiten estos efectos y las respuestas y adaptaciones asociadas al ejercicio físico. Según Ratey y Hagerman (2008), los procesos asociados

a la respuesta aguda al ejercicio físico son: incremento del flujo sanguíneo cerebral, incremento de la temperatura y aumento de la disponibilidad de neurotransmisores como la serotonina, la noradrenalina y la dopamina que sabemos que benefician el estado de alerta, la atención o la motivación, factores críticos en el proceso de aprendizaje. Otros estudios indican que el ejercicio físico agudo provoca aumento del nivel de neurotransmisores sinápticos (Chmura et al., 1994; Kashihara et al., 2009). Por ejemplo Sharma et al. (1991) demostraron que los efectos agudos sobre el ejercicio aeróbico, provocaban un aumento de la activación de catecolaminas cerebrales, facilitando su entrada a través de la barrera hematoencefálica, probablemente provocada por aumento de la temperatura corporal inducida por la práctica de actividad física. Se sabe que el ejercicio físico agudo y crónico provoca una sensación de bienestar inducida principalmente por noradrenalina (McMorris et al., 2003), endorfina (Anish, 2005) y dopamina (Goekint et al., 2012; Yanagisawa et al., 2010).

Los efectos agudos del ejercicio sobre el rendimiento cognitivo en diferentes edades se han revisado a través de cuatro meta-análisis (Chang et al., 2012; Etnier, et al., 1997; Lambourne y Tomporowski, 2010; Sibley y Etnier, 2003). Etnier et al. (1997) indicaron que el ejercicio agudo tiene un pequeño efecto positivo significativo en el rendimiento cognitivo ($ES = 0,16$). Sibley y Etnier (2003) evaluaron los efectos del ejercicio agudo sobre el rendimiento cognitivo en niños y sus resultados concluyeron un pequeño efecto significativo ($ES = 0,37$). Una investigación meta-analítica donde se contemplan 53 estudios (McMorris y Beverley, 2012), muestra que los efectos agudos del ejercicio físico producen un pequeño tamaño del efecto significativo ($g = 0,14$, $p < 0,01$) sobre la VPI y la eficiencia. El análisis comparó entre la VPI y la eficiencia mostrando que la VPI representa la mayor parte del efecto. Para la VPI, los efectos agudos producidos por el ejercicio de intensidad moderada demostraron un tamaño del efecto medio significativamente más grande que los de ejercicios de intensidades bajas y altas. Para la VPI durante el ejercicio de intensidad moderada, las tareas ejecutivas centrales mostraron un tamaño del efecto más grande que la memoria operativa y las tareas de alerta / atención. No hubo diferencia significativa entre los tamaños del efecto medio cuando la prueba se llevó a cabo después de realizar ejercicio en comparación con la VPI durante el ejercicio. Se concluyó que el aumento de la excitación durante el ejercicio de intensidad moderada, probablemente debido al aumento de las concentraciones cerebrales de los neurotransmisores dopamina y norepinefrina, daba lugar a una mayor velocidad de procesamiento. Un efecto menor por parte de la eficacia, puede ser debido a la elección de pruebas que no fueron lo suficientemente complejas como para medir los cambios inducidos por el ejercicio en el rendimiento cognitivo.

Tabla 2. Esquema de los estudios realizados acerca de los efectos agudos del ejercicio físico sobre la VPI y la eficiencia. Extraída de McMorris y Beverley, (2012).

Autores	N	Sexo	Edad	Intensidad	Diseño	Test	Momento de prueba	Tamaño del efecto (g) (Intensidad)
Ando et al. (2011)	12	M	25,3 (3,1)	40%, 60%, 80% VO _{2MAX}	CB	Plank	Durante	0,09 (Leve)
Arcelin et al. (1997)	22	M F	23,78 (4,81)	60% MAP	Pre/Post	CRT	Durante	0,59 (Mod)
Audiffren et al. (2009)	16	M F	21,13 (0,87)	90% VT 35min	CB	RNG	Durante y Post	0,47 (Mod)
Bard y Fleury (1978)	16	M	N/R	100% Fatigue	CB	Visual	Post	0,20 (Pesado)
Brisswalter et al. (1995)	10	M	N/R	50% VO _{2MAX} 6min	Pre/Post	SRT	Durante	-1,03 (Mod)
Brisswalter et al. (1997)	20	M	23,50 (1,65)	20%, 40%, 60%, 80% MAP	Pre/Post	SRT	Durante	-1,93 (Leve); -1,53 (Mod); -1,21 (Pesado)
Cereatti et al. (2009)	24	M	15,75 (1,6)	60% HR _{RES}	CB	SVA	Durante	2,35 (Mod)
Coco et al. (2009)	17	M	20,8 (2,21)	Fatigue	Pre/Post	ACT	Post	-0,91 (Pesado)
Coles y Tomporowski (2008)	18	M F	22,2 (1,6)	60% VO _{2MAX} 30min	Pre/Post	Visual	Post	0,11 (Mod)
Collardeau et al. (2001)	11	N/R	26,5 (4,8)	VT 40 y 60min	Pre/Post	CRT	Durante y Post	0,47 (Mod)
Córdova et al. (2009) Test 1	12	F	65,9 (3,6)	60% T _{LA}	Pre/Post	SRT TOH	Post	0,11 (Leve)
Test 2	12	F	63,8 (4,9)	90% T _{LA}				0,49 (Mod)
Test 3	12	F	63,1 (8,7)	T _{LA} 20min				-0,01 (Mod)
Davranche et al. (2005)	12	M F	27 (4)	50% MAP	CB	CRT	Durante	0,56 (Mod)
Davranche y McMorris (2009 ^a)	12	M F	32 (9,0)	VT	CB	Simon	Durante	0,39 (Mod)
Davranche, Hall y Mc Morris (2009 ^b)	14	M F	30 (8)	50% MAP 20min	CB	Flanker	Durante	0,40 (Mod)
Davranche, Audiffren y Denjean (2006)	11	M F	23,9 (3,9)	90%VT 17min	CB	CRT	Durante	1,05 (Mod)
Del Giorno et al. (2010)	30	M F	20,2 (1,1)	75% VT y VT 25min	Pre/Post	WCST	Durante y Post	0,01 (Leve); -0,28 (Mod)
Delignières et al. (1994)	20	M F	23,3 (5,50)	20, 40, 60 80% VO _{2MAX}	Pre/Post	CRT	Durante	0,01 (Leve); 0,22 (Mod); -0,02 (Pesado)
Féry et al. (1997)	13			30% VO _{2MAX} Fatigue				0,04 (Leve); -0,05 (Pesado)
Fontana et al. (2009)	32	M	21,13 (1,62)	40%, 60%, 80% VO _{2MAX}	Pre/Post	SDM	Post	0,26 (Leve); 0,44 (Mod)
Griffin et al. (2011)	30	M	22 (2,0)	100% VO _{2MAX}	Pre/Post	SCT	Post	0,79 (Pesado)
Guizani et al. (2006)	12	N/R	19,10 (2,99)	20%, 40%, 60%, 80% VO _{2MAX} 6min	Pre/Post	SRT CRT	Durante	0,31 (Leve); 0,66 (Mod); 0,36 (Pesado)
Heckler y Croce (1992)	18	F	38,2 (6,1)	70% HR _{MAX} 20min	CB	Arithm.	Post	0,60 (Mod)
Hillman et al. (2009)	20	M F	9,6 (0,7)	65% HR _{MAX} 20min	Pre(Post)	Flanker	Post	1,34 (Mod)
Hogervorst et al. (1996)	15	M	24,9 (7,9)	75% W _{MAX}	Pre/Post	SRT CRT SCT	Post	0,28 (Mod)
Joyce et al. (2009)	10	M F	23 (2)	40% MAP 30min	CB	Stop-signal	Durante y Post	0,35 (Mod)
Kamijo et al. (2004a)	12	M	22-23	Fatigue	Random	Nogo/go	Post	-0,07 (Pesado)
Kamijo et al. (2004b)	12	M	22-23	Fatigue	CB	SRT	Post	-0,07 (Pesado)
Kamijo et al. (2009)	24	M	21,8/65,5	30%, 50% VO _{2MAX} 20min	CB	Flanker	Post	-0,13 (Leve); 0,77 (Mod)
Kashihara y Nakahara (2005)	6	M	23,5 (0,6)	T _{LA} 10min	CB	CRT	Post	0,89 (Mod)

Lambourne et al. (2010)	19	M F	21,37 (0,92)	90% VT 40min	CB	PASAT	Durante y Post	-0,15 (Mod)
McMorris y Graydon (1996a)	20	M	21,10 (1,65)	70%, 100%, W_{MAX}	Pre/Post	SDM	Durante	0,57 (Mod); 0,80 (Pesado)
McMorris y Graydon (1996b) Exp. 1.	10	M	N/R	70%, 100%, W_{MAX}	Pre/Post	SDM	Durante	0,39 (Mod); 0,82 (Pesado)
McMorris y Graydon (1996b) Exp. 2.	20	M	N/R	70%, 100%, W_{MAX}	Pre/Post	SDM	Durante	0,18 (Mod); 0,43 (Pesado)
McMorris y Graydon (1997) Exp. 1.	12	M	20,80 (1,34)	70%, 100%, W_{MAX}	Pre/Post	Visual	Durante	0,05 (Mod); 0,64 (Pesado)
McMorris y Graydon (1997) Exp. 2.	12	M	20,80 (1,78)	70%, 100%, W_{MAX}	Pre/Post	SDM	Durante	0,28 (Mod); 0,38 (Pesado)
McMorris et al. (2006)	12	M	21,04 (2,12)	T_{LA}	CB	SDM	Post	0,21 (Mod)
McMorris et al. (2009)	24	M	24,32 (7,1)	50%, 80% W_{MAX}	CB	Flanker	Durante	0,78 (Mod); - 1,30 (Pesado)
McMorris y Keen (1994)	12	M F	18-22	70%, 100%, W_{MAX}	Pre/Post	SRT	Durante	-0,20 (Mod); - 0,70 (Pesado)
McMorris et al. (1999)	9	M	22,0 (2,4)	$T_E W_{MAX}$	Pre/Post	SDM	Durante	0,47 (Mod); 0,70 (Pesado)
McMorris et al. (2003)	9	M	22,2 (2,10)	70%, 100% W_{MAX}	Pre/Post	NC-CRT	Durante	0,16 (Mod); 0,34 (Pesado)
McMorris et al. (2000)	12	M	20,00 (2,00)	$T_E W_{MAX}$	CB	SDM	Post	-0,14 (Mod); - 0,21 (Pesado)
O'Leary et al. (2011)	36	M F	21,8 (1,6)	60% HR_{MAX} 20min	CB	Flanker	Post	0,05 (Leve)
Ozyemisci-Taskiran et al. (2008)	11	N/R	N/R	70% HR_{MAX} 20min	Pre/Post	ERT	Post	0,53 (Mod)
Pesce y Audiffren (2011)	100	M F	16-24 y 65-74	60% HR_{RES} 20- 24min	CB	CRT	Durante	1,13 (Mod)
Pesce et al. (2002)	16	M F	19-40	60% VO_{2MAX}	CB	SVA	Durante	1,30 (Mod)
Pesce et al. (2007b)	48	M	16-19	60% HR_{RES}	CB	SVA	Durante	1,15 (Mod)
Pesce et al. 2004)	42	M F	22,20 (4,25)	60% HR_{RES}	CB	SVA	Durante	0,89 (Mod)
Pesce et al. (2003)	16	M F	19-40	60% VO_{2MAX}	CB	SVA	Durante	1,17 (Mod)
Pesce et al. (2007a)	25	M F	66,25 (4,65)	60% HR_{RES}	CB	SVA	Durante	0,15 (Mod)
Pontifex y Hillman (2007)	41	M F	20,2 (1,6)	60% VO_{2MAX} 6.5min	CB	Flanker	Durante	0,01 (Mod)
Stroth et al. (2009)	33	M F	14,2 (0,5)	60% HR_{MAX} 20min	Random	Flanker	Post	0,96 (Leve)
Themanson y Hillman (2006)	28	M F	20,35 (2,05)	83% HR_{MAX} 30min	CB	Flanker	Post	-0,15 (Mod)
Yanagisawa et al. (2010)	20	M F	21,5 (4,8)	50% VO_{2MAX}	CB	SCT	Post	2,14 (Mod)

Estos resultados afectan claramente a la generalización de las conclusiones y dan lugar a la exclusión de numerosos estudios realizados en otras edades y componentes que puedan contribuir a nuestra comprensión de los efectos del ejercicio agudo sobre el rendimiento cognitivo. Por lo tanto, continuamos realizando una revisión actualizada de la bibliografía existente sobre los efectos agudos del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo.

Chang et al. (2012) realizaron otro meta-análisis de 79 estudios que valoran los efectos agudos del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo. En esta revisión se contemplan todas las edades y moderadores posibles. Los investigadores generalmente han concluido que hay un pequeño efecto positivo del ejercicio físico sobre le

rendimiento cognitivo. De acuerdo con resultados anteriores, los análisis indicaron que el efecto general fue positivo pero pequeño ($g=0,097$; $n=1,034$). También se encontraron efectos positivos y pequeños en los tres paradigmas de ejercicio: durante el ejercicio ($g=0,101$; 95% intervalo de confianza; 0,041 hasta 0,160), inmediatamente después del ejercicio ($g=0,108$; IC del 95%; 0,069 - 0,147) y después de un retraso ($g=0,103$; IC del 95%; 0,035 - 0,170). Otros análisis indicaron que la duración del ejercicio, la intensidad del ejercicio, el tipo de rendimiento cognitivo evaluado y el estado de forma física fueron significativos moderadores. En términos generales podemos concluir que los efectos del ejercicio agudo en el rendimiento cognitivo son pequeños. Sin embargo, los autores sugieren que es posible encontrar un efecto agudo más significativo sobre el rendimiento cognitivo cuando se utilizan parámetros específicos más complejos (tipo de ejercicio, tiempo de ejecución/recuperación, intensidad del esfuerzo, el entorno, etc.).

Lambourne y Tomporowski (2010) también realizaron a una revisión meta-analítica ($n=40$), en la que se incluyeron los estudios que evaluaron los efectos agudos en adultos jóvenes sanos, valorando el rendimiento cognitivo antes del ejercicio, durante el ejercicio y después del ejercicio. Sus resultados indicaron que el ejercicio tuvo un efecto perjudicial sobre el rendimiento cognitivo durante el ejercicio ($d=-0,14$), pero encontraron una mejora de rendimiento cognitivo después del ejercicio ($d=0,20$). En cuanto a la variable ejercicio físico, las variables moderadoras más relevantes fueron: la intensidad y la duración del ejercicio, el momento de la administración de tareas cognitivas, el tipo de ejercicio, el tipo de tarea cognitiva y el diseño del estudio. Los estudios en este análisis fueron separados en subgrupos basados en los tres paradigmas particulares que se utilizaron (durante el ejercicio, inmediatamente después del ejercicio y después de un retraso de más de 1 min).

Tabla 3. Esquema de los estudios realizados acerca de los efectos agudos sobre las funciones cognitivas, durante y después de hacer ejercicio físico. Extraída de Lambourne y Tomporowski (2010).

Autores	N	Diseño	Sexo	Tipo Ejercicio	Duración Ejercicio	Demanda Ejercicio	Efectos	Test y Momento	Rango ES
Aks (1998)	16	NC	M F	Pedalear	10min	U-invertida	2	Visual	0,14-0,23
Al-Nimer y Al-Kurashy (2007)	14	NC	M F	Pedalear	6min	Estable	4	TRC, CFF	-0,17-0,38
Ando et al. (2005)	9	NC	M	Pedalear	21min	Fatiga	1	TR	0,04
Audiffren et al. (2008)	17	NC	M F	Pedalear	40min	Estable	3	TRC	-0,27- -0,18
Bard y fleury (1978)	16	NC	M	Pedalear	16-19min	Fatiga	6	Visual, Bassin	-0,01-0,39
Bender y McGlynn (1976)	10	NC	M	Correr	12min	U-invertida	3	TR	-0,16-0,13
Coles y Tomporowski (2008)	18	NC	M F	Pedalear	40min	Estable	6	ST	-0,05-0,30

Collardeau et al. (2001)a,b	11	NC		Correr	90min	Fatiga	1	TR	0,25
Collardeau et al. (2001a, b)	8	NC		Correr	100min	Fatiga	2	TR, TRC	-0,12-0,10
Cote et al. (1992)	17	NC	M	Pedalear	Agotamiento	Fatiga	2	TR	0,40-0,51
Crews (1979)	10	NC	M	Correr	3-30min	Fatiga	3	TR	-0,47- -0,06
Davranche y Pichon (2005)	7	C	M	Pedalear	Agotamiento	Fatiga	2	CFF	0,33-0,49
Ferris et al. (2007)	15	NC	M F	Pedalear	30min	U-invertida	9	Stroop	0,10-0,60
Fleury et al. (1981a, b)	15	NC		Pedalear	45min	Estable	2	Coincidence	0,37-0,39
Godefroy et al. (2002)	6	NC	M	Correr	Agotamiento	Fatiga	8	CFF	-0,17- 0,78
Gondola (1985)	19	NC	M F	Correr	20min	Estable	2	OC, AU	0,57-0,98
Hogervorst et al. (1996)	15	NC	M	Pedalear	60min	Fatiga	7	Stroop, TR, TRC, DRT, Finger Tap	0,12-0,37
Jette et al. (1988)	100	NC	M	Correr	20min	Fatiga	4	TR	-0,04-0,24
Kashihara y Nakahara (2005)	14	C	M	Pedalear	10min	Estable	5	TRC	0,24-1,2
Kruk et al. (2001)	9	NC	M	Pedalear	Agotamiento	Fatiga	6	TRC	-1,89-0,27
McGlynn et al. (1977)	15	NC	M	Correr	12min	U-invertida	2	Line Matching	-0,42- -0,08
McGlynn et al. (1979)	15	NC	F	Correr	12min	U-invertida	2	Line Matching	0,16-0,46
Pontifex y Hillman (2007)	41	C	M F	Pedalear	12min	Estable	1	Flanker	-0,81
Presland et al. (2005)	15	NC	M	Pedalear	Agotamiento	Fatiga	4	CFF	-0,05- 0,26
Reilly y Smith (1986)	10	NC	M	Pedalear		U-Invertida	5	Pursuit rotor	-0,98-0,44
Shanmugam y Narayanan (1973)	20	NC		Pedalear	10-20min	Fatiga	10	CFF, spiral after, TR, TRC, DRT	-0,07- 1,07
Serwah y Marino (2006)	8	NC	M	Pedalear	52min	Fatiga	3	TRC	0,66-0,96
Sjoberg (1977)	25	NC	M	Pedalear	90min	U-invertida	3	TR, TRC	0,02-0,50
Themanson y Hillman (2006)	28	C	M F	Correr	30min	Estable	1	Flanker	-0,15
Tomporowski et al. (2005)	19	NC	M F	Pedalear	40-120min	Estable	2	PASAT	0,29-0,36
Tomporowski y Ganio (2006)	22	C	M F	Pedalear	40min	Estable	10	Switch task, BP	0-0,36
Vercruyssen et al. (1989)	11	NC	M	Pedalear		Estable	1	Tiempo estimado	0,08
Yagi et al. (1999)	24	NC	M F	Pedalear	10min	Estable	2	TR	-0,18- -0,13
Ziemba et al. (1999)	15	NC	M	Pedalear	Agotamiento	Fatiga	6	TRC	-0,55-0,63

Como describiremos posteriormente, los efectos agudos del ejercicio físico sobre las FFEE en los niños y los adultos mayores, han sido explorados. Esto puede ser especialmente relevante debido a que los efectos más grandes de ejercicio crónico pueden ser observados en niños y adultos mayores (Angevaren et al, 2008;. Colcombe y Kramer, 2003; Etnier et al., 1997; Sibley y Etnier, 2003; Smith et al., 2010). Debido a la existencia de un mayor número de estudios que tratan de analizar los efectos

crónicos, no podemos afirmar si este patrón de resultados también se aplicaría en el caso de los efectos agudos provocados por el ejercicio físico en estas mismas edades.

La intensidad del ejercicio es un moderador que con frecuencia se ha considerado en los estudios que valoran los efectos agudos. En particular, la hipótesis de la "U invertida" (Landers, 1980; Oxedine, 1970) predice que el ejercicio de intensidad moderada tendrá los mayores beneficios, mientras que otras teorías sugieren que se observarán los mayores efectos en altas intensidades. Es evidente al considerar mecanismos tales como la FC, las catecolaminas, y el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), que el nivel de intensidad del ejercicio es importante para determinar la cantidad de cambios que se producirán en estos mecanismos fisiológicos y esto puede ser importante para la predicción de los efectos en el comportamiento. El BDNF segregado como consecuencia del ejercicio físico es muy importante porque:

- Mejora la plasticidad sináptica, es decir, fortalece las conexiones neuronales que garantizan el aprendizaje. Cuando se bloquea esta molécula en ratones, se eliminan los beneficios cognitivos de la actividad física (Vaynman et al., 2004).
- Aumenta la neurogénesis en una región imprescindible para la formación de la memoria: el hipocampo. Este proceso de formación de nuevas neuronas, que ya se había comprobado en otros mamíferos, facilita los procesos cognitivos (Pereira et al., 2007).
- Aumenta la vascularidad cerebral. El aumento de sangre en las neuronas permite la llegada de toda una serie de nutrientes que mejoran su funcionamiento. Este proceso en el que intervienen también otros factores de crecimiento como el IGF-1 o el VEGF está directamente relacionado con la neurogénesis (Van Praag, 2009).

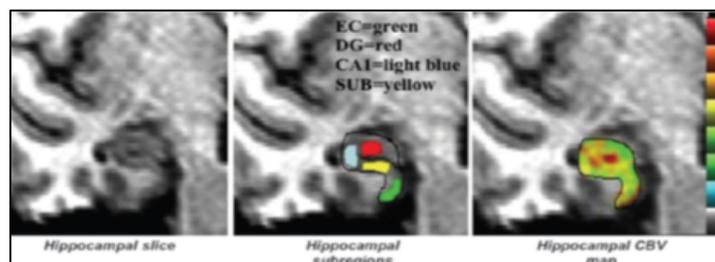


Figura 4. Regiones del hipocampo humano en las que se da la neurogénesis. La imagen de la derecha muestra en rojo y en naranja las zonas con mayor vascularidad. Extraída de Pereira et al., (2007).

A modo de ejemplo, los estudios que evaluaron los efectos agudos del ejercicio en el BDNF indican que los protocolos de alta intensidad suponen aumentos más grandes que los protocolos de baja intensidad (Knaepen et al., 2010). Por lo tanto, si el

BDNF es un mediador de los efectos del ejercicio agudo sobre el rendimiento cognitivo, se espera que la intensidad del ejercicio también influya en los resultados conductuales. El momento concreto de la administración de la prueba cognitiva es un segundo moderador de interés. Este moderador se ha encontrado para influir en el efecto del ejercicio agudo sobre el rendimiento cognitivo de los adultos jóvenes sanos (Lambourne y Tomporowski, 2010). Este moderador también tiene implicaciones para los mecanismos de los efectos crónicos, debido a la forma específica en que los mecanismos se ven afectados por el ejercicio.

La relación entre el ejercicio agudo y el rendimiento cognitivo también podría ser dependiente de la naturaleza de la tarea cognitiva. Etnier et al. (1997), informaron que el ejercicio agudo tuvo grandes efectos beneficiosos sobre las habilidades motoras y rendimiento académico. Sin embargo, tuvo efectos negativos en las tareas relacionadas con el razonamiento y las habilidades verbales. Muchos estudios que analizan los efectos agudos del ejercicio utilizan tareas de tiempo de reacción (Fleury y Bard, 1987; Hogervorst et al, 1996. McMorris, 1995; McMorris y Keen, 1994; Travlos y Marisi, 1995) y las tareas de reconocimiento visual (Bard y Fleury, 1978; Fleury et al, 1981). Recientemente, los investigadores han comenzado a examinar los efectos del ejercicio agudo sobre la función ejecutiva y el lóbulo frontal (Chang y Etnier, 2009a, b; Dietrich y Sparling, 2004; Sibley et al., 2003 y Tomporowski et al., 2005).

En reposo el flujo sanguíneo cerebral gira en torno al 15% del VO₂ cerebral (750 ml/min). El control de ese flujo sanguíneo es efectuado por mecanismos específicos de autorregulación más que por el sistema nervioso autónomo (Ide y Secher, 2000; Ogoh y Ainslie, 2009). La actividad motora dinámica aumenta la demanda energética de las áreas cerebrales en pleno funcionamiento como el área pre-motora, motora suplementaria y sensoriomotora. De este modo es posible especular que respuestas agudas a la ejecución de actividad física provocan aumento del flujo sanguíneo de las regiones cerebrales (Ando et al., 2011).

Por otra parte los efectos crónicos asociados al ejercicio físico son: aumento de la vascularización, la neurogénesis y la plasticidad neuronal. Sabemos que el cerebro humano, debido a su plasticidad, tiene una enorme capacidad para modificar su estructura y funcionamiento a través de la interacción con el entorno. Y en este proceso continuo de adaptación y supervivencia de la especie durante miles de años que ha permitido que el cerebro se desarrollara, es innegable que la actividad física ha desempeñado un papel crucial. Y si la integración de las capacidades cognitivas en las operaciones motrices era necesaria para la supervivencia del ser humano, no es

casualidad que el hipocampo, imprescindible para la memoria explícita y el aprendizaje, sea una de las regiones cerebrales más influidas por el ejercicio físico (Gómez-Pinilla y Hillman, 2013).

Desde el punto de vista de la neurociencia cognitiva, la actividad física y sus beneficios en la función cognitiva han sido vinculados con el aumento de la secreción de BDNF junto a otros factores de crecimiento que estimulan la neurogénesis, aumentan la resistencia al daño cerebral, mejoran la capacidad de aprendizaje y potencian el desarrollo mental (Nithjanantharaiah y Hannan, 2009; Lautenschlager et al., 2012). En relación a BDNF, una revisión reciente (Coelho et al., 2013), concluye que el ejercicio físico moderado parece ser el más adecuado para estimular los niveles periféricos de esta neurotrofina en el adulto mayor. No obstante, únicamente cinco estudios pudieron ser incluidos en dicha revisión y los resultados mostraron bastante heterogeneidad. En un trabajo no incluido en esa revisión Anderson-Hanley et al. (2012) compararon un programa de entrenamiento en bicicleta estática (grupo control) frente a otro que además incluía estimulación cognitiva mediante realidad virtual (grupo experimental). Los resultados mostraron un incremento significativamente mayor en la biodisponibilidad del BDNF en el grupo experimental frente al grupo de control, que se acompañó de una mejora en la función cognitiva. Berchtold et al. (2010) efectuaron un estudio experimental en ratas, con grupo control de ratas sedentarias en relación a ratas que realizaron ejercicio voluntario, y aplicó pruebas cognitivas de memoria espacial a través del laberinto de agua de Morris modificado. Los resultados mostraron que los efectos posteriores del ejercicio voluntario en ratas impactan de forma directa en los niveles de BDNF a nivel de hipocampo cerebral. Las ratas ejercitadas y que fueron parte del entrenamiento cognitivo demoraban en promedio un tiempo significativamente menor que las ratas sometidas a entrenamiento cognitivo, pero sedentarias. Es decir, las ratas ejercitadas cometían menos errores y sus tiempos para encontrar la plataforma de escape eran significativamente menores que las ratas sedentarias, lo que sugiere una relación entre el ejercicio físico y la función cognitiva. Cotman y Berchtold (2002), plantean que el ejercicio es un comportamiento simple y ampliamente practicado que activa cascadas moleculares y celulares que apoyan y mantienen la plasticidad del cerebro induciendo la expresión de genes asociados con la plasticidad, como los que codifican el BDNF, promoviendo la vascularización cerebral, la neurogénesis, generando cambios en la estructura neuronal y retardando el envejecimiento y daño cerebral. Cabe destacar que estos efectos ocurren en el hipocampo, una región del cerebro donde se genera aprendizaje significativo y almacenamiento de la memoria. En un estudio en el que participaron 120 personas mayores Erickson et al. (2011)

demonstraron que un entrenamiento aeróbico de intensidad moderada de tres días por semana durante un año aumentó un 2% el volumen de su hipocampo, lo cual iba acompañado de una mejora de la memoria espacial y de un incremento de los niveles de BDNF.

Aunque en la mayoría de estudios se han comprobado los beneficios del ejercicio físico aeróbico, en condiciones anaeróbicas también se han encontrado efectos positivos. Así, por ejemplo, en un estudio en el que participaron estudiantes deportistas con edades por encima de los 20 años, se comprobó que aquellos a los que se les sometía a una prueba de vocabulario tras 3 minutos de sprints, aprendían palabras un 20% más rápido que aquellos que o bien descansaban o bien realizaban una larga prueba aeróbica de baja intensidad. Sus análisis de sangre revelaron mayores niveles de BDNF (Winter et al., 2007). Estudios realizados con técnicas de laboratorio avanzadas no invasivas de neuroimagen como espectroscopia por resonancia magnética o electroencefalograma van colaborando de forma destacada en la comprensión de los mecanismos involucrados en la relación positiva entre el ejercicio físico y las funciones cognitivas (Hillman et al., 2008).

Algunos estudios indican que individuos adultos y físicamente activos tienen ondas cerebrales más activas en función de las capacidades físicas (Dustman et al., 1990; Dustman et al., 1985; Lardon y Polich, 1996). Estos hallazgos profundizan el fundamento de que realizar actividad física de forma regular va a producir adaptaciones en las ondas cerebrales lo que tiene una correlación positiva en los procesos cognitivos. El aumento de la actividad cerebral es un hallazgo encontrado en individuos con mayor conectividad neuronal en regiones como lóbulo frontal, giro cingulado anterior, corteza parietal, etc., las mismas regiones involucradas en tareas cognitivas específicas (Merege et al., 2012). Estos datos entregados por diversos investigadores muestran claramente los efectos bioeléctricos que son potenciados por la práctica regular de ejercicio físico. Más aún algunos estudios muestran claramente que el nivel de aptitud física es un indicador del grado de activación de las regiones cerebrales corticales prefrontales y parietales si comparamos sujetos entrenados y no entrenados (Riquelme-Urbe et al., 2013). Cabe señalar que aunque durante toda nuestra vida existe el nacimiento de nuevas neuronas, esto no necesariamente se relaciona con una mejora del rendimiento cognitivo. Este fenómeno se evidencia en presencia de diversos estímulos siendo los procesos de enseñanza-aprendizaje y el ejercicio físico los mecanismos que más estimulan (Colcombe et al., 2004). La neurogénesis se ve altamente influida por la circulación hormonal de factores de crecimiento tales como la

testosterona, la insulina, el factor de crecimiento insulínico (IGF-I), BDNF y el factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF). El ejercicio físico genera un aumento de las hormonas y factores de crecimiento lo que es uno de los procesos psicológicos más importantes en el desarrollo de las nuevas neuronas y de las nuevas conexiones. Por otra parte, el cortisol genera un deterioro de las conexiones sinápticas factor a considerar en situaciones de estrés o de violencia física, sexual o psicológica (Mesa-Gresa y Moya-Albiol, 2011).

El ejercicio físico induce la formación de nuevos vasos sanguíneos y de aumento de la microcirculación cerebral (Ide y Secher, 2000; Ogoh y Ainslie, 2009; Tamayo-Orrego y Duque-Parra, 2007). Un estudio de bloqueo farmacológico sobre la actividad del VEGF en el proceso de angiogénesis reveló que disminuían los procesos de adquisición de memoria y aprendizaje en ratas (Kerr, Steuer, Pochtarev, y Swain, 2010). Es importante destacar que el entrenamiento físico es un gran estimulador de la liberación de VEGF (Gavin et al., 2004; Laufs et al., 2004).

Los efectos positivos de la actividad física en la plasticidad cerebral y la función cognitiva pueden, en parte, ser mediados por el estímulo aumentado sobre la vascularización cerebral y el flujo sanguíneo local (Van der Borght et al., 2009). El aumento de la vascularización cerebral ha sido ampliamente investigado con diversas técnicas no invasivas. Todos los estudios coinciden en el aumento del flujo sanguíneo cerebral y de la vascularización lo que es un buen indicativo del aumento de las estructuras cerebrales (Hillman et al., 2008). Esta hipótesis es ampliamente aceptada y se sostiene que es uno de los procesos adaptativos más importantes en el aumento del rendimiento cognitivo en diversos test que tratan de valorar FFEE.

Por su parte la adaptación crónica está fundamentada en el aumento de las estructuras cerebrales por la plasticidad cerebral (plasticidad neuronal, aumento de la vascularización y neurogénesis). Las evidencias apuntan a que todas estas adaptaciones producen una mejor respuesta cognitiva en diversas pruebas sobre las FFEE (memoria, atención, velocidad de procesamiento, flexibilidad cognitiva, inhibición, etc). Los sujetos que realizan ejercicio físico a intensidad moderada (50% de $VO_{2Máx.}$) presentan mejores resultados en tareas cognitivas como velocidad de procesamiento, atención selectiva y memoria a corto plazo (Brisswalter et al., 2002; Lambourne y Tomporowski, 2010; McMorris et al., 2011; Tomporowski, 2003; Tomporowski et al., 2011). Algunos investigadores han realizado estudios comparativos entre ejercicio aeróbico y anaeróbico, hallando mejora del desempeño cognitivo en ambos grupos (Alves et al., 2012).

En un estudio 20 estudiantes de nueve años edad (Hillman et al., 2009) realizaron una serie de tests relacionados con la lectura, la ortografía y las matemáticas en dos condiciones experimentales diferentes: después de 20 minutos caminando en una cinta de correr a un ritmo moderadamente alto o tras un periodo de descanso también de 20 minutos. Los resultados confirmaron que los niños tras la actividad física obtuvieron mejores resultados en cada una de las pruebas.

En un estudio que combinó imagen por resonancia funcional y medidas conductuales, Voelcker-Rehage et al. (2010) analizaron los posibles efectos diferenciales de la capacidad funcional y la capacidad motriz sobre las FFEE y la velocidad perceptiva en el adulto mayor. Los autores demostraron que la capacidad funcional se relacionó únicamente con las FFEE, mientras que la capacidad motriz se asoció tanto con las FFEE como con la velocidad perceptiva.

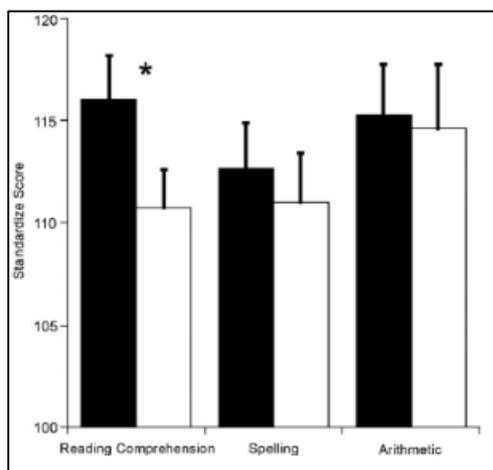


Figura 5. Resultados obtenidos en las pruebas de comprensión lectora, ortográfica y aritmética. En negro, los resultados tras la sesión de ejercicio y, en blanco, tras la de reposo. Extraída de Hillman et al., (2009).

En un meta-análisis en el que se analizaron 44 estudios en los que intervinieron niños y adolescentes en edad escolar entre los 4 y los 18 años, se encontró una correlación positiva entre la actividad física y el aprendizaje (Sibley y Etnier, 2003). Se analizaron ocho categorías cognitivas: habilidades perceptivas, cociente de inteligencia, resultados académicos, test verbales, test matemáticos, memoria y una última en la que se incluían áreas diversas relacionadas con la creatividad o la concentración. Los resultados revelaron que el ejercicio físico fue beneficioso para todas las categorías salvo para la memoria y aunque este efecto positivo se encontró en todas los grupos asignados por edades, fue mayor en los niños de los grupos entre 4-7 y 11-13 años que en los de 8-10 y 14-18 años.

En una revisió posterior de 50 estudios, (Rasberry et al. (2011) analizaron la incidencia de la actividad física (se incluían también las clases de educación física) en el rendimiento académico de los alumnos en edad escolar. Comprobaron que el 50,5% de las asociaciones encontradas fueron positivas, el 48% no produjeron efectos significantes y solo el 1,5% fueron negativas.

Tabla 4. Efectos crónicos del entrenamiento aeróbico sobre diferentes FFEE. Extraída de Smith et al. (2010).

Test cognitivo	Estudios	Dominio	Hedge's G (IC 95%)	P
Digit Symbol Substitution	8		0,146 (-0,002; 0,294)	0,052
Complex/Choice Reaction Time	8		0,112 (-0,064; 0,288)	0,898
Simple Reaction Time	8	Atención / Velocidad de procesamiento	0,088 (-0,119; 0,295)	0,116
Ruff 2 and 7 Test	2		0,052 (-0,224; 0,327)	0,715
Trail Making Test Section A	2		0,169 (-0,144; 0,482)	0,291
Stroop Interference	7		0,027 (-0,149; 0,204)	0,761
Trail Making Test Section B	5		0,234 (0,042; 0,426)	0,017
Animal Naming	4	Función	0,275 (0,006; 0,545)	0,045
COWAT	2	ejecutiva	-0,015 (-0,239; 0,229)	0,894
Logical Memory, Immediate Recall	5		0,151 (-0,050; 0,352)	0,140
Rey Memory, Immediate Recall	4	Memoria	0,113 (-0,082; 0,308)	0,255
Digit Span	6	Memoria	0,065 (-0,079; 0,209)	0,373
WAIS Letter-Number Sequencing	2	Operativa	-0,134 (-0,469; 0,202)	0,435

En una investigación en la que se aplicó un programa de ejercicio físico predominantemente aeróbico de 30 minutos a niños de 13 y 14 años de edad (Kubesch et al., 2009), se comprobó que mejoraron su rendimiento en tareas de discriminación visual que requerían una gran atención ejecutiva, en comparación con aquellos que realizaron un descanso activo de 5 minutos. Algo parecido se encontró en un programa de actividad física extraescolar que se aplicó durante 9 meses a alumnos con edades entre 7 y 9 años (Hilman et al., 2014). El análisis de los encefalogramas reveló una mayor actividad cerebral en los niños que participaron en el programa al resolver tareas en las que intervenían los recursos atencionales, a diferencia de los del grupo de control.

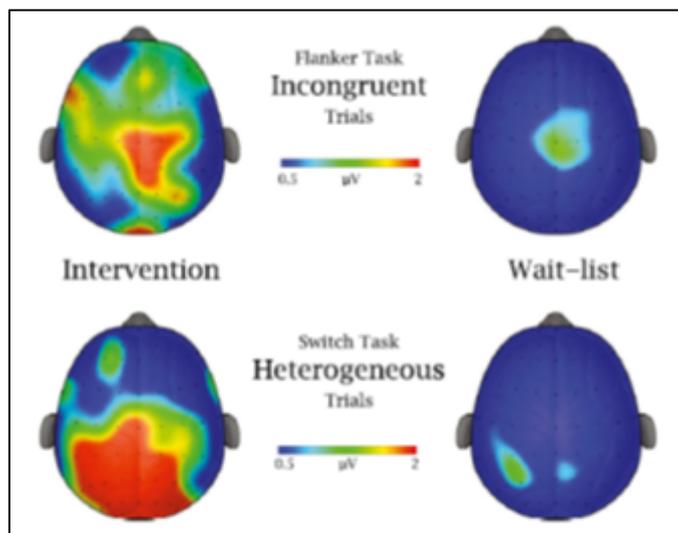


Figura 6. A la izquierda, se muestra la activación cerebral de los niños que participan en el programa de ejercicio físico. A la derecha, se muestra el grupo de control. Extraído de Hillman et al., (2014).

Especialmente importante, sobre todo para jóvenes con TDAH, es combinar el ejercicio físico con una mayor actividad mental como se da, por ejemplo, en el caso de las artes marciales. En un estudio en el que se probó un programa de taekwondo durante 3 meses en niños con edades comprendidas entre los 5 y los 11 años, se obtuvieron mejoras tanto conductuales como académicas en los participantes (Lakes y Hoyt, 2004).

En un estudio en el que participaron 43 niños de edades entre los 7 y los 9 años, se analizaron los efectos de un programa extraescolar de actividad física que duró 9 meses sobre la memoria (Kamiyo et al., 2011). El programa se centraba en la actividad cardiovascular, aunque también se diseñaron actividades para mejorar la fuerza en las que se utilizaban bandas elásticas o balones medicinales. Los niños que participaron en el programa mejoraron la realización de tareas en las que tenían que reconocer estímulos que se les habían presentado anteriormente, un indicador claro de la mejora de la memoria de trabajo que es tan importante en la resolución de problemas.

La misma relación directa entre el ejercicio físico, el volumen del hipocampo y la memoria que se había identificado en animales y en personas adultas, se quiso demostrar en los jóvenes adultos. En el experimento, se comprobó que aquellos que mostraban una mejor capacidad cardiovascular tenían un volumen de su hipocampo mayor y, como consecuencia de ello, se desenvolvían mejor en tareas que requerían de la memoria explícita (Chaddock et al., 2010).

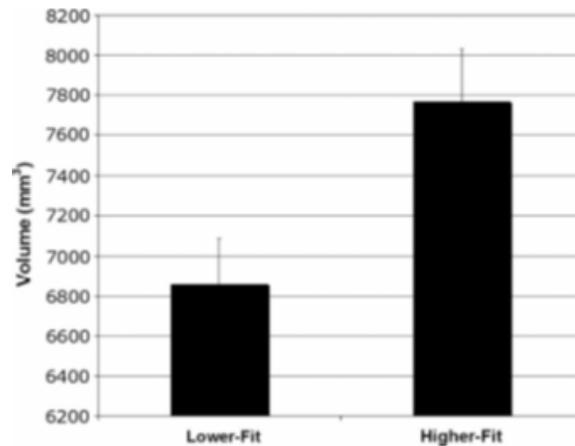


Figura 7. Gráfico en el que se muestra, a la derecha, el mayor volumen del hipocampo de los jóvenes adultos con mayor capacidad aeróbica. Extraído de Chaddock et al., (2010).

Voelcker-Rehage et al. (2011), realizaron otro estudio con datos conductuales y de neuroimagen funcional comparando un programa de entrenamiento aeróbico frente a un programa enfocado a la mejora de la coordinación. Ambas intervenciones lograron una mejora de las FFEE del adulto mayor, pero el entrenamiento coordinativo consiguió además un incremento en la velocidad perceptiva. Los autores discutieron estos resultados basándose en los cambios en la activación neuronal de diferentes áreas corticales después de ambas intervenciones y sugirieron que el entrenamiento aeróbico facilitaría una utilización más eficiente de los recursos cognitivos (gracias a la mejora de la vascularización cerebral), mientras que el entrenamiento coordinativo permitiría la activación de mecanismos compensatorios en áreas cerebrales relacionadas con el procesamiento visuoespacial.

Los estudios que han implementado programas de Yoga en poblaciones de adultos mayores no han hallado mejoras cognitivas (Patel et al., 2012). En cambio, el Tai-Chi sí que demostró un efecto significativo sobre las FFEE, entre otras funciones cognitivas, en dos revisiones recientes (Miller y Taylor-Piliae, 2014; Wayne et al., 2014). En relación al baile como forma de entrenamiento, Predovan et al. (2012), hallaron una mejora significativa tanto en las FFEE como en la capacidad cardiovascular después de un programa de baile aeróbico de 3 meses de duración.

En una investigación que utilizó la técnica de la resonancia magnética funcional, se estudiaron los efectos producidos sobre el cerebro en niños de 8 y 9 años de un programa de actividad física que duró 9 meses y en el que los participantes se ejercitaban 60 minutos en cada una de cinco sesiones semanales (Chaddock et al., 2013). Las neuroimágenes revelaron que aquellos niños que participaron en el programa mostraron patrones específicos de activación de la corteza prefrontal y de la corteza

cingulada anterior que iban acompañados de una mejora en tareas específicas que requerían un gran autocontrol, junto a otras FFE asociadas. Y esto es especialmente importante, debido al enorme del autocontrol en los procesos emocionales y cognitivos que afectan directamente al rendimiento cognitivo.

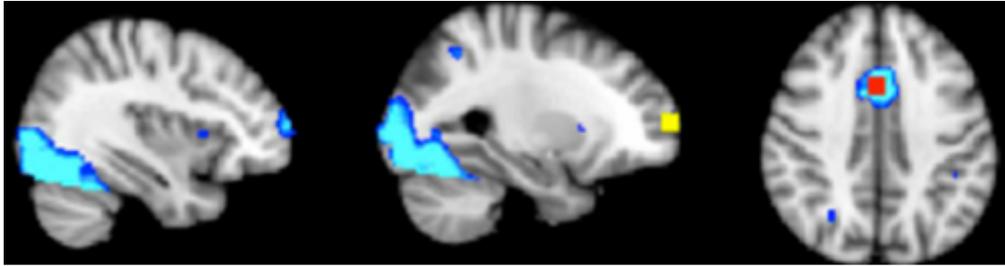


Figura 8. Activación durante las tareas de control cognitivo de la corteza prefrontal derecha, en amarillo, y de la corteza cingulada anterior, en rojo. Extraído de Chaddock et al., (2013).

Si realmente existe una relación causal entre ejercicio físico y rendimiento cognitivo, podemos concluir que mientras el ejercicio físico parece ser un importante precursor de la proliferación celular, la estimulación mediante ambientes de entrenamiento estimulantes basados en dos aspectos centrales, la complejidad y la novedad, parece que podría facilitar la supervivencia de esas nuevas neuronas, que de otro modo, morirían antes de integrarse en circuitos neuronales (Kempermann et al., 2010; Thomas et al., 2012). Por esta razón, algunos autores han apuntado hacia la potencialidad de combinar el entrenamiento físico y cognitivo para lograr un mayor efecto paliativo sobre el envejecimiento cerebral. Aunque los estudios experimentales realizados hasta el momento no han arrojado datos concluyentes (Barnes et al., 2013; Holzschnieder et al., 2012; Kraft, 2012; Shatil, 2013).

1.2. TIEMPO DE REACCIÓN, VELOCIDAD DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y EJERCICIO FÍSICO

1.2.1. Importancia del tiempo de reacción complejo durante el ejercicio físico.

El tiempo de reacción (TR) es el tiempo de respuesta desde la aparición de un estímulo a la respuesta correspondiente (Tudela, 1989). Se cree que refleja la identificación de estímulos, la selección de la respuesta y la programación de respuesta. También se considera como un indicador general de la integridad funcional del sistema nervioso central (Wang, 2008).

Varios factores influyen sobre el TR. Orellana (2009) resume estos factores en 7 grupos: las condiciones del entorno, el tipo de estímulo, la intensidad del estímulo, el número de alternativas, el número de órganos estimulados, el entrenamiento y la experiencia, y, por último, la motivación y los factores emocionales. Por otro lado, pueden dividirse en factores dependientes del sujeto y relacionados con el estímulo. Para los primeros, están los factores propios del sujeto como el estado físico, calentamiento, fatiga, motivación, etc., miembro corporal con el que se realiza la respuesta y otras características como la edad, género, sustancias administradas (como la cafeína o medicamentos), tipo de deporte y nivel de deporte (Henry y Rogers, 1960; Roca, 1983). Entre los factores relacionados con el estímulo podemos indicar las características físicas del estímulo, posición inicial, medio de transmisión del estímulo, intensidad del estímulo, ante-periodo, complejidad del movimiento o influencia del color en el estímulo.

Respecto a los factores neurológicos que influyen sobre el TR podemos indicar el órgano receptor, la longitud de la vía sensorial, el tipo de axones o el número de sinapsis (Guyton, 1997; Cardinali, 2007). El cerebro necesita un periodo mínimo de captación del estímulo visual de 60-70 ms (García, Tavera y Liras, 2004) para poder así interpretar, y posteriormente establecer la respuesta y ejecutarla, lo que junto a la fiabilidad del instrumento utilizado, daría lugar al TR. En relación a la localización segmentaria de la respuesta motora, se puede clasificar el TR en “tiempo de reacción corporal” (del miembro inferior o de cualquier otra parte del cuerpo) o “tiempo de reacción manual” (de las manos); mientras que en función del número de alternativas o

estímulo y respuesta posibles se suelen clasificar como “tiempo de reacción simple” y si son más de una “tiempo de reacción electiva” (Martínez, 2003). Por otra parte, es importante saber que en el TR influyen varios factores y circunstancias que pueden modificarlo.

Desde el punto de vista de la edad, el TR simple (TRS) es menor desde la infancia hasta los 20 años; luego se incrementa lentamente desde los 50 hasta los 60 años; y a partir de los 70 años aumenta rápidamente (Der y Deary, 2006; Myerson et al., 2007; MacDonald et al., 2008). Estas diferencias son más marcadas para el TRC (Luchies et al., 2002). En cuanto al factor género, en casi todos los grupos de edad los varones tienen TR más bajos que las mujeres y la desventaja femenina no se reduce con la práctica (Der y Deary, 2006). Sin embargo, Silverman (2006) señala que la ventaja del hombre en el TR visual es cada vez menor y que ello es debido quizás a que es cada vez mayor el número de mujeres que participan en la conducción y en deportes donde se requiere la rápida toma de decisiones.

Por el contrario, parece que la dieta no influye en el TR. Según Gutiérrez et al. (2001), o Cheatham et al. (2009), una limitación calórica no afecta al TR o a alguna otra medida cognitiva, aunque sí que deteriora la capacidad de trabajo. No obstante, si hablamos de la hidratación, parece que sí que se producen efectos en el TR, aunque los resultados son algo contradictorios: Szinnai et al. (2005) dieron a conocer que la deshidratación gradual (pérdida del 2,6 % del peso corporal en 7 días) tendía a alargar el TRC en mujeres, sin embargo, no pasaba lo mismo con a los hombres. Por ejemplo, las salidas en las pruebas de velocidad que se dan en los deportes individuales como el atletismo o la natación son el ejemplo más claro de TR en el deporte. Ésta es una situación típica del TRS en la que hay un estímulo (normalmente acústico, como el disparo de una pistola) y una respuesta que consiste en iniciar la carrera (Henry, 1952). Casi todos los movimientos rápidos que se requieren en el deporte conllevan una reacción; por eso el TR es parte y componente de la velocidad (Fernández, 2010). Velocidad de reacción (VR) y tiempo de reacción (TR) son términos que se usan como sinónimos y, en efecto, hacen referencia al mismo concepto: “capacidad de reaccionar en el menor tiempo a un estímulo” (Grosser, 1992). Sin embargo, la bibliografía especializada se decanta por el término “tiempo de reacción”, posiblemente por ser el término más correcto, ya que realmente la medida que interesa conocer al hablar de esta capacidad es el “tiempo” (lo que se tarda en reaccionar) y no la “velocidad” a la que reaccionas (variable mucho más difícil de medir). Una vez clarificado el término, hay que diferenciar entre los conceptos tiempo de reacción simple (TRS) y complejo (TRC). El TRS hace referencia al simple hecho de reaccionar ante una señal o estímulo (Ej. Salida

en una prueba de atletismo). El TRC, también llamado tiempo de reacción discriminativo (Orellana, 2009) o tiempo de reacción selectivo, se refiere a una reacción más compleja, que se diferencia del TRS en que el acto perceptual está más diferenciado y requiere de una decisión para un estímulo determinado (con resultado incierto) entre varias respuestas posibles.

Además, es una capacidad que exige una actividad sensorio-motora y cognitiva mayor (golpeo de la pelota en un partido de tenis). De entre todos estos términos referidos a la acción de reaccionar de una forma más compleja y ante varios estímulos, en la presente tesis doctoral utilizaremos el término TRC por ser el que engloba todas las características de esta capacidad y el que mejor se aviene al tipo de práctica deportiva “de situación”, perceptivo-motriz, individual y compleja. El TRC es una capacidad altamente dependiente del SNC, pudiendo diferenciarse dos fases o componentes. En primer lugar hay una fase de percepción y decisión con un componente perceptivo-cognitivo muy importante, llamada TR, o según Maezilli y Hutcherson (2002), tiempo premotor. Estos últimos autores, llaman tiempo premotor (componente cognitivo) a la latencia entre la identificación del impulso y el inicio de la activación del músculo. En segundo lugar, también existe el tiempo motor (componente motor), medido desde la activación inicial del músculo hasta la respuesta visible. El tiempo premotor representa los procesos que intervienen en la identificación del estímulo, la selección de la respuesta apropiada y la siguiente programación de la respuesta motriz; mientras que el tiempo motor representa el tiempo requerido para activar los mecanismos que intervienen en la contracción de los músculos periféricos. Ambas fases, también llamadas por otros autores periodos de reacción (Vinuesa y Coll, 1987), se integran y conforman el TRC.

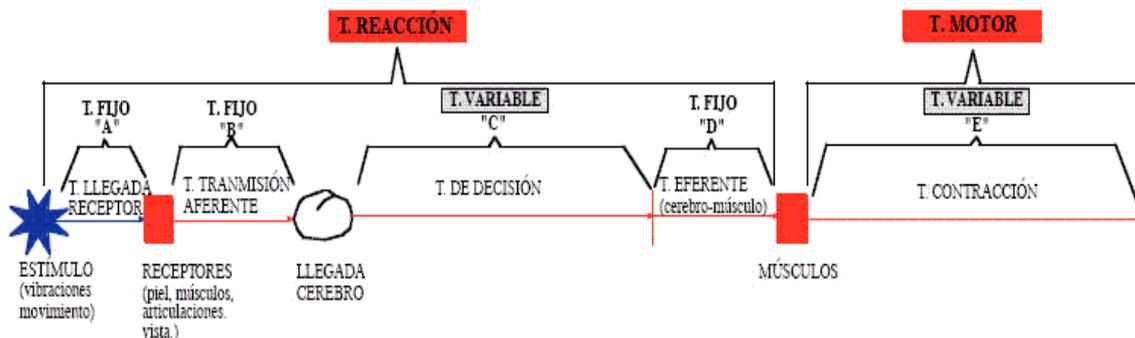


Figura 9. Fases del Tiempo de Reacción. Extraído de Yockkel (2006).

A continuación, se describen las diferentes fases del TR (Yockkel, 2006):

Tiempo de llegada del estímulo: Es el tiempo que tarda en llegar el estímulo a los sentidos de la persona. En el caso de ser un estímulo visual, es instantáneo, pero, si se trata de un estímulo sonoro, requiere un tiempo de propagación que depende de la distancia.

Tiempo aferente: Es el tiempo que tarda el estímulo en pasar del órgano receptor (ojo, oído, piel) a la parte del cerebro que se encarga de su procesamiento. Este tiempo es igual para todas las personas y no se puede entrenar.

Tiempo de decisión: Una vez que el estímulo llega al cerebro la persona debe decidir cómo reaccionar a ese estímulo en base a su experiencia y generar una respuesta. Hay diferentes tipos de decisiones que requieren tiempos diferentes:

- Simple: El estímulo es uno y la respuesta es una.
- Complejo: Los estímulos son varios y las respuestas también.
- Selectivo: Los estímulos son varios y se reacciona solo a uno de ellos.
- Electivo: Los estímulos son varios y a cada uno le corresponde una reacción particular.
- Selectivo-Electivo: Los estímulos son varios, a unos no se debe responder y a otros se ha de responder dependiendo del estímulo, con la respuesta adecuada.

A mayor cantidad de variables (estímulos y respuestas posibles) aumenta el tiempo de decisión.

Tiempo eferente: Es el tiempo que tarda en desplazarse el estímulo nervioso de la decisión tomada por el cerebro hasta los músculos correspondientes. Este tiempo es casi idéntico para todas las personas, ya que depende de la velocidad de transmisión de los nervios motores.

Comienzo de la contracción: Con la llegada del estímulo nervioso al músculo se ponen en marcha una serie de reacciones químicas que producen el acortamiento de los sarcómeros (unidad funcional del músculo). Para que esto suceda es necesario un tiempo, que se conoce como tiempo latente y que tiene una duración entre 0,004 y 0,010 s.

Dependiendo del órgano estimulado hay diferentes tiempos de reacción. El orden de rapidez en la reacción es el siguiente: audición, tacto, visión, dolor, gusto y olfato. La respuesta de los miembros superiores es más rápida que la de los miembros inferiores. El único aspecto que se puede mejorar es el tiempo de decisión, ya que los otros son prácticamente invariables. En los deportes colectivos y de adversario el tipo de decisiones que tomamos a cada instante son selectivas y/o electivas, que son las que más tiempo requieren para procesarse. Para ello es de vital importancia la experiencia, ya que ella nos permite reaccionar “anticipándonos” a los oponentes. Por ejemplo, en deportes de combate la experiencia nos dice qué posiciones adopta el cuerpo de nuestro oponente antes de lanzar un golpe y según su posición, qué tipo de golpe será. En base a esta información elegimos cómo defendernos e incluso contraatacar. A mayor experiencia y entrenamiento en este tipo de reacciones, disminuimos considerablemente el tiempo de decisión.

Los TRC siempre serán más elevados que los TRS para una misma modalidad sensorial, ya que el TRC responde a una situación donde el sujeto elige respuestas posibles ante un estímulo (Orellana, 2009). Además, hay que mencionar que, dependiendo del tipo de actividad en la que intervenga este TRC, podemos encontrarnos con un componente más sensoriomotor y perceptivo, o también, coordinativo (cuando la actividad o tarea motriz sea de mayor dificultad y cuando más precisión y eficacia se exija) o nos encontraremos, en cambio, con un componente más físico-motor o condicional (cuando la tarea motriz sea fácil y no importe tanto la eficacia).

Relacionando el TR con las FFEE, se puede llegar a pensar que el TR puede ser una variable que las cuantifique. Existen numerosas investigaciones que demuestran una clara y evidente relación entre estos dos conceptos, a nivel perceptivo-motor y cognitivo. En posteriores apartados, incidiremos en el concepto de FFEE, así como en sus componentes, modelos representativos y los efectos que derivan de la práctica de actividades físicas y deportivas. El TR es un elemento clave de la FFEE, ya que cuando se cuantifica se evalúan muchos de los componentes de ésta, por lo tanto, cuando evaluamos el TR de una tarea se observa que entran en juego la mayoría de estos componentes, de ahí la naturaleza y el planteamiento de cada tarea. Estos componentes interactúan de forma compleja dependiendo de cada contexto, cada persona y cada momento, por lo tanto, el tiempo de reacción será una medida parcial de las FFEE. La mayoría de las investigaciones realizadas hasta el momento analizan a los participantes en situaciones artificiales de laboratorio para tratar de seleccionar y cuantificar cada componente, pero no en la vida diaria, lo cual simplifica el análisis y hace que no sea objetivo, fiable y eficaz. La dificultad de analizar las FFEE y así poder establecer una

teoría o un modelo con mayor validez científica, está en poder controlar todos los parámetros cognitivos y fisiológicos en una situación real y comprender como interactúan entre sí, independientemente del contexto, la persona y el momento, y encontrando una coherencia lógica entre ellos.

Un aumento de la activación fisiológica, a causa de la excitación inducida por el ejercicio físico, facilita el efecto de procesamiento de la información observada en jóvenes adultos durante o inmediatamente después de practicar actividad física aeróbica moderada (McMorris y Graydon, 2000; Näätänen, 1973; Thayer, 1987). A pesar de la significación en la evidencia de los análisis descriptivos, existe una falta de comprensión de los mecanismos por los que el ejercicio influye en los componentes del sistema de procesamiento de la información. A su vez, éstos se encuentran directamente relacionados con los diferentes componentes de la función ejecutiva: la planificación y ejecución de secuencias de acción que conforman el comportamiento dirigido a una meta requiere la asignación de la atención y la memoria, la selección de respuestas, la inhibición, la fijación de objetivos, el uso de autocontrol, habilidad y flexibilidad estratégica. Tal y como haremos referencia en apartados posteriores, el concepto de FFE posee una clara relación entre el procesamiento de la información y sus componentes. Todos ellos interactúan de una forma compleja, dependiendo del tipo de estímulo, las diferentes respuestas, la intensidad, el tiempo de duración...etc. Actualmente se desconoce qué componentes de la FFE se activan en cada momento de la vida diaria, así como la forma en la que interactúan entre ellos, debido a su complejidad. No obstante, numerosas investigaciones comienzan a realizar estudios en esta línea.

En último lugar, hay que mencionar el papel que juega la fatiga en las variaciones del TR. Según expone Orellana (2009), algunos autores dejan claro que la fatiga aumenta el TR, que los factores orgánicos que pueden influir en el TR dependen del momento del día en que se mida, y que el ritmo cardíaco individual podría estar relacionado con la variabilidad de los TR. Esta relación entre fatiga y TR está directamente relacionada con los conceptos de "TRC" y "fatiga cognitiva" que trataremos en posteriores apartados y con los resultados de los estudios que componen la presente tesis doctoral.

1.2.2. Efectos del ejercicio físico sobre el tiempo de reacción complejo.

Desde 1990, más de 20 estudios han demostrado claramente una mejora del procesamiento de la información durante la práctica de actividad física en el cicloergómetro, a una intensidad entre el 40% y el 70% del $VO_{2Máx}$. (Adam, Teeken, Ypelaar, Verstappen y Paas, 1997; Arcelina, Deslignières, Brisswalter, 1998; Chmura, Kryzstofiak, Ziemba, Nazar, Kaciuba-Uscilko, 1998; Davranche, Audiffren y Denjean, 2006; McMorris y Graydon, 1996; Pesce, Capranica, Tessitore y Figura, 2002; Pesce, Casella y Capranica, 2004).

Entre los factores que pueden modificar los tiempos de reacción, existe uno que ya se ha mencionado anteriormente: el ejercicio físico. El deporte, es una actividad basada en el ejercicio físico, el entrenamiento y la perfección técnica, en la que los deportistas buscan obtener un estado de forma óptimo para conseguir el máximo rendimiento posible. Este estado de forma óptimo, o incluso por el propio ejercicio físico realizado para llegar a este estado ideal en sí mismo, puede reflejar una reducción del TR. Así lo prueban algunos estudios como los de Collardeau, Brisswalter, Vercruyssen, Audiffren y Goubault (2001), los cuales señalan que el TR de los corredores mejora durante la ejecución de la actividad, aunque no encuentran factores post ejercicio. Pesce et al. (2004), por su parte, realizaron un estudio con futbolistas y con personas no deportistas, y encontraron que el TR después de una carga física mejoró en el grupo de no-deportistas, pero no en los futbolistas.

Tomporowski (2003) presentó una revisión sobre aquellos estudios que examinaban los efectos del ejercicio físico sobre la función cognitiva. Una de sus conclusiones fue que ejercicios submáximos (hasta 60 minutos) facilitan procesos cognitivos como el TR y la memoria. Sin embargo, en ejercicios de mayor duración, que llegan hasta la deshidratación y agotamiento, los procesos cognitivos y la memoria se veían comprometidos. Además de esto, Tomporowsky también expuso que en actividades de ejercicio máximo donde existía la toma de decisiones, los tiempos de respuesta eran más rápidos, a pesar de que no se producen cambios en los índices de error de los participantes. En esta misma línea, Thomson, Watt y Liukkonen (2009), demostraron que la capacidad para responder con eficacia ante un móvil en deportistas de élite disminuía cuando aparecía la fatiga, comprometiéndose o disminuyendo la precisión, a pesar de que los TR se reducían.

Continuando con los efectos del ejercicio físico en el TR, Orellana (2009) hizo una revisión de investigaciones, en las que se demostraba que el ejercicio físico reducía el TR. En primer lugar citó estudios en los que se demostraba que el ejercicio físico afectaba al procesamiento sensorial y que un efecto sobre el tiempo premotor dependía de la intensidad de los estímulos visuales. Otros trabajos citados por este autor sugerían que el ejercicio físico acotaba el TR debido a la acción de los procesos motores periféricos, como la elevación de la temperatura corporal, que aumentaría la velocidad de conducción tanto de las fibras musculares como de los nervios periféricos. Asimismo, otros estudios citados por este mismo autor argumentaban que el ejercicio también podría influir en la excitabilidad de la corteza motora, y que incluso el efecto del ejercicio sobre el proceso motor podría ser mediado por el sistema noradrenérgico. Respecto a esto, Chmura et al. (1994 y 1998) indicaron una correlación negativa entre la concentración de catecolaminas plasmáticas y TR durante un ejercicio incremental hasta el agotamiento. Esta relación de las catecolaminas durante un ejercicio submáximo podría ser responsable de la mejora de los TR a estas intensidades.

Etnyre y Kinugasa (2002) y Masanobu y Choshi (2006), hablaron de la relación entre la mejora del TR y la contracción isométrica, llegando a la conclusión que esta contracción permitía trabajar al cerebro de forma más rápida, obteniéndose un menor TR después de ésta. Por otro lado, Davranche et al. (2006) demostraron que el ejercicio mejoraba el TR por un incremento de la atención. Finalmente, es conveniente recordar que una posible explicación acerca del efecto facilitador del ejercicio agudo sobre el TR es un aumento en la activación fisiológica inducida por el ejercicio (Brisswalter et al., 2002; Gutin y Cayce, 1973; Kamijo et al., 2004; McMorris y Graydon, 1997). Los efectos facilitadores de la activación cognitiva inducida por el ejercicio sobre el TRC han mostrado ser mayores en comparación con el TRS (Clarkson-Smith y Hartley, 1989).

En muchos momentos de la vida se requieren tareas motoras perceptuales que deben realizarse de la manera más rápida y precisa posible. Sin embargo, a pesar de que los deportistas ya tienen un TRS y TRC menor que las personas sedentarias (Williams y Ford, 2008; Nakamoto y Mori, 2008; Fontani et al., 2009), es en el deporte donde esta capacidad cobra un gran protagonismo. En muchas modalidades deportivas, el TRC es clave, llegando incluso a ser determinante del éxito y el fracaso sobre todo en los deportes de equipo y en los deportes visomotores, donde la eficacia (velocidad + precisión) en el TRC ante los diferentes estímulos que aparecen en el juego es esencial para el éxito. Sabiendo que el TRC es una capacidad significativa en el deporte, se debe tener en cuenta que hay disciplinas en las que cobra especial importancia la fase de decisión (periodo latente o tiempo premotor), por lo que será crucial ser eficaz, tal y

como ocurre en los deportes más precisos (tiro con arco, tiro olímpico, curling, etc.). Por otro lado, hay modalidades deportivas en las que se precisa una respuesta rápida (tiempo motor), similar al TRS, en la que no se necesita ser absolutamente eficaz (disciplinas cíclicas de muy corta duración). Y por último, en un gran número de deportes (fútbol, baloncesto, tenis, etc.), lo que interesa es tener un TR global muy bueno, tanto en su componente cognitivo (tiempo premotor) como en su componente motor (tiempo motor), siendo determinante la eficacia (velocidad + precisión) en el TRC.

1.2.3. Velocidad de procesamiento de la información cognitiva y estructural.

En un entorno repleto de estímulos que aparecen y desaparecen con rapidez, pero que han de ser procesados para una adecuada adaptación al entorno, la capacidad de detectarlos y emitir respuestas rápidas cobra una enorme relevancia. En algunos casos existe una presión ambiental para realizar la tarea con rapidez (responder ante la decisión de un árbitro, evitar una entrada de un adversario que podría lesionarnos, esquivar una piedra que tira un compañero mientras le aseguramos, controlar el efecto de una pelota de tenis de mesa, etc.). En otras situaciones, por el contrario, es irrelevante el tiempo de reacción (TR), al menos en lo que respecta al éxito de la tarea. Además, el tiempo que lleve realizar una tarea variará en función de su complejidad y de cuánta información hay que procesar para solucionarla. De este modo, tanto las propias características de la tarea como las circunstancias en las que se realiza pueden condicionar la necesidad o no, de una respuesta rápida. Ahora bien, además de ello, existen características propias del sujeto que influyen en la velocidad de esa tarea. En ese sentido, es cuando nosotros podemos alterar la velocidad de procesamiento. Pese a que la separación entre velocidad y procesos cognitivos (la atención) puede no ser absoluta, su estudio por separado está justificado empíricamente, ya que se ha mostrado la disociación entre velocidad y otros mecanismos cognitivos mediante técnicas de análisis factorial (Zomerén y Spikman, 2006). Además, permite establecer cierto orden en algunos aspectos teóricos acerca de la atención, pero sobre todo prácticos, ya que facilita el trabajo evaluador y rehabilitador.

La VPI refleja la cantidad de información que puede ser procesada por unidad de tiempo o, incluso, la velocidad a la que pueden realizarse una serie de operaciones cognitivas. También se puede considerar como el tiempo que transcurre desde la aparición de un estímulo hasta la ejecución de una respuesta. Sería el resultado de la participación de un conjunto de variables independientes que contribuyen en un momento determinado a realizar la ejecución de una respuesta. La variable dependiente

es el TR, pero para predecirla es preciso esclarecer cuáles son las variables independientes que la determinan (Ríos-Lago y Periañez, 2010). Sin duda, nos encontramos ante una variable a la que se acude con frecuencia para explicar el rendimiento deportivo de los atletas. Por ello, es importante diferenciar entre VPI, TR y atención. La VPI se podría definir como el ritmo con el que, a igualdad de condiciones ambientales, un sujeto es capaz de realizar una tarea más rápidamente que otro, manteniendo (si es que esto fuese posible medirlo) las mismas operaciones cognitivas. Es preciso en este punto remarcar que las operaciones cognitivas que se han de realizar sean exactamente las mismas, ya que solo de este modo será posible comparar la VPI entre dos individuos.

Por ejemplo: imaginemos que dos personas (A y B) realizan la tarea (X) exactamente al mismo tiempo. Imaginemos también que para ello, A emplea cinco operaciones cognitivas, mientras que B utiliza solamente tres y llega al mismo resultado. En este caso el procesamiento de la información que han realizado ha seguido un camino distinto, por lo que solo tendremos una misma velocidad de respuesta, pero no sabremos cuál de las dos es más rápida procesando la información en cada una de las fases. Sólo si ambas realizan las mismas operaciones cognitivas estaremos en disposición de saber quién de ellas es más rápida en procesar la información. Por lo tanto, debemos de mostrar especial atención para no mezclar la VPI con otros procesos cognitivos como las FFEE.

Posiblemente, la mejor manera de enfrentarse a la ejecución de una tarea y a la solución de un problema es algo que está estrictamente relacionado con las FFEE, tal y como trataremos en apartados posteriores correspondientes al marco teórico de la presente tesis doctoral. Así, una respuesta rápida no siempre implica una alta VPI. Entonces, en igualdad de condiciones, ¿qué hace que un deportista sea más rápido que otro? Podemos encontrar dos tipos de VPI: una denominada “*cognitiva*”, la cual hace referencia al “*software*” o la capacidad de los procesos cognitivos (FFEE) disponibles de cada individuo. Y la otra, denominada “*estructural*”, la cual hace referencia al “*hardware*” o la propia estructura y características del SNC (Vercruyssen, 1993). Por lo tanto, podemos deducir que la respuesta a la pregunta anterior podría depender de mecanismos cognitivos y estructurales.

A día de hoy, no existe un consenso sobre qué mecanismos influyen en la VPI. Ante un fenómeno complejo como éste, se establecen diferentes tipos de análisis. Por ejemplo, en lo que respecta a las neuronas, es posible describir mecanismos que afectan a la VPI. Las operaciones cerebrales ocurren en un rango entre 100 μ s a 1 ms.

La escala de tiempo para los procesos cognitivos más elementales se encuentra en el orden de los 10-100 ms. Algunos autores se han centrado en describir qué mecanismos permiten una rápida velocidad de transmisión (Iles, 1977; Wyatt et al., 2005). Otros, por el contrario, han investigado las posibles alteraciones del sistema; por ejemplo, la alteración y el enlentecimiento en general de la transmisión sináptica (Birren, 1974), la disminución en los niveles de dopamina y acetilcolina (Rogers y Bloom, 1995), las disfunciones en el sistema noradrenérgico (Foote y Morrison, 1987) o, más recientemente, la hipótesis dopaminérgica asociada a la lesión frontal (Fernández-Duque y Posner, 2001), e incluso algunas centradas en la mielinización de modo que, por afectación de la velocidad de conducción axonal, la transmisión de información entre dos puntos era más lenta y las respuestas del sujeto se ralentizan (Felts et al., 1997; Yakovlev y Lecours, 1967). Otros autores, basan sus explicaciones de la VPI en el patrón de ritmo alfa (actividad eléctrica) en el cerebro, que se ha señalado como un mecanismo central que pauta intervalos temporales para el funcionamiento adecuado de los procesos cognitivos (Vercruyssen, 1993; Klimesh et al., 1996).

En el otro extremo, algunos investigadores señalan que la velocidad a la que puede realizarse una operación cognitiva elemental puede considerarse como un recurso de procesamiento, de modo que, como el tiempo es finito, cuanto más rápido sea, mejor será el nivel de ejecución cognitiva (Kail y Salthouse, 1994). Además, no es local o específica de su dominio, es decir, no está restringida a una serie de operaciones cognitivas similares, sino que es relevante en un amplio rango de procesos cognitivos (memoria operativa, control de la atención, nivel de "arousal", etc.). No obstante, en la neurociencia cognitiva actual, no es posible olvidar la relación entre procesos cognitivos y la estructura en la que están implementados. Ward (2004), estudia el procesamiento automático y el controlado, tal y como lo describen Shiffrin y Schneider (1997): el controlado sería más sensible a los cambios, mientras que el procesamiento automático podría no verse afectado por ser más resistente a los cambios en velocidad (Ward, 2004; Schmitter y Rogers, 1997). Si se acepta que el cerebro procesa información mediante la activación de redes neuronales, es posible anticipar que algunos procesos implican la participación de amplias y complejas redes, lo que puede hacer que lleve más tiempo resolver el problema que con aquellos que implican una red muy sencilla. Por lo tanto, podemos deducir que las tareas más complejas pueden requerir una secuencia de activación de redes que aumente considerablemente el tiempo de procesamiento. Se ha observado en una lesión frontal específica o generalizada y ampliamente distribuida que afecte al SNC, que la función cognitiva que queda más afectada por la disminución de la VPI son las FFEE. No obstante, la VPI puede ser independiente de la velocidad a

la que se llevan a cabo otros procesos automáticos como la detección de estímulos (Ward, 2004).

1.2.4. Modelos y bases neuroanatómicas de la velocidad de procesamiento de la información.

Entre los modelos puramente cognitivos y los biológicos, tratando de integrar la información que se aporta desde diferentes ámbitos, surgen algunos modelos que pretenden explicar no tanto el funcionamiento normal de la VPI, sino más bien como ésta queda alterada en estados patológicos. Casi todas las propuestas se basan en un sistema de procesamiento de la información formado por múltiples nodos y en el que la información queda almacenada mediante el reforzamiento de las conexiones entre los nodos. La VPI dependerá del adecuado funcionamiento de esta red. Si un cierto número de nodos se pierde, la situación puede parecerse a la que sucedería tras una lesión cerebral: el sistema se vuelve lento, no puede activar todas las redes neuronales como lo hacía y las respuestas pueden ser parciales, incompletas, e incluso erróneas (Zomerén y Spikman, 2006). No obstante, es preciso destacar la propuesta de Myerson et al. (1990) con su teoría del ruido neural, que se basa en los resultados de estudios con adultos en envejecimiento no patológico. Propusieron un modelo matemático que asume que un patrón de actividad neural sufre en circunstancias en las que la proporción señal-ruido es menor, debido sobre todo a la presencia de una mayor actividad irrelevante causada por la actividad residual del procesamiento de estímulos anteriores, un aumento del ruido espontáneo o por la presencia de “*inputs*” de información más leves. Utilizando estos modelos como referencia, diversos autores investigaron la posible influencia de la actividad neuronal residual de las operaciones mentales previas y del ruido sobre el procesamiento de la nueva información relevante. Esta actividad residual estaría relacionada con el procesamiento de un estímulo de reciente aparición, y no con una actividad espontánea, aleatoria y permanente en el sistema.

La teoría del ruido señala que los TR y la mayoría de eventos neuronales están ralentizados porque el SNC necesita más tiempo para integrar la información y compensar unos altos niveles de ruido neural distractor, debido a sonidos de fondo, alteraciones o irregularidades en el funcionamiento de las neuronas, etc. No parece existir, por tanto, una influencia de la interferencia sobre el análisis de los estímulos relevantes, y el posible “sobre-procesamiento” de información irrelevante no se ha mostrado como algo central para explicar la disminución de la VPI. Pese a ello, se sigue pensando que estos niveles de señal y ruido pueden guardar relación con una pérdida

de la funcionalidad y estructura del tejido axonal, y se siguen manejando como una hipótesis plausible para explicar los cambios en la VPI (Zomerén y Brouwer, 1994).

Los numerosos avances en las técnicas de neuroimagen y del registro de la actividad cerebral están permitiendo aportar información relevante en cuanto a las estructuras que pueden subyacer a la VPI. La VPI se ha relacionado más con la sustancia blanca cerebral que con la sustancia gris. Diferentes estudios conductuales y mediante técnicas de neuroimagen han sugerido una relación entre la velocidad y determinadas características del “cableado” cerebral: el diámetro de las vías nerviosas, la integridad de las vainas de mielina, el grado de mielinización, el número de canales iónicos y la eficiencia en la sinapsis (Ríos-Lago y Periañez, 2010). Es posible que el aumento de la VPI durante la infancia y hasta la adolescencia, junto con su ralentización a lo largo de la edad adulta y el envejecimiento estén causados, al menos parcialmente, por la maduración y el deterioro de la sustancia blanca cerebral (Deary et al., 2006). A medida que aumenta el volumen de la sustancia blanca durante el desarrollo evolutivo, así lo hace la VPI. La velocidad de diferentes tipos de procesamiento sigue un curso regular a lo largo del ciclo vital: aumenta durante la niñez y la adolescencia, alcanza un pico máximo al inicio de la edad adulta y luego comienza a declinar (Kail, 1991; Madden et al., 2004; Bartzokis et al., 2010; Courchesne et al., 2000).

En cuanto a la localización de estos cambios en la sustancia blanca, no parece existir un acuerdo claro entre diferentes autores. Algunos señalan que esta disminución de la sustancia blanca parece estar distribuida por todo el cerebro y no es específica de una región concreta (Madden et al., 2004; Resnik et al., 2003). Otros autores, sugieren una mayor disminución en regiones anteriores del cerebro (O'Sullivan et al., 2004; Pfefferbaum et al., 2002). Así, con independencia de las diferentes aproximaciones que pueden seguirse desde el punto de vista cognitivo, existe acuerdo en señalar que el enlentecimiento puede deberse fundamentalmente a la propia naturaleza de la lesión axonal, a la pérdida difusa de neuronas o a las lesiones focales de los ganglios basales. De hecho, tanto el envejecimiento como el daño cerebral traumático afectan de forma difusa al cerebro, y como consecuencia de ello se observa una disminución en la VPI (Ferraro, 1996). Es decir, el principal factor responsable sería el conjunto de cambios neurofisiológicos producidos por las alteraciones de la sustancia blanca (Salthouse, 1996 y 2000).

En el momento actual, el estudio de la relación entre sustancia blanca cerebral, VPI y otros procesos cognitivos está en sus inicios, y muchos de los trabajos publicados no van más allá de la mera descripción de correlaciones. Por tanto, es necesario seguir

profundizando en esta línea de investigación para determinar el papel que desempeña cada una de las estructuras de la sustancia blanca cerebral. También es posible detectar mecanismos de alteraciones más cognitivas, quizá ligados a la sustancia gris (Ríos-Lago y Periañez, 2010). Algunos de estos mecanismos se relacionan con las regiones del cerebro responsables de las primeras fases de procesamiento de la información. Así, las lesiones parietooccipitales son críticas para determinadas discriminaciones perceptivas y para algunos procesos atencionales, lo que podría ralentizar las fases perceptivas del procesamiento de la información.

En cuanto al momento de la planificación y ejecución de las respuestas, un aumento en los TR de una tarea puede estar vinculado con una lesión en el área motora suplementaria (AMS), ya que está relacionada con la organización de respuestas complejas, con la secuenciación de la acción y con la puesta en marcha de patrones motores poco conocidos y sin automatizar (Stuss et al., 2005). Esta relación fue ya descrita por Drewe (1975), que establecía un vínculo entre las lesiones mediales frontales y la disminución de la velocidad de procesamiento específico en las tareas complejas. Ello implica que diversos caminos permiten la activación de la respuesta motora. Algunas de esas vías pasan por el AMS. Esta región puede ser necesaria para organizar respuestas complejas, facilitar las respuestas rápidas, activar los patrones de respuesta que no están automatizados (o no se han practicado lo suficiente) y para mantener las reglas de decisión (Stuss et al., 2005; Picard et al., 1996). Si esta región queda lesionada, la respuesta se ha de medir por una vía más lenta (ganglios basales). Sin embargo, esta explicación tampoco está exenta de dificultades, ya que no es probable que exista un camino único que siga la ruta: áreas sensoriales – AMS – área motora primaria, y, por el contrario, sí parece plausible una conexión directa entre las áreas sensoriales y las áreas motoras para dar respuesta a las tareas más sencillas (TRS).

1.2.5. Factores que intervienen en la velocidad de procesamiento de la información y otros procesos cognitivos.

Una vez revisados los estudios referentes a las bases neuroanatómicas de la VPI, veamos ahora, de modo más específico, los factores y características que intervienen en la VPI, así como su relación con otros procesos cognitivos. Los factores que pueden condicionar una respuesta rápida o lenta son múltiples: aspectos motivacionales, tener práctica con la tarea (como resultado del aprendizaje y del

entrenamiento), prestar atención en la realización de la tarea, el nivel de “arousal” (Henderson y Dittrich, 1998), la perseverancia de errores durante la ejecución de la tarea (Garavan et al., 2002), la existencia de alteraciones en el estado de ánimo (depresión, ansiedad, etc.), la presencia de impulsividad (ligada a una lesión cerebral o al consumo de sustancias), la presencia de síntomas neuropsicológicos como la apatía, dificultades motoras que puedan condicionar el rendimiento, etc. A continuación, nos centraremos en aquellas variables que no dependen del contexto, sino las propias de cada individuo.

Desde la hipótesis de la VPI se asume, que las dificultades de procesamiento de la información es una de las principales causas de las alteraciones cognitivas de los sujetos (DeLuca et al., 2004). El modelo de consecuencia relativa sugiere que la ralentización de los individuos afecta a su capacidad para realizar otras tareas como la memoria de trabajo (Archibald y Fisk, 2000; D'Esposito et al., 1996), la memoria a largo plazo (Litvan et al., 1988) o la adquisición de nueva información (DeLuca et al., 2004). Así la mala ejecución de las tareas en dichos sujetos podría interpretarse erróneamente si no se considera la influencia que ejerce la VPI (Salthouse, 1996). Por tanto, esta concepción de la velocidad sugiere que la ralentización que se observa en diferentes grupos de individuos influye en el rendimiento de los mecanismos cognitivos de más alto nivel (Kail, 1998).

Después de revisar los resultados de bastantes estudios, en resumen podemos concluir que parece que aceptar la versión dura de la hipótesis de la velocidad de procesamiento no está sustentada por los datos. Es decir, versiones consistentes como la de DeLuca (2004) o Salthouse (1996), en las que se asume que la totalidad de las dificultades cognitivas de determinadas poblaciones con o sin alteraciones cerebrales están causadas por déficits de velocidad, no podrían mantenerse a la luz de las disociaciones funcionales observadas. De otra forma, la adopción de esta hipótesis en sentido débil tendría claras implicaciones teóricas y prácticas, de modo que ayudaría tanto a la comprensión de la etiopatología de estas alteraciones como al establecimiento de procedimientos de evaluación adecuados que permitan disociar entre dificultades de velocidad y dificultades específicas en los procesos cognitivos.

1.2.6. La evaluación de la velocidad de procesamiento de la información.

En numerosas ocasiones, cuando se realiza una evaluación neurocognitiva, se emplean pruebas en las que se controla el tiempo de ejecución (bien porque existe un tiempo límite, o bien porque se registra el tiempo de realización de la tarea). Este control

de tiempo tendrá en la mayoría de las ocasiones un impacto sobre el rendimiento final del individuo, que se reflejará en la puntuación obtenida en el test. En estos casos y dado que el tiempo de ejecución se toma como medida de integridad de los procesos cognitivos, es posible confundir el efecto de la lentitud de procesamiento control del tiempo con las verdaderas alteraciones de dichos procesos. Este hecho es especialmente relevante en tareas de atención, pero no sólo, ya que otros procesos cognitivos (memoria, acceso al léxico, etc.) pueden ver condicionado su rendimiento por este factor. Son numerosas las tareas que se han empleado para la evaluación de la VPI: tareas neuropsicológicas tradicionales (clave de números, búsqueda de símbolos, test de Stroop, etc.) y tareas de TR. En el momento de valorar la VPI de un individuo es preciso observar, en primer lugar, las variables del entorno que imponen un ritmo y velocidad determinados y las variables del individuo que permiten o no mantener el ritmo impuesto. Existen dos tipos de tareas principales en las que se controla el tiempo de ejecución de la prueba y que tienen en cuenta esta cuestión: tareas “*paced*” en las que la tasa de presentación de estímulos viene determinada por el evaluador y, tareas “*unpaced*” en las que el paciente no tiene un límite prefijado de tiempo para responder a cada uno de los ítems, aunque sí exista un tiempo límite para realizar la prueba. Como se aprecia, en ambos tipos de tareas existe una modulación del resultado en función de la VPI del individuo, pero la sensación de presión temporal, con su consiguiente impacto sobre el rendimiento, es más evidente en las tareas “*paced*”.

De un modo más específico sobre la disociación atención-VPI, algunos modelos recogen la necesidad de evaluar tanto los componentes atencionales (control atencional/ejecutivo) como la VPI (Ríos-Lago et al., 2004; Spikman et al., 2001). Como ya se ha señalado anteriormente, la distinción entre los componentes de control atencional y VPI resulta útil en la evaluación de individuos que poseen una lesión cerebral. Zomeren y Spikman (2006) sugieren que estos dos componentes tienen presencia en dos características de los tests: la presión del tiempo y la estructura de la tarea. Ambas son importantes tanto en el contexto de la evaluación como en la vida cotidiana, de modo que la presión del tiempo guarda relación con la VPI y la estructura de la tarea se relaciona con los componentes de control atencional. La necesidad de control es máxima en tareas poco estructuradas que no se pueden resolver con respuestas rutinarias o automáticamente. El control atencional siempre implica la participación de la memoria operativa, donde las intenciones y las reglas del funcionamiento de la tarea han de mantenerse activas. Así, es posible describir el funcionamiento atencional y la VPI con un modelo que contiene tres niveles, derivados de la propuesta de Michon (1979) y ajustados por Zomeren y Spikman (2006):

Tabla 5. Niveles de funcionamiento cognitivo y VPI. Modificada de Zomerén (2006).

	Presión del tiempo	Estructura	Tareas (Ejemplos)
Nivel Operacional	Alta	Alta	Tareas de Tiempo de reacción Test de Stroop (palabra) Test de Stroop (color) Tareas de clave de números
Nivel Táctico	Media	Parcial	Tareas de atención dividida, Stroop (palabra-color) Trail Making Test B Continuous Performance Test Paced Auditory Serial Addition Test
Nivel Estratégico	Baja	Desestructurada	Tareas Duales Winsconsin Card Sorting Test Test de los seis elementos Mapa del zoo

- **Operacional:** En este nivel la presión del tiempo es alta y la velocidad es el factor principal. La tarea está muy estructurada y la necesidad de control atencional es mínima. La conducta de los sujetos en estos casos está conducida por los estímulos.
- **Táctico:** En este caso ser rápido no es suficiente para una ejecución satisfactoria de la tarea. Las tareas son más complicadas y el riesgo de cometer errores existe. Las instrucciones del test son más complejas y el sujeto elige la pauta temporal en la producción de las respuestas, de modo que ha de buscar un equilibrio entre la velocidad y precisión. La estructura de la tarea es intermedia, de manera que se requiere cierto nivel de control atencional. Las instrucciones de la tarea debe mantenerlas en la memoria operativa, por lo que la conducta está dirigida por la memoria.
- **Estratégico:** La presión temporal es mínima, pero la tarea está claramente desorganizada. Las instrucciones que se van dando no determinan con exactitud qué es lo que tiene que hacer y los pacientes deben aplicar sus propias estrategias, fijar las prioridades y estimar el coste de los errores. Así, este nivel es el que más se parece a la vida cotidiana. La conducta aquí está determinada por la estrategia del sujeto.

En cuanto al uso de pruebas neuropsicológicas clásicas y el uso de tareas más experimentales de TR, existen algunas cuestiones metodológicas que vale la pena revisar (Kail 1998; Donders et al., 2001; Lengenfelder et al., 2006). La VPI se ha evaluado normalmente desde tres tests tradicionales como el PASAT, el SDMT, el Test de Stroop o el Trail Making Test. Pese a que dichos tests proporcionan una información relevante sobre el rendimiento cognitivo de cada individuo, según Tombaugh (2006) presentan tres problemas fundamentales:

1. No permiten medir de forma precisa la VPI, sino que generan medidas en el orden de los segundos.
2. Los resultados pueden venir modulados por los síntomas motores y sensoriales de la enfermedad, ya que los individuos pueden padecer problemas de visión, enlentecimiento perceptivo, motor, auditivo, etc. En estos casos sería necesario controlar este hecho, de modo que se pueda eliminar de los resultados la posible influencia de dichas dificultades. También es posible el uso de tareas informatizadas para minimizar su impacto.
3. Su realización implica la puesta en marcha de diferentes procesos cognitivos. No existen tests puros que pongan en marcha un solo dominio cognitivo. Carecen de especificidad suficiente para clarificar cuál de los mecanismos cognitivos asociados a su realización es responsable de una ejecución pobre.

Por otra parte, no se deben subestimar la capacidad de las tareas sencillas de TR para detectar dificultades en los sujetos (Ward, 2004). Collins y Long (1996) sugieren que estas tareas pueden ser sensibles para detectar dificultades. Es decir, su rendimiento puede estar afectado mientras que otras pruebas convencionales se realizan con normalidad. El valor potencial de incluir tareas de TR en las evaluaciones se desprende de una variedad de fuentes que sugieren que los paradigmas de TR proporcionan un método rápido, sencillo y válido que puede revelar alteraciones cognitivas aunque los sujetos ejecuten de forma normal los tests neuropsicológicos tradicionales (Ferraro, 1996; Kujala et al., 1994; Bleiberg et al., 1998; Braun, 1989). Se trata de pruebas más precisas que permiten medir la velocidad en el orden de los milisegundos, y posibilitan la obtención de índices y puntuaciones derivadas para delimitar con precisión las dificultades en los estadios centrales del procesamiento (procesos cognitivos), las que afectan a la fase perceptiva y motora. Las medidas de TR no se limitan a la evaluación inicial del nivel de alteración, sino que se extienden también al estudio de la recuperación/rehabilitación y al alto rendimiento cognitivo y perceptivo-motor.

Es posible que los programas de entrenamiento aeróbico ofrezcan algunos beneficios respecto a la VPI en los participantes. No existen resultados concluyentes para apoyar que los TR mejoran con el ejercicio aeróbico (Vercruyssen, 1993). Si bien parece que la práctica repetida de algunos ejercicios puede mejorar la VPI, particularmente en aquellos en los que la experiencia, el conocimiento y la sabiduría son factores que pueden determinar la tasa de respuestas. Un determinado estilo de vida (lo que incluye el ejercicio diario, la actividad física y mental de alto nivel) puede ser

beneficioso para ralentizar el deterioro cognitivo asociado a la edad. Por último, algunos trabajos se han centrado en las posibilidades de mejora de sujetos sanos (Dye et al., 2009). El objetivo del estudio fue valorar si es posible reducir los TR con el entrenamiento apropiado en un individuo, para múltiples tareas y sin afectar a la precisión de las respuestas. Para ello, utilizaron un entrenamiento en videojuegos, que tuvo un impacto sobre la VPI y no hizo disminuir la precisión de las respuestas. Estos autores señalan que los TR rápidos muestran una correlación con tests de alto rendimiento cognitivo (Conway et al., 2002) y son responsables de algunos de los cambios observados a lo largo del ciclo vital (Kail y Salthouse, 1994). Hay que señalar que encuentran un efecto de generalización de los cambios a otras tareas de tipo perceptivo y atencional, pero no tienen resultados para otras modalidades sensoriales. Finalmente, sugieren que el entrenamiento con videojuegos podría resultar de utilidad para mejorar los TR de aquellas personas que muestren unas respuestas por debajo de su grupo de referencia, tales como los adultos mayores.

A modo de conclusión de este apartado, recordaremos que la disyuntiva entre VPI y procesos atencionales no se ha resuelto hasta el momento. Posiblemente, los avances que se produzcan en los próximos años gracias al uso de las nuevas técnicas, establezcan nuevas relaciones entre cerebro y VPI, así como delimiten el verdadero papel de la sustancia blanca cerebral sobre este mecanismo. ¿Se trata simplemente de que los procesos se realizan con más rapidez de forma generalizada, o por el contrario, cambia el modo de procesar la información en subcomponentes específicos? ¿Pueden tener más relevancia unos mecanismos cognitivos que otros? Estas cuestiones, todavía están esperando ser respondidas.

1.3. LA ACCIÓN MOTORA Y LAS FUNCIONES EJECUTIVAS

1.3.1. Control motor y cognición motora.

Cualquier acto motor, incluyendo las más simples respuestas reflejas, es el resultado de la actividad simultánea y coordinada de múltiples centros corticales y subcorticales. Existen diversas áreas que tienen un importante papel en el proceso de control de los movimientos. Éstas áreas funcionan de manera coordinada gracias a las densas conexiones existentes entre ellas, que dan por resultado numerosos circuitos de carácter bidireccional. Esta actividad coordinada implica también complejos sistemas de modulación mutua tanto a nivel local como entre distintas áreas. Los mismos aspectos de un movimiento pueden ser generados de maneras muy diferentes en función de los centros que estén más activos en ese momento. Ello conlleva una mayor flexibilidad y adaptabilidad de las acciones, como puede observarse en los procesos de aprendizaje motor o de recuperación tras una lesión. Las áreas motoras de la corteza se encuentran conectadas de forma bidireccional con las diferentes áreas sensoriales, primarias y secundarias, y con las áreas principalmente implicadas en los procesos atencionales, emocionales y motivacionales.

Si imaginamos que estamos paseando con una bicicleta, por un lado mantenemos el equilibrio para no caernos mientras que a la par pedaleamos con fuerza, moviendo cada pierna alternativamente, para lograr la velocidad que deseamos. Al mismo tiempo, utilizamos los brazos para torcer el manillar, y las manos, para frenar, si es necesario. En todo momento estamos atentos a lo que nos rodea, en caso de que necesitemos cambiar de dirección o detenernos. Todas estas acciones parecen fáciles y se desencadenan de una forma dinámica, continua y fluida. Sin embargo, es posible que todavía recordemos que no parecían tan sencillas la primera vez que subimos a la bicicleta. Este ejemplo refleja muy bien la gran complejidad de los procesos motores y su estrecha relación con los sistemas perceptivos, especialmente el visual, el propioceptivo y el vestibular. Los procesos de integración perceptivomotora son centrales en la comprensión de la acción ya que permiten la selección de un patrón concreto de movimientos de entre todos los posibles para alcanzar una meta. Cómo se produce la secuenciación de los movimientos y su coordinación temporal son otros aspectos relevantes para la comprensión del sistema motor. Como conclusión de este apartado, la información perceptiva y los componentes motores se mantienen en estrecha interconexión durante la ejecución de cualquier acción. Para que dicha acción

sea exitosa, el sistema motor ha de tener información constante acerca del ambiente y también acerca del propio estado del cuerpo. Esta información permite adecuar el proceso de planificación motora al estado presente del organismo, anticipar las consecuencias de una acción o corregirla en caso de necesidad. Por lo tanto, puede decirse que determinar dónde finaliza la percepción en el cerebro y dónde empieza la acción, por el momento es imposible.

1.3.2. Procesos cognitivos de la acción motora.

El ser humano está íntimamente ligado con su entorno. A diario, interaccionamos con el medio a través de los movimientos de nuestro cuerpo. Todos ellos, desde los más sencillos y cotidianos hasta los más complejos, son el resultado de una coreografía muscular perfectamente dirigida desde la corteza cerebral, cerebelo y medula espinal entre otras regiones. El acto motor se divide en varios componentes: uno interno no observable y otro externo observable. A su vez, el componente interno se divide en varias etapas: sentir la necesidad de mover, bien a través de estimulación externa (entorno) o interna (voluntad propia), planificación del movimiento, selección de la secuencia apropiada de los movimientos y de los patrones motores adecuados que finalmente llegarán al músculo. Todas estas etapas están organizadas de forma jerárquica en el sistema para la acción.

En la actualidad, los procesos cognitivos asociados a la acción y las representaciones motoras despiertan un especial interés por parte de la comunidad científica desde el momento en el que se descubren las “*neuronas espejo*”. Éstas muestran cómo otros procesos como la observación de acciones o la imaginación motora reclutan las mismas áreas corticales utilizadas para la propia ejecución de la acción. A estos procesos internos se les denomina “*cognición motora*” y son considerados como el puente que une el pensamiento y el acto motor. El concepto de “*acción*” en neurociencia cognitiva puede ser descrito como la expresión final de una serie de etapas de procesamiento de la información (Decety, 1997):

- a) La identificación de una meta y la intención que le asociamos.
- b) La planificación de acción hacia la meta.
- c) La programación de la acción.
- d) La ejecución de la acción.

Desde una perspectiva cognitiva podríamos decir que toda acción voluntaria dirigida a una meta está guiada de forma interna y reposa sobre las representaciones motrices. Estas representaciones se definen como un almacén donde se encuentran las

distintas acciones que el sujeto ha aprendido (repertorio motor) y está constreñido por las limitaciones biomecánicas del cuerpo humano. Se trataría de un vocabulario de acciones con información sobre cada acción, desde cómo ejecutarla, qué sensaciones produce, qué consecuencias y qué significado posee (Jeannerod, 1997).

La activación de estas representaciones nos permitirá acceder a éste tipo de información y utilizarla para planificar y/o ejecutar acciones, para reconocer acciones realizadas por otros, para entender qué significan, etc. El concepto de representación de la acción es similar al propuesto por Arbib (1981) sobre la noción del esquema motor: un almacenamiento de información motora y una descripción de los procesos necesarios para aplicar ese conocimiento, que se propuso para integrar la percepción, la acción y la memoria. Una de las propiedades que más caracteriza al ser humano en comparación con otras especies animales es su habilidad para representar mentalmente todo tipo de conceptos. A este proceso se le ha denominado *“imaginación motora”*. Durante la imaginación motora, participan todos los conocimientos motores internos sobre la acción en concreto. Estos procesos cerebrales son muy similares a aquellos que participan en la planificación o preparación de un movimiento. Todos ellos requieren la selección del movimiento adecuado y el acceso a su representación, por lo que a menudo se estudian de forma conjunta. Se suele decir que imaginar algo es como vivirlo o sentirlo en nuestro interior. Dos evidencias científicas, sugieren que este dicho popular esté en lo cierto. Primero, durante la imaginación motora de una determinada acción se puede observar un cambio de respuestas vegetativas como la tasa cardíaca, la tasa respiratoria y la presión sanguínea. La actividad del sistema vegetativo correlaciona positivamente con el grado de esfuerzo físico que la acción requiere (Decety et al., 1993). Segundo, el patrón temporal de los movimientos imaginados es similar a aquel de los movimientos ejecutados, indicando una independencia de la imaginación motora basada en las limitaciones físicas y mecánicas del cuerpo humano y la acción (Decety, et al., 1989; Oishi y Maeshima, 2004).

Durante la observación de las acciones motoras obtenemos información que nos permite interactuar entre los seres vivos de las diferentes especies. Este proceso es de gran importancia en la vida cotidiana y necesario para la adaptación y la supervivencia. Por ello, la *“teoría de simulación motora”* (Premack y Woodruff, 1978) sugiere la influencia de las regiones motoras durante la percepción de las acciones. Durante la observación cartografiamos la acción observada en aquella existente en nuestro motor, es decir, en la representación interna de la misma acción. De esta manera, la simple observación de una acción sería suficiente para acceder a las memorias motoras que el sujeto ha almacenado, incluyendo sus comandos motores, su significado y otros tipos

de información relevante de la acción. Esta teoría, también ha ganado importancia, credibilidad y evidencia científica desde la aparición de las anteriormente denominadas “*neuronas espejo*”.

A modo de resumen, según los estudios realizados hasta el momento podemos extraer las siguientes conclusiones: a) durante la observación de una acción se activan áreas motoras en el observador relacionadas con su ejecución (la corteza premotora y la corteza parietal); b) las áreas espejo presentan mayor activación durante la observación de acciones biológicas, o relacionadas con la presencia de objetos o metas externas; c) durante la observación de acciones podría realizarse un emparejamiento entre la acción observada con aquella que poseemos en nuestro repertorio motor; d) otras regiones como el lóbulo parietal posterior o el surco temporal superior pueden estar representando aspectos visuales de la acción, y e) el cerebelo podría participar en la simulación motora interna.

Una vez activada la representación motora de la acción que estamos observando, tendremos acceso a toda la información relacionada con dicha acción, lo que facilita la posibilidad de reaccionar ante ella, de predecir el siguiente movimiento y preparar nuestra respuesta de conocer su intención o de entender o acceder al estado mental del otro a través de una acción. Varios estudios conductuales han mostrado la interacción entre percepción y acción. Los estudios más sencillos miden el TR durante el movimiento de un dedo en respuesta a una señal. Tradicionalmente se creía que la percepción y la acción eran dos sistemas independientes, sin embargo, el hecho de que lo observado interfiera con el movimiento ejecutado indica que ambos utilizan un sistema representacional común e interaccionan a distintos niveles.

Para finalizar este apartado, podemos concluir que el estudio de los procesos internos de la acción es un tema aún abierto a la investigación. El descubrimiento de las neuronas espejo sugiere que las representaciones motoras participan en más procesos que en la mera ejecución de las acciones. Según los estudios basados en la observación de acciones o la imaginación de movimientos, podemos suponer que distintos componentes de las representaciones motoras estarían distribuidos en una red neural en la que la corteza premotora y parietal desempeñan un papel principal. Otras cuestiones como la forma en la que la percepción de una acción alcanza las representaciones motoras de la corteza frontal y cómo se realiza la transformación visuomotora pueden ser abordadas a través de nuevos estudios basados en la conectividad funcional y la combinación de técnicas de alta resolución espacial y temporal como las RMf.

1.3.3. El acto motor voluntario.

La visión tradicional del sistema motor es la de un mecanismo que da salida a la respuesta motora, cuya lesión altera la planificación y ejecución de los movimientos voluntarios. Un sistema cuya función es esencial, ya que nos permite interactuar con el entorno y el resto de individuos. La acción voluntaria se define desde la neurología como toda aquella conducta que se puede iniciar, detener, modificar o variar en intensidad durante el curso de su ejecución. Dicha acción voluntaria se ve influida por la experiencia, control de la ejecución y atención, y con el tiempo se puede realizar de forma automática sin que seamos conscientes de la información que procesamos para ejecutarla (Pisella et al., 2000). Aunque se han descrito casos en los que la conducta realizada por el sujeto y la conciencia de ella no coincide (Fournier y Jeannerod, 1998), en general los seres humanos tenemos una fuerte sensación de control y conciencia sobre nuestros actos voluntarios. Varias teorías han debatido la naturaleza de estos actos motores. El dualismo cartesiano propone que la experiencia consciente y voluntaria de iniciar un movimiento es la causante de la actividad cerebral que realiza el movimiento. Por otro lado, experimentos más recientes sugieren que a nuestra experiencia consciente sólo llegan las fases más tardías de la preparación del acto motor, es decir, sólo los niveles superiores de la organización de la acción son accesibles a la experiencia consciente.

La relación de la función motora con los procesos cognitivos superiores y, en particular, con las FFEE se pone de manifiesto de varias maneras. Anatómicamente, debemos de considerar que la función de cualquier área cerebral viene determinada por las conexiones que posee (Rushworth, 2004). El lóbulo frontal está formado por la corteza prefrontal, la corteza premotora y la corteza motora. La proximidad de estas tres áreas las hace indiscutibles compañeras del procesamiento motor. Las evidencias sobre la relación entre el control motor y la corteza prefrontal se deducen de las conexiones entre diferentes regiones prefrontales y varias áreas motoras. Entre ellas, el AMS, la corteza premotora, regiones somatosensoriales en la corteza parietal, la región motora del tálamo e incluso las áreas subcorticales como los ganglios basales. Conductualmente también se observan relaciones entre la función motora y cognitiva cuando nos centramos en tareas motoras complejas, donde es necesaria la coordinación o secuenciación de distintos elementos, o donde entran en juego factores externos e internos.

La conducta motora se puede representar en un continuo en el que se encuentran distintos niveles de control. En un extremo se localizan los reflejos y en el

otro extremo se sitúa el acto motor voluntario. Entre estos dos polos podemos situar la conducta aprendida y la conducta motivada (Goschke, 2003). Los reflejos son una pauta de comportamiento genéticamente predeterminada y están presentes desde el nacimiento. Una gran cantidad de reflejos son meramente espinales y su forma motora está directamente relacionada con el estímulo que los produce. La conducta aprendida, o hábito motor, parte de la capacidad para modificar la conducta basándonos en experiencias individuales a través del aprendizaje procedimental. En este tipo de aprendizaje se establecen nuevas asociaciones entre actos motores y eventos perceptivos, que se automatizan y pueden realizarse sin necesidad de control cognitivo (Squire, 1992). La conducta motivada es aquella que cambia en consonancia con la fluctuación de distintos estados motivacionales. Se basa en un fenómeno complejo, a su vez dividido en niveles. Este tipo de conducta motora suele estar dirigida a una meta u objetivo concreto, que está directamente relacionado con la satisfacción de la motivación específica.

En el extremo opuesto a los reflejos encontramos el acto motor voluntario, un proceso similar a la toma de decisiones. Este constituye la habilidad para representar de forma interna las metas y objetivos, así como anticipar la consecuencia de nuestros actos y ajustarlos de modo que lleguemos al objetivo previsto. La acción voluntaria se basa en la representación mental de metas y objetivos, que a su vez están asociados con planes motores (debido al aprendizaje) y con las consecuencias motoras, sensoriales y contextuales que produce la ejecución del acto motor en cuestión. La capacidad para realizar actos motores voluntarios se desarrolla con el individuo y está asociada a dos tipos de experiencias subjetivas: la sensación de intención (planificar un movimiento y su comienzo) y la sensación de propiedad o consciencia externa.

Como conclusión de este apartado, el acto motor voluntario ha pasado de considerarse un proceso unitario asociado a una región cerebral a convertirse en una serie de procesos y redes neuronales que interactúan entre sí. Algunos modelos neurocognitivos han intentado describir los componentes que toman parte en dicho proceso (pre-AMS, cíngulo, corteza parietal y prefrontal, ganglios basales) y distintas regiones del circuito motor podrían desempeñar papeles complementarios en la toma de decisiones sobre el movimiento voluntario.

1.3.4. Demandas cognitivas inherentes al ejercicio físico: movimiento motor complejo.

Un hecho que a menudo pasamos por alto, es que existen muchas formas de ejercicio que son actividades cognitivamente atractivas. Los investigadores han sugerido que este compromiso cognitivo inherente al ejercicio puede ayudar a explicar cómo el ejercicio afecta la cognición (Sibley y Etnier, 2003; Tomporowski, et al., 2008). Gran parte del ejercicio que realizan por naturaleza los niños se realiza a través de la participación en actividades de grupo o deportes que requieren cognición compleja, con el fin de cooperar con los compañeros de equipo, anticipar el comportamiento de dichos compañeros o de sus oponentes, emplear estrategias y adaptarse a las demandas de la tarea en constante cambio. Las actividades de grupo, como el fútbol o el baloncesto jugado por los niños, contienen muchas de esas demandas cognitivas, (Davis et al., 2007). Es importante destacar que las tareas de las FFEE provocan demandas similares en los procesos ejecutivos de los niños, obligándoles a crear, controlar y modificar un plan cognitivo para satisfacer las demandas de la tarea (Banich, 2009). De este modo, podemos concluir que los juegos deportivos y las diferentes tareas de las FFEE, requieren una forma de pensamiento y habilidades cognitivas similares. Es posible que las habilidades cognitivas adquiridas durante los juegos deportivos se transfieran a las tareas de FFEE.

La participación en juegos cognitivamente complejos también debe ejercer un influjo positivo en las FFEE, en el caso de niños sedentarios. Las investigaciones han apoyado esta propuesta demostrando que los juegos computerizados creados específicamente para entrenar las FFEE, son igualmente eficaces en los niños pequeños (Rueda et al., 2005; Thorell et al., 2008), en niños mayores y adolescentes (Klingberg et al., 2005; Klingberg et al., 2002) y en adultos (Erickson et al., 2007; Jaeggi et al., 2008; Olesen et al., 2004; Persson et al., 2008).

Dos aspectos son pertinentes en la discusión actual. En primer lugar, los juegos deportivos requieren de cierta adaptabilidad y flexibilidad ante una nueva situación. Por lo tanto, parece que las tareas computerizadas y juegos deportivos provocan demandas similares sobre la cognición, al exigir un comportamiento flexible y la toma de decisiones en un ambiente nuevo. Y, en segundo lugar, los estudios muestran que la práctica de juegos deportivos no solamente mejora el rendimiento en los juegos entrenados, sino que estas mejoras también se transfieren a nuevos componentes o tareas de las FFEE, incluyendo la inhibición (Klingberg et al., 2005; Klingberg et al., 2002; Olesen et al., 2004) y la memoria de trabajo (Thorell et al., 2008). En otros estudios, las mejoras

conductuales fueron acompañadas por una mayor activación de la CPF en tareas de las FFEE (Erickson et al., 2007; Rueda et al., 2005).

Un concepto que puede ayudar a explicar la complejidad de estas interacciones entre los diferentes componentes de las FFEE es la interferencia contextual. Aunque la adquisición de habilidades se produce más rápidamente cuando los componentes de una tarea se presentan de una manera simple y repetitiva, la retención y la transferencia de las habilidades se incrementan cuando hay interferencia contextual, es decir, los componentes se presentan de una manera compleja y casi al azar (Bättig, 1972). La participación de los niños en los juegos, contiene a menudo la interferencia contextual. Por ejemplo, en el juego de baloncesto el niño puede tener que realizar un pase picado para pasar la pelota con eficacia en un escenario específico, pero también lo necesita para lanzar la pelota en otro contexto totalmente diferente. El pase que se precisa en ese momento no está predeterminado y rara vez se repite una y otra vez, se determina por una multitud de factores que convergen en un momento particular. La interferencia contextual demandada en los procesos ejecutivos de un plan de acción motriz debe ser creada, controlada y modificada en presencia de continuas y cambiantes demandas de la tarea (Brady, 2008). Por lo tanto, el esfuerzo del procesamiento de la información lleva a un mayor aprendizaje (Carey, Bhatt y Nagpal, 2005). Un ejemplo que lo justifica es un reciente estudio de RMf en el cual el procesamiento de la información impone demandas sobre las FFEE relacionadas con circuitos neurales. Los resultados destacan una mayor activación frontal y parietal, en comparación con la activación del cerebelo, en la ausencia de interferencia contextual (Cross, Schmitt y Grafton, 2007).

El grado de compromiso cognitivo que ofrece una actividad varía seguramente en su desarrollo. Las formas de ejercicio que contienen numerosas reglas probablemente no son apropiadas para los niños más pequeños, ya que no están preparados cognitivamente para entender y mantener dichas reglas. A su vez, es posible que se sientan frustrados por la actividad y no reciban ningún beneficio. Por el contrario, los niños mayores pueden llegar a desinteresarse en actividades que son rápidamente adquiridas y dominadas.

La ejecución de los movimientos motores complejos también recluta circuitos neuronales asociados a las FFEE (Diamond, 2000). Este hecho cuestiona varias investigaciones que sugieren una estrecha relación entre los nervios y la sustancial co-activación del cerebelo, crítico para el movimiento complejo y coordinado, y CPF dorsolateral (CPF-DL), fundamental para las FFEE. Diamond llegó a la conclusión de que el cerebelo parece ser importante para funciones cognitivas complejas. Del mismo

modo, la CPF-DL parece ser importante en el desempeño de las funciones motoras complejas (Serrien, Ivry y Swinnen, 2007). Asimismo, Diamond (2009) argumentó que el cerebro y la mente, por extensión, operan de un modo global y las actividades cognitivas y motoras que dependen de procesamiento no automático y selectivo requieren de su esfuerzo por adquirirlas. Por lo tanto, la ejecución de los movimientos motores complejos parece ser una tarea cognitivamente atractiva, mientras que la ejecución de simples ejercicios repetitivos puede serlo menos. Además, la investigación con animales indica que la actividad motora compleja induce cambios morfológicos en el cerebro, mientras que la actividad motora simple no. En los roedores y primates no humanos la ejecución del movimiento motor complejo promueve el crecimiento neuronal en el hipotálamo, el cerebelo y la corteza cerebral, en un grado mayor que lo hace el movimiento motor repetitivo (Carey et al., 2005; Jones et al., 1998).

1.3.5. Las funciones ejecutivas y sus componentes.

Para tratar de explicar el concepto de FFEE, imaginemos la siguiente situación: Son las 6:00h y a las 7:00h tenemos que comenzar a caminar para realizar la aproximación a una pared que vamos a escalar. Recogemos la tienda y los sacos de dormir y encendemos la radio para escuchar música mientras preparamos el desayuno. Repasamos mientras tanto la guía de escalada, según la cual la aproximación a la pared dura unos 45 min caminando a paso ligero y se trata de una vía de 500 m, dividida en 21 largos semiequipados, entre una dificultad de 6b y 7b en la escala francesa. Se tarda una media de 7 h desde que comienzas a escalar hasta que llegas a la última reunión, donde comienzas el descenso rapelando (10 rápeles en total). La duración total del rápel es 1 h y 30 min aproximadamente, y, como estamos en invierno, se hace de noche a las 18:00 h, por lo tanto, disponemos de 1 h y 30 min de margen por si surge algún imprevisto. Comenzamos a escalar a las 8:00 h tal y como habíamos previsto, pero cuando llegan las 12:00 h, nos damos cuenta de que hemos escalado los 150 m más exigentes y nos quedan todavía 350 m. Estamos seguros de que vamos mal de tiempo, estamos poco cansados pero hace mucho viento y sol. Somos conscientes de que deberíamos de haber escalado más rápido. Cuando llegamos a la décima reunión, decidimos hacer una parada para hidratarnos y comer un plátano con algunos frutos secos para valorar la situación y tomar una decisión al respecto. Al abrir la mochila, nos damos cuenta de que nos hemos olvidado el agua. En ese preciso instante suena un pitido del teléfono; es el compañero que nos espera abajo en la furgoneta y nos observa todo el rato con los prismáticos desde el río. ¡Un “*whatsapp*”! Nos avisa de que vamos mal de tiempo y que todavía estamos a tiempo de abandonar. Si continuamos escalando después de esta reunión, no existe la posibilidad de comenzar a rapelar hasta que

lleguemos arriba, por lo tanto, corremos un gran riesgo de que se nos haga de noche en la pared. Aun así decidimos seguir con el plan inicial y continuamos.

De repente, mientras organizamos el material para seguir con el siguiente largo, oímos un fuerte choque entre dos rocas un poco más arriba de nosotros. Todo el rato progresamos sobre una roca bastante descompuesta y se producen desprendimientos muy frecuentemente. Empezamos a estar estresados y a no disfrutar. Necesitamos que el lóbulo frontal y otras regiones cerebrales nos ayuden a gestionar la situación: primero, regulando el estrés, y después, poniendo en marcha las FFEE de forma eficaz. Nos repetimos mentalmente “tranquilos, hay tiempo, solamente tenemos que pensar en perder el menor tiempo posible en las reuniones y escalar sin prisa, pero sin pausa. Todo va a salir bien y vamos a disfrutar”. Intentamos empalmar algún largo para tratar de ahorrar tiempo, pero en los últimos metros la cuerda roza mucho y gastamos demasiada energía. Dividimos nuestros recursos mentales para ser capaces de: a) llegar con luz a la última reunión sanos y salvos, b) no perdernos en el rápel y c) tratar de disfrutar. Planificamos diferentes alternativas para conseguir nuestros objetivos, tomamos las decisiones correspondientes, acordes a una secuencia de acciones y las ejecutamos de la forma más eficaz posible. Siendo conscientes de que sea posible que tengamos que reajustar las decisiones sobre la marcha, para solventar imprevistos que surjan de nuevo.

Como muestra este ejemplo, gracias a la capacidad que tiene el lóbulo frontal para gestionar el funcionamiento de otras regiones cerebrales, el ser humano es capaz de interrumpir una respuesta emocional no adaptativa en una situación concreta (la respuesta frente al estrés) y poner en marcha una serie de procesos mentales, las FFEE, que ayudan a la persona a planificar, coordinar, y supervisar la conducta de manera flexible para conseguir sus objetivos. Dichos procesos incluyen la formación de conceptos, el razonamiento abstracto, la memoria operativa, la velocidad de procesamiento, el control de la interferencia, la inhibición de impulsos, la planificación, la organización, la evaluación de errores, la flexibilidad cognitiva (cambiar de idea o estrategia) o creatividad, además de otros procesos implicados en aspectos como la cognición social y la empatía (Devinsky y D'Esposito et al., 2004). Esta función es primordial en todos los comportamientos encaminados a mantener la propia autonomía, fundamentan la personalidad y la capacidad de vivir en un grupo social mediante el conocimiento y respeto de unas normas.

Las FFEE es un término general que abarca los procesos cognitivos responsables de organizar y controlar el comportamiento dirigido a un objetivo (Banich, 2009). Del mismo modo, las FFEE designan el conjunto de habilidades cognitivas que

permiten la anticipación y el establecimiento de metas, la formación de planes y programas, el inicio de las actividades y operaciones mentales, la autorregulación de las tareas y la habilidad de llevarlas a cabo eficientemente. A la vez, define la actividad de un conjunto de procesos cognitivos vinculada al funcionamiento de los lóbulos frontales cerebrales del ser humano. Se refiere a una serie de factores organizadores y ordenadores subyacentes a todas las demás actividades cognitivas, por lo tanto, si una persona sufre pérdidas cognitivas considerables, podría continuar siendo independiente, constructivamente autosuficiente y productiva. En los últimos años se ha intentado delimitar las capacidades que componen el constructo de las FFEE y se han especificado varios componentes: memoria de trabajo, atención sostenida, autorregulación, planificación, flexibilidad, monitorización e inhibición de conductas. En este sentido Goldberg (2006), discípulo de Luria, utiliza la metáfora del “director de orquesta” en su libro “El cerebro ejecutivo”. Según esta metáfora los lóbulos frontales actúan como sustrato anatómico principal de las FFEE y son los encargados de recibir información del resto de estructuras cerebrales coordinándolas entre sí para realizar conductas proposicionales o dirigidas a un fin. Por lo que respecta a los componentes de las FFEE, existe coincidencia entre los diversos autores en señalar los siguientes componentes:

- **Atención:**

Sostenida: Proceso de mantenimiento persistente del estado de atención a pesar de la frustración y el aburrimiento. Es la atención selectiva mantenida durante un período de tiempo.

Dividida: Proceso por el que se responde simultáneamente a un doble estímulo, poniendo en marcha una doble activación. Sucede cuando el sujeto es capaz de atender a dos estímulos a la vez.

Cambio atencional: Habilidad para cambiar de foco o tarea en función de las circunstancias. Capacidad para dejar de atender una tarea y prestar atención a otra.

Selectiva o focalizada: Habilidad para responder a los aspectos esenciales de una tarea o situación y pasar por alto aquello que es irrelevante. Así acontece cuando se responde a un estímulo o tarea y se ignoran las otras.

- **Memoria operativa:** Habilidad para mantener la información en primer plano durante un breve período de tiempo, mientras se lleva a cabo la ejecución de una acción determinada, recuperando información de la memoria a largo plazo.

- **Planificació – Organització:** La capacitat de seguir una seqüència predeterminada, la coherència respecte a la meta, la importància de activar informació rellevant i la necessitat de mantenir el plan activat fins a la seva execució
- **Inhibició de respostes:** Interrupció o manteniment en suspensió d'una determinada resposta que ha estat prèviament automatitzada davant una nova situació.

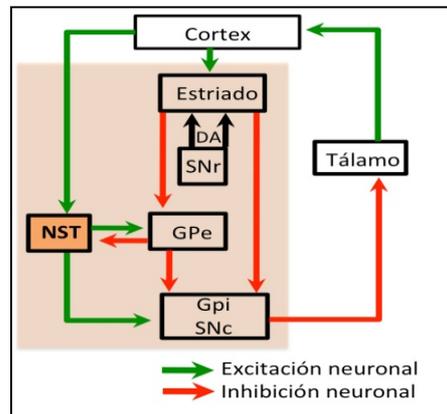


Figura 10. Representació esquemàtica de les connexions anatòmiques entre el còrtex i els ganglis basals. Les fletxes vermelles indiquen un mecanisme d'acció neuronal d'inhibició, mentre que les fletxes verdes indiquen excitació neuronal. El recuadre naranja delimita els ganglis basals. DA: dopamina; SNr: substància negra reticulada; SNC: substància negra compacta; NST: nucli subtalàmic; GPI: globus pàl·lid intern; GPE: globus pàl·lid extern. Extraïda de Obeso et al. (2011).

- **Flexibilitat cognitiva – Canvi de criteri:** Capacitat d'alternar entre diferents criteris d'actuació necessaris, per respondre a les demandes canviants d'una tasca o situació. A vegades, per que es llevi a terme un canvi de criteri, és necessari que es produeixi la inhibició amb anterioritat.
- **Generativitat – Anticipació:** Establiment de respostes conegudes davant noves situacions i respostes noves davant problemes nous.
- **Monitorització – Supervisió:** Procés paral·lel a la realització d'una activitat, que consisteix en realitzar l'avaluació o supervisió necessària per a l'execució efectiva del procediment en curs, corregint els errors abans de veure el resultat final.

Sin embargo, para Sastre-Riba (2008) sus componentes son:

- **Control de la atenció:** Atención selectiva, atención sostenida e inhibición.
- **Establecimiento de un objetivo:** Iniciativa, planificación, organización y estrategias de resolución.

- **Flexibilidad cognitiva:** Memoria de trabajo, cambio atencional, automonitorización, transferencia entre datos y autorregulación.

Otros autores (Harris, 1995; Pineda, 1996; Pineda, Cadavid, y Mancheno, 1996^a; Pineda, Ardila, Rosselli, Cadavid, Mancheno y Mejía, 1996b; Harris, Schuerholtz, Denckla, 1994; Stuss y Benson, 1986; Weyandt y Willis, 1994) distinguen entre: Anticipación, establecimiento de metas, diseño de planes, flexibilidad, organización y jerarquización, y autorregulación.



Figura 11. Componentes de las FEE, según varios autores

Otro marco teórico sugiere que las FFEE constan de tres componentes fundamentales: la inhibición, la actualización de la memoria de trabajo y la monitorización (Diamond, 2006; Miyake et al., 2000). Se cree que estos tres componentes están vinculados por algún proceso subyacente común, pero que son empleados y orientados diferencialmente a la tarea de guiar los comportamientos. Estudios de análisis factorial apoyan esta hipótesis en los adultos jóvenes (Friedman et al., 2008; Miyake et al., 2000) y también sugieren que las FFEE en niños están organizada de forma similar, aunque quizás sin un claro componente de inhibición (Huizinga et al., 2006; Lehto et al., 2003; Van der Sluis et al., 2007; Wiebe et al., 2008).

A la luz de este marco complejo, distintos estudios aluden a diferentes componentes de las FFEE. Por ejemplo, la tarea de Eriksen y Eriksen (1974), evalúa la inhibición de los niños que se requiere para inhibir la atención a los distractores y a centrarse estrechamente en un estímulo objetivo. El denominador común de éstas y otras tareas de las FFEE es que el éxito depende de la conducta dirigida a objetivos, ya que se adapta a nuevos parámetros de la tarea, en lugar de realizar un comportamiento automático, provocado por aprendizaje asociativo. Debemos prestar especial atención a las tareas utilizadas para evaluar las FFEE con el fin de responder a la siguiente cuestión: ¿Qué componentes de las FFEE están siendo afectados por el ejercicio aeróbico? En este sentido, consideramos especialmente significativa la aportación de Etnier y Chang (2009), quienes analizan los efectos de la actividad física en las FFEE.

Dentro de la corteza prefrontal (CPF), la circuitería neural es crítica para las FFEE (Luria, 1966; Shimamura, 2000; Stuss y Benson, 1984). A diferencia de otras regiones del cerebro, responsables de la ejecución motora, el procesamiento sensorial, el desarrollo del habla, el lenguaje y la atención, la CPF madura tarde en la adolescencia (Gogtay et al., 2004; O'Hare y Sowell, 2008). Durante el período de inmadurez se producen cambios progresivos y regresivos, por ejemplo, la mielinización y poda sináptica, respectivamente. Al mismo tiempo, estos cambios son influidos en parte, por las experiencias del niño (O'Hare y Sowell, 2008). Este prolongado periodo de desarrollo cerebral es paralelo a otro equiparable en el desarrollo cognitivo.

Las FFEE implican procesos complejos y no automáticos que coordinan a su vez otros procesos cognitivos de nivel inferior dirigidos con una finalidad específica. Mantienen un desarrollo prolongado con vencimiento en algún momento de la adolescencia o edad adulta temprana (Best et al., 2009). Con la edad, los niños y adolescentes demuestran una mayor competencia en las tareas que evalúan cada componente de las FFEE individualmente, así como también en las tareas que requieren la coordinación de varios componentes (por ejemplo, la manipulación de la información en la memoria de trabajo, la inhibición de la información interferente...) (Diamond, 2003). En definitiva, este desarrollo cognitivo y neural prolongado puede ser un indicador para entender por qué las FFEE de los niños son sensibles a los efectos del ejercicio aeróbico. Las FFEE y la circuitería neural subyacente están inmaduras a finales de la infancia y la adolescencia, y por lo tanto, ciertas experiencias pueden facilitar su desarrollo o mejorar temporalmente su funcionamiento. El ejercicio aeróbico parece ser una experiencia que tendría un impacto positivo en las FFEE y la circuitería de soporte neural. Después de mostrar los componentes de las FFEE, indicamos algunos ejemplos de determinadas situaciones deportistas donde los atletas se pueden sentir identificados y en las que se necesita activar las FFEE:

- Al fijar objetivos.
- Al planificar el curso de las acciones para conseguir los objetivos.
- Ante una novedad: ya que ante una circunstancia novedosa no existe una respuesta habitual, ello provoca una situación de complejidad, debida a la coordinación de varios elementos al mismo tiempo.
- Al mantener y recuperar información: la memoria operativa.
- Al iniciar e interrumpir conductas: activamos las FFEE cuando modificamos una conducta habitual para iniciar otra, alternativa y novedosa.
- Al coordinar acciones: enlazar diferentes esquemas de actuación, realizar dos o más tareas al mismo tiempo y activar distintos focos de atención.

- Al supervisar la acción: corregimos errores, anticipamos desviaciones y evaluamos los resultados.
- Al seguir las reglas: activamos las FFEE cuando necesitamos controlar nuestros impulsos, emociones y el nivel de activación. Autorregulación y autocontrol.

Por tanto, podemos concluir que las FFEE son los procesos mentales que permiten controlar y regular otras habilidades y conductas. Son necesarias para dirigir las acciones a la consecución de objetivos concretos. Incluyen la capacidad de iniciar y finalizar acciones, monitorizar y cambiar la conducta en caso necesario, así como planificar la respuesta futura cuando el individuo se enfrenta con tareas o situaciones nuevas. Este conjunto de habilidades permite a la persona anticipar las consecuencias de sus actos y adaptarse a los cambios situacionales.

1.3.6. Modelos de las funciones ejecutivas.

Los organismos complejos han desarrollado cerebros que construyen modelos internos del mundo para interactuar de manera flexible con un entorno cambiante (Adolphs, 2002). Las FFEE son una actividad cognitiva cuyo estudio se ha enfocado desde diversos modelos, lo que ha generado objetos teóricos que en ocasiones pudieran representar operaciones mentales distintas en cada caso.

Luria (1973) describió por primera vez la existencia de una actividad cognitiva reguladora del comportamiento humano, la cual permitiría actuar de acuerdo con una intención definida en dirección hacia la obtención de una meta y, por lo tanto, con una modulación a través de un programa específico mediado por el lenguaje, lo cual requeriría de un tono cortical constante. Sin embargo, en sus textos nunca usó el término FFEE.

Norman y Shallice (1986) presentaron un modelo teórico de la atención en el contexto de la acción, donde el comportamiento humano se mediatizaba por ciertos esquemas mentales que especificaban la interpretación de las entradas o “*inputs*” externos y la subsiguiente acción o respuesta. Para ello, propusieron un sistema estructurado en torno a un conjunto de esquemas organizados en función de secuencias de acción que se hallaban preparadas a la espera de que se dieran las circunstancias necesarias para actuar. Además, distinguieron entre procesamiento automático y controlado. Su modelo se compuso por cuatro elementos clave: unidades cognitivas (funciones asociadas a sistemas anatómicos específicos), esquemas (conductas

rutinarias y automáticas producto del aprendizaje y de la práctica dirigida a un fin), dirimidor de conflictos y el sistema atencional supervisor (SAS).

Lezak (1995) amplió la conceptualización de esta función reguladora refiriéndose a ella como un conjunto de habilidades de planificación, programación, regulación y verificación de la conducta intencional. Estos elementos permitirían llevar a cabo una conducta eficaz, creativa y socialmente aceptada. Para esta investigadora existiría una multiplicidad de destrezas ejecutivas independientes y no a una FE única, en los términos de un sistema funcional complejo, formado por diversos componentes, cada uno con una actividad independiente, pero con un factor común subyacente que los llevaría a trabajar con un propósito único: la organización cognitiva, según lo propuesto por Luria (1966).

Por su parte Stuss (1992), tomando distancia del modelo funcionalista de Luria y de la propuesta comportamental de Lezak (1995) planteó un modelo jerárquico de control ejecutivo (CE), formulando que la actividad de la CPF se organizaría en procesos que trabajarían de manera independiente con la información, pero cada uno de ellos requeriría de insumos (inputs) que provinieran del otro (outputs), los cuales se autorregularían de manera interactiva y se asumirían como establecidos en 3 niveles de procesamiento:

1. Procesador de entrada de la información (nivel perceptual y sensorial automático),
2. Sistema comparador (anticipación, selección de objetivos y elaboración de planes, que analiza la información con base en experiencias anteriores)
3. Sistema organizador de salida (autoconciencia y autorreflexión, que utiliza la información del sistema comparador con el fin de elegir el tipo de respuesta Cohen et al. (1992 y 1996) propusieron la teoría de la información contextual, al entender que el contexto constituía un elemento clave y que diferentes procesos cognitivos (atención, memoria de trabajo, inhibición, etc.) implicados en el control cognitivo eran en realidad el reflejo de un mismo mecanismo que opera bajo condiciones diferentes. Autores como Fuster (1980 y 1985) y Goldman-Rakic (1984 y 1988), entre otros, habían observado la existencia en la corteza cerebral de neuronas que permanecían activas durante el periodo de tiempo que transcurría entre la presentación de un estímulo y la respuesta asociada a éste.

Baddeley y Graham (1974 y 1994), asumieron el modelo teórico de memoria de trabajo como un sistema de capacidad limitada, que permitía el mantenimiento y la manipulación temporal de la información. Según su modelo ampliado (Baddeley, 2000), la memoria de trabajo estaba formada por un sistema ejecutivo central que supervisaba y coordinaba varios subsistemas subordinados: el bucle fonológico (contiene trazas de memoria durante unos segundos antes de que desaparezcan), la agenda visuoespacial (permite mantener y manipular información visual y espacial) y el buffer episódico (integra temporalmente información fonológica, visual y espacial).

Shimamura (2000 y 2002), propuso la teoría del filtro dinámico, donde la CPF se consideraba como la responsable de controlar y monitorizar la información, procesándola a través de un proceso filtrado. Este autor estableció cuatro aspectos del control ejecutivo que caracterizaban este proceso: la selección (habilidad para focalizar la atención en las características perceptuales o representaciones de la memoria que se activan), el mantenimiento (capacidad de mantener activa la información seleccionada), la actualización (procesos de modulación y reordenación de la información en la memoria de trabajo) y la redirección (capacidad de alternar los procesos cognitivos evaluada a través de WCST).

Probablemente, uno de los modelos factoriales que goza de mayor reconocimiento es el propuesto por Miyake et al. (2000 y 2001). Describieron tres componentes diferenciados pero no totalmente independientes que contribuyen al rendimiento en tareas de tipo ejecutivo: actualización (monitorización, manipulación y actualización de información en la memoria de trabajo), inhibición (inhibir respuestas automáticas de forma controlada cuando la situación lo requiere) y la alternancia (habilidad para cambiar de manera flexible entre diferentes operaciones mentales).

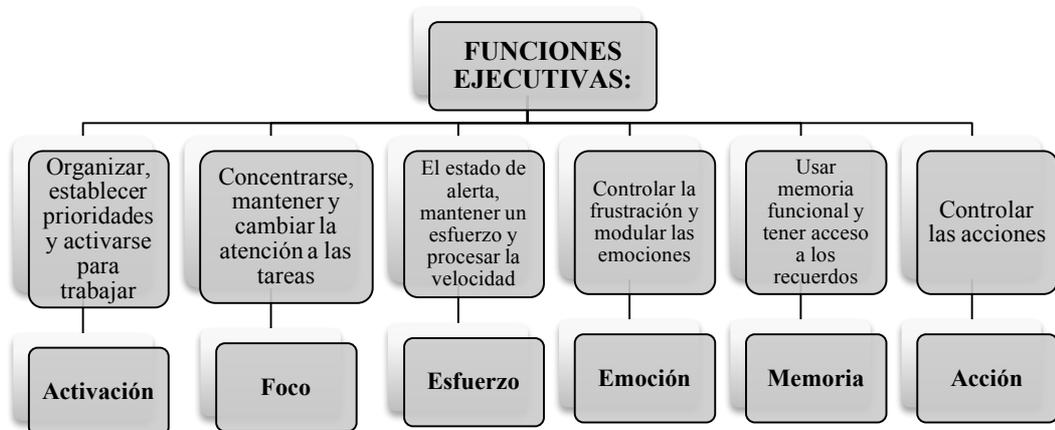


Figura 12. Modelo de las Funciones Ejecutivas. Extraído de Thomas Brown (2005).

Según el modelo de Thomas Brown (2005), el trabajo desplegado por las FFEE depende de factores múltiples, tales como la maduración de los circuitos de los lóbulos frontales, la naturaleza y complejidad de la tarea cognitiva, el nivel de desarrollo de la actividad ejecutiva, la familiaridad con el tipo de tarea, el entrenamiento académico, la ocupación, las destrezas automatizadas, las demandas de otras tareas simultáneas o secuenciales y la guía cognoscitiva principal de la tarea (Boone, 1999; Fletcher, 1996; Lezak, 1995; Pineda, 1996; Pineda et al., 1996).

Independiente del modelo que se asuma, entre la comunidad científica existe un consenso en admitir que las FFEE, o la actividad ejecutiva, o los procesos ejecutivos, son sistemas de operaciones cognitivos complejos relacionados con el funcionamiento de los circuitos frontales que se estructuran mediante etapas sucesivas durante el desarrollo.

1.3.7. Influencia del ejercicio físico sobre las funciones ejecutivas durante las etapas del desarrollo.

Las FFEE se refieren a los procesos cognitivos necesarios para la cognición metadirigida y la conducta, que se desarrollan durante la niñez y la adolescencia. Tal y como se describe en apartados anteriores, investigaciones experimentales recientes indican que el ejercicio aeróbico, tanto agudo como crónico, promueve las FFEE de los niños y adultos, aunque no hay pruebas preliminares de que todos los componentes de éstas se beneficien igualmente. Para entender por qué el ejercicio aeróbico fomenta el desarrollo de las FFEE en niños, adolescentes y adultos, deben clarificarse con anterioridad varias cuestiones. Como ya hemos comentado anteriormente, ¿qué es las FFEE?, ¿cómo es apoyada por el cerebro y cómo se desarrolla normalmente? Las respuestas a esta serie de preguntas sirven de base para teorizar sobre por qué las FFEE son sensibles a los ejercicios aeróbicos durante las etapas del desarrollo.

En segundo lugar, ¿cuál es la evidencia experimental de que el ejercicio aeróbico afecta a las FFEE? Estudios experimentales han examinado la relación entre el ejercicio aeróbico, tanto agudo o crónico, y las tareas cognitivas que requieren las FFEE en población no clínica de niños y los adolescentes. Sin embargo, todavía no contamos con suficientes estudios que proporcionen una base suficiente para examinar los mecanismos específicos que subyacen a la relación entre el ejercicio aeróbico y las FFEE y sugerir direcciones para la investigación futura. Los estudios actuales contrastan con los que han empleado diferentes poblaciones clínicas (Tomporowski et al., 2003) y sobre los efectos del ejercicio agudo y crónico sobre la cognición de los niños

(Tomprowski et al., 2008). La revisión de estos estudios experimentales recientes lleva a una tercera pregunta: ¿Qué mecanismos subyacen de la relación entre el ejercicio aeróbico y las FFEE? Para responder, debemos considerar múltiples disciplinas de la investigación que estudian la relación entre el movimiento y la cognición de una forma u otra (Best, 2009).

Como consecuencia del proceso del envejecimiento, los niveles perceptivos de la visión, audición y equilibrio sufren cambios importantes, generando consecuencias psicológicas y/o sociales sobre la persona, dependiendo del grado de alteración de una determinada percepción. Las deficiencias perceptivas de la visión y la audición pueden influir de manera negativa sobre la adaptación de las personas mayores, así como aumentar el riesgo de sufrir caídas e incidir negativamente en las relaciones que la persona establece con su entorno próximo y la realización de sus actividades cotidianas (aseo personal, limpieza, cocina, ver la televisión). Consecuentemente, se puede fomentar el desarrollo de estados de ansiedad, depresión, inadaptación al medio, pérdida de autoestima y sentimientos de soledad, incidiendo negativamente sobre la estimulación cognitiva (Muñoz, 2002b). El ejercicio no puede arreglar estas pérdidas sensoriales, pero contribuye a la estimulación de las funciones sensoriales (Zarit y Zarit, 1989). Por ejemplo, se puede mejorar tanto la sensación exteroceptiva como la propioceptiva; también mejora la percepción de sí mismo, el autoconcepto, es más positivo al mejorar la composición corporal y la eficacia funcional; y se reduce el tiempo de reacción (Hunter, Thompson y Adams, 2001).

La investigación sugiere que en el colectivo de gente mayor, el ejercicio físico ejerce un efecto beneficioso sobre las FFEE al mejorar el rendimiento cognitivo. Todos los factores psicológicos que supongan en mayor grado un procesamiento cognitivo de la información y resolución de problemas, parecen verse afectados positivamente por la práctica de actividad física. Los estudios demuestran un efecto potente del entrenamiento de la condición física a la hora de mejorar ciertos procesos cognitivos como la toma de decisiones, la memoria y la solución de problemas, los cuales pueden ser importantes para un riesgo posterior de demencia (Colcombe y Kramer, 2003; Hamer y Chida, 2009). Tanto los procesos cognitivos de memoria (Kramer, Hahn y McAuley, 2000) como los procesos implicados en la atención (Khatri et al., 2001) pueden mejorar con el ejercicio, evitando los deterioros en estos factores propios del envejecimiento. Dik et al. (2003), encontraron que niveles altos de actividad física en la edad temprana (de los 15 a los 25 años) se asociaban con mayor velocidad de procesamiento de la información (VPI) entre 62 y 85 años de edad.

Trabajos realizados por Spirduso (1975) mostraron que el entrenamiento cardiorrespiratorio intensivo tiene un impacto positivo en el mantenimiento del tiempo de reacción en personas mayores. Un trabajo más reciente realizado por Themanson y Hillman (2006), indicó que la condición física cardiorrespiratoria, pero no el ejercicio aeróbico agudo, incrementa el control atencional. En ambos estudios, la actividad física tiene un efecto positivo sobre la cognición. Todos estos estudios aportan también resultados de que niveles moderados de actividad física y ejercicio pueden tener beneficios en algunos procesos cognitivos en personas de mediana edad y gente mayor. Además, sugieren que la actividad física reduce el riesgo de padecer Alzheimer (Kramer et al., 2005).

La investigación realizada con animales por Vaynman y Gómez-Pinilla (2006), mostró que el ejercicio físico tiene un efecto positivo en los procesos neuronales y su desarrollo (especialmente en la plasticidad sináptica y la supervivencia celular), mostrando una correlación positiva entre las conductas activas y el apoyo a las estructuras cerebrales. Los autores sugieren que un estilo de vida sedentario así como las conductas alimenticias poco saludables impactan negativamente en la salud de los humanos, con riesgo de generar trastornos metabólicos para la población. Tal y como demuestra la literatura científica basada en estudios con animales y humanos, parece evidente que la actividad física y el ejercicio aeróbico pueden servir para moderar cambios indeseables que se producen con la edad sobre la cognición, la función cerebral y la estructura cerebral. El ejercicio aeróbico tiene efectos positivos en la edad del cerebro en poblaciones clínicas, poblaciones sin ninguna patología y animales (Kramer, Erickson y Colcombe, 2006). Por lo tanto, aunque son varios los procesos cognitivos que se benefician de la actividad física, hay algunos que son influidos de manera más potente. Así, el ejercicio ejerce un efecto protector más potente comparativamente con otros procesos, sobre el control ejecutivo (recursos atencionales y el procesamiento cognitivo, Hillman, Erickson y Kramer, 2008).

En la investigación con humanos, Colcombe y Kramer (2003) hicieron una metaanálisis para examinar la influencia de factores moduladores, con estudios publicados entre 1966 y 2001, con adultos mayores de 55 años de edad. Encontraron un efecto significativo del entrenamiento con ejercicio aeróbico, el cual fue más pronunciado para tareas que implicaban procesos de control ejecutivo (por ejemplo, planear, memoria de trabajo, control de interferencias y coordinación de tareas). Además, el estudio reveló que hay otras variables que pueden influir en la relación de la condición física entrenada y la cognición, como pueden ser los programas de

entrenamiento aeróbico combinados con ejercicios de flexibilidad y fuerza, y no solamente el ejercicio aeróbico.

Por último, debe tenerse en cuenta el panorama más amplio del desarrollo: ¿Cómo son los ejercicios aeróbicos (diferentes tipos de actividad física) y la cognición en relación a los momentos del desarrollo humano? Aunque el enfoque principal hasta el momento se ha centrado en el ejercicio aeróbico de los niños, una comprensión global del problema debería abarcar las relaciones iniciales entre la actividad física y la cognición durante todas las etapas del desarrollo. Hasta la fecha pocos estudios han adoptado el enfoque de desarrollo, teniendo en cuenta los cambios debidos a la edad. Una excepción es el estudio de Elleberg y St. Louis-Deschenes (2010). Estos investigadores compararon dos grupos de edad diferentes (7 y 10 años) con el fin de observar diferencias debidas a la edad. Aunque no se detectó ninguna relación, las características de la muestra (es decir, que incluye dos grupos de edad distintos), permitían poder ser examinadas.

Una segunda excepción es un estudio realizado por Caterino y Polak (1999) en el cual analizaron los efectos de una serie de estiramientos y caminatas aeróbicas sobre los resultados obtenidos en la prueba Woodcock-Johnson (1977). Esta prueba consiste en medir funciones cognitivas y distingue entre capacidad y actual rendimiento académico. Se compone de veintisiete subtest de habilidades cognitivas, aptitudes escolares e intereses no académicos. Una cuestión relacionada con la edad y las FFE, no contemplada por la mayoría de los estudios, fue la posible influencia de la variación del estado puberal en la muestra. Es posible que las variaciones en los niveles de hormonas pudieran moderar la influencia del ejercicio aeróbico sobre la cognición. Sin embargo, sólo Hillman et al. (2009) evaluaron el estado puberal y determinaron que todos los niños de su muestra eran prepúberes. Otra diferencia importante entre estos estudios (Caterino y Polak, 1999), es que llevaron a cabo estudios aplicados en los que los niños se agruparon en un ambiente escolar. Existen numerosos factores de confusión en los estudios aplicados (por ejemplo, la interacción social, el tiempo de la prueba, la variación en la actividad precisa de cada niño), que se minimizan en el laboratorio. Estas pequeñas diferencias en el ejercicio y las condiciones de control puede explicar las diferencias en los resultados. Por ejemplo, el hecho de que los niños vieran un video apropiado a su edad durante la realización de ejercicio (Elleberg y St. Louis-Deschênes, 2010), pudo proporcionar una condición de ejercicio cognitivo mayor que en otros estudios, que a su vez, pueden haber influido en los resultados.

Para concluir este apartado, decir que existen numerosas investigaciones acerca de los efectos de la actividad física sobre la FE en poblaciones de niños y personas mayores, pero no en adolescentes. Por ello, uno de los estudios que componen la presente tesis doctoral, ha sido realizado con adolescentes.

1.3.8. Efectos del ejercicio físico aeróbico sobre las funciones ejecutivas.

La relación entre la actividad física y la función ejecutiva se basa en la evidencia de que el ejercicio aeróbico mejora el rendimiento cognitivo de forma selectiva y conduce a los correspondientes incrementos en la actividad de la CPF (Colcombe, Erickson, Scalf, Kim, Prakash y McAuley et al., 2006). A su vez, la función ejecutiva aparece más sensible que otros aspectos de la cognición ante un entrenamiento aeróbico (Colcombe y Kramer, 2003). No obstante, el desarrollo cognitivo y neuronal de los niños puede ser sensible a la actividad física (Diamond, 2000; Kolb y Whishaw, 2006). Los vínculos entre el comportamiento motor y el desarrollo cognitivo durante la infancia, hacen referencia a las redes cerebrales que hipotéticamente desarrollan la construcción de las representaciones de la percepción-acción (Rakison y Woodward, 2008; Sommerville y Decety, 2006). Un interesante diseño experimental, más frecuente en estudios de los efectos agudos del ejercicio, es examinar las diferencias en el funcionamiento cognitivo una vez realizados diferentes tipos de ejercicio. En uno de estos estudios (Budde et al., 2008), adolescentes de entre 13 y 16 años de edad fueron asignados al azar a un combate de 10 min de un ejercicio desafiante coordinativo, a un combate de 10 minutos de ejercicio no coordinativo. La medición de la FC aseguró que las condiciones de ejercicio fueron de intensidad aeróbica moderada, sin embargo, el ejercicio desafiante implicó una serie de tareas de coordinación bimanual. Teniendo en cuenta que el ejercicio más simple implicado era el movimiento repetitivo motor, tanto la exactitud del trabajo como el tiempo total en una tarea de atención selectiva, fueron mejores en los adolescentes asignados al ejercicio difícil, que para los adolescentes asignados al ejercicio simple. Según los autores, el ejercicio de coordinación compleja es probable que sea dependiente de los procesos cognitivos relacionados con las FFEE, ya que mejora el funcionamiento de la CPF. Cuanto más simple es el ejercicio repetitivo, se produce menor activación. Un segundo estudio (Pesce et al., 2009), también comparó dos formas de ejercicio aeróbico de intensidad aeróbica equivalente. Durante la primera sesión, niños preadolescentes (11-12 años) completaron una hora de entrenamiento en circuito individual y durante la segunda sesión completaron una hora de juegos aeróbicos en grupo. A diferencia de otros estudios, la actividad motora de los niños se

clasificó con el fin de proporcionar información acerca de las interacciones sociales y cognitivas para cada tipo de ejercicio. Sin embargo, los autores no proporcionaron ninguna descripción específica de ninguno de los dos ejercicios. El entrenamiento de circuito consistió únicamente en actividad individual y los juegos de grupo consistieron más o menos en partes iguales en actividad individual y de grupo, proporcionando más oportunidades para aplicar las habilidades motoras de forma competitiva y estratégica. Después de cada sesión se evaluó la memoria de la palabra inmediata y retardada de los niños. El recuerdo consciente de los elementos, como se requiere en una tarea de memoria de la palabra, se cree que depende de la CPF, mediada por procesos cognitivos, tales como búsquedas estratégicas y con esfuerzo (Moscovitch y Winocur, 2002; Della Rocchetta y Milner, 1993). El grupo donde se realizaron juegos aeróbicos mostró una mejora en el tiempo para recordar las palabras inmediatas. Para el recuerdo diferido, los resultados mostraron que ambas formas de ejercicio beneficiaron el rendimiento de la memoria. Los autores suponen que las dos formas de ejercicio aeróbico condujeron a una excitación general. Sólo el grupo de juegos mostró una activación cognitiva más específica que mejoraba el recuerdo inmediato. Esta activación cognitiva específica probablemente se produjo gracias a una mayor interacción social y a la necesidad de aplicar las habilidades motoras de una manera estratégica. Las conclusiones de ambos estudios plantean la posibilidad de que el grado en que el ejercicio requiere cognición compleja, control y adaptación al movimiento, puede determinar su impacto en las FFEE.

Lo juegos aeróbicos, tales como los empleados por Pesce et al. (2009), probablemente requieren la cooperación con otros niños, el comportamiento estratégico, la coordinación de movimientos complejos corporales y la adaptación a las demandas de tareas continuamente cambiantes. Por otra parte, es probable que ejercicios aeróbicos repetitivos requieran menos compromiso cognitivo, particularmente el relacionado con las FFEE, ya que hay poca necesidad de guiar la cognición y lograr una meta difícil, o de coordinar el cuerpo para ejecutar movimientos complejos. Estas diferencias en las demandas de las FFEE, inducen a pensar que el ejercicio complejo posee un efecto más fuerte sobre las FFEE, que el simple ejercicio.

Otro estudio experimental (Tomprowski et al., 2008) ha comparado un ejercicio aeróbico sencillo y repetitivo (por ejemplo: caminar en el tapiz rodante) con los períodos de descanso. Si las formas complejas de ejercicio aeróbico facilitan las FFEE más que formas simples, las diferencias en el rendimiento de las FFEE después de practicar ejercicio sencillo y períodos de descanso, deberían ser más pequeñas. Estos autores, ratificaron esta hipótesis mostrando que caminar no tuvo efecto sobre las FFEE, en

niños con sobrepeso (de edades entre 7-11 años). Utilizando un diseño intrasujeto, los niños realizaron el cambio de tareas después de 23 minutos de duración, caminando a una intensidad moderada en la cinta de correr, después de ver un vídeo. Los investigadores no encontraron mejoras en el rendimiento después de caminar en relación con el rendimiento después de ver el video. Del mismo modo, Stroth et al. (2009), encontraron que 20 minutos de bicicleta estática a una intensidad moderada, con respecto a ver un video de un período de tiempo equivalente, no facilitó a los adolescentes (entre 13-15) la mejora del rendimiento de las FFEE, incluyendo la atención selectiva, la inhibición de ciertas respuestas y el mantenimiento de las reglas en la memoria de trabajo.

Por otra parte, Ellemberg y St. Louis-Deschenes (2010) diseñaron un estudio en el que, realizando AF en cicloergómetro durante 40 min a una intensidad moderada mientras se veía la televisión, no mejoraba la precisión en tareas de TRS y TRC. Los investigadores utilizaron una comparación intrasujetos entre niños ejercitados y niños que estaban sentados e inmóviles en la bicicleta estacionaria, mientras veían el mismo programa de televisión. Su estudio incluyó sólo a varones sanos de entre 7 y 10 años de edad. No se detectaron diferencias en el desarrollo. Aunque el TR fue significativamente más rápido en ambas tareas, el aumento fue mayor para la tarea de realizar ejercicio. Según los investigadores, se aprovecharon los procesos de las FFEE, como la flexibilidad cognitiva y la inhibición. Los resultados evidencian la sensibilidad de las FFEE después de realizar ejercicio aeróbico agudo.

Teniendo en cuenta todos estos estudios acerca de los efectos agudos en diferentes tipos de actividad física aeróbica moderada, el ejercicio aeróbico parece mejorar las FFEE y puede ser que los ejercicios que requieren un mayor compromiso cognitivo tengan un efecto más fuerte en las FFEE que los sencillos, ya que estos exigen un compromiso cognitivo limitado. Sin embargo, las principales diferencias en sus diseños, valoraciones cognitivas, las características de la muestra, etc., hace que las comparaciones entre estos estudios sean difíciles. Este hecho también puede explicar los resultados inconsistentes. Es importante destacar que el impacto del ejercicio aeróbico sobre las FFEE puede estar condicionado por el nivel de desarrollo cognitivo y el componente de las FFEE examinado. Como se indicó anteriormente, la evidencia sugiere que estos componentes, aunque correlacionados, son distintos en los niños, adolescentes y adultos (Best et al., 2009).

En resumen, podemos concluir que existen tres vías generales por las que el ejercicio aeróbico puede facilitar las FFEE: la demanda cognitiva inherente a la

estructura metadirigida y atractiva del ejercicio, el compromiso cognitivo necesario para ejecutar los movimientos motores complejos, y los cambios fisiológicos en el cerebro inducido por el ejercicio aeróbico. Los resultados anteriores indican que el ejercicio aeróbico involucra las FFEE y otros procesos cognitivos de orden superior al exigir un comportamiento dirigido a un objetivo y la coordinación de los movimientos motores. Por otra parte, las exigencias sobre el sistema cardiovascular del cuerpo durante el ejercicio inducen a cambios fisiológicos en el cerebro y pueden interactuar con los componentes cognitivos del ejercicio. Ejercicios aeróbicos agudos y crónicos difieren en los cambios fisiológicos a los que inducen. El ejercicio aeróbico induce cambios inmediatos neuroquímicos que pueden alterar el sistema nervioso central, ya sea para la adquisición de habilidades previas, como posteriores (Meeusen et al., 2001). McMorris et al. (2008) realizaron un estudio con que examinó si la participación simultánea del ejercicio y de una tarea cognitiva conducía a una interacción entre la respuesta bioquímica de los sistemas nerviosos central y periférico. Los autores estaban interesados en saber si el ejercicio provocaba incrementos agudos en las concentraciones de dopamina y noradrenalina, que a su vez, podrían ayudar al rendimiento cognitivo. Los resultados no indicaron claramente que la combinación de ejercicio y una desafiante tarea de las FFEE aumentarían los niveles neuroquímicos más que el ejercicio repetitivo solo. Tampoco obtuvieron pruebas de que a mayor concentración de noradrenalina, como respuesta a la combinación de ejercicio y las FFEE, mayor era el beneficio para el rendimiento de las FFEE. En otro estudio, Hillman et al. (2009), realizaron un estudio con niños preadolescentes que realizaron un ejercicio agudo caminando en cinta. Concluyeron, que el ejercicio no sólo inducía cambios morfológicos de larga duración en el tiempo, sino que estimulaba cambios inmediatos químicos que conducían a un aumento del estado de excitación, que podría mejorar el rendimiento cognitivo. Por consiguiente, el ejercicio tanto agudo como crónico, podría ser beneficioso para las FFEE a través de diferentes rutas fisiológicas. La vía que se active dependería de la naturaleza del ejercicio. Los juegos aeróbicos también requieren de un movimiento experto y complejo, que se basa directamente en la CPF. Según los resultados de estudios experimentales, hay evidencia de que el ejercicio en un contexto cognitivo tiene un impacto más fuerte en el cerebro. Así, se podría hipotetizar que el ejercicio que impacta sobre las FFEE a través de vías múltiples, tendrá un efecto más fuerte que el ejercicio que trabaja a través de un menor número de vías. Por ejemplo, la participación en juegos aeróbicos perceptivos y motores afectaría a las FFEE a través de más vías (es decir, dirigido a un objetivo, movimiento experto y complejo, cambios fisiológicos...), mientras que el hecho de caminar de forma regular solamente ocasionaría cambios fisiológicos.

1.4. LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DEL ESFUERZO

1.4.1. Concepto, escalas y factores que intervienen en la percepción subjetiva del esfuerzo.

Vivimos en una época en la que el desarrollo tecnológico aplicado a cualquier ámbito y nivel parece haber sustituido a los medios y recursos más “rudimentarios” (básicos, elementales), hasta tal punto que parece que sólo si lo que se presenta está en forma y de modo “sofisticado” (tecnológico) es válido y fiable. Esta misma situación también se ha extendido al ámbito de las ciencias de la actividad física y del deporte, permitiendo monitorizar multitud de parámetros fisiológicos y biomecánicos con tanto detalle y acumulando tantos datos que antes hubiera sido inimaginable. Sin embargo, aunque dispongamos cada vez de más recursos y aplicaciones tecnológicas, que sin duda han permitido evolucionar más y mejor en el control, valoración y análisis del rendimiento deportivo, no debemos menospreciar otras herramientas o indicadores más elementales, que son fácilmente accesibles. Muy al contrario, existen medios de gran aplicación e interés que pueden ser tanto o más válidos y fiables como los más sofisticados, pero con la innegable ventaja de resultar mucho más asequibles para la mayoría. Sin duda, una de estas herramientas son las Escalas de Esfuerzo Percibido o Percepción Subjetiva de Esfuerzo (PSE) y escalas OMNI, las cuales son presentadas como descriptores visuales o pictogramas donde el sujeto identifica su PSE o fatiga sobre una escala graduada numéricamente durante o inmediatamente después de la realización del ejercicio.

La PSE es la sensación consciente de lo pesado y extenuante de una tarea física (Borg, 1998), y constituye un aspecto importante de nuestra experiencia subjetiva de la voluntad. A su vez, proporciona información acerca de la dificultad de la tarea, participa en los mecanismos energéticos de adaptación y contribuye a la sensación de voluntad consciente (Preston y Wegner, 2009). La PSE después de realizar ejercicio físico es una determinación subjetiva que incorpora información del medio interno y externo del cuerpo. A mayor frecuencia de señales, más intensas son las percepciones de la actividad física (Borg, 1982). Se entiende por PSE, como el indicador psicológico que permite evaluar subjetivamente el esfuerzo realizado (Moya, 2002). Ésta ha sido estudiada desde el punto de vista de la fisiología y la psicología, con la intención de predecir la intensidad del esfuerzo físico, y es reconocido como índice válido de

intensidad del ejercicio, tal como se ha visto en numerosos estudios de investigación (Eston y Williams, 1988; Myles y Maclean, 1986; Alexiou y Coutts, 2008); Borresen y Lambert, 2008; Coutts et al., 2009; Green et al., 2009; Hill-Haas et al., 2009; Lambert y Borresen, 2006; Bonitch et al., 2005; Weston et al., 2005; Little et al., 2007; Naclerio et al., 2009; Sinclair et al., 2009; Colado et al., 2012; Colado et al., 2014). Se cree que la señal de la percepción subyacente de esfuerzo surge del cerebro y del comando motor central. Esta teoría sugiere que la PE debe estar significativamente correlacionada con la magnitud del centro de comando motor. Sin embargo, existe muy poca evidencia científica al respecto.

Existen dos tipos de escalas que se han usado con más asiduidad para medir la PSE. En algunos estudios (Impellizzari et al., 2004; Alexiou y Coutts, 2008; Borresen y Lambert, 2008; Buchheit et al., 2009; Coutts, Rampinini, Marcora, Castagna, e Impellizzeri, 2009; Green et al., 2009) usan la escala que oscila de 0 a 10 puntos (Borg, 1982), mientras que en otros estudios (Loftin, Anderson, Lytton, Pittman y Warren, 1996; Little y Williams, 2007; Hill-Hass, Coutts, Rowsell y Dawson, 2008; Hill-Hass, Rowsell, Dawson y Coutts, 2009) la escala utilizada está compuesta por 15 categorías las cuales oscilan del 6 al 20. Ambas escalas se usan indistintamente y son igualmente válidas para las tomas de la percepción subjetiva del esfuerzo. Según Eston (2012), el método más común para medir la PE en adultos es la escala de Borg 6-20, seguida de la escala CR-10 de Borg. Ha mostrado gran aplicabilidad en tareas de rehabilitación y prescripción del ejercicio, habiendo mostrado su utilidad tanto en niños como en adultos sanos con diferentes niveles de entrenamiento.

Para autores como Noble y Robertson (1996) la escala RPE 6-20 es la más apropiada para relacionar la PE con cualquier variable fisiológica, siendo esta la de mayor popularidad y uso en el ámbito científico y deportivo. El mismo Borg realizó un estudio comparativo entre diferentes escalas (Noble y Robertson, 1996) determinando que esta escala es la que presentaba una mejor correlación con la FC, recomendando finalmente su empleo frente a las otras existentes hasta la época. No obstante, actualmente, Borg y Kaijser (2006) aconsejan que se emplee la escala CR-10, que oscila entre los valores de 0 a 10 (Alexiou y Coutts, 2008; Borresen y Lambert, 2008; Coutts et al., 2009; Green et al., 2009) ya que presenta una mayor correlación con un mayor número de medidas fisiológicas (FC, concentración de lactato y VO_2) de la carga (Chen, Fan y Moe, 2002). Junto a estas tres variables fisiológicas (FC, VO_2 y lactato) la PSE también presenta una alta correlación con otras variables (Cuadrado-Reyes, 2010) como el TRIMP (resultado de la multiplicación de la FC por el tiempo de trabajo) ($r = .76$)

y el lactato ($r = .83$) (Borresen y Lambert, 2008). Otros autores como Impellizzeri et al. (2004) también argumentan que la PSE presenta una correlación significativa total con la FC ($p < .01$ a $p < .001$), basada en la carga de entrenamiento (siendo ésta el producto del volumen y la intensidad).

Aunque la PSE fue diseñada para proporcionar datos que aumentaran linealmente con la intensidad, la FC y el VO_2 para trabajos aeróbicos de carácter estable, recientemente se ha utilizado para controlar la intensidad de ejercicios más intensos, tales como saltos, desplazamientos a máxima velocidad y entrenamiento con resistencias externas (Nacleiro et al., 2011). Borg y Kaijser (2006), proponen una nueva escala numerada de 0 a 100 y junto con las otras dos anteriores, realizan estudios y comparativas con la FC y la concentración de lactato en sangre. Borresen y Lambert (2008), siguiendo a Foster, Daines, Hector, Snyder y Welsh (1996) utilizan la escala de 0 a 10 puntos multiplicando el valor obtenido por la duración total de ejercicio, cuantificando así la carga total de la actividad

En casi todos los casos, la PSE ha sido una herramienta de apoyo para las otras formas de cuantificación, y en pocos casos la hemos podido encontrar como herramienta única para la cuantificación de la carga. Impellizzeri (2004) expone que aunque no sea una herramienta totalmente precisa, podemos usarla para estimar de una forma aproximada la carga estimada por el deportista. Esta herramienta es de muy fácil uso y su bajo coste hace posible que sea una herramienta útil para deportistas con escasos recursos económicos. Garcin et al. (2003) utilizan otra vertiente de la escala de PSE, la cual relaciona el tiempo que pueden mantener una actividad concreta a una intensidad determinada. Ambas escalas (de esfuerzo y tiempo) pueden conjugarse para cuantificar la carga de entrenamiento. La PSE refleja la interacción entre la mente y el cuerpo, es decir, que este parámetro psicológico está relacionado con muchos factores que intervienen en el cuerpo durante el ejercicio físico (Pollock, Jackson y Foster, 1986).

Estos factores se pueden dividir en fisiológicos y metabólicos (como la ventilación y el VO_2), y periféricos (metabolismo celular, producción de calor y utilización de sustratos energéticos). Se ha demostrado que un incremento de la ventilación, un incremento del VO_2 , un incremento de la acidosis metabólica y una disminución de las reservas musculares de carbohidratos están asociados a una PSE más intensa. (Steed et al., 1994; Bonitch et al., 2005; Weston et al., 2006; Little et al., 2007; Coquart et al., 2009; Nacleiro et al., 2009). A su vez, el proceso de emisión de una respuesta subjetiva a un estímulo de entrenamiento está influido por factores psicológicos y por factores situacionales de la prueba (Eston, 2012), y también por cambios de temperatura, como

describe Pandolf (1983), y por el efecto de la presión parcial de oxígeno.

Estos factores pueden ser considerados como elementos de crítica al modelo propuesto por Borg, pero podemos hablar de dos argumentos bien definidos en contra de dicho modelo. El primero es que, modificando algunas variables externas, se provocan cambios en variables fisiológicas sin tener una relación en la PSE (Chen et al., 2002). El segundo, descrito por Lambert y Borresen (2010), argumenta que como la PSE de la sesión es un método subjetivo de evaluación, las comparaciones intrasujeto quizás sean inadecuadas. Sin embargo, Impellizzeri, Borg y Coutts (2011) argumentan que el modelo de Borg mide un rango de intensidad, que es el mismo en cada sujeto (del mínimo al máximo posible) y, por tanto, no afecta a las comparaciones intrasujeto.

1.4.2. La percepción subjetiva del esfuerzo como indicador válido y fiable de la intensidad del ejercicio físico.

Otro de los puntos importantes de las escalas subjetivas del esfuerzo es el conocimiento de los límites personales propios de cada deportista. Uno de los aspectos más relevantes del control del estímulo del entrenamiento nos lo aportan las propias sensaciones de los deportistas. La información sensitiva y perceptiva del entrenamiento por parte del deportista es el resultado de complejos mecanismos derivados de los procesos metabólicos, cognitivos y perceptuales (Borg, 1990 y 1998). Es difícil obtener datos objetivos de la carga interna diaria que soportan los deportistas, a no ser que estuvieran siempre monitorizados. La aparición de las escalas de PSE surge como una alternativa a los dispositivos de evaluación, dispositivos caros y no al alcance de todos los deportistas o entidades deportivas. Es aquí donde el buen uso de la PSE puede ser una herramienta fiable para cuantificar la carga. Aunque sea una herramienta subjetiva, según los estudios consultados, podremos hacernos una idea fiel de cuál es la carga que le estamos aplicando a nuestros deportistas, sin necesidad de tener que monitorizarlos en todos los entrenamientos, ni tener que hacer una extensa interpretación de datos. Podemos conocer también la carga que han desarrollado los deportistas durante la competición, ya que no es permitido el uso de aparatos de monitorización en competiciones oficiales.

El control de las cargas de entrenamiento y de la competición van a resultar de vital importancia y utilidad en cualquier especialidad deportiva (Hernández-García et al. 2009; Torres-Luque et al., 2011). Las relaciones entre FC, concentración de lactato sanguíneo y la PSE son aceptados como válidos indicadores del control la intensidad y respuestas en el ejercicio físico (Steed et al., 1994; Bonitch et al., 2005; Weston et al.,

2006; Little et al., 2007; Coquart et al., 2009; Naclerio et al., 2009; Sinclair et al., 2009).

La PSE también ha sido utilizada en deportes colectivos individuales y de adversario (Bonitch et al., 2005; Chen, Fan y Moe, 2002; Mendez-Villanueva et al., 2007; Little et al., 2007; Hernández-García et al., 2009; Sinclair et al., 2009; Torres-Luque et al., 2011). Para los deportes de equipo, estos parámetros (FC, Lactato y PE) también suelen ser tomados como referencia en la competición, ya que son comúnmente aceptados como válidos indicadores del gasto energético, intensidad y respuestas al ejercicio (Alexiou et al., 2008; Clarke et al., 2008; Barbero et al., 2009; Schulpis et al., 2009; Algroy et al., 2011; Calahorra et al., 2011a; 2011b; Torres-Luque et al., 2011; Cuadrado et al., 2012).

No obstante, éstos parámetros suelen tomarse de manera aislada, así, se observan estudios que han registrado cargas fisiológicas como la FC y/o lactato en competición (Krustrup et al., 2006; Schulpis et al., 2009) o que se han complementado con la PSE en situaciones no competitivas (Impellizzeri et al., 2004; Clarke et al., 2008; Buchheit et al., 2009; Ali et al., 2011; Rampini et al., 2010). La PSE según Seiler et al. (2006) y Cuadrado-Reyes et al. (2012), es un método no invasivo, práctico, económico y que puede ser utilizado fácilmente por los atletas para controlar la intensidad del ejercicio en competición y entrenamiento. Según estos autores, recomiendan un control diario de este parámetro, para permitir identificar cualquier alteración en la respuesta normal del deportista ante un programa de ejercicio determinado. Por su parte, Faulkner et al. (2007) recomiendan que sería conveniente realizar un período de entrenamiento previo para habituarse a la estimación del PSE, sobre todo en sujetos sedentarios.

La escalas de PSE de Borg (6-20) han sido usadas para cuantificar la intensidad del entrenamiento basado en resistencia externas (Day, McGuigan, Brice y Foster, 2003; Eston y Evans, 2009; Fontes et al., 2010; Hackett, Johnson, Halaki y Chow, 2012; Lagally y Robertson, 2006; Nakamura et al., 2010; Pincivero, Coelho y Campy, 2003; Row, Knutzen y Skogsberg, 2012; Shimano et al., 2006; Sweet y Foster, 2004; McGuigan et al., 2008). Durante la ejecución de un ejercicio de fuerza se toman decisiones en cuanto a la velocidad y recorrido del movimiento. Este proceso conlleva poner en funcionamiento diferentes zonas cerebrales que procesan la información para iniciarlo con garantías de éxito (Guillot, Hoyek, Louis y Collet, 2012; Madan y Singhal, 2012). Gracias a la coordinación de estructuras como la corteza cerebral, el cerebelo o los ganglios basales, se produce una mejor elección del movimiento a ejecutar y un mayor ajuste durante el tiempo que se mantiene.

Mejorar la capacidad de control sobre la velocidad de ejecución permite una mejor regulación de la intensidad con la que se realizan los esfuerzos musculares (Knutten, 2007). Conseguirlo depende de la estimación del tiempo empleado en realizar el movimiento. Esta percepción temporal se basa en un proceso en el que se obtiene información a través de estímulos externos, fisiológicos, motores o psicológicos (Stein y Stanford, 2008; Díaz 2009). A la hora de planificar los entrenamientos, el objetivo principal consiste en saber modular la intensidad adecuada para generar las adaptaciones específicas en el sentido que nos interesa. González-Badillo y Ribas (2002), proponen calcular la intensidad de la carga según el carácter del esfuerzo que suponga, es decir, la intensidad viene expresada por el número de repeticiones que hacemos o dejamos de hacer en una serie, según lo que se había programado. Se debe tener en cuenta que la carga de entrenamiento se suele cuantificar previamente a la realización del entrenamiento. Este hecho suele contaminar la carga real de entrenamiento. En este intento de ajustar la carga de entrenamiento de acuerdo con el trabajo real realizado, los entrenadores contabilizan variables como el número de series, número de repeticiones, peso movido (total de sesión, de cada serie o por repetición), tiempo de trabajo, tiempo de recuperación, tipo de contracción muscular, implicación muscular, velocidad de ejecución, etc.

1.4.3. Modelos de la percepción subjetiva del esfuerzo.

La situación actual es que las investigaciones no han podido aclarar cómo el cuerpo, o mejor dicho, el sistema nervioso central, integra todas estas señales provenientes de estímulos aferentes para poder determinar la PSE. Obviamente, el ejercicio prolongado o intenso produce un número mayor de efectos sobre el organismo: acumulación de metabolitos, reducción del rendimiento cardíaco, microrroturas del tejido muscular, etc.

Tabla 6. Señales provenientes de los estímulos aferentes en la PSE. Extraída de Hampson et al. (2001).

CARDIOPULMONAR	PERIFÉRICO/METABÓLICO
Frecuencia Cardíaca	Nivel de lactato en sangre
Consumo de oxígeno	PH sanguíneo y muscular
Frecuencia respiratoria	Tensión mecánica
Frecuencia ventilatoria	Daño muscular
	Temperatura central y de la piel
	Disponibilidad de los carbohidratos

Estos procesos acumulativos son numerosos e interactúan de una forma no lineal (Noakes, 2000, 2007; Pinniger, Steele y Groeller, 2000; Ulmer, 1996), por lo que es comúnmente aceptado que el PSE resulta de una integración compleja de entradas de información de estos procesos al sistema nervioso central. Aunque este principio parece aparentemente indiscutible, en la actualidad no hay evidencias concluyentes que lo avalen. De acuerdo con Marcora (2009), el feedback aferente de los músculos esqueléticos, corazón, y pulmones no contribuye significativamente a la PSE durante el ejercicio. De forma alternativa, existen vías neurales dentro del cerebro que comunican las cortezas somatosensoriales y motoras, lo que permite una consciencia directa de los comandos motores centrales. Fruto de esto, aparecen distintos trabajos que buscan aclarar la relación existente entre la PSE, los procesos cognitivos, y los efectos que pueden tener sobre las tareas de resistencia (Díaz Ocejo, Mora Mérida, y Chapado, 2009), generándose el desarrollo de estrategias cognitivas para su control (Weinberg y Gould, 2003).

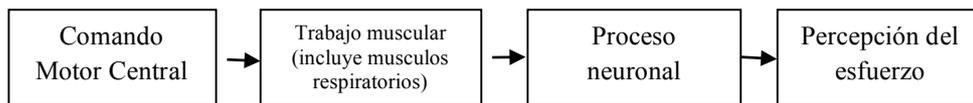
Dado el creciente interés de los fisiólogos (Proske y Gandevia, 2012), existe un debate continuo entre los que soportan el modelo de retroalimentación aferente y los que apoyan el modelo de descarga corolaria. Los primeros basan sus argumentos en datos correlativos entre los aumentos en la PSE y aumentos en la concentración de lactato en sangre y la concentración de metabolitos en el medio del músculo (Noble y Robertson, 1996). De hecho, podría ser plausible que las terminaciones nerviosas libres activadas por estímulos mecánicos y químicos de contracción inducida, constituyen la señal sensorial implicada en la percepción de la generación de esfuerzo. Esta hipótesis encuentra apoyo anatómico al tener proyecciones centrales a varios sitios espinales y supraespinales incluyendo la corteza sensorial (Craig, 2002).

Dos estudios experimentales también sugieren un papel plausible de retroalimentación aferente en la percepción de la generación de esfuerzo (Amann et al., 2010; Gagnon et al., 2012). Sin embargo, como se ha explicado anteriormente, no se pueden sacar conclusiones cuando otras sensaciones de acción no están incluidas en la definición de esfuerzo como malestar o dolor (Pageaux, 2016). Por otra parte, como la inyección de concentraciones fisiológicas de las combinaciones de metabolitos en el músculo esquelético (Pollak et al, 2014), no genera la PSE en reposo (es decir, en ausencia de centro comando de motor), este modelo no parece plausible.

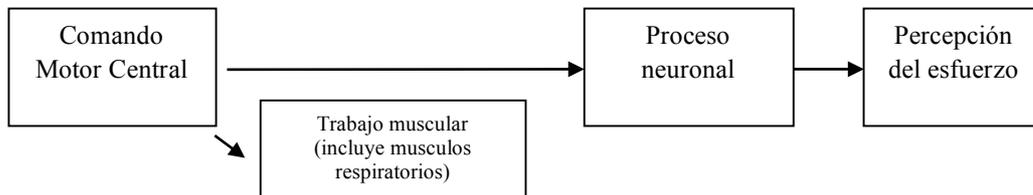
A pesar de la importancia reconocida de la PSE en la regulación de la conducta humana, la neurofisiología ha investigado poco este tema. Hasta el momento, tres teorías diferentes sugieren que la PSE refleja el proceso neuronal: el modelo de la

retroalimentación aferente de los músculos de trabajo (incluyendo los músculos respiratorios) y otros receptores (Noble y Robertson, 1996); el modelo de retroalimentación aferente a la descarga corolaria realizada por el comando motor central (Marcora, 2009); y el modelo combinado (Amann et al., 2010).

A) Modelo feedback aferente



B) Modelo descarga corolaria



C) Modelo combinado

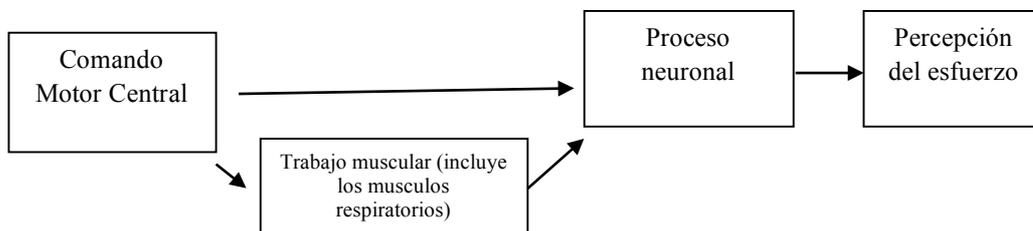


Figura 13. Modelos de generación de esfuerzo percibido: (a) retroalimentación aferente, (b) la descarga corolaria y (c) los modelos combinados. La línea gris representa la retroalimentación aferente y la línea de puntos representa la descarga corolaria asociada al comando motor central. Extraído de Pageaux (2016).

El modelo de descarga aferente hace referencia a las terminaciones nerviosas activadas por estímulos mecánicos y químicos de contracción inducida. A su vez, éstos constituyen la señal sensorial implicada en la percepción de la generación de esfuerzo. Sin embargo, el modelo de descarga corolaria postula que la señal sensorial procesada por el cerebro para generar la PSE no es la retroalimentación aferente de los músculos de trabajo y otros interoceptores (Marcora, 2009). Este modelo propone que la PSE es generado por el proceso de la descarga neuronal corolaria. Es decir, señales internas que surgen de las órdenes motoras centrífugas y que influyen en la percepción (McCloskey, 1981 y 2011), asociado con el comando de motor central (es decir, la actividad premotora y motora de las áreas del cerebro relacionadas con las

contracciones musculares voluntarias (Morrée et al., 2012). Las descargas pueden ser utilizados como el único estímulo para generar alguna sensación específica (McCloskey, 1981 y 2011). En primer lugar, cuando se induce la fatiga muscular en ausencia de metabolitos inducidos por el ejercicio en el medio del músculo, la PSE aumenta en correlación con el aumento del potencial cortical del comando motor central (Morrée et al., 2012). En segundo lugar, la PSE y los potenciales corticales relacionados con el comando motor central, disminuye después de la ingestión de cafeína (Morrée et al., 2014). Y, en tercer lugar, la activación del área motora suplementaria a través de una continua descarga de estimulación magnética transcraneal, también aumenta la PSE (Zenon et al., 2015).

Finalmente, Kjaer et al. (1999) demostraron que la PSE se incrementa durante el ejercicio de ciclismo con una reducción de retroalimentación aferente debido a una anestesia epidural. Es importante destacar que se ha de tener en cuenta que el modelo de descarga corolario no excluye un papel indirecto de retroalimentación aferente sobre la PSE a través de su papel en el control del motor (es decir, el ajuste directo de la central de mando del motor). El modelo de descarga corolario sólo afirma que la retroalimentación aferente no es la señal sensorial que genera la sensación de esfuerzo (es decir, la estimulación de los aferentes musculares no genera la sensación de esfuerzo, pero sí otras sensaciones como el dolor muscular o tensión muscular). De hecho, la inhibición de las neuronas motoras a nivel espinal o supraespinal inducida por la retroalimentación aferente potencialmente puede ser compensada por un aumento en el comando central del motor para garantizar la misma producción de fuerza submáxima.

Este aumento de inhibición inducida en el mando central motor da como resultado un aumento de la PSE, a pesar de que la retroalimentación aferente no se considerarse que es la percepción sensorial de generación de señales de esfuerzo. Es bien aceptado que las descargas corolario no sólo generan sensación específica, sino que también modifican el procesamiento de la información sensorial entrante. El modelo combinado de la PSE postula que la PSE es resultado de la integración de ambas retroalimentaciones, aferente y descarga corolario asociado al mando central motor. A pesar de varias publicaciones que sugieren la validez de este modelo (por ejemplo Amann et al., 2010; Bergstrom et al., 2015), ningún estudio tuvo como objetivo probarlo específicamente. Sin embargo, como la PSE no se reduce con la disminución de retroalimentación aferente en ciclismo (Kjaer et al., 1999), la validez de este modelo es poco probable.

A pesar de que los investigadores no han llegado a un consenso sobre la señal sensorial que genera la PSE (Amann et al., 2010; Marcora, 2009), los resultados experimentales sugieren que la señal sensorial implicada en la generación del PSE es la descarga corolaria asociada al mando central motor. Sin embargo, (Morrée et al., 2012 y 2014) se centran en conmutar los mecanismos subyacentes de la percepción, en la exclusión de otras sensaciones de esfuerzo por parte de su definición y en las instrucciones de información proporcionados a los sujetos. Los estudios futuros deben tener como objetivo poner a prueba la validez del modelo de descarga de corolario y el modelo combinado de esfuerzo percibido mediante la manipulación de retroalimentación aferente (Pageaux, 2016).

Por otra parte, la investigación fundamental debe aspirar a obtener una mejor comprensión de los mecanismos subyacentes que generan la PSE mediante la identificación de las áreas del cerebro y los neurotransmisores implicados en su generación (Pageaux, 2016). Además, la identificación de los correlatos de PSE (de Morrée y Marcora, 2010 y 2012; De Morrée et al., 2012, 2014; Nicolo, Marcora, y Sacchetti, 2015) durante diversos tipos de tareas físicas podrían también ayudar a entender su papel en la regulación de la conducta humana. Los seres humanos tienen la capacidad de evaluar el esfuerzo independientemente de otras sensaciones relacionadas con el ejercicio. En consecuencia, los investigadores deben asegurarse que los sujetos no incluyen otras sensaciones relacionadas con el ejercicio en su calificación de esfuerzo, y los estudios futuros deben informar de la definición de los esfuerzos y las instrucciones que se proporcionan a los sujetos. La inclusión en los artículos científicos de su definición y las instrucciones que se proporcionan a los sujetos garantizará la exclusión de los factores de confusión tales como dolor o molestia.

1.4.4. Concepto de fatiga y relación con la percepción subjetiva del esfuerzo.

Desde una vertiente puramente psicológica, cualquier ejercicio voluntario comienza y termina en el cerebro. El ejercicio se entiende como un reclutamiento de las fibras musculares en el espacio y el tiempo, siendo esta acción el resultado de una modulación de la orden motora. Esto ocurre cuando la PSE es más intensa que lo tolerable (dolor muscular), lo que provoca que sea el córtex motor el que genere el cese de la actividad. Este enfoque psicológico de la fatiga otorga una gran importancia a la PSE como factor limitante del ejercicio (Kayser, 2003). Se puede definir la fatiga como una falta subjetiva de energía física o psíquica, percibida por el individuo, que interfiere en sus actividades usuales y deseadas. Esto significa que la fatiga se entiende como

una experiencia subjetiva, basada en el autocontrol del participante, y que depende de la percepción del agotamiento físico, mental o ambos (Bol, Duits, Hupperts, Vlaeyen, y Verhey, 2009).

Sirva también como ejemplo la definición de St. Clair Gibson et al. (2003) quienes sugieren que la sensación de fatiga es el conocimiento consciente de los cambios en el sistema subconsciente de control homeostático. De lo anterior se deduce que durante la realización del ejercicio aparece un cambio gradual desde un conocimiento subconsciente a uno consciente. Dicho de otro modo, los centros superiores del cerebro procesan la información y generan una sensación de fatiga y extenuación, cuyo origen se ubica en el núcleo del tronco cerebral e hipotálamo. Es en este lugar donde previamente se integran los cambios fisiológicos y probablemente, tiene lugar la modulación de los centros superiores del cerebro. (Ament y Verkerke, 2009a). Desde esta perspectiva habrá que formularse la pregunta de si el momento en el cual un participante decide parar un esfuerzo máximo incremental, coincide con el de la verdadera capacidad máxima metabólica y cardiovascular del participante. Es en este punto en el que cobra sentido el modelo del gobernador central de Noakes (2000b).

Una idea muy similar ha sido defendida por Lambert, St. Clair Gibson, y Noakes (2005), quienes coinciden en explicar la fatiga desde un modelo de sistemas complejos, según el cual la fatiga percibida durante el ejercicio es consecuencia de la compleja interacción de múltiples sistemas periféricos fisiológicos que actúan como señales aferentes hacia el cerebro en una dinámica de integración no lineal. Este gobernador central no tendría necesariamente que estar ubicado en un lugar anatómico concreto, sino que podría ser simplemente de naturaleza funcional. En este sistema complejo se recibirían las entradas de varios sistemas, todos ellos relacionados con el ejercicio, con la función de integrarlas para proporcionar unas salidas hacia la corteza (córtex) que obligarían a tomar la decisión de detener el esfuerzo si el cómputo global superara un umbral determinado.

Atendiendo a estos modelos, y en un sentido restringido, el modelo del gobernador central se puede entender como un cableado que actúa por debajo del nivel de conciencia y del control individual (de forma similar a cómo opera el sistema regulador de la de temperatura del organismo). Este gobernador impide el reclutamiento de la estructuras musculares que ocurren por encima del nivel de intensidad y duración que podría generar un daño potencial al corazón y otras partes vitales del organismo (Kayser, 2003). Al respecto de la existencia de este gobernador central aparecen posturas escépticas. De la misma manera que todas las vertientes de estudio comparten

la idea de que el sistema nervioso central es el último factor limitante, quedando claramente demostrado en el estudio de Gandevia (2001), la noción de un gobernador central como sistema limitante y protector del organismo ante el esfuerzo excesivo sigue siendo hipotética.

En este sentido, algunos científicos del deporte se mantienen escépticos frente a la posible existencia del gobernador central a falta de evidencias experimentales más sólidas que las existentes (Shephard, 2009a; Shephard, 2009b). Autores como Weir, Beck, Cramer y Housh (2006) argumentan que, si bien algunos aspectos del modelo del gobernador central probablemente tengan validez para explicar algunos aspectos de la fatiga, este modelo no puede explicar la fatiga en determinados tipos de ejercicios. Ante el carácter incompleto del modelo, aportan el concepto de “Dependencia de Tarea” (task dependency) según el cual la fatiga no es causada únicamente por un conjunto común de factores, sino más bien depende del tipo de ejercicio que se está realizando. Según Weir et al., (2006), entre los factores que caracterizan el tipo de entrenamiento se encuentran la intensidad del ejercicio, el tipo de contracción (concéntrica, excéntrica, dinámica, estática,...), los grupos musculares implicados, el medio ambiente (calor, humedad,...), características físicas del deportista (capacidad física, distribución del tipo de fibra muscular,...), etc. Este modelo defiende que no es similar la fatiga que sufre un deportista cuando realiza una maratón que cuando realiza un trabajo de levantamiento de pesas.

El cuestionamiento de Kayser (2003) respecto al motivo por el cual unos participantes sedentarios cesaban de manera voluntaria la realización de una prueba de esfuerzo incremental, fue fruto de la percepción de extenuación, si su capacidad metabólica máxima no era alcanzada y no existía evidencia de fatiga muscular. En este punto parece lógico pensar que deben existir otras razones que condicionen la aparición de la fatiga, y nos llevan a entenderla como una cuestión subjetiva y motivacional. También parece coherente pensar que la falta de costumbre de los participantes en esfuerzos intensos les llevara a tomar la decisión de detener la actividad antes de alcanzar los valores metabólicos máximos que les permitiría su organismo (Fielding, Frontera, Hughes, Fisher y Evans, 1997). Tampoco parece que con participantes entrenados se pueda explicar la fatiga únicamente desde modelos metabólicos; sirva como ejemplo el estudio de Sgherza et al. (2002) que utilizaron participantes entrenados para comparar la capacidad de realizar esfuerzo tras el suministro de naloxona (reductor del $VO_{2Máx.}$) o placebo, llegando a la conclusión que en situaciones de laboratorio la máxima capacidad de trabajo de un individuo estaba limitada por la PSE del individuo.

En este sentido, en las últimas décadas numerosos investigadores han desarrollado el estudio de lo que se ha llamado la “psicofísica de la fatiga” (Borg, 1982a), es decir, de las funciones matemáticas relativas a la percepción subjetiva del grado de fatiga y su relación con los índices fisiológicos (nivel de lactato en sangre, el VO_2 y la FC, principalmente) (Borg y Dahlstrom, 1962a; Borg y Dahlstrom, 1962b; Borg y Dahlstrom, 1962c; Borg, 1970; Borg, 1982; Borg, 1974; Borg, 1973; Borg, 1982; Noble, 1982a; Noble, 1982b; Noble, Borg, y Jacobs, 1983; Pandolf, Billings, y Drolet, 1984). La investigación en este campo es todavía amplia y abarca desde estudios para validar el constructo de la fatiga percibida en varios deportes y actividades físicas (Coutts, Rampinini, Marcora, Castagna, y Impellizzeri, 2009), hasta los que buscan poner a prueba la fiabilidad de la escala como un predictor de rendimiento (Eston y Evans, 2009; Noakes, 2008; Robertson et al., 2009). Sirva como ejemplo que el gestionar con éxito la fatiga es un logro importante para los atletas experimentados. Tomemos a un corredor de maratón bien entrenado, que en la mitad de la carrera es más o menos capaz de percibir su nivel de fatiga y usarla para estimar su ritmo de velocidad óptima, es decir, usar esta mejora de la percepción para llegar a la meta en el menor tiempo posible y sin agotarse antes de tiempo. Los atletas no sólo son más resistentes a la fatiga que la gente común, en un sentido fisiológico, sino que además toleran niveles mucho más altos de fatiga subjetiva (Kayser, 2003), y toman mejores decisiones y estimación en este estado (Jaenes, 2009; Joseph et al., 2008; Masters y Lambert, 1989; Schomer, 1986; Silva y Appelbaum, 1989).

A pesar de estar plenamente de acuerdo en entender la fatiga desde un modelo multicausal e integrador, el modelo nos parece que está aún incompleto, en tanto que ignora factores influyentes, incluso determinantes, de la fatiga en situaciones de la vida cotidiana en general y de actividad física intensa en particular (cómo la práctica del deporte). Más específicamente, resulta obvio que el tipo de fatiga que se experimenta tras un trabajo intelectual intenso no es idéntico al tipo de fatiga producido por el trabajo físico, pero sí es posible que ambas interactúen entre sí. A pesar de la plausibilidad de esta hipótesis, son muy escasos los trabajos que han intentado cuantificar y explicar el efecto de la carga mental en el esfuerzo físico percibido y su reflejo conductual (agotamiento). Ello a pesar de que muchas tareas cotidianas y, específicamente, muchas tareas en la práctica del deporte presentan esa doble naturaleza física y cognitiva (Pageaux, 2016).

1.4.5. Fatiga física y cognitiva y TRC.

Muchos investigadores son conscientes de que la fatiga física no es el único tipo

de fatiga existente, ni la única que afecta al deporte o al rendimiento físico. Existe otro tipo de fatiga que es el resultado de la actividad cognitiva y emocional del participante, que recibe el nombre de “fatiga cognitiva” y que se desarrolla de una manera bastante similar a la fatiga física (Baumeister, Vohs, y Tice, 2007; Muraven y Baumeister, 2000; Wallace y Baumeister, 2002).

La fatiga cognitiva se puede definir como una disminución en la ejecución durante una tarea cognitiva que requiere un esfuerzo mental sostenido (Macías-Delgado et al., 2012). Afecta tanto a las capacidades motoras como cognitivas, especialmente al humor, actitud y tolerancia, por lo tanto, podría considerarse un factor que condiciona el TR. Además, es un claro limitador de la calidad de vida y la salud, y su causa es desconocida hasta el momento. La gran diversidad de investigaciones con resultados diferentes, la ausencia de una definición clara del constructo y la falta de comprensión de sus bases etiológicas, revelan la propia complejidad de este fenómeno (Macías-Delgado et al., 2012). Se cree que hay varios factores que contribuyen a la fatiga cognitiva como la disfunción del sistema premotor, el límbico, los ganglios basales o en las áreas del hipotálamo, disfunciones del eje neuroendocrino, cambios en las vías de síntesis de la serotonina u otros neurotransmisores y falta de inmunidad. Estudios realizados con técnicas de neuroimagen han demostrado una correlación entre la fatiga cognitiva y el hipometabolismo, o reducción de la activación frontal y subcortical de la materia gris de las áreas del cerebro.

Para la aparición de esta fatiga el cerebro precisa de la realización de un esfuerzo mental, que ha sido descrito como la movilización de energía al servicio de la carga mental (Gaillard, 1993 y 2001). Este esfuerzo mental, según Mulder (1986), puede ser de dos tipos: el denominado “esfuerzo de tarea” (task effort) que es una respuesta a altas demandas de computación por parte del cerebro (presión del tiempo, alta carga de memoria de trabajo, multitareas,...); y el otro conocido como “esfuerzo de estado” (state effort) que requiere de la protección del rendimiento frente a la influencia perjudicial de la fatiga, sueño, drogas, etc. Un esfuerzo mental intenso puede ser mantenido por un periodo corto de tiempo, mientras que un esfuerzo moderado puede ser mantenido por periodos de tiempo más largos. Al igual que en la fatiga física, la recuperación de la fatiga mental requiere del descanso respecto a las actividades que la causaron. Como dato interesante, cabe destacar que el esfuerzo mental requiere de una fuente de energía, de manera que corre de forma paralela con la depleción de glucosa en sangre. Como consecuencia, la ingesta de glucosa reduce la fatiga mental y mejora, en cierta medida, las actividades cognitivas (Donohue y Benton, 1999; Scholey, 2001; Kennedy y Scholey, 2000) como la memoria de trabajo, la vigilancia, el

reconocimiento facial, y la coordinación multitareas (Benton, 1990; Sünram-Lea, Foster, Durlach, y Perez, 2001; Martin y Benton, 1999). Debemos de tener presente que el cerebro requiere de una cantidad substancial de energía –en reposo precisa del 20% al 30%, (Owens, Parker y Benton, 1997) y no tiene capacidad de almacenar sustratos energéticos, por lo que requiere un constante suministro de glucosa proveniente del torrente sanguíneo (Scholey, 2001). De esta energía, se estima que del 60 al 80% se emplea para permitir la comunicación entre neuronas y sus células de soporte (red por defecto), mientras que el resto de energía se emplea para la exigencias momentáneas de la relación del cerebro con el medio ambiente. Esto significa que la actividad intrínseca puede ser mucho más significativa que la actividad evocada, en términos de función cerebral global (Raichle, 2006).

Dada la importancia de la fatiga cognitiva en una serie de contextos (por ejemplo en puestos de trabajo que implican riesgo para la seguridad o de conducción) han sido numerosos los intentos de describirla en términos cognitivos y operacionales, especialmente en el campo de la ergonomía (Cañas, 2004). En la literatura especializada, el esfuerzo mental está estrechamente relacionado con la carga mental, entendiéndola como la cantidad de información y el nivel de procesamiento que demanda esa información sobre el sistema cognitivo durante una tarea. En otras palabras, la mayoría de tareas de carga son aquellas que requieren administrar y operar con grandes cantidades de información de una manera no automática. Algunos ejemplos de este tipo de tarea sería la resolución de un problema matemático, la gestión del tráfico aéreo, o jugar al ajedrez. Basándonos en el concepto de fatiga cognitiva, podemos establecer una relación en la que una menor PSE induce a una menor fatiga cognitiva y un menor TR, y viceversa. Para contribuir a verificar científicamente esta relación, serían necesarias futuras investigaciones, utilizando la escala de PSE, la escala modificada del impacto de la fatiga cognitiva (EMIF-C) y un EEG para observar la actividad cerebral, entre otros instrumentos. A su vez, esta relación podría verse influida y condicionada por la naturaleza de la tarea realizada, el control de la atención (Schwid, 2003), la diversión, la motivación, la inhibición, la memoria de trabajo (Macías-Delgado et al., 2012) y otros componentes de las FFEE.

Uno de los factores que puede influir en los efectos del ejercicio físico agudo sobre el TRC es la relación entre la PSE y la percepción de la fatiga cognitiva. Si recordamos los factores que podrían influir en el TRC (Orellana, 2009), la fatiga es uno de ellos, por ello, trataremos de analizar dicha relación. Por tanto, este parámetro o indicador del esfuerzo está inspirado y basado en la propia percepción del sujeto sobre

el grado de fatiga o intensidad del esfuerzo que siente, reflejando de este modo una medida global e integrada del nivel de esfuerzo. Cuando empezamos a ejercitarnos, hay una serie de mediadores fisiológicos, psicológicos y sintomáticos interrelacionados que se integran para crear una sensación general de esfuerzo o fatiga durante la duración del ejercicio. La conciencia cognitiva de estas sensaciones se considera una forma de retroalimentación en la que los cambios centrales, periféricos y metabólicos que ocurren durante el ejercicio están integrados. Por lo tanto, es importante resaltar la importancia de la PSE en función de la fatiga cognitiva, ya que a menor PSE la fatiga cognitiva aparece más tarde. Si además relacionamos estos dos conceptos con la actividad física (fatiga física), es lógico que ante un trabajo de igual intensidad, cuando la fatiga cognitiva es menor, la PSE al final de la tarea sea también menor, y viceversa. A su vez, diferentes componentes de las FFEE como el control de la atención, la flexibilidad cognitiva, la VPI y la motivación, pueden verse relacionados con la naturaleza de cada tarea y no obstante con la PSE realizado.

1.4.6. Carga cognitiva y funciones ejecutivas.

La carga de trabajo mental la vamos a determinar por la interacción de las demandas de la tarea, las circunstancias bajo las cuales se desarrolla, y las habilidades, comportamientos y percepciones del participante. Bajo esta perspectiva, la carga se define como el costo para un individuo, dadas sus capacidades, mientras consigue un nivel de rendimiento determinado en una tarea con demandas específicas (DiDomenico y Nussbaum, 2008). Otros autores como O'Donnell y Eggemeier (1986) la definieron como la parte de la capacidad limitada del operador que se requiere en un momento dado para realizar una determinada tarea. En el mismo año, Gopher y Donchin (1986) añadieron que la carga mental era un atributo del procesamiento de información y del control de sistemas que mediaba entre los estímulos, reglas y respuestas. Años más tarde Xie y Salvendy (2000) definieron la carga mental como el conjunto de esfuerzo mental que una persona o un grupo tienen que hacer para realizar una o varias tareas. Wilson y Eggemeier (1991) la definieron como un constructo multidimensional que hace referencia a la habilidad de una persona para enfrentarse con las demandas impuestas por el procesamiento de información de una tarea o sistema.

Se ha considerado la carga mental como el resultado de la interacción de la carga cognitiva, correspondiente al esfuerzo cognitivo desarrollado por el ejecutivo central, fundamentalmente por parte de la memoria de trabajo; y la carga emocional, entendida como el esfuerzo realizado por el participante fruto de la implicación de las estructuras cerebrales encargadas de procesar las emociones (Cañas, 2004). Estas dos

dimensiones van unidas dentro de la carga mental, ya que nos resulta imposible la división de estas dos dimensiones. La dimensión cognitiva hace referencia al esfuerzo realizado por el participante en una tarea que demanda recursos cognitivos, lo que depende por un lado de la dificultad de la actividad y por otro de la propia capacidad del participante, de sus recursos disponibles (Cañas, 2004). Podría definirse como un constructo multidimensional que representa la carga que el desarrollo de una tarea particular impone sobre el sistema cognitivo del aprendiz (Paas et al., 2003).

Para entender el concepto de la dimensión cognitiva de la carga debemos tener presente que la capacidad de procesamiento de nuestro sistema es limitada, mientras que la dimensión emocional de la carga es entendida como el esfuerzo realizado por el participante. Diversas investigaciones han mostrado cómo los estímulos emocionales son procesados de una manera diferente en comparación con los estímulos neutros (Dalglish, 1995; Wells y Mathews, 1994; Williams, Mathews y MacLeod, 1996; Arend, Botella y Barrada, 2003).

Cuando sometemos a nuestro sistema a una tarea con carga mental, ésta pasará a consumir parte de nuestra capacidad de procesamiento. Según el modelo de Kahneman et al. (1973) existiría un almacén central de recursos cognitivos que son administrados por un conjunto de procesos atencionales que se encargan de repartirlos entre las distintas operaciones cognitivas en marcha. Esta capacidad atencional disponible sería de carácter homogéneo, de manera que se considera única y asignable a cualquier tarea, independientemente de su naturaleza.

Modelos como el de Wickens (1984) abandonan la idea del almacén central para sustituirla por una multiplicidad de fuentes de recursos cognitivos, situados en distintos niveles de la cadena de procesamiento (perceptivo, central, motor). Este modelo aportó un marco de gran interés en el estudio de la carga mental, siendo el modelo que ha tenido una mayor aceptación en los últimos años. Wickens (1984) asumió que si dos tareas comparten la misma fuente de recursos, el aumento de la dificultad de una de ellas hará que cuando se realicen concurrentemente su nivel de ejecución disminuya. Por el contrario, si cada tarea utiliza una fuente de recursos distinta la manipulación de la dificultad no afecta a su rendimiento. Por lo tanto, según este modelo de recursos múltiples, dos tareas se interfieren mutuamente si requieren de la misma fuente de recursos cognitivos, esto es, si comparten las mismas estructuras de análisis perceptivo, de expresión motora o, lo que es más importante, de procesamiento central. Según la propuesta de Wickens (1984), los recursos pueden ser definidos a partir de tres dimensiones dicotómicas:

Tabla 7. Definición de los recursos a través de las tres dimensiones. Extraído de Wickens (1984).

RECURSOS DEFINIDOS POR EL NIVEL O ETAPA DE PROCESAMIENTO	Los recursos usados para actividades perceptivas y centrales parecen ser los mismos y están funcionalmente separados de aquellos que subyacen a la selección y ejecución de las respuestas.
RECURSOS DEFINIDOS POR LA MODALIDAD DE INPUT Y RESPUESTA	Se asume que el procesamiento de <i>inputs</i> visuales y auditivos tiene su propia fuente separada de recursos y capacidad. Igualmente, las modalidades de <i>output</i> manual y vocal también tendrían cada una su propia fuente separada de recursos.
RECURSOS DEFINIDOS POR EL CÓDIGO DE PROCESAMIENTO	Los procesos verbal y espacial, ya funcionen en la etapa de percepción, de procesamiento central o respuesta, dependen de recursos separados.

En este modelo se asume una estructura jerárquica de los recursos, de manera que existiría un efecto de dominancia que ordenaría las etapas de procesamiento en un primer nivel, por encima de los códigos de procesamiento y éstos a su vez por encima de las modalidades. En la actualidad, las estructuras de procesamiento central se identifican con los llamados mecanismos de control ejecutivo (o ejecutivo central). Estos mecanismos se ponen en marcha siempre que la tarea requiere la generación de una nueva secuencia de acciones para la solución de un problema, la reorganización de la información depositada en la memoria de trabajo, la resolución de conflictos entre respuestas alternativas o, en términos generales, en todas aquellas situaciones para las que nuestro repositorio de respuestas almacenadas no puede dar solución a las demandas de la tarea que se pretende resolver (Baddeley, 2000; Miyake y Shah, 1999). Desde el punto de vista de la neurociencia cognitiva, se ha observado que las tareas que implican al ejecutivo central o que movilizan las FFEE, activan la CPF y, más concretamente, de las lóbulos prefrontales dorsolateral (DLPFC) y medialcingulado (Miyake et al., 2000).

El esfuerzo mental refleja la carga cognitiva propia de la tarea en un momento concreto (Paas, Tuovinen, Tabbers, y Van Gerven, 2003). Las tareas de demanda cognitiva requieren de recursos de procesamiento y producen interferencia con otras tareas (Kahneman, Ben Ishai, y Lotan, 1973), movilizan los recursos centrales (Wickens, 1984) y requieren la participación del ejecutivo central y la memoria de trabajo. Además, la carga de trabajo mental tiene componentes emocionales, y se origina de la interacción entre la tarea y las características del participante (Paas et al., 2003). En general, el esfuerzo asociado con la carga mental es hedónicamente negativo, y aumenta la activación (arousal) general. Por otro lado, las tareas subjetivamente difíciles provocan

más errores, lo que puede provocar más frustración y un menor sentido de eficacia (Baumeister et al., 2007; Wallace y Baumeister, 2002).

Las tareas de carga mental son aquéllas que producen una implicación significativa de los mecanismos ejecutivos. Como hemos visto anteriormente, la carga mental central, entendida de esta forma, puede presentar dos posibles mecanismos de contribución a la aparición de la fatiga, uno sería fruto de una vía directa, entendiéndose ésta como una vía de carácter neural; y otro fruto de una vía indirecta o de carácter metabólico. La vía directa se explicaría por la conexión de los mecanismos ejecutivos implicados en la tarea de carga con el gobernador central encargado de gestionar la fatiga. La vía metabólica o indirecta, por su parte, haría alusión a la depleción de recursos producida por el trabajo intelectual intensivo, que a su vez provocaría la disminución de su disponibilidad en el riego sanguíneo (glucosa y oxígeno fundamentalmente) y, por tanto, una competición por ellos entre el cerebro y el sistema muscular y óseo.

Estudios recientes apoyan la opinión de que las fluctuaciones de la glucosa en sangre dentro de un rango normativo pueden ejercer una influencia significativa en el rendimiento cognitivo. Autores como Donohue y Benton (1999) y Scholey (2001) defienden que el efecto del aumento de las demandas cognitivas provoca una absorción acelerada de la glucosa en sangre. Más específicamente, Kennedy y Scholey (2000) informaron de una caída de los niveles de glucosa en la sangre y la aceleración de la FC durante el desempeño de tareas exigentes. Este hallazgo dio lugar a que la aceleración de la FC bajo alta demanda cognitiva represente un posible mecanismo para agilizar el transporte de glucosa al cerebro. Por tanto, la vía indirecta parece plausible a la luz de los datos disponibles. Sin embargo, no existen estudios que aborden directamente la existencia de la vía directa o que hayan dado con una metodología que permita la disociación de ambas vías.

1.5. VIDEOJUEGOS ACTIVOS, ACTIVIDAD FÍSICA Y FUNCIONES COGNITIVAS

1.5.1. Actividad física, videojuegos activos y gasto energético.

Si bien existen algunas evidencias para afirmar que el tiempo dedicado a los videojuegos está relacionado con una menor participación en actividad física (Janz y Mahoney, 1997; Motl, McAuley, Birnbaum y Lytle, 2006), otros trabajos indican que el uso de medios tecnológicos y la actividad física no son dos caras de una misma moneda, sino conductas que pueden coexistir (Biddle, Gorely, Marshall, Murdey y Cameron, 2003). Incluso otras investigaciones indican que los niños y adolescentes más activos son los que dedican más tiempo a los videojuegos (Marshall, Biddle, Sallis, McKenzie y Conway, 2002; Martín, 2007). En los últimos años la concepción de los videojuegos asociada al ocio pasivo y al sedentarismo ha sufrido un giro radical con la aparición en el mercado de una nueva generación de videojuegos, los cuales implican actividad física y han sido denominados “*videojuegos activos*” (VJA) (Chin A Paw, Jacobs, Vaessen, Titze y van Mechelen, 2008; Pate, 2008).

Tabla 8. Principales soportes y ejemplos de videojuegos activos. Extraído de Beltran-Carrillo et al. (2010).

Soporte	Algunos ejemplos de videojuegos activos
Wii (Nintendo)	WiiFit, Wii sports y Wii Sports Resort (Nintendo), EA Sports Active (Electronic Arts), Dance Dance Revolution Hottest Party (Konami), Super Swing Golf (Virgin)
PlayStation 2 (Sony Computer Entertainment)	Dance Factory (Codemasters), Dancing Stage Fusion (Konami), EyeToy: Ritmo Loco (SCEE), EyeToy Kinetic: Total Combat (SCEE), EyeToy Play Sports, EyeToy: Play, Cateye Game Bike (Cateye, Boulder, CO)
XBOX 360 (Microsoft)	Dancing Stage Universe (Konami), High School Musical 3: Senior Year Dance! (Disney Interactive Studios)
XaviX Port (SSD Company Limited)	XaviX Baseball, XaviX Tennis, XaviX Bowling, XaviX Golf, XaviX Bass Fishing, XaviX Lifestyle Manager, XaviX J-Mat, XaviX Powerboxing
Domyos Interactive System (Decathlon)	Domyos Fitness Adventure, Domyos Fitness Exercises, Domyos Fitness Challenge, Domyos Step Concept, Domyos Fit'Race, Domyos Bike Concept, Domyos Soft Fitness
PC	PC Fit (La Factoria d'Imatges)

Estos videojuegos permiten la interacción física de los jugadores y sus movimientos con la realidad virtual que aparece en pantalla a través de diferentes dispositivos. Uno de los principales es un mando que incorpora un sensor óptico, que

permite apuntar hacia objetos virtuales, y un acelerómetro, que detecta los movimientos efectuados por el jugador en las tres dimensiones del espacio, reproduciendo sus movimientos en pantalla. Otro tipo de dispositivo son las alfombras o plataformas interactivas, que poseen sensores de presión que captan los pasos de los jugadores en videojuegos de baile y la presión ejercida en ejercicios relacionados con el equilibrio. También hay cámaras que graban al jugador y captan sus movimientos en función de los cambios de luz y color que se producen en los píxeles de la pantalla, de manera que el jugador aparece en el monitor y puede interactuar con los elementos que ofrece el videojuego. Incluso existen bicicletas para conectar a este tipo de soportes que, al igual que otros elementos, permiten la interacción del ciclista con una realidad virtual.

Los VJA obedecen a temáticas muy diversas. Unos están relacionados con los deportes (atletismo, boxeo, ciclismo, bolos, etc.), otros con actividades físicas como el baile o ciertas actividades de aventura. También existen videojuegos, como el *WiiFit* o el *EA Sports Active* para Nintendo, el *Eye Toy Kinetic* para PlayStation 2, el *Fitness Exercise* de Domyos Interactive System o el *PC Fit* para PC en los que se pueden realizar programas de ejercicio físico y permiten el registro de nuestra progresión. En muchos de estos VJA se señala que para su creación se ha contado con el asesoramiento de especialistas de la actividad física y el deporte. Las actividades físicas demandadas por este tipo de videojuegos difieren en intensidad y tipo de movimientos requeridos, que unas veces son más analíticos y otras más globales.

La principal línea de investigación que ha surgido hasta el momento en relación con los VJA consiste en la medición de la actividad física que requiere la participación en este tipo de ocio tecnológico. Esta medición se realiza mediante monitores de FC, acelerómetros o sistemas de calorimetría indirecta, siendo las principales variables analizadas el gasto energético, la FC y el VO_2 . Los trabajos que analizan el gasto energético suelen cuantificar el consumo de energía derivado de la participación en determinados VJA o comparar el gasto energético requerido por éstos y actividades sedentarias (jugar a videojuegos convencionales, ver la televisión, etc.). Así, Lanningham-Foster et al. (2006), en su estudio con niños de 8 a 12 años, analizaron el gasto energético requerido por un videojuego sedentario y por dos VJA de la PlayStation 2: un videojuego del Eye Toy, que implicaba movimientos de la parte superior del cuerpo, y el *Dance Dance Revolution (DDR)*. Los datos señalaron que el videojuego convencional (VJC) incrementaba el gasto energético basal un 22%, mientras que el VJA del Eye Toy y el *DDR* incrementaron el gasto energético basal un 108% y un 172%, respectivamente.

Maddison et al. (2007), en su estudio con niños y adolescentes de 10 a 14 años, analizaron el gasto energético demandado por diversos VJA de la PlayStation 2. La unidad de medida utilizada fue el MET, que hace referencia a la energía consumida por una persona durante su metabolismo basal y es equivalente a 1 kcal/kg/hora. El gasto energético de los VJA fue superior al de reposo (1 MET) y al de los VJC (1,3 METs). En esta misma línea, Graves, Stratton, Ridgers y Cable (2007) llevaron a cabo un estudio con adolescentes de 13 a 15 años en el que compararon el gasto energético derivado de la participación en varios VJA de la consola Wii, concretamente *Wii Sports Tennis* (202,5 kJ/kg/min), *Boxing* (198,1 kJ/kg/min) y *Bowling* (190,6 kJ/kg/min), con el derivado de la participación en VJC de la consola XBOX 360 (125,5 kJ/kg/min). Los resultados indicaron que el gasto energético que implicaban los VJA era al menos 65,1 kJ/kg/min mayor que el de los sedentarios. Otra investigación similar a la anterior (Graves, Ridgers y Stratton, 2008), también estableció comparaciones entre diferentes VJA de la consola Wii y un VJC de la XBOX 360, esta vez con adolescentes de 11 a 17 años. Se concluyó que tanto la actividad del miembro superior no dominante como el gasto energético y la FC eran significativamente más elevados cuando se jugaba al videojuego *Wii Sports Boxing* (267,2 kJ/kg/min, 136,7 pul/min) en comparación con el *Wii Sports Tennis* (200,5 kJ/kg/min, 107,0 pul/min) y el *Wii Sports Bowling* (182,1 kJ/kg/min, 103,2 pul/min). Estos valores siempre fueron superiores al del VJC (115,8 kJ/kg/min, 85,0 pul/min).

Mellecker y McManus (2008) también analizaron, en una muestra de niños de 6 a 12 años, el gasto energético que implicaba la participación en un VJC y dos VJA de la videoconsola XaviX Port. Los VJA fueron el *Jackie's Action Run*, de obstáculos y golpes, y el videojuego *XaviX Bowling*, un simulador del juego de bolos. Los resultados indicaron que el gasto energético requerido por los VJA *Jackie's Action Run* (5,23 kcal/min) y *XaviX Bowling* (1,89 kcal/min) fue superior al de reposo y al de VJC (1,31 kcal/min).

Los resultados del estudio Lanningham-Foster et al. (2009), indicaron que el gasto energético derivado de la participación de un VJA (*Nintendo Wii Boxing*) aumentó 189 ± 63 kcal/h sobre el metabolismo de reposo en niños (12 ± 2 años) y fue superior al derivado de las siguientes actividades: reposo, permanecer de pie, ver la televisión sentado y jugar sentado a un VJC. Algunos de estos estudios también analizan si jugar un determinado tiempo a VJA puede incrementar los niveles de condición física relacionada con la salud, a partir de ciertos parámetros como la FC o el VO_2 . Por ejemplo, Tan, Aziz, Chua y Teh (2002), en su estudio con adolescentes de 17 años, comprobaron que los jugadores del *DDR* alcanzaban una FC media de 137

pulsaciones/minuto, lo que suponía un 70 % de la FC máxima, valor que estaría dentro de las recomendaciones mínimas del “*American College of Sports Medicine*” (ACSM) para el desarrollo y mantenimiento de la forma física cardiorrespiratoria (55-65% de la FC máxima). Sin embargo, no sucedió lo mismo con los niveles de VO_2 requeridos (24,6 ml/kg/min) que supusieron incrementos del 44% del VO_2 de reserva, siendo la recomendación del ACSM de un incremento mínimo del 50%. Estos resultados fueron similares a los encontrados por Unnithan, Houser y Fernhall (2006) en su estudio con niños y adolescentes de 11 a 17 años. La FC de los practicantes del *DDR* alcanzaba el 64,51% de la FC máxima. Sin embargo, sólo se produjeron incrementos del 23-24% del VO_2 de reserva que no llegaron a las recomendaciones mínimas del ACSM, probablemente por falta de movimiento de la parte superior del cuerpo.

También se han estudiado las diferencias en gasto energético o VO_2 demandado por los VJA en distintos grupos de niños y adolescentes. Por ejemplo, en el trabajo de Unnithan et al. (2006) se observó que los niños y adolescentes con sobrepeso experimentan significativamente mayores valores absolutos de VO_2 y ventilación que aquellos sin sobrepeso cuando juegan al *DDR*, debido probablemente a su mayor masa corporal. En la misma línea, Lanningham-Foster et al. (2006) señalan que en términos absolutos, los niños obesos presentan mayor GE con el uso del *DDR* que los no obesos. En cuanto al género, parece que los chicos experimentan mayor GE en comparación con las chicas cuando juegan a VJA (Graves et al., 2007). Esto podría deberse, según estos autores, a mayores efectos interactivos de este tipo de videojuegos en chicos, lo que resulta en mayor implicación en estas actividades.

1.5.2. Juego real y videojuegos activos.

El esfuerzo que se realiza en las actividades físicas simuladas en los VJA es inferior al demandado por las correspondientes actividades físicas reales (Graves et al., 2007; Graves et al., 2008). Además, no podemos comparar las actividades reales, con su riqueza de acciones motrices, su complejidad y sus posibilidades de interacción en el medio físico u otros jugadores, con los VJA que las simulan. Los VJA deben entenderse como un complemento dentro de un estilo de vida activo y, más exactamente, como una alternativa a los VJC u otro tipo de ocio sedentario, pero no como un sustituto de la actividad física real. De lo contrario, el resultado podría ser contraproducente, en el sentido de que la participación en VJA interfiriese en la práctica de actividades físicodeportivas reales o, incluso, se llegase a sustituir la práctica de estas actividades reales por su práctica simulada en un VJA.

Un estudio de Sall y Grinter (2007), basado en metodología cualitativa, que analizó diversas cuestiones relacionadas con la incorporación de los VJA en el ambiente doméstico. Los participantes en el estudio fueron 10 informantes con edades comprendidas entre los 18 y los 29 años, que jugaban frecuentemente a VJA en sus hogares, principalmente al *DDR*. Los entrevistados afirmaban que la posibilidad de realizar ejercicio con estos videojuegos fue un factor que les motivó a comenzar a utilizarlos, aunque reconocían que si continuaban jugando era fundamentalmente porque esta actividad les divertía. Se identificó la falta de espacio como una barrera importante para la participación en este tipo de videojuegos. Los jóvenes solían jugar con compañeros y amigos, siendo estos juegos un medio para relacionarse socialmente y pasar un tiempo agradable de ocio. Sin embargo, representaba un problema para la participación las molestias que el uso de VJA podía generar al resto de miembros del hogar o vecinos.

Es evidente que los VJA suponen una nueva forma de entender la relación entre los videojuegos y la salud. Superan la principal crítica que se realizaba a los VJC, en cuanto que representaban conductas de ocio sedentario. Sabemos que los VJA implican mayor gasto energético, FC y VO_2 que los VJC u otras conductas sedentarias como ver la televisión (Lanningham-Foster et al., 2009; Graves et al., 2007; Graves et al., 2008; Maddison et al., 2007; Mellecker y McManus, 2008). Este resultado, además de obedecer al sentido común, sugiere que este tipo de videojuegos representa una nueva alternativa de práctica física que puede contribuir a paliar el sedentarismo y los índices de sobrepeso y obesidad. Esto resulta especialmente interesante cuando diversas investigaciones con niños y adolescentes alertan de que el uso de VJC está relacionado con un mayor riesgo de sobrepeso (Collins, Pakiz y Rock, 2007; Vanderwater, Shim y Caplovitz, 2004; Vicente et al., 2008).

El hecho de que los VJA representen una alternativa más de práctica física, unido a la especial motivación que niños y adolescentes sienten por la participación en este tipo de ocio tecnológico (Epstein et al., 2007; Ramchandani et al., 2008), ha llevado a diversos investigadores a desarrollar y evaluar intervenciones para la promoción de su uso (Chin A Paw et al., 2008; Madsen et al., 2007). De estos estudios se deduce que si bien los jóvenes se sienten motivados a participar en esta clase de videojuegos, para mantener el hábito de práctica será necesario velar por la variedad en este tipo de actividades (diferentes juegos y dinámicas de participación, variedad en las imágenes y la música, etc.).

También habría que potenciar el componente interactivo y socializador de estos videojuegos, a través de actividades competitivas o cooperativas en las que los jóvenes puedan participar con otros compañeros. Sin olvidar la necesidad del apoyo familiar y de salvar las frecuentes problemáticas que derivan de convivir en hogares limitados en espacio con personas que mantienen diferentes preferencias y rutinas (Sall y Grinter, 2007). También es importante que este tipo de videojuegos pueda constituir una nueva alternativa de práctica física especialmente relevante para personas con discapacidad que poseen más barreras y limitaciones para mantener un estilo de vida activo (Widman et al., 2006). Este aspecto adquiere especial trascendencia sabiendo que las personas con discapacidad necesitan aún más de la práctica física, no solo por sus beneficios para la salud y el bienestar, sino para conseguir mejoras en la condición física y habilidad motriz que les permita un mayor grado de autonomía en las actividades de la vida diaria. Los posibles beneficios de los VJA para la salud de niños, adolescentes y adultos no solo pueden ser de carácter preventivo o de bienestar, derivados del mantenimiento de un estilo de vida activo, sino también de tipo rehabilitador. En definitiva, la incorporación de la actividad física a los VJA ha dado lugar a un nuevo modo de entender la relación entre este tipo de ocio tecnológico y la salud de la población, donde los videojuegos pueden pasar de ser parte del problema a ser parte de la solución (Hillier, 2008).

Madsen, Yen, Wlasiuk, Newman y Lustig (2007) estudiaron si un grupo de niños y adolescentes (9-18 años) con sobrepeso considerarían el *DDR* suficientemente motivante para utilizarlo como medio habitual de hacer ejercicio. También investigaron las razones para practicar o no practicar, así como los posibles cambios tras su uso en el Índice de Masa Corporal (IMC). Los resultados indicaron que pocos niños utilizaron el *DDR* con frecuencia y que el uso no se relacionó con el IMC. Las razones aludidas para la baja participación fueron que jugar al *DDR* a solas no era suficientemente motivante, resultaba aburrido y la música era monótona. También influyó la existencia de situaciones familiares problemáticas e inestables en algunos hogares. Los jóvenes sugirieron que jugar con amigos, variar la música o incluir un componente competitivo en estas actividades podría aumentar el grado de participación. Dentro de esta línea, destaca el estudio de Chin A Paw et al. (2008), en el que se evaluó el efecto de una sesión semanal de jugadores múltiples en la motivación de niños de 9-12 años para jugar a un VJA de danza en sus hogares durante un periodo de 12 semanas. La muestra se compuso de 27 niños distribuidos en dos grupos (con y sin sesión semanal de jugadores múltiples). Se les indicó que jugaran cuanto quisieran y recopilaran en un diario el tiempo de juego. El grupo que acudía a una sesión semanal de juego junto a sus compañeros jugó en casa más minutos que el otro grupo. Los resultados sugirieron

que las sesiones de jugadores múltiples incrementaron la motivación de los jóvenes para utilizar este VJA y su nivel de participación.

No obstante, los VJA también pueden influir negativamente en la salud, pudiendo propiciar la aparición de diversos tipos de lesiones, especialmente en sectores inactivos de población joven con escasa forma física. A excepción de algunos videojuegos basados en el desarrollo de la condición física de los usuarios, en los que existe un programa de ejercicios y movimientos que se orientan hacia un objetivo saludable, el resto de VJA no cuentan con protocolos de calentamiento, ni señalan movimientos peligrosos o desaconsejados que se deberían evitar durante el juego, ni dan pautas de descanso u otras orientaciones para un uso sin riesgos para la salud. Algunos VJA requieren movimientos bruscos de saltar, agacharse o girar que pueden llegar a provocar lesiones musculares o ligamentosas (más todavía si pensamos en personas inactivas, con sobrepeso y poca forma física que ni han calentado). Otros VJA requieren movimientos muy localizados, repetitivos, breves e intensos que pueden provocar tendinitis. Además, no debemos olvidar que los VJA requieren efectuar acciones motrices en un medio físico real y focalizar la atención en una realidad virtual. Esta circunstancia aumenta el riesgo de lesión, ya que mientras los jugadores se mueven mirando a pantalla, pueden chocar o tropezar con algún objeto (lámpara, sofá, silla, etc.) y sufrir alguna contusión o esguince (Peek et al., 2008). En definitiva, jugar a un VJA es más beneficioso que ser sedentario. Sin embargo, los VJA son más beneficiosos que los VJC. Para concluir este apartado, vemos que la aparición de los VJA representa un nuevo fenómeno que puede comportar beneficios y riesgos.

1.5.3. Efectos de la práctica de videojuegos activos y pasivos sobre las funciones cognitivas.

Recientemente se han comenzado a utilizar los dispositivos propios de la consola Wii para crear aparatos destinados a la evaluación de la motricidad y la rehabilitación de personas con lesiones cerebrales (Attygalle, Duff, Rikakis y Jiping, 2008; Leder et al., 2008; Spencer et al., 2008; Wilson et al., 2007). Aunque aún existen muy pocas investigaciones relacionadas con esta temática, cabe destacar el estudio de Deutsch, Borbely, Filler, Huhn y Guarrera-Bowlby (2008) con una adolescente de 13 años que padecía parálisis cerebral. Tras someter a esta persona a diversas sesiones de entrenamiento/rehabilitación jugando a *Wii Sports (Boxing, Tennis, Bowling y Golf)* se observaron mejoras en sus procesos perceptivovisuales, control postural y movilidad funcional. Estos datos VJA sugieren que los VJA pueden ser utilizados como medios de rehabilitación. Además, el uso de estas tecnologías para estos propósitos resulta de

especial interés si tenemos en cuenta que con los VJA aumentan la motivación y el tiempo de participación de los pacientes en actividades de rehabilitación (Ramchandani, Carroll, Buenaventura, Douglas y Liu, 2008).

Wilms, Petersen y Vangkilde (2013) condujeron una investigación en 42 adultos jóvenes y los dividieron en tres grupos, dependiendo de la cantidad de tiempo que habían pasado jugando con VJC de acción. Los resultados mostraron que jugar con VJC de acción mejora la VPI visual en tareas de memoria a corto plazo visual. Los autores atribuyen este hecho a que los VJC de acción imponen altas demandas al sistema atencional estimulando que los jugadores utilicen los recursos limitados de la memoria a corto plazo visual más eficientemente. Sin embargo, tal y como señalan Green y Bavelier (2003) estas diferencias podrían preexistir entre aquellos que juegan con VJC y aquellos que no juegan, debido por ejemplo a diferencias en el grado de aptitud, de manera que los usuarios de VJC juegan porque son buenos en ellos. Para dilucidar si estas diferencias preexisten o son fruto del entrenamiento con videojuegos, Green y Bavelier, en el año 2003, llevaron a cabo un trabajo con jugadores no habituales de VJC y hallaron que con tan solo 10 horas de entrenamiento (1 hora durante 10 días consecutivos) se produjo una mejora en varias medidas de atención básica. Sin embargo, no todos los trabajos han hallado una mejora tras el entrenamiento con VJC.

Así, Boot et al. (2008) condujeron una investigación transversal y otra longitudinal. En el estudio transversal compararon 11 jugadores expertos de VJC de acción con 10 no jugadores. Como cabía esperar, los jugadores expertos superaron a los no jugadores en varias medidas cognitivas, en concreto, eran más precisos en un test de memoria a corto plazo visual, tenían un menor costo de cambio de tarea y eran capaces de juzgar sobre objetos rotantes de una forma más eficiente. Según Green y Bavelier (2006) son ya varios los trabajos que han demostrado que jugar a VJC de acción mejora diferentes aspectos de la atención visual. Por ejemplo, Sungur y Boduroglu (2012) compararon la realización de jugadores de VJC de acción y no jugadores. Los resultados mostraron que los primeros tenían una mayor amplitud atencional y mayor resolución espacial que los no jugadores.

Por otra parte, Dye y Bavelier (2010), evaluaron tres aspectos de la atención visual en niños acostumbrados a jugar VJC y en niños no acostumbrados a jugarlos. Las edades de los 114 niños y niñas estaban entre los 7 y los 17 años. Primero, se midió la habilidad para distribuir la atención en un campo visual para la búsqueda de un objetivo. Luego, midió el tiempo que era necesario para recuperar la atención visual después de encontrar el objetivo. Finalmente, midió el número de objetos que podían

ser buscados simultáneamente. Los investigadores indicaron que los niños y adolescentes que jugaban a menudo con VJC de acción mostraron mejores puntajes en todas las pruebas que aquellos que no jugaban regularmente. Este hallazgo sugiere que los niños que juegan con VJC de acción alcanzan patrones de atención visual que solo se alcanzan en etapas más maduras del desarrollo en comparación con los niños que no juegan regularmente.

En este sentido, jugar con VJC de acción parece requerir un procesamiento rápido de objetos en movimiento situados periféricamente de una forma tan eficiente como el procesamiento de objetos lentos situados centralmente. Además, los jugadores tienen que seguir y procesar varios objetos a la vez, por lo que este tipo de juego mejora el desempeño en percepción visual y atención. (Sungur y Boduruglu, 2012). Dye y Bavelier (2004) estudiaron la relación entre habilidades visuales en niños jugadores y no jugadores, hallando mejoras para los primeros en atención visual, una mayor capacidad atencional y un procesamiento más rápido. Desde entonces una serie de estudios han mostrado que jugar a VJC mejora la atención aunque los mecanismos por los que esto sucede no están aún clarificados. Para Clark y et al. (2011) esta mejora se debe a una mejora de las estrategias, mientras que Bavelier, Achtman, Mani y Föcker (2011) podría deberse a una mayor capacidad de filtrar la información relevante, aunque esta cuestión permanece aún sin clarificar.

En un estudio en el que participaron 1323 niños y 210 adolescentes se encontró que la exposición a la TV y a los VJC estaba asociada a la aparición de problemas atencionales, y que esta asociación también se extiende a la adultez temprana (Swing, Gentile, Anderson y Walsh, 2010). El mecanismo fisiológico que podría explicar este hallazgo es el aumento a la exposición de las hormonas del estrés norepinefrina y cortisol (Skosnik, Chatterton, Swisher y Park, 2000).

En un trabajo llevado a cabo Kim, Park y Baek (2009) estos autores utilizaron la enseñanza de estrategias metacognitivas en conjunción con el *“game-based learning”* y hallaron una mejora tanto en la realización en el juego como en la resolución de problemas sociales, utilizando un VJC comercial. En su opinión los videojuegos podrían jugar el importante rol de ser un medioambiente en el que se utilicen las habilidades metacognitivas. También Lorant-Royer, Munch, Mesclé y Lieury (2010) señalan que la práctica regular con videojuegos podría mejorar las habilidades metacognitivas.

En 1994, Greenfield señaló que los videojuegos podrían mejorar las habilidades de razonamiento y de solución de problemas. Más recientemente, VanDeventer y White

(2002) encontraron que, entre otras capacidades cognitivas, los niños de 10 y 11 años jugadores expertos de VJC, mostraban un aumento de la capacidad de toma de decisiones.

En un estudio llevado a cabo por Blumberg, Rosenthal y Randall (2008) se estudiaron las diferencias en resolución de problemas entre jugadores expertos y no jugadores. Los autores encontraron que los jugadores expertos mostraron un mayor “*insight*” y un mayor número de estrategias en relación al juego. Kim, Park y Baek (2009) señalaron que los juegos ponen al sujeto en el papel de “tomador de decisiones”, llevándole a situaciones donde debe experimentar diferentes caminos y formas de aprendizaje y de pensamiento. En un videojuego, los practicantes tienen que combinar aprendizajes y conocimientos de diferentes áreas para hallar una solución a los problemas que se les presenten durante el juego, y tomar decisiones, lo que finalmente podría redundar en una mejor capacidad de toma de decisiones y una mayor eficiencia en el uso de las estrategias de resolución de problemas.

En otro estudio Barlet, Vowels, Shanteau, Crow y Miller (2009) hallaron una mejora en la realización cognitiva jugando a un VJC, evaluando la mejora conseguida con una batería que incluía memoria de trabajo. También VanDebenter y White (2002) encontraron que los niños jugadores presentaban una memoria superior. Asimismo, Ferguson, Cruz y Rueda (2008) hallaron que los VJC predecían una mejora en el rendimiento en memoria visual. En esta línea, en su mayoría los trabajos que han evaluado si el recuerdo es mejor con una presentación auditiva o visual, han revelado una ventaja de la presentación audiovisual. Sin embargo, otros trabajos como el de Owen et al. (2010) encontraron que, aunque el entrenamiento mediante VJC específicos de memoria, mejora la realización en esa función, no se dan efectos de transferencia a otras tareas ni desde otras tareas.

Otro trabajo de García, Nussbaum y Preiss (2011) acerca de la relación entre el uso de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación y la realización en una prueba de memoria de trabajo (la tarea de dígitos) los autores encontraron que los que obtenían un mejor rendimiento en esta prueba eran aquellos que se caracterizaban por un perfil de uso de las nuevas tecnologías caracterizado por un uso combinado de PC y videojuegos. También Green y Bavelier (2006) encontraron que los jugadores de VJC respecto a los no jugadores mostraron una mayor capacidad de aprender ítems y una mejora en la capacidad de focalizar la atención en varios objetos a la vez. En su opinión, estos dos resultados a la vez muestran que esta mejora está mediada por cambios en las habilidades de la memoria a corto plazo visual. Respecto a las FFE Castel, Pratt y

Drummond (2005) sugieren que los videojugadores expertos podrían obtener un beneficio en procesos de alto nivel de control ejecutivo, con un control más eficiente y una mejor localización de la atención selectiva y con una mejor habilidad para establecer relaciones estímulo-respuesta. Sin embargo Karle, Watter y Sheden (2010) encontraron que ,aunque efectivamente los videojugadores obtenían un beneficio en el paradigma de cambio de tarea, éste desaparecía con la interferencia proactiva, sugiriendo que la mejora en este paradigma se debía a un mejor control atencional. Por tanto, podríamos concluir que sería posible que los videojuegos mejoraran la memoria de trabajo, sobre todo de tipo visual, ya que el sujeto tiene que manipular mentalmente muchos ítems de esta modalidad sensorial y de la misma forma, sería posible una mejora en el control ejecutivo, aunque también es posible que estos cambios en las pruebas que requieren de este tipo de control, se deban en realidad a mejoras en la atención selectiva.

Dye et al. (2009) llevaron a cabo un estudio para valorar si es posible reducir el TR con el entrenamiento apropiado en un individuo, para múltiples tareas y sin afectar a la eficacia de las respuestas. Para ello, utilizaron un entrenamiento con VJC, que tuvo un impacto sobre la VPI y no hizo disminuir la eficacia de las respuestas. Estos autores señalan que los TR rápidos muestran una correlación con tests de alto rendimiento cognitivo (Conway et al., 2002) y son responsables de algunos de los cambios observados a lo largo del ciclo vital (Kail y Salthouse, 1994). Hay que señalar que encuentran un efecto de generalización de los cambios a otras tareas de tipo perceptivo y atencional, pero no tienen resultados para otras modalidades sensoriales. Finalmente, sugieren que el entrenamiento con videojuegos podría resultar de utilidad para mejorar los TR de aquellas personas que muestren unas respuestas por debajo de su grupo de referencia. Para Lager y Brenberg (2005) los videojuegos permiten mejorar habilidades espaciales y TR. Los videojuegos mezclan una combinación poderosa de llamativas escenas visuales y música o sonidos adictivos que en conjunto producen respuestas fisiológicas (e.g., aumento de la adrenalina). Por ejemplo, en adultos se ha encontrado que quienes utilizan VJC con música liberan más adrenalina que quienes los usan sin música (Hébert, Béland, Dionne-Fournelle, Crête y Lupien, 2005). También se ha indicado que la respuesta de la FC es mayor en hombres y que la presión arterial es mayor en las mujeres cuando juegan a VJC (Tafalla, 2007).

Por otra parte, diferentes investigaciones han hallado que los videojuegos pueden ser una buena opción para estimular aquellas funciones que sufren de declive cognitivo asociado a la edad (Basak, Boot, Voss y Kramer, 2008; Anguera et al., 2013; Stern, Blumen, Rich, Richards, Herzberg y Gopher, 2011; Maillot, Perrot y Harley, 2012),

utilizando diferentes tipos de VJC (Basak et. al., 2008; Maillot, Perrot y Hartley, 2012). Sin embargo, no todos los trabajos han hallado mejorías. Por ejemplo, Boot, Champion, Blakely, Wright, Souders y Chames (2013) dividieron a 62 participantes con una media de edad de 74 años en tres grupos; uno de ellos jugó con un VJC de acción (Mario Kart), otro con un juego de gimnasia mental (Brain Age 2) y el otro era un grupo de control. Los investigadores evaluaron a los participantes con una serie de medidas cognitivas que, entre otras, incluían velocidad de procesamiento y control ejecutivo. Los resultados no mostraron una mejora en las tareas analizadas.

Respecto a los efectos del entrenamiento basado en videojuegos en niños, además de los ya citados estudios de VanDeventer y White (2002) y de Dye y Bavelier (2004), que hallaron una ventaja de los niños jugadores frente a los no jugadores, Rosas et al. (2003) condujeron un experimento con 1274 estudiantes en Chile. Los alumnos que participaron en el estudio estaban en situación de desventaja económica. Los autores diseñaron un VJC educativo para el estudio que cubría el contenido del currículum de matemáticas y lectura de segundo grado. Los resultados mostraron que el VJC fue efectivo en promover el aprendizaje y la motivación.

Por su parte, Mackey, Hill, Stone y Bunge (2011) llevaron a cabo una investigación con niños con edades comprendidas entre los 7 y los 9 años, que también se encontraban en situación de desventaja económica. Los niños fueron divididos en dos grupos. Cada uno de los grupos fue entrenado en diferentes funciones; uno en velocidad de procesamiento y el otro en razonamiento fluido. Los niños fueron entrenados con una combinación de juegos basados en la Nintendo, juegos computarizados y juegos no computarizados, de forma individual y en grupos. Según el grupo, los juegos enfatizaban diferentes aspectos, de manera que los juegos del grupo de razonamiento fluido eran juegos que requerían solucionar problemas en varios pasos y considerar varias reglas a la vez, y los juegos del grupo de velocidad de procesamiento requerían un procesamiento visual y respuestas motoras rápidas. Ambos grupos mejoraron en las habilidades entrenadas.

Sin embargo, Lorant, Royers, Munch, Mesclé y Lieury (2010) condujeron un experimento en el que participaron 88 niños con una media de edad de 10 años y 2 meses. Los niños fueron asignados a cuatro grupos: el primero jugó con Dr Kawashima's Brain Training, un juego de gimnasia mental; el segundo con New Super Mario Bros, un videojuego recreacional; el tercero, con juegos de Mickey de lápiz y papel y el último, era un grupo de control. El entrenamiento constó de 11 sesiones de 45 minutos. Sus resultados mostraron que Dr Kawashima's Brain Training fue ligeramente efectivo en la

mejora de la destreza manual de la mano derecha y New Super Mario Bros fue efectivo en la mejora de la memoria a corto plazo visual. Sin embargo, no tuvo efectos sobre el procesamiento espacial. Los autores concluyen que, dado los débiles resultados obtenidos, el entrenamiento con videojuegos no es ni lo suficientemente específico ni lo suficientemente largo (en término de años), para producir mejora cognitiva. Quizás los resultados discrepantes se deban a diferencias en las tareas utilizadas para medir la transferencia del entrenamiento.

Tahiroglu, Celik, Avci, Seydaoglu, Uzel, y Altunbas (2010) realizaron un estudio para conocer los efectos cognitivos a corto plazo de jugar durante una hora un VJC. Participaron 101 niños con edades entre 9 y 12 años con y sin problemas psiquiátricos (para evaluar la capacidad cognitiva se aplicó la prueba de «Stroop» antes y después del juego). Se obtuvieron efectos positivos en la atención a corto plazo en general, sin embargo cuando se analizaron los resultados entre los niños con y sin problemas psiquiátricos el efecto desapareció. Así mismo, ese efecto positivo no era evidente en niños que jugaban habitualmente a esos juegos, pero sí lo fue para quienes en el estudio lo jugaron por primera vez. Por lo tanto, se puede concluir que la atención mejora cuando se aprende a jugar un VJC, ya que aumenta la activación cerebral prefrontal y frontal; sin embargo, crónicamente desaparece ese beneficio, por lo que se sugiere que la exposición a largo plazo de VJC puede deteriorar la atención en niños, especialmente en personas muy jóvenes con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH).

Para finalizar este apartado y acorde con las investigaciones que se han realizado en los últimos años, recordaremos que la industria de los videojuegos es multimillonaria y se espera que siga creciendo en los próximos años. Además, los niños, adolescentes y adultos gastan una importante cantidad de tiempo frente a la pantalla de un dispositivo electrónico, y no se espera que esta situación cambie en los próximos años debido a la globalización y el acceso a estos dispositivos. El juego tradicional y el proporcionado por los VJC seguirá siendo importante en todas las etapas del desarrollo de niños y adolescentes, por lo que se debe controlar la exposición y el contenido de éstos. La evidencia científica acerca de la temática de los videojuegos es algunas veces contradictoria, por lo tanto, es necesario realizar mayor cantidad de estudios con sólidos diseños de investigación.

Como conclusión, podemos afirmar que son varias las investigaciones que han hallado una mejoría en el rendimiento cognitivo tras someter a los sujetos a un entrenamiento basado en videojuegos. Parece que los jugadores expertos superan a

los no jugadores en realización cognitiva, sin embargo, de los estudios citados no puede desprenderse si estas diferencias preexisten o son fruto de muchas horas jugando con videojuegos. Respecto a los resultados del entrenamiento con VJC, algunos estudios han hallado una mejoría con pocas horas de práctica (Green y Bavelier, 2003), mientras que otros no han podido demostrar una mejora (Boot et al., 2008). Esto puede ser debido parcialmente al hecho de que los estudios son muy heterogéneos, utilizando diferentes poblaciones, diferentes tareas de transferencia y también diferentes VJC (Rodríguez, Pulina y Lanfranchi, 2013). En este sentido, parece que el género del videojuego es importante, ya que cada uno involucra y entrena diferentes habilidades (Spence y Feng, 2010), habiéndose hallado los mayores incrementos en realización usando VJC de acción. Por tanto, creemos que se hace necesario determinar qué tipo de videojuegos, bajo qué situaciones y por qué, algunos videojuegos son efectivos.

1.5.4. Efecto distractor de factores que influyen en la PSE.

Existen diversos factores que pueden alterar la PSE, tal y como hemos mencionado anteriormente. En este apartado, trataremos de profundizar en aquellas variables que provocan un efecto distractor, causando así una menor PSE. Existen muchas formas de ejercicio que constituyen actividades cognitivamente atractivas, tales como los videojuegos activos, la música, etc. Varios investigadores han sugerido que este compromiso cognitivo inherente al ejercicio puede ayudar a explicar cómo el ejercicio afecta a la cognición (Sibley y Etnier, 2003; Tomporowski et al., 2008). Gran parte del ejercicio que realizan por naturaleza los niños se realiza a través de la participación en actividades de grupo o deportes que requieren cognición compleja, con el fin de cooperar con los compañeros de equipo, anticipar el comportamiento de dichos compañeros o de sus oponentes, emplear estrategias y adaptarse a las demandas de la tarea en constante cambio. Las actividades de grupo, como el fútbol o el baloncesto jugado por los niños, contienen muchas de esas demandas cognitivas, (Davis et al., 2007). Es importante destacar que las tareas de las FFEE provocan demandas similares en los procesos ejecutivos de los niños, obligándoles a crear, controlar y modificar un plan cognitivo para satisfacer las demandas de la tarea (Banich, 2009). De este modo, podemos concluir que los juegos aeróbicos y las diferentes tareas de las FFEE, requieren una forma de pensamiento y habilidades cognitivas similares que favorecen a una menor PSE, que la simple AF repetitiva y automática. Es posible que las habilidades cognitivas adquiridas durante los juegos aeróbicos se transfieran a los componentes de las FFEE y retrasen la aparición de la fatiga cognitiva debido a un efecto “distractor”.

Este fenómeno se ha denominado interferencia contextual (Jiménez-Díaz, Salazar-Rojas y Morena, 2014), tal como se expuso en el marco teórico general.

Tal y como hemos explicado anteriormente, un concepto que puede ayudar a explicar la complejidad de los efectos distractores causados por actividades altamente atractivas y la PSE es la interferencia contextual. Aunque la adquisición de habilidades se produce más rápidamente cuando los componentes de una tarea se presentan de una manera simple y repetitiva, la retención y la transferencia de las habilidades se incrementan cuando hay interferencia contextual, es decir, los componentes se presentan de una manera compleja y casi al azar (Bättig, 1972). Por ejemplo, en el juego de baloncesto el niño puede tener que realizar un pase picado para pasar la pelota con eficacia en un escenario específico, pero también lo necesita para lanzar la pelota en otro contexto totalmente diferente. El pase que se precisa en ese momento no está predeterminado y rara vez se repite una y otra vez, se determina por una multitud de factores que convergen en un momento particular. La interferencia contextual demandada en los procesos ejecutivos de un plan de acción motriz debe ser creada, controlada y modificada en presencia de continuas y cambiantes demandas de la tarea (Brady, 2008).

Para concluir este último apartado del marco teórico, recordaremos a través de diferentes estudios que el esfuerzo del procesamiento de la información lleva a un mayor aprendizaje (Carey et al., 2005). Un ejemplo que lo justifica es un reciente estudio de resonancia magnética funcional, en el cual el procesamiento de la información impone demandas sobre las FFEE relacionada con circuitos neurales. Los resultados destacan una mayor activación frontal y parietal, en comparación con la activación del cerebelo, en la ausencia de interferencia contextual (Cross et al., 2007). Así mismo, Diamond (2009) argumentó que el cerebro y la mente, por extensión, operan de un modo global y las actividades cognitivas y motoras que dependen de procesamiento no automático y selectivo requerirán de su esfuerzo por adquirirlas. Por lo tanto, la ejecución de los movimientos motores complejos parece ser una tarea cognitivamente atractiva, mientras que la ejecución de simples ejercicios repetitivos puede serlo menos. El grado de compromiso cognitivo que ofrece una actividad varía seguramente en su desarrollo. Las formas de ejercicio que contienen numerosas reglas probablemente no son apropiadas para los niños más pequeños, ya que no están preparados cognitivamente para entender y mantener dichas reglas. Según los resultados de este estudio, este hecho podría aumentar la PSE, consecuentemente la fatiga cognitiva y alterar las FFEE.

Hutchinson y Tenenbaum (2007), Tenenbaum (2001) y Rejeski (1981 y 1985) propusieron que la PE depende de la intensidad del ejercicio y las variables psicológicas. Según ellos, las estrategias cognitivas como la información procedente de las sensaciones corporales y distracciones ambientales, son especialmente relevantes para disminuir la PSE durante el ejercicio submáximo. A medida que aumenta la intensidad del ejercicio y la sensación de esfuerzo, el enfoque de la atención es predominantemente interno y las estrategias cognitivas disminuyen su eficacia. Varios estudios han demostrado que un enfoque externo de la atención aumenta la resistencia muscular y mejora de la eficiencia metabólica (Marchant et al., 2011; Schucker, Hageman, Strauss y Völker, 2009). Marchant et al. (2011) concluyeron que los participantes que recibieron instrucciones de carácter externo realizaron más repeticiones en “*pressbanca*” y sentadillas que los que recibieron un enfoque interno. En otro estudio, Schucker et al. (2009) verificaron una reducción en el VO_2 mientras los participantes corrían en un tapíz rodante y se centraban en el entorno virtual (enfoque externo), en comparación cuando se centraron en la correcta ejecución del movimiento o en la respiración (enfoque interno).

Otros estudios han demostrado que la música ayuda a las personas continuar el ejercicio durante más tiempo, retrasa la fatiga, y reduce la PE (Karageorghis y Sacerdote, 2012a, 2012b; Reza, Moghaddam, Shadifar, y Mabhout, 2013). Estos estudios se basan en la idea de que la música capta la atención y distrae al individuo de la fatiga inducida por la actividad, limita la agitación mental y ayuda al cuerpo a responder al componente rítmico de la música, en actividades submáximas (Costasi y Terry, 1997; Karageorghis y Sacerdote, 2012a y 2012b). Recientemente, Pollock et al. (2013) analizaron la relación entre los videojuegos activos y la PE en una muestra de adultos sanos. Mientras jugaban, los usuarios se expusieron a distractores visuales y auditivos a través del ordenador, la música y efectos de sonido interactivo. Los resultados verificaron las hipótesis mostrando una menor correlación entre los valores de la PSE y la FC durante el VJA, en comparación con otros estudios donde se realizaban otras actividades físicas sin distractores. No obstante, el estudio no comparó las diferencias en la PSE cuando el ejercicio se practica solo o combinado con VJA. Por lo tanto, después de la revisión bibliográfica realizada, encontramos pocos los estudios que tratan de analizar las variables que influyen en la PSE tales como el juego o la música, causando un efecto distractor que se relaciona con una menor PSE.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO GENERAL DE

LA INVESTIGACIÓN

Después de realizar una revisión sobre el estado actual del conocimiento de los efectos de la AF aeróbica y los VJA sobre las funciones cognitivas, la literatura muestra cierta controversia en los hallazgos. Dicha controversia, unida a la ausencia de evidencia científica existente en lo relativo a la complejidad del tema, han conducido al planteamiento del objetivo general de la presente Tesis Doctoral.

Este objetivo principal consiste en intentar aportar nuevas evidencias que traten de ampliar y clarificar el conocimiento existente referente a los efectos agudos de la AF aeróbica y los VJA sobre las funciones cognitivas en dos muestras poblacionales diferentes: los jóvenes adultos y los adultos mayores. Como síntesis general, se podría indicar que el fin de las series experimentales desarrolladas en esta tesis tratan de estudiar si la práctica de AF aeróbica con y sin VJA implica una disminución o mejora del TRC (medida específica y parcial de la VPI y de las FFEE). A su vez, nos planteamos si la práctica de AF aeróbica con VJA mejora significativamente el TRC y muestra una menor PSE, en comparación con la simple y repetitiva práctica de AF sin VJA.

Nos interesa profundizar en esta dirección, ya que la práctica de diferentes tipos de AF aeróbica podrían tener relación con una mayor actividad cerebral en la CPF, en función de la naturaleza del ejercicio realizado. Este hecho, podría ser útil para prescribir el ejercicio y orientar ciertos tratamientos rehabilitadores de diferentes patologías, aumentar el rendimiento de los deportistas, prevenir enfermedades degenerativas cognitivas y en general, mejorar la salud y la calidad de vida de las personas. Basándonos en estudios previos, realizados con un diseño metodológico parecido al nuestro en relación con los efectos agudos de la AF y los VJA sobre las funciones cognitivas, pretendemos obtener en nuestros estudios un efecto similar, dado que la AF parece influir de forma positiva en el funcionamiento cognitivo.

Para tratar de responder a estas cuestiones y verificar nuestras hipótesis se han llevado a cabo tres estudios experimentales que describiremos en detalle en apartados posteriores. En el primero de ellos, se optó por seleccionar un tipo de población que cubriera un hueco muestral en el abanico de investigaciones realizadas hasta el momento. Numerosas investigaciones sugieren que la práctica de actividad física aeróbica mejora las FFEE en los niños (Tompsonsky, 2008; Best, 2010). Sin embargo, nos planteamos si en la juventud o edad adulta temprana todavía era posible producir mejoras en las FFEE gracias al prolongado periodo de desarrollo cognitivo (Best, Miller y Jones, 2009).

Por ello, el propósito de este primer estudio fué determinar los efectos agudos

de la pràctica de AF y los VJA sobre TRC en adultos jóvenes sanos y que realizaran ejercicio físico regularmente. Asimismo, el estudio también pretendió analizar el efecto de la AF aeróbica y los VJA sobre la PSE, estableciendo una relación entre la fatiga cognitiva y el tipo de AF que se practica.

En el segundo estudio, seleccionamos una muestra de adultos mayores para tratar de valorar los efectos agudos de la práctica de AF aeróbica y los VJA sobre el TRC y la PSE. Para poder profundizar de forma más específica en el procesamiento de la respuesta, en este segundo estudio se tuvieron en cuenta diferentes FFEE medidas a través de un instrumento específico, el Wisconsin Card Sorting Test (WCST).

En el tercer estudio se combinó la muestra de los dos estudios anteriores con el fin de obtener una mayor potencia estadística.

CAPÍTULO III

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

3.1. ESTUDIO 1

“Efectos agudos de la actividad física aeróbica y los videojuegos activos sobre el tiempo de reacción y la percepción del esfuerzo en jóvenes adultos”

Resumen:

El objetivo del presente estudio fue examinar los efectos agudos del ejercicio aeróbico practicado solo, y el ejercicio aeróbico practicado con VJA sobre el TRC y la PSE en jóvenes adultos sanos. El grupo experimental estaba compuesto por 92 participantes, 78 varones y 14 mujeres (edad $M = 21,9 \pm 2,7$ años) que completaron dos sesiones, A y B. En la sesión A, los participantes pedalearon 30 minutos en un cicloergómetro, mientras que en la sesión B pedalearon durante 30 minutos en un cicloergómetro mientras jugaban a un VJA en una Wii. El grupo de control estaba compuesto por 30 adultos jóvenes, 26 hombres y 4 mujeres (edad $M = 21,4 \pm 2,9$ años) que descansaban durante 30 min. En cada sesión, se llevó a cabo una tarea de TRC antes y después de hacer ejercicio aeróbico o descanso, y después del ejercicio se observó la PSE global. Para realizar los análisis estadísticos, se utilizó un modelo lineal general de medidas repetidas y las pruebas de Wilcoxon. Los resultados mostraron que: (1) Tanto el ejercicio aeróbico practicado solo como ejercicio aeróbico combinado con VJA ,mejoraron el TRC, mientras que en reposo no lo hizo; (2) el ejercicio aeróbico combinado con VJA no mejoró el TRC significativamente, en comparación con la práctica de ejercicio aeróbico sin VJA; y (3) la PSE fue menor después de practicar ejercicio aeróbico combinado con VJA en comparación con sólo el ejercicio aeróbico. Por lo tanto, podemos concluir que en los adultos jóvenes sanos, el ejercicio produce beneficios agudos sobre el TRC, y la práctica de ejercicio con VJA ayuda a disminuir la PE.

Palabras clave: Experimento, control motor, eficiencia, atención, fatiga.

3.1.1. INTRODUCCIÓN

Gracias a un gran número de investigaciones que indican el beneficio provocado por el ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo, ha aumentado el interés por estudiar los efectos crónicos y agudos del ejercicio aeróbico sobre los procesos cognitivos (Best, 2010; Hillman et al, 2009; Tomporowski, 2003).

Recordamos que el concepto de control cognitivo, es un término utilizado para describir un subconjunto de operaciones autorreguladas y dirigidas a un objetivo que intervienen en la selección, la programación y la coordinación de los procesos computacionales subyacentes de la percepción, la memoria, la acción y los procesos cognitivos básicos incluyendo la inhibición, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva (Diamond, 2006). Uno de estos procesos cognitivos, corresponde a la VPI y se ha medido utilizando el TRS/TRC y algunas tareas de resolución de problemas (Tomporowski, 2003). Algunos estudios han demostrado que la VPI mejora con ejercicio aeróbico (Colcombe y Kramer, 2003; Tomporowski, 2003). Esta mejora puede ser detectada inmediatamente después de completar una sola sesión de ejercicio (Budde et al, 2008;. Hillman et al, 2009; Pesce et al, 2009) y después del entrenamiento crónico (Davis et al, 2007, 2011;. Hinkle et al, 1993). Los resultados anteriores se han encontrado en los adultos mayores y en niños (Best, 2010; Tomporowski, 2003; Colcombe et al., 2006).

Los efectos del ejercicio sobre el TRS y el TRC también han sido comparados con los efectos de otras actividades como ver la televisión. Elleberg y Saint-Louis-Deschênes (2010) examinaron la influencia de hacer ejercicio aeróbico durante 30 minutos y ver la televisión sobre el TRS y el TRC en niños sanos entre 7-10 años de edad (n = 36 por grupo de edad). La mitad de los niños completaron una sesión de ejercicio aeróbico de 30 minutos, mientras que la otra mitad veía la televisión (TV). Los TR de los participantes se evaluaron inmediatamente antes y después de la intervención. En comparación con el grupo de control, los niños en la condición de ejercicio mostraron una mejora significativa en el TRS y TRC respecto a los que habían visto la TV.

Siguiendo esta línea de investigación, algunos investigadores han estudiado los efectos de diferentes tipos de ejercicio sobre la activación cortical y las FFEE. Budde et al. (2008), encontraron que los participantes que realizaban ejercicios de coordinación bilateral eran más efectivos en el test "D2" (determina la capacidad de concentrarse en un estímulo mientras intervienen ciertos distractores), en comparación con los que

practicaban una sesión de deporte normal, siendo la misma intensidad del ejercicio en ambos grupos experimentales. Los ejercicios de coordinación bilateral fueron seleccionados de un programa de entrenamiento de la coordinación especial para futbolistas y de ejercicios del test de aptitud “Munich”, y la sesión de deporte normal consistió en ejercicios realizados a una intensidad moderada sin ningún tipo de coordinación específica.

En otro estudio, Pesce y col., (2009) compararon los efectos del ejercicio aeróbico en los juegos de equipo y en los juegos individuales sobre el funcionamiento cognitivo en niños preadolescentes entre 11-12 años de edad. En una primera sesión, los participantes completaron una sesión de 1 hora de entrenamiento que consistía en circuitos individuales y, en una segunda sesión, completaron los juegos de equipo durante una hora. Los resultados sugieren que una sesión de ejercicio submáximo realizado durante una clase de Educación Física, puede facilitar el almacenamiento de la memoria. Los efectos diferenciales de tipos cualitativamente únicas del ejercicio sobre la memoria inmediata y retardada sugirieron que los procesos de almacenamiento de memoria se pueden facilitar no sólo por los aumentos en la activación fisiológica inducidos por el ejercicio, sino también por la activación cognitiva inducida por las demandas cognitivas del ejercicio. Sin embargo, los resultados siguen siendo poco concluyentes, ya que otros estudios han obtenido efectos no significativos. Por ejemplo, Tomporowski et al. (2008) no encontraron diferencias significativas entre los efectos agudos del ejercicio aeróbico repetitivo y simple, y el descanso sobre el funcionamiento cognitivo, en una muestra de 69 niños con sobrepeso, entre 7-11 años de edad.

Del mismo modo, Stroth et al., (2009) encontraron que 20 minutos de bicicleta estática a una velocidad moderada no mejoró las FFEE (atención selectiva, inhibición de ciertas respuestas, y el mantenimiento de las normas en la memoria de trabajo), en 35 adolescentes entre 13 y 14 años de edad. Por lo tanto, la hipótesis de que el ejercicio aeróbico combinado con la actividad cognitiva puede tener efectos más fuertes que el ejercicio aeróbico solo en variables relacionadas con la función ejecutiva, como el TRC, no está claro.

La PSE ha sido definida como la intensidad subjetiva del esfuerzo, la tensión y/o el malestar que se experimenta durante la práctica de ejercicio físico (Robertson et al., 1998). El índice de esfuerzo percibido es un método validado para la estimación de la percepción individual de la intensidad del esfuerzo realizado durante diferentes tipos de ejercicio (caminar, correr, pedalear, etc.).

Hutchinson y Tenenbaum (2007), Tenenbaum (2001) y Rejeski (1981, 1985) propusieron que la PE depende de la intensidad del ejercicio y las variables psicológicas. Según ellos, las estrategias cognitivas como la información procedente de las sensaciones corporales y distracciones ambientales, son especialmente relevantes para disminuir la PSE durante el ejercicio submáximo. A medida que aumenta la intensidad del ejercicio y la sensación de esfuerzo, el enfoque de la atención es predominantemente interno y las estrategias cognitivas disminuyen su eficacia. Varios estudios han demostrado que un enfoque externo de la atención aumenta la resistencia muscular y mejora de la eficiencia metabólica (Marchant et al., 2011; Schucker, Hageman, Strauss, y Völker, 2009). Marchant et al. (2011) concluyeron que los participantes que recibieron instrucciones de carácter externo realizaron más repeticiones en “*pressbanca*” y sentadillas que los que recibieron un enfoque interno. En otro estudio, Schucker et al. (2009) verificaron una reducción en el VO_2 mientras los participantes corrían en un tapiz rodante y se centraban en el entorno virtual (enfoque externo), en comparación cuando se centraron en la correcta ejecución del movimiento o en la respiración (enfoque interno).

Otros estudios han demostrado que la música ayuda a las personas continuar el ejercicio durante más tiempo, retrasa la fatiga, y reduce la PE (Karageorghis y Sacerdote, 2012a, 2012b; Reza, Moghaddam, Shadifar, y Mabhout, 2013). Estos estudios se basan en la idea de que la música capta la atención y distrae al individuo de la fatiga inducida por la actividad, limita la agitación mental y ayuda al cuerpo a responder al componente rítmico de la música, en actividades submáximas (Costasi y Terry, 1997; Karageorghis y Sacerdote, 2012a, 2012b). Recientemente, Pollock et al. (2013) analizaron la relación entre los videojuegos activos y la PE en una muestra de adultos sanos. Mientras jugaban, los usuarios se expusieron a distractores visuales y auditivos a través del ordenador, la música y efectos de sonido interactivo. Los resultados verificaron las hipótesis mostrando una menor correlación entre los valores de la PSE y la FC durante el VJA, en comparación con otros estudios donde se realizaban otras actividades físicas sin distractores. No obstante, el estudio no comparó las diferencias en la PSE cuando el ejercicio se practica solo o combinado con VJA. En este estudio, se propuso el VJA como un elemento de distracción mientras los participantes pedaleaban en una bicicleta estática durante 30 minutos a una intensidad moderada, con el objetivo de dirigir la atención hacia un enfoque externo y contribuyendo a llevar a cabo un movimiento controlado y automático, de la forma más eficiente posible. A continuación, se tratarán de describir los objetivos y las hipótesis correspondientes al primer estudio de la presente Tesis Doctoral.

3.1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1.2.1. Objetivo general

Analizar los efectos agudos producidos por la práctica de AF y los VJA sobre las funciones cognitivas en jóvenes adultos que practiquen ejercicio físico regularmente.

3.1.2.2. Objetivos específicos

El objetivo general se dividió en tres objetivos específicos:

- Analizar la posible mejora en el TRC después de la práctica de AFy AF+VJA, respecto al grupo de control.
- Analizar las diferencias en la mejora del TRC después de AF y después de AF+VJA.
- Analizar las diferencias de la PSE, después de AF y después de AF+VJA.

3.1.2.3. Hipótesis

La hipótesis principal de la investigación fue que la práctica aeróbica combinada VJA, implicaría una disminución o mejora del TRC y una menor PSE, en comparación a la práctica de AF repetitiva y automática sin VJA. Este hecho, podría estar relacionado con una mayor actividad cerebral en la CPF. Las hipótesis específicas que se derivan de cada uno de los objetivos específicos son:

- La práctica de AF y AF+VJA mejora el TRC, respecto al grupo de control.
- La práctica de AF+VJA produce una mayor mejora en el TRC, que la práctica de AF.
- La práctica de AF+VJA produce una menor PE, que la práctica de AF.

3.1.3. METODOLOGÍA

A continuación se explicarán detalladamente los apartados de participantes, material e instrumental, procedimiento, diseño y análisis estadístico de los datos.

3.1.3.1. Participantes

En el estudio participaron 92 estudiantes universitarios, todos ellos cursando el Grado de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte en la Universidad de Valencia. Los participantes coincidían en la edad ($M = 21,9 \pm 2,7$ años), en el nivel de estudios universitarios y en que eran personas habituadas a la práctica de actividad física. Lo cual implica que la riqueza motriz, podía favorecer al aprendizaje del gesto técnico a la

hora de medir el TRC, y por lo tanto, influía de manera similar a unos participantes y a otros en ese aspecto. El total de participantes analizados fue de 78 hombres y 13 mujeres repartidos aleatoriamente en cada uno de los tres grupos (control, AF y AF+VJA). El grupo de control estuvo compuesto por 30 participantes (26 hombres y 4 mujeres; $M = 21,4 \pm 2,9$ años). La variable sexo, fue repartida proporcionalmente en cada grupo. A su vez, se controlaron las variables antropométricas de peso y altura y no se utilizaron para asignar grupos a los participantes. Todos los participantes realizaron las sesiones voluntariamente y sin ningún tipo de presión externa.

Tabla 9. Características de los participantes del Estudio 1.

	Control		Experimental	
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
	M ± DT	M ± DT	M ± DT	M ± DT
Edad (años)	21,5 ± 3,1	20,7 ± 0,5	22,2 ± 2,6	22,3 ± 2,8
Altura (cm)	176 ± 7	162 ± 4	179 ± 9	164 ± 7
Peso (kg)	72 ± 6,8	55,6 ± 4,9	76,2 ± 9,3	58,9 ± 4,7
Horas de actividad física a la semana	8,4 ± 2,6	7,8 ± 3,4	8,9 ± 1,8	8,1 ± 3,2

3.1.3.2. Material e instrumental

Tiempo de reacción complejo: “Viena Test System”

Para medir el TRC se ha utilizado el test “Análisis del TR” perteneciente al Viena Test System (Schuhfried, 1992). Según Dorch (1994), las fases del TRC son dos: el TR (tiempo desde la aparición del estímulo hasta que se inicia el movimiento) y el TRM (tiempo desde que se inicia el movimiento hasta que termina la acción).

Tabla 10. Fiabilidad del Test “Análisis del TR” (Viena Test System)

TRC	Fiabilidad		N
	TR	TRM	
	0,869	0,965	170

Este consistía en dos fases, la primera era una práctica donde el propio programa explicaba el funcionamiento y las normas del test y en la cual cada participante disponía de 2 minutos aproximadamente para practicar y asegurarse de que había comprendido lo que debía hacer. Todos los participantes utilizaron el dedo índice de la mano predominante para su realización. Una vez terminada esta fase, se les informó a los participantes de que se trataba de un ensayo y que a continuación comenzaría el test verdadero, la segunda fase. Éste duraba aproximadamente 3 minutos y su desarrollo se encuentra explicado con detalle posteriormente en el apartado de protocolo experimental. A continuación, se presenta una tabla donde se describe el test:

Tabla 11. Secuencia de estímulos del Test de TRC (Viena Test System) durante la práctica y la prueba.

Fase	Número del estímulo	Estímulo	Relevante	Intervalo de pausa	Duración del estímulo
Práctica	Ü1	Amari. + rojo	Si	3,0 seg	1,5 seg
	Ü2	Amari.	No	4,0 seg	1,5 seg
	Ü3	Amari. + tono	Si	1,5 seg	1,5 seg
	Ü4	Rojo + tono	No	4,0 seg	1,5 seg
	Ü5	Rojo	No	1,5 seg	1,5 seg
	Ü6	Amari. + rojo	Si	1,5 seg	1,5 seg
	Ü7	Tono	No	4,0 seg	1,5 seg
	Ü8	Amari. + tono	Si	3,0 seg	1,5 seg
	Ü9	Rojo	No	4,0 seg	1,5 seg
	Ü10	Amari. + tono	Si	1,5 seg	1,5 seg
	Ü11	Amari.	No	3,0 seg	1,5 seg
	Ü12	Tono	No	1,5 seg	1,5 seg
Test	1	Amari. + rojo	Si	2,5 seg	1,5 seg
	2	Tono	No	1,5 seg	1,5 seg
	3	Amari.	No	4,0 seg	1,5 seg
	4	Rojo	No	1,5 seg	1,5 seg
	5	Rojo + tono	No	1,5 seg	1,5 seg
	6	Amari.	No	1,5 seg	1,5 seg
	7	Amari. + tono	Si	4,0 seg	1,5 seg
	8	Tono	No	1,5 seg	1,5 seg
	9	Amari.	No	4,0 seg	1,5 seg
	10	Rojo	No	1,5 seg	1,5 seg
	11	Rojo + tono	No	1,5 seg	1,5 seg
	12	Amari.	No	1,5 seg	1,5 seg
	13	Amari. + tono	Si	4,0 seg	1,5 seg
	14	Rojo + tono	No	1,5 seg	1,5 seg
	15	Amari.	No	1,5 seg	1,5 seg
	16	Amari. + rojo	Si	1,5 seg	1,5 seg
	17	Tono	No	4,0 seg	1,5 seg
	18	Amari. + tono	Si	1,5 seg	1,5 seg
	19	Amari. + rojo	Si	4,0 seg	1,5 seg
	20	Rojo + tono	No	1,5 seg	1,5 seg
	21	Amari.	No	1,5 seg	1,5 seg
	22	Amari. + rojo	Si	1,5 seg	1,5 seg
	23	Tono	No	4,0 seg	1,5 seg
	24	Amari. + tono	Si	1,5 seg	1,5 seg

La medición del TRC fue realizada antes (medida pre) e inmediatamente después (medida post) de terminar la prueba aeróbica. Los resultados del test, medidos en milisegundos, quedaron reflejados en un archivo que genera el propio programa al finalizar cada test. Posteriormente se transfirieron dichos datos a una hoja de Excel y al SPSS para realizar los análisis estadísticos correspondientes. La intensidad del ejercicio también se registró durante la realización de dicho test.

La prueba fue evaluada respecto a los siguientes parámetros:

1.- Valor Bruto (VB), Rango Porcentual (RP) y Valor T (T) del TR y TRM. RP y T son el resultado de la comparación con la “muestra de valores normales”.

2.- Eficiencia en relación a la frecuencia de aciertos y errores (correctos, incorrectos, no ha reaccionado o incompletos).

Para calcular la eficiencia se utilizó la siguiente fórmula:

$$\{[(\text{Aciertos} - (\text{no reacciona} + \text{reacción parcial} + \text{reacción incorrecta})) \times (100/\text{TR})]\}.$$

Fue posible comparar los resultados con una muestra comparativa que clasifica en varios grupos relevantes (edad, nivel de estudios, N = 162).

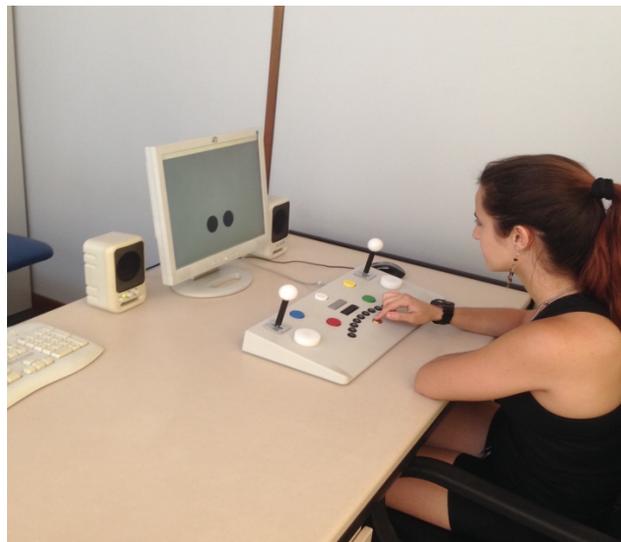


Figura 14. Realización del Test de TRC (Viena Test System).

Percepción subjetiva del esfuerzo: Escala de Borg (CR-10)

Para valorar la PSE, fue utilizada la Escala de Borg (CR-10). Esta escala compuesta por 10 ítems mide el grado de PSE que los participantes experimentan durante y después de hacer ejercicio, ya que permite la cuantificación de la carga o estrés fisiológico percibido (Borg, 1982).

Se midió inmediatamente después de terminar el segundo test de TRC, al final de cada sesión. Para ello, cada participante hizo una valoración general subjetiva (durante un periodo máximo de 30 segundos) acerca del esfuerzo que consideraba que había realizado durante la prueba aeróbica. Una vez identificada la carga de trabajo, se relacionaba con el número correspondiente de cada ítem.

Escala de Esfuerzo de BORG	
0	Reposo total
1	Esfuerzo muy suave
2	Suave
3	Esfuerzo moderado
4	Un poco duro
5	Duro
6	
7	
8	Muy duro
9	
10	Esfuerzo máximo

Figura 15. Valores de la escala de Borg (CR-10) respecto al esfuerzo percibido.

Ejercicio aeróbico: Cicloergómetro modelo Pro Form 275 ZLX

Para la realización de actividad física aeróbica, se utilizó el cicloergómetro modelo Pro Form 275ZLX. Antes de comenzar, se ajustó la altura del sillín y la distancia respecto al manillar, acorde a las características antropométricas de cada participante. Ésta prueba consistió en pedalear durante 30 minutos a una intensidad entre el 60% y el 70% de la $FC_{Máx.}$, lo cual se caracteriza por ser un ejercicio aeróbico de intensidad moderada. Según las edades de los participantes y la fórmula de (Karvonen, , Kentala y Mustala, 1975), la intensidad de trabajo oscilaba entre (140 y 160 ppm) y según el cicloergómetro, entre (165 y 185 vatios). Durante la prueba aeróbica, se registró la distancia total recorrida en cada sesión por los participantes. Constantemente, se mantuvo un feedback verbal con los participantes para conocer su estado y ajustar las carga de trabajo a la intensidad correspondiente. Todo ello, bajo la supervisión de la medición de la FC a través del pulsómetro y del cicloergómetro.

Estímulo perceptivo-motor o juego: la Wii

A los 5 minutos de haber comenzado la sesión de AF+VJA y una vez que se había alcanzado la intensidad de trabajo deseada, los participantes jugaron durante los 25 minutos restantes de la prueba aeróbica al juego de tenis de la Wii, lo cual nos permitió añadir un estímulo perceptivo, cognitivo y motor. De esta forma, podemos garantizar que se produce un mayor estímulo cognitivo durante el juego y, por lo tanto, un aumento en la activación de los lóbulos prefrontales. Durante el partido de tenis, la mano predominante sujetaba la raqueta, mientras que la otra mano estaba agarrada al manillar del cicloergómetro para mantener el equilibrio del cuerpo.



Figura 16. Participante del estudio 1, realizando la prueba de AF+VJA.

Frecuencia Cardíaca: Pulsómetro "Polar RS 800"

Al inicio de cada sesión, fue activado el pulsómetro en cada participante y se realizó un "lap" en cada momento en el que se quería obtener un punto de referencia respecto al tiempo (inicio y fin de cada prueba). De esta forma, quedó registrada toda la FC durante las dos sesiones que realizaba cada participante. Las dos pruebas aeróbicas (AF y AF+VJA) consistieron en mantener una intensidad moderada entre el 60% y el 70% $FC_{máx.}$, pedaleando durante 30 minutos en el cicloergómetro. Según la fórmula de Karvonen, hemos podido cuantificar la intensidad del ejercicio, teniendo en cuenta la $FC_{reposito}$ ($FC_a \text{ un } \% \text{ de intensidad} = (FC_{máx.} - FC_{reposito}) \times \%_{\text{intensidad}} + FC_{reposito}$). Sus porcentajes se corresponden proporcionalmente con los porcentajes del $VO_{2Máx.}$, de manera que si calculamos un trabajo a un $\%_{\text{intensidad}}$ con la fórmula de Karvonen, nos aseguramos con cierta precisión que estamos trabajando al $\%_{\text{intensidad}}$ del correspondiente $VO_{2Máx.}$ Con un cronómetro, se realizó un registro paralelo del tiempo respecto a todas las pruebas, a fin de ubicar el inicio y fin de cada test y las partes de cada prueba en la sesión.

El Tiempo: Cronómetro Geonaute Trt'L 900

Desde el inicio de la prueba se comenzó a registrar el tiempo de toda la sesión en centésimas de segundo mediante el cronómetro modelo Geonaute Trt'L 900. Se realizó un “lap” (al mismo tiempo que se realizaban los “laps” con el pulsómetro) en cada momento en el que se necesitaba recordar el tiempo transcurrido (normalmente en el inicio y final de las diferentes partes). Por ejemplo: cuando se conectaba el pulsómetro (2 laps para sincronizar cronómetro y pulsómetro), al inicio y final de la prueba aeróbica, cuando se sumó el estímulo del VJA, en el inicio y final del test de TRC y sus fases, en el final de la prueba. De esta forma, pudimos ubicar el valor de todas las variables en cada momento. Durante el inicio y el final de cada proceso se interactuó verbalmente con el participante para permanecer sincronizado en todo momento en el inicio y final de cada test.

Decibelios: Iphone 5

Los decibelios fue una variable que se tuvo en cuenta para controlar la intensidad del estímulo sonoro durante la realización del test de TRC, así como garantizar que otras variables extrañas no interfirieran durante la sesión. La sala donde se ha realizado la investigación (UIRFIDE), normalmente se encontraba a 30db, cuando no había ningún estímulo sonoro externo. Una vez encendido el ordenador, el ventilador aumentaba el ruido del ambiente a 55/60 db a la altura del altavoz izquierdo, 50db en el derecho y 50 db a la altura de las orejas de los participantes. Esta diferencia era debida a que el altavoz izquierdo se encontraba a una menor distancia del ordenador, que el altavoz derecho. Cuando se producía la señal sonora, el altavoz izquierdo registraba 95 db, el derecho 90db y a la altura de las orejas de los participantes entre 65/70 db. Finalmente, es preciso recordar que todos los días se midió la intensidad del sonido para corroborar que no hubo ninguna modificación durante toda la toma de datos.



Figura 17. Aplicación Decibel Ultra de “Iphone 5s” para medir la intensidad del estímulo sonoro en db.

Temperatura y humedad: Estación meteorológica “Oregon Scientific BAR-806”

La temperatura y la humedad de la sala, son variables que fueron registradas al inicio y al final de cada sesión en las mismas condiciones ambientales: 18°C y 42% humedad.

Peso y altura: Casio FR330 y Stanley modelo Easilok 97-691

El peso y la altura de cada participante fue medido al inicio de cada sesión, como variables antropométricas de los participantes. No obstante, por tratarse de un diseño intrasujeto, estas variables no se consideraron relevantes por lo que no se incluyeron en el análisis estadístico.

3.1.3.3. Procedimiento

3.1.3.3.1. Informe favorable del Comité de Ética

El estudio fue sometido a la aprobación del Comité de Ética de la Universidad de Valencia, obteniendo así un informe favorable. El protocolo experimental del estudio cumplió los condicionantes que la Conferencia de Helsinki marcó en la experimentación con seres humanos (Asamblea Corea, 2008).

3.1.3.3.2. Obtención del consentimiento informado

Cada participante fue informado de forma oral acerca de las sesiones que se debían realizar. Así mismo, antes de participar todos ellos firmaron un consentimiento informado (Anexo 1), manifestando que fueron informados con anterioridad acerca de las actividades a realizar y que participaban de forma voluntaria y sin ningún tipo de presión externa.

3.1.3.3.3. Criterios de selección y exclusión de participantes

- 1.- Tener una edad entre 20 y 26 años.
- 2.- No poseer contraindicaciones médicas para la realización de ejercicio aeróbico.
- 3.- Practicar actividad física un mínimo de cuatro horas a la semana.

3.1.3.3.4. Medidas Pre y Post tratamiento

Las medidas del grupo de control se llevaron a cabo durante una sesión. Se midió el TRC antes y después de un periodo de descanso de 30 minutos. Las medidas pre y post realizadas por los dos grupos experimentales se realizaron durante las dos

sesiones (AF y AF+VJA). A su vez, durante las dos sesiones se registró la FC, se realizó una medida pre y post del TRC y una valoración subjetiva de la PSE al finalizar la sesión.

Las pruebas y test se realizaron siempre en el mismo orden para todos los participantes en cada sesión. Al finalizar cada sesión, los participantes descansaron durante 5 minutos para volver a su estado de reposo basal antes de marcharse, momento que aprovechaban para asearse e hidratarse. Cada participante realizó la segunda sesión una semana después de la primera, el mismo día de la semana y a la misma hora. Las medidas pre y post tratamiento hacen referencia al TRC. Todas las pruebas y test fueron aplicadas con normalidad y sin ningún incidente. Resultaron bastante asequibles para los participantes y no mostraron ningún problema en poder realizarlas. Los dos grupos experimentales (AF y AF+VJA), pasaron por las dos condiciones experimentales, solo que con distinto orden, contrabalanceando así las dos condiciones experimentales.

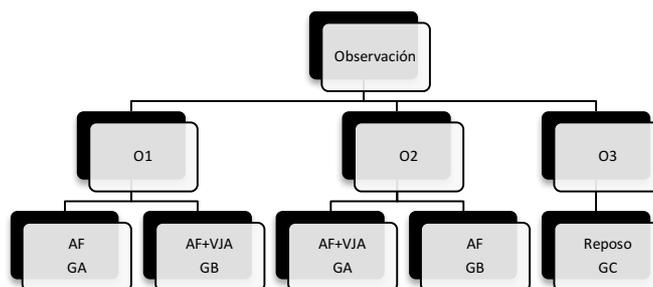


Figura 18. Balanceo del orden entre dos condiciones experimentales: O1 y O2. GA (31 participantes) y GB (31 participantes). La observación (O3) pertenece al grupo de control (30 participantes).

3.1.3.3.5. Protocolo experimental

Cada participante realizó dos sesiones (AF y AF+VJA), excepto los participantes del grupo de control que realizaron una (reposo). Cabe mencionar que todas las medidas repitieron los mismos protocolos de actuación, métodos, sistemas, materiales e instrumentos, así como también el orden y la temporalización de las diferentes pruebas, test y valoraciones. Respecto al lugar donde se realizaron las mediciones, siempre se llevaron a cabo en la Unidad de Investigación U.I.R.F.I.D.E., en las mismas condiciones ambientales: 15/18°C, 42% humedad, 30db y misma luminosidad.

El protocolo experimental exigía para empezar una breve explicación de las tareas a realizar para que los participantes pudieran sentirse orientados e informados acerca de las actividades a realizar. En ningún momento se hizo referencia a los detalles

del estudio, objetivos, características, para que no pudiesen contaminar las acciones de los participantes o condicionarlas. A todos los participantes se les recordó mediante un mensaje de “watsap” el día de antes de cada sesión, la hora y el lugar, así como el equipamiento necesario: pantalón corto, camiseta corta, toalla y agua. Cada sesión tenía una duración de 60 minutos. Durante las dos sesiones se realizaron exactamente las mismas pruebas, test y valoraciones, solamente se diferencian en que en una se realiza AF y en la otra AF+VJA, como hemos explicado anteriormente en el apartado de materiales. Al inicio de cada sesión cada participante se cambiaba de ropa y se le entregaba la hoja de consentimiento informado (Anexo 1), la cual debían leer detenidamente, preguntar las dudas o cuestiones que tuvieran y finalmente firmarla. Posteriormente cada participante se quitaba las zapatillas y se medía su altura y peso. A continuación, se procedía a sincronizar el cronómetro, al mismo tiempo que se activaba el pulsómetro y el participante se sentaba en la silla preparándose para la realización del test de TRC.

Los participantes fueron guiados por el ordenador a través del programa, por lo tanto, siempre se llevó a cabo el protocolo de la misma forma. Al inicio se realizaba una práctica de una duración aproximada de 2 minutos, donde se respondía a 12 estímulos diferentes para corroborar que el participante había entendido las normas del test. El test duraba aproximadamente 3 minutos y consistía en responder lo más rápido posible a 50 estímulos con 6 respuestas múltiples. La duración de cada estímulo era aproximadamente 1,5 segundos y la pausa entre la presentación de los diferentes estímulos duraba entre 1,5 y 4 segundos. Todos los participantes utilizaban el dedo índice de la mano predominante durante la realización de la prueba. Siempre se utilizó el mismo teclado y la distancia entre los participantes y el teclado tampoco variaba, ya que la posición del cuerpo y el brazo de los participantes, siempre era la misma. La intensidad del estímulo sonoro siempre eran 95dB.

La prueba aeróbica comenzaba después de realizar por primera vez el test de TRC. Antes de comenzar, se ajustó la altura del sillín y la distancia respecto al manillar, acorde a las características antropométricas de cada participante. Ésta prueba consistió en pedalear durante 30 minutos a una intensidad entre el 60% y el 70% de la $FC_{Máx.}$, lo cual se caracteriza por ser un ejercicio aeróbico de intensidad moderada. La $FC_{máx.}$ se calculó basándonos en la fórmula de Tanaka, Monahan y Juntas (2001): ($FC_{máx.} = 208,75 - 0,73 \times \text{edad}$). La intensidad de trabajo oscilaba entre (140 y 160ppm) y según el cicloergómetro, entre (165 y 185 watos). Según la fórmula de Karvonen, pudimos cuantificar la intensidad del ejercicio, teniendo en cuenta la $FC_{reposito}$: $FC_{a \text{ un } \% \text{ de intensidad}} = (FC_{máx.} - FC_{reposito}) \times \%_{\text{intensidad}} + FC_{reposito}$. Sus porcentajes se corresponden

proporcionalmente con los porcentajes del $VO_{2M\acute{a}x.}$, de manera que si calculamos un trabajo a un $\%_{intensidad}$ con la fórmula de Karvonen, nos aseguramos con cierta precisión que estamos trabajando al $\%_{intensidad}$ del correspondiente $VO_{2M\acute{a}x.}$

Al inicio de la prueba se comenzó trabajando con 40 vatios y se fue aumentando la intensidad progresivamente (30vatios/min) hasta alcanzar el umbral en el que nos interesaba trabajar. Una vez alcanzada la intensidad de trabajo deseada, ésta se mantuvo l constante. Finalmente, se disminuyó la intensidad progresivamente (30vatios/min). Durante la prueba aeróbica, se registró la distancia total recorrida en cada sesión por los participantes. Constantemente, se mantuvo un feedback verbal con los participantes para conocer su estado y ajustar las carga de trabajo a la intensidad correspondiente. Todo ello bajo la supervisión de la medición de la FC a través del pulsómetro y del cicloergómetro.

En la sesión 1 (AF), los participantes se encontraban cara la pared, para tratar de evitar cualquier estímulo visual o auditivo que pudiera captar su atención. En la sesión 2 (AF+VJA), los participantes pedaleaban mientras jugaban al juego de tenis de la Wii. A los 5 minutos de haber comenzado la sesión de AF+VJA y una vez que se había alcanzado la intensidad de trabajo deseada, los participantes jugaron durante los 25 minutos restantes de la prueba aeróbica al juego de tenis de la Wii. Durante el partido de tenis, la mano predominante sujetaba la raqueta, mientras que la otra mano estaba agarrada al manillar del cicloergómetro para mantener el equilibrio del cuerpo. Al finalizar la prueba aeróbica se realizaba inmediatamente el test de TRC y posteriormente, disponiéndose un descanso absoluto de 5 minutos antes de irse. En ese momento los participantes podían secar su sudor y beber un poco de agua. Al finalizar el test se desactivaba el pulsómetro y el cronómetro y se valoraba la percepción subjetiva respecto al esfuerzo realizado durante la sesión.

Resumen de los pasos principales del protocolo experimental:

- 1º.- Información general, datos personales y firma del consentimiento informado.
- 2º.- Medición de la altura y el peso del participante y medición de la temperatura, humedad, ruido ambiental y luminosidad.
- 3º.- Activación y sincronización del pulsómetro y cronómetro.
- 4º.- Realización del primer test de TRC (medida pre).
- 5º.- Realización de prueba aeróbica (AF ó AF+VJA) durante 30 min.
- 6º.- 5 minutos de reposo absoluto.
- 7º.- Realización inmediata del segundo test de TRC (medida post).

- 8º.- 3 minutos de reposo activo y desactivación del pulsómetro y cronómetro.
- 9º.- Valoración inmediata de la percepción subjetiva del esfuerzo realizado.
- 10º.- Agradecimientos por la participación.

Una vez diseñado el protocolo experimental, se realizaron pruebas de ensayo para corroborar el éxito de su funcionamiento y su viabilidad. En todo momento los participantes fueron observados para comprobar que realizaban las tareas correctamente. Durante el transcurso de cada sesión se les explicó a todos los participantes que solamente se hablaría de las tareas a realizar durante la sesión, empleando así las palabras justas y necesarias. De esta forma garantizamos que todos los participantes tuvieran el mismo trato y no se produjeran estímulos externos que pudieran alterar sus procesos cognitivos, emociones, atención, nivel de activación, motivación, memoria. Al terminar se agradecía individualmente la colaboración en el estudio y se les informaba de la realización de una presentación acerca del contenido del estudio y de sus resultados. Es preciso recordar que al inicio y final de cada una de las tareas de la sesión se realizó un lap sincronizado entre el cronómetro y el pulsómetro. Ello permitió obtener la FC y el TRC de cada participante en cada momento de la sesión.

3.1.3.3.6. Registro de los datos

Al inicio de cada sesión se recogió el consentimiento informado firmado y posteriormente se preguntaba la edad, la fecha de nacimiento y el nivel de estudios. Inmediatamente estos datos se escribían en el Excel y en el Viena Test System. Posteriormente, se registraba la temperatura de la sala, la humedad, la luminosidad y la intensidad del sonido ambiental para transferir estos mismos datos a la hoja de Excel. Seguidamente, se medían la altura y el peso de cada participante. A continuación se iniciaba el cronómetro y se realizaba el primer "lap" en el mismo momento en que se activaba el pulsómetro, datos que automáticamente se registraban en la hoja Excel. Una vez activado el pulsómetro y sincronizado con el cronómetro, se daba paso al inicio del test de TRC, siempre haciendo un "lap" en el cronómetro y en el pulsómetro, al inicio y al final de cada fase, para posteriormente poder ubicar todas las variables en una línea de tiempo. Una vez anotados los tiempos y finalizado el test, se guardó la hoja de resultados para posteriormente pasar los datos de TRC al Excel.

El siguiente paso fue hacer otro "lap" al inicio de la prueba aeróbica y mantener una intensidad entre el 60% y 70% durante 30 minutos. Los datos de la intensidad del ejercicio eran registrados con el pulsómetro y transferidos al ordenador una vez finalizada la sesión. En cuanto a los Watios del cicloergómetro no podían ser

almacenados, por lo que eran observados y controlados a través del monitor, a tiempo real. Tras el descanso en reposo absoluto de 5 minutos, se realizaba el segundo test de TRC. Finalmente, para la recogida de información de la variable psicológica PSE, se utilizaba la propia escala y se pasaba directamente la valoración al ordenador. Una vez desactivado el pulsómetro, se transferían los datos de la FC al ordenador y se trataban mediante el programa Polar Trainer.

3.1.3.4. Diseño

Para llevar a cabo esta investigación se ha establecido un diseño unifactorial intra e intersujeto, de dos grupos (experimental y control), utilizando el método cuasiexperimental.

3.1.3.4.1. Variables independientes

Las variables independientes fueron: descanso, AF y AF+VJA. La primera actúa como grupo control y las restantes como grupos experimentales.

3.1.3.4.2. Variables dependientes

- Tiempo de Reacción Complejo de TR y TRM (milisegundos): Valor Bruto (V.B), es el TR y TRM en milisegundos; Rango Porcentual (R.P), es el "Valor Bruto" expresado en porcentajes y Valor T (T), es el valor que compara nuestro resultado con la muestra que se utilizó para validar el instrumento "Muestra de valores normales".

- Eficacia (aciertos y errores): correctos, incorrectos, no ha reaccionado o incompletos.

- Percepción subjetiva del esfuerzo: escala del 1 al 10.

- Intensidad del ejercicio: FC, distancia, tiempo y Watios.

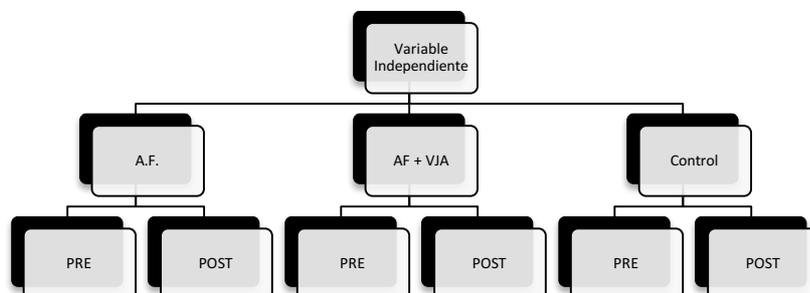


Figura 19. Niveles o modalidades del factor o variable independiente del estudio 1. La condición experimental (AF) responde a un tratamiento experimental de actividad física aeróbica sin estimulación perceptivocognitiva; la condición experimental (AF + VJA), consiste en realizar 30 minutos de actividad física aeróbica mientras se juega a un videojuego activo; La tercera condición experimental corresponde al grupo de control (reposo). Las medidas de las variables dependientes se efectúan en dos momentos de observación: PRE y POST.

3.1.3.5. Análisis estadístico de los datos

Para comenzar, la normalidad de la distribución de las variables se comprobó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. A continuación, se llevó a cabo un estudio descriptivo de todas las variables con sus respectivas representaciones gráficas. Durante el análisis inferencial y con el objetivo de comprobar la significatividad de los cambios en las variables debidos al ejercicio, las variables paramétricas obtenidas en las pruebas se compararon mediante Modelo Lineal General de Medidas Repetidas y las variables no paramétricas mediante el test de Wilcoxon. Para el análisis de los datos obtenidos en las diferentes pruebas, test y escalas se utilizó el programa para análisis estadístico SPSS 22,0 para Windows 7.

3.1.4. RESULTADOS

En este apartado, se exponen los resultados obtenidos de la investigación que hemos desarrollado.

3.1.4.1. Análisis descriptivo y de normalidad del tiempo de reacción complejo.

Realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov del Tiempo de Reacción de AF, AF+VJA y el grupo de control. Primero con las variables pre y después con las variables post, para determinar si las variables son paramétricas, o no paramétricas.

Tabla 12. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC durante AF (Estudio 1). V.B: Valor Bruto / R.P: Rango Porcentual / Valor T: Comparación con la muestra normal

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
TR V.B (Pre AF)	62	469,82	64,34	,82	,51	Paramétrica
TR V.B (Post AF)	62	431,60	59,28	,55	,92	Paramétrica
TR R.P (Pre AF)	62	82,97	19,43	1,50	,02	No Paramétrica
TR R.P (Post AF)	62	91,52	12,95	2,02	,001	No Paramétrica
TR T (Pre AF)	62	63,55	10,22	,90	,39	Paramétrica
TR T (Post AF)	62	69,19	9,53	1,65	,01	Paramétrica
TRM V.B (Pre AF)	62	126,14	32,37	,94	,33	Paramétrica
TRM V.B (Post AF)	62	114,21	30,47	,57	,90	Paramétrica
TRM R.P (Pre AF)	62	75,64	21,53	1,31	,06	No Paramétrica
TRM R.P (Post AF)	62	83,11	18,05	1,38	,04	No Paramétrica
TRM T (Pre AF)	62	60,45	10,34	1,28	,07	No Paramétrica
TRM T (Post AF)	62	64,39	10,94	1,43	,03	No Paramétrica
Eficiencia (Pre AF)	62	3,38	,54	,06	,20	Paramétrica
Eficiencia (Post AF)	62	3,73	,53	,10	,20	Paramétrica

Tras realizar el análisis descriptivo del TRC antes y después de AF, obtuvimos las variables paramétricas y no paramétricas. Posteriormente, realizamos los análisis correspondientes.

Tabla 13. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC durante AF+VJA (Estudio 1).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
TR V.B (Pre AF+VJA)	62	470,89	65,02	,64	,80	Paramétrica
TR V.B (Post AF+VJA)	62	427,16	57,04	,73	,66	Paramétrica
TR R.P (Pre AF+VJA)	62	82,13	17,32	1,38	,04	No Paramétrica
TR R.P (Post AF+VJA)	62	92,29	10,22	2,41	<,001	No Paramétrica
TR T (Pre AF+VJA)	62	63,42	10,17	1,22	,10	No Paramétrica
TR T (Post AF+VJA)	62	70,16	9,58	2,10	<,001	No Paramétrica
TRM V.B (Pre AF+VJA)	62	126,34	33,17	,60	,86	Paramétrica
TRM V.B (Post AF+VJA)	62	115,00	34,89	,78	,58	Paramétrica
TRM R.P (Pre AF+VJA)	62	75,34	22,27	1,06	,21	No Paramétrica
TRM R.P (Post AF+VJA)	62	82,92	20,29	1,57	,01	No.Paramétrica
TRM T (Pre AF+VJA)	62	60,74	10,93	,93	,35	Paramétrica
TRM T (Post AF+VJA)	62	64,18	11,27	1,15	,14	Paramétrica
Eficiencia (Pre AF+VJA)	62	3,42	,57	,09	,20	Paramétrica
Eficiencia (Post AF+VJA)	62	3,78	,53	,07	,20	Paramétrica

Tras realizar el análisis descriptivo del TRC antes y después de AF+VJA, obtuvimos las variables paramétricas y no paramétricas. Posteriormente, realizamos los análisis correspondientes.

Tabla 14. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC en el grupo de control (Estudio 1).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
TR V.B (Pre Control)	30	457,00	67,04	,09	,20	No paramétrica
TR V.B (Post Control)	30	462,76	88,44	,17	,03	No paramétrica
TRM V.B (Pre Control)	30	119,73	28,68	,21	,00	No paramétrica
TRM V.B (Post Control)	30	116,73	26,12	,21	,00	No paramétrica
Eficiencia (Pre Control)	30	3,56	,48	,08	,20	Paramétrica
Eficiencia (Post Control)	30	3,75	,66	,13	,20	Paramétrica

Tras realizar el análisis descriptivo del TRC antes y después de reposo, obtuvimos las variables paramétricas y no paramétricas. Posteriormente, realizamos los análisis correspondientes.

3.1.4.2. Análisis inferencial del tiempo de reacción complejo en función del momento: Pre y Post

3.1.4.2.1. Análisis de las diferencias Pre y Post en función de la actividad física aeróbica

Análisis Paramétrico: Modelo Lineal General de Medidas Repetidas

Las variables paramétricas pre post del TRC durante AF, son: TR VB, TR T, TM VB y eficiencia. Tras realizar el análisis inferencial (MLG Medidas Repetidas), obtuvimos que las cuatro variables fueron significativas.

La prueba de los contrastes multivariados mostró diferencias significativas: Lambda de Wilks: ($\lambda = ,314$; $F = 42,900$; $g.l = 4$; $p < 0,001$; $\eta^2 = ,535$; $1-\beta = 1,00$).

La prueba de contrastes univariados mostró diferencias significativas entre las medidas pre y post de las mismas variables.

Tabla 15. Análisis Paramétrico: Prueba contrastes univariados Pre y Post en función de AF (Estudio 1).

Medida	SC III	GI	M.C	F	Sig.	η^2	1- β
TR VB	45182,98	1	45182,98	70,07	<,001	,53	1,00
TR T	987,90	1	987,90	39,18	<,001	,39	1,00
T.M V.B	57405,03	1	57405,03	32,74	<,001	,45	1,00
Eficiencia	,00	1	,00	43,20	<,001	,41	1,00

A continuación, los gráficos describen las diferencias en cada variable:

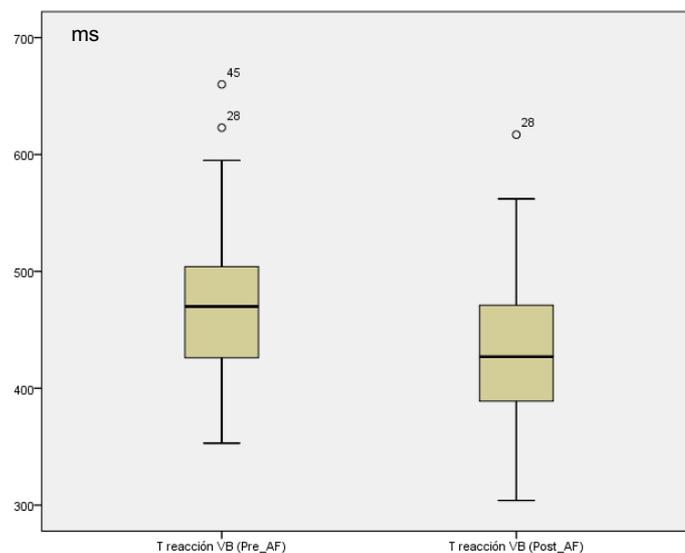


Figura 20. Representación del VB del TR antes y después de AF (Estudio 1).

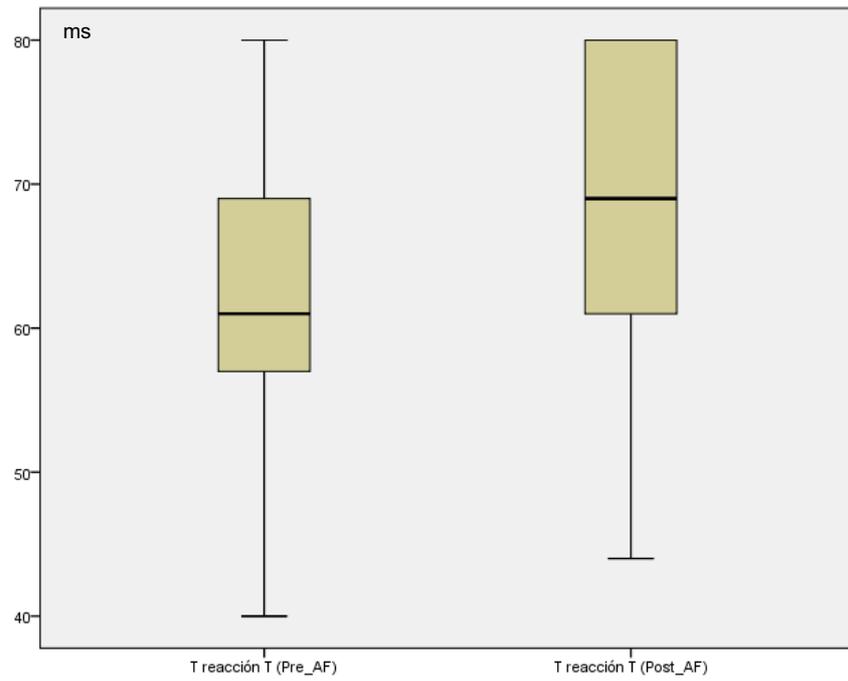


Figura 21. Representación del Valor T del TR antes y después de AF (Estudio 1).

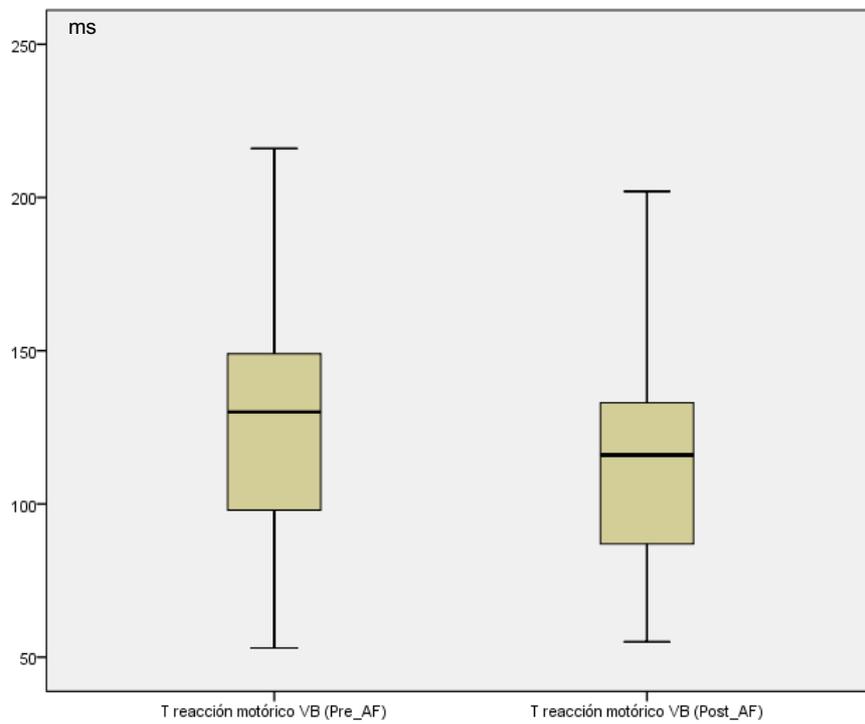


Figura 22. Representación del VB del TRM antes y después de AF (Estudio 1).

Análisis No Paramétrico: Test de Wilcoxon

Las variables no paramétricas del TRC durante AF fueron: TR RP, TRM RP y TRM T. Tras realizar el análisis inferencial (Test de Wilcoxon), obtuvimos que las tres variables fueron significativas.

Tabla 16. Análisis No Paramétrico: Estadísticos de contraste Pre-Post durante AF (Estudio 1).

Variables	Z	Sig.
TR RP (Post_AF) - TR RP (Pre_AF)	-5,16	<,001
TRM RP (Post_AF) - TRM RP (Pre_AF)	-4,39	<,001
TRM T (Post_AF) - TRM T (Pre_AF)	-4,80	<,001

A continuación, la representación gráfica:

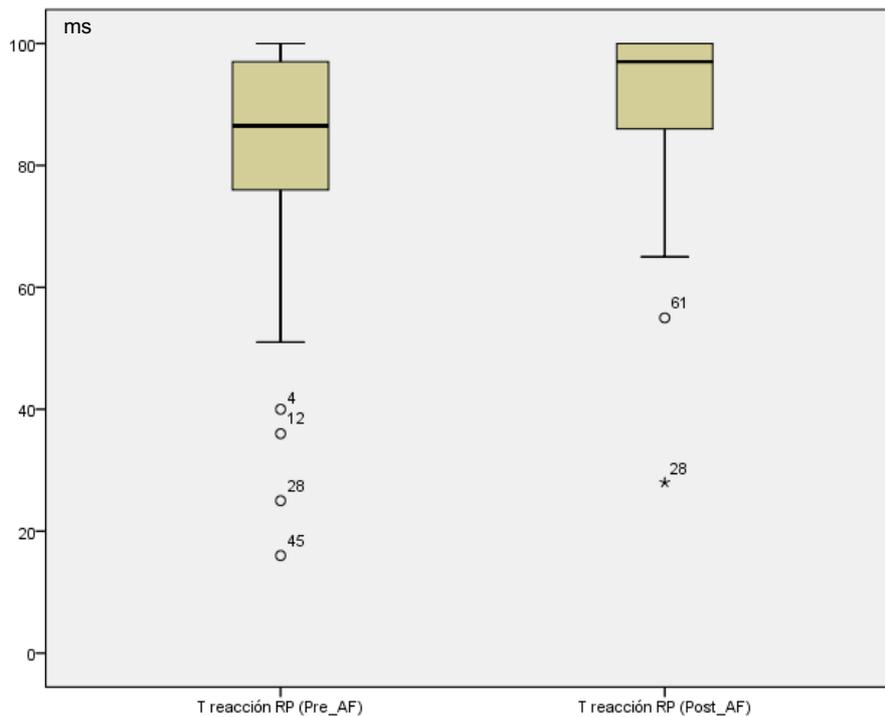


Figura 23. Representación del RP del TR antes y después de AF (Estudio 1).

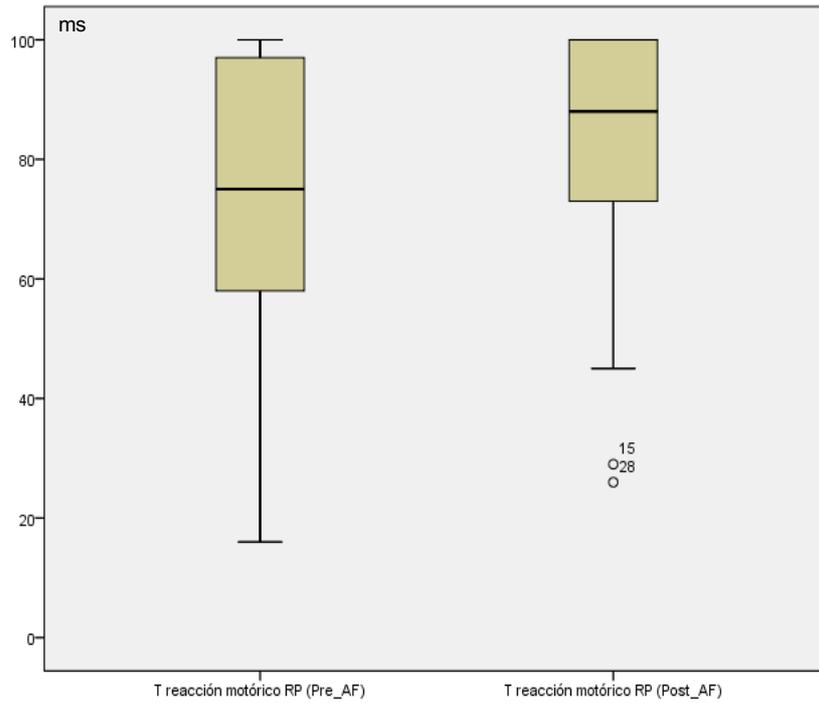


Figura 24. Representación del RP del TRM antes y después de AF (Estudio 1).

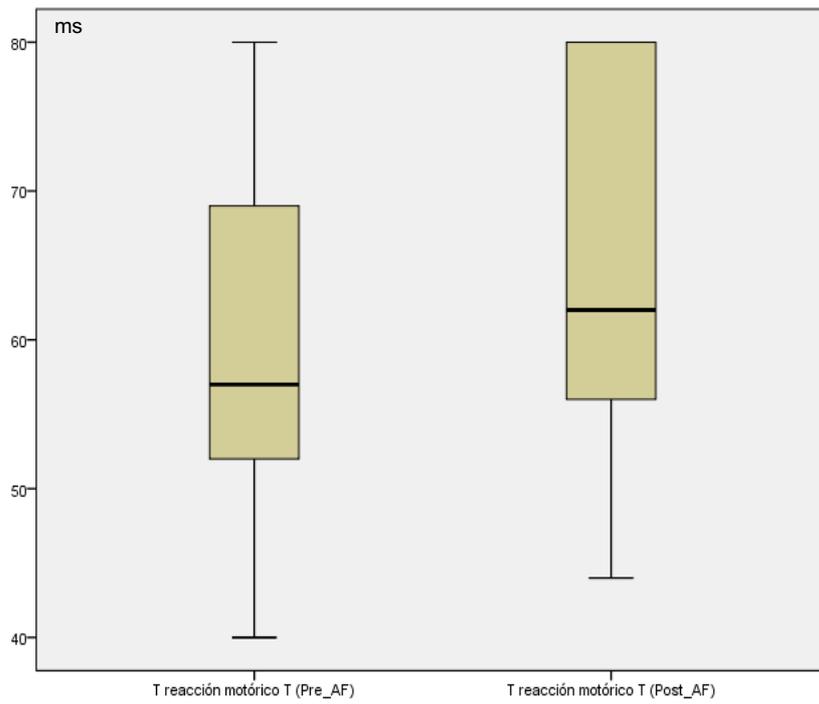


Figura 25. Representación del Valor T del TRM antes y después de AF (Estudio 1).

3.1.4.2.2. Análisis de las diferencias Pre y Post en función de la actividad física aeróbica combinada con videojuegos activos

Análisis Paramétrico: Modelo Lineal General de Medidas Repetidas

Las variables paramétricas Pre-Post del TRC durante AF+VJA son: TR VB, Tiempo Reacción Motórico VB, TRM T y eficiencia. Tras realizar el análisis inferencial (MLG Medidas Repetidas), obtuvimos que las diferencias en las cuatro variables fueron significativas.

La prueba de los contrastes multivariados mostró diferencias significativas: Lambda de Wilks: ($\lambda = ,466$; $F = 22,517$; $g.l = 4$; $p < 0,001$; $\eta^2 = ,534$; $1-\beta = 1,00$).

La prueba de contrastes univariados mostró diferencias significativas entre las medidas pre y post de las mismas variables.

Tabla 17. Análisis Paramétrico: Prueba contrastes univariados Pre-Post durante AF+VJA (Estudio 1).

Medida	SC III	GI	M.C	F	Sig.	η^2	1- β
TR VB	59270,33	1	59270,33	58,49	<,001	,49	1,00
TRM VB	3985,56	1	3985,56	22,36	<,001	,27	,99
TRM T	365,88	1	365,88	19,62	<,001	,24	,99
Eficiencia	,00	1	,00	43,49	<,001	,42	1,00

A, continuación, los gráficos describen las diferencias en cada variable:

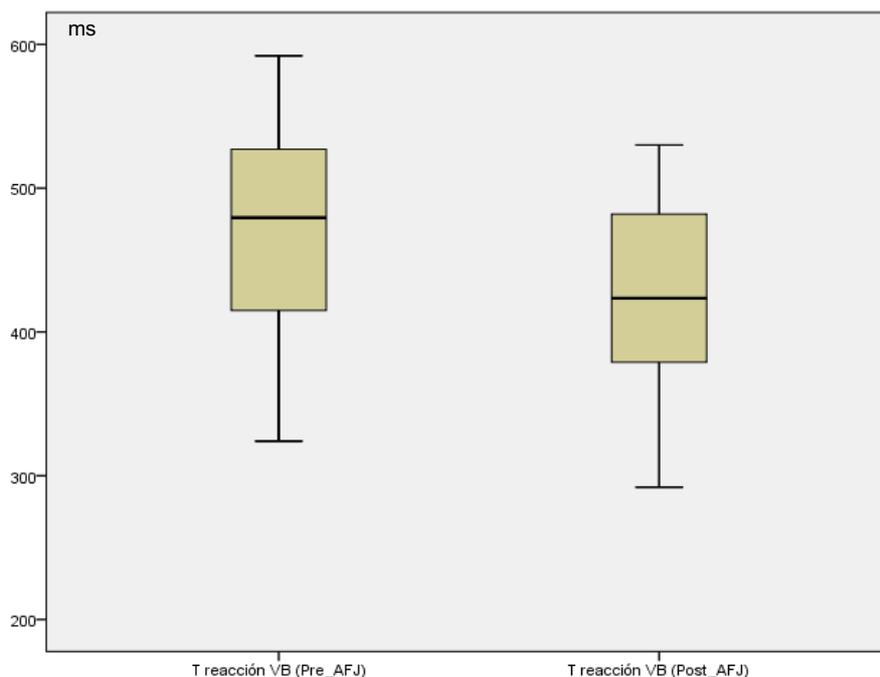


Figura 26. Representación del VB del TR antes y después de AF+VJA (Estudio 1).

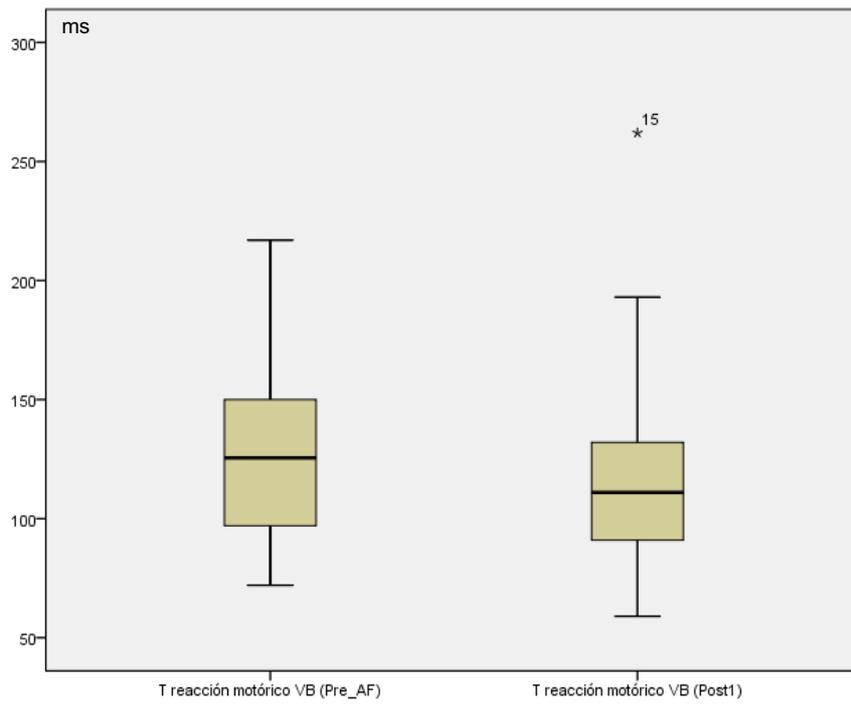


Figura 27. Representación del VB del TRM antes y después de AF+VJA (Estudio 1).

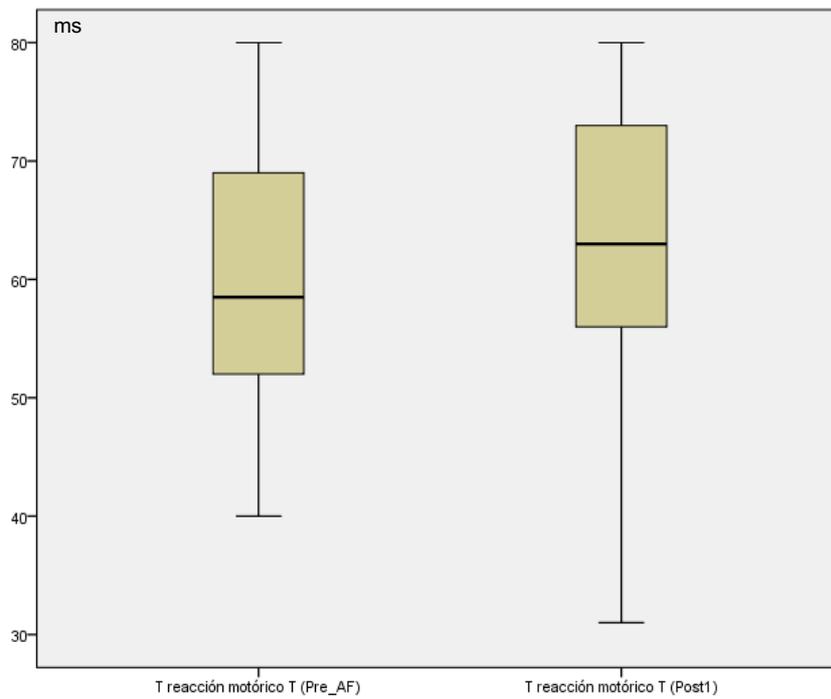


Figura 28. Representación del Valor T del TRM antes y después de AF+VJA (Estudio 1).

Análisis No Paramétrico: Test de Wilcoxon

Las variables no paramétricas del TRC durante AF+VJA fueron: TR RP, TR T y TRM RP. Tras realizar el análisis inferencial (Test de Wilcoxon), las diferencias entre las puntuaciones pre y post en las tres variables fueron significativas.

Tabla 18. Análisis No Paramétrico: Estadísticos de contraste Pre-Post durante AF+VJA (Estudio 1).

Variables	Z	Sig.
TR RP (Pre_AF+VJA) - TR RP (Post_AF+VJA)	-4,89	<,001
TR T (Pre AF+VJA) - TR T (Post_AF+VJA)	-5,26	<,001
TRM RP (Pre AF+VJA) - TRM RP (Post_AF+VJA)	-4,04	<,001

A continuación, la representación gráfica:

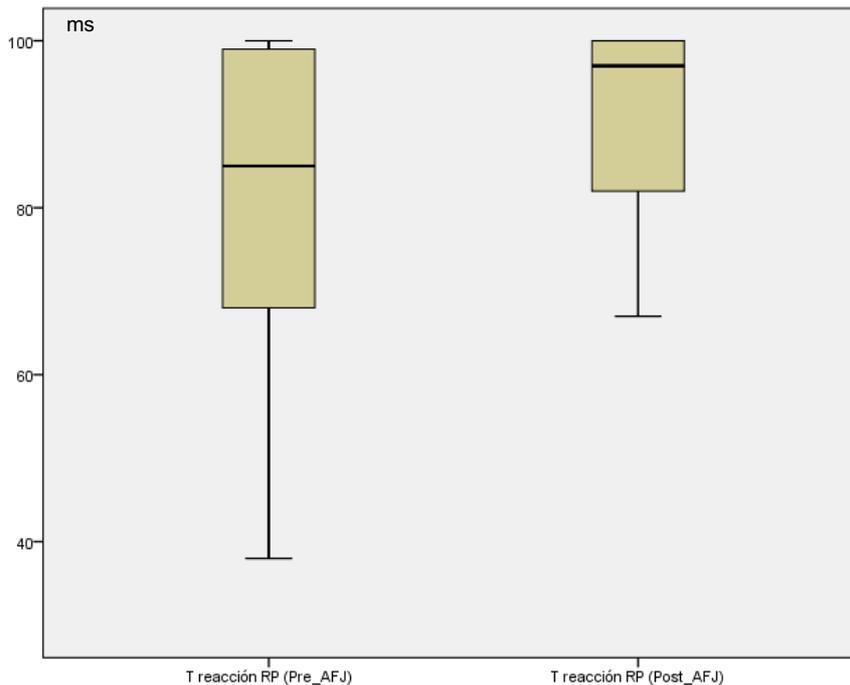


Figura 29. Representación del RP del TR antes y después de AF+VJA (Estudio 1).

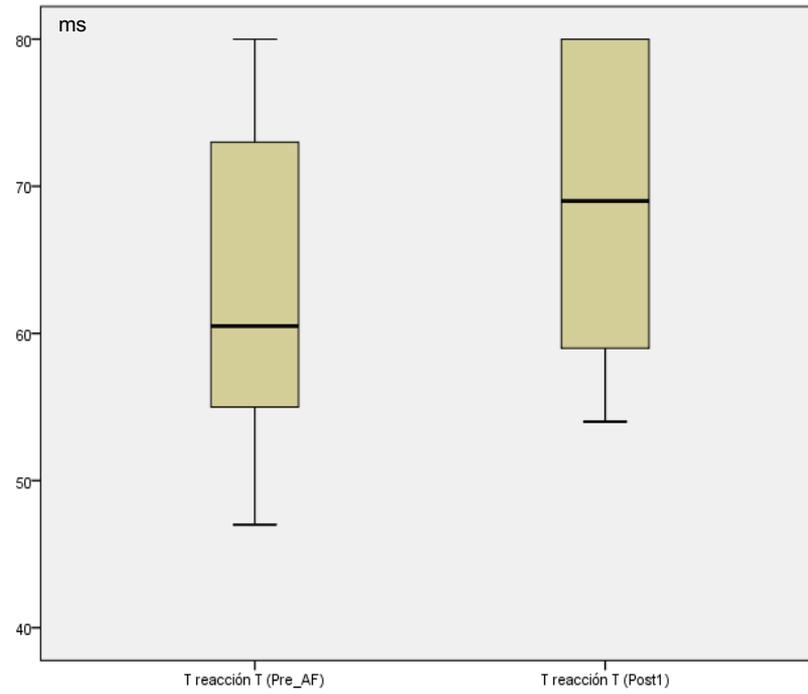


Figura 30. Representación del Valor T del TR antes y después de AF+VJA (Estudio 1).

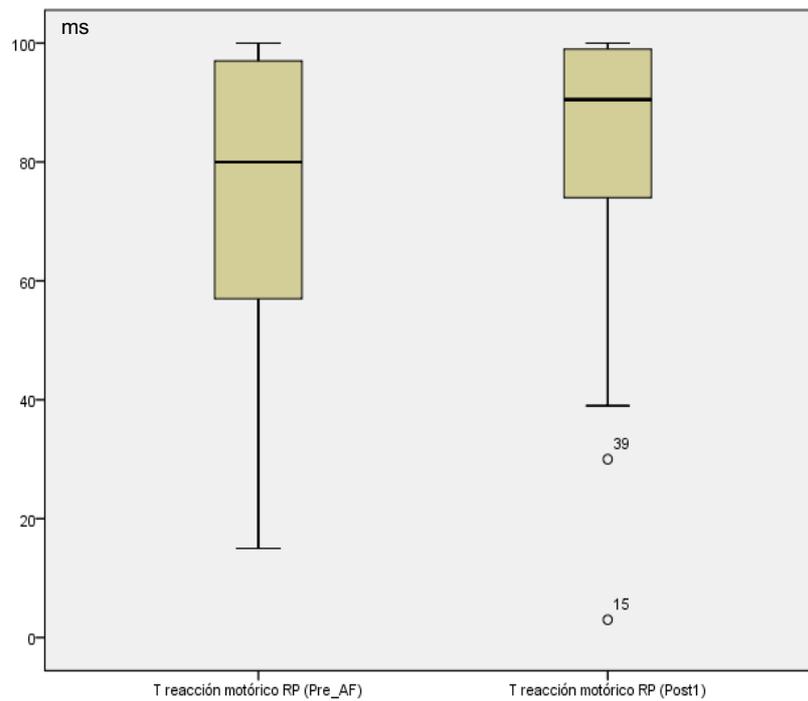


Figura 31. Representación del RP del TRM antes y después de AF+VJA (Estudio 1).

3.1.4.2.3. Análisis de las diferencias Pre y Post en el grupo de control.

Análisis Paramétrico: Modelo Lineal General de Medidas Repetidas

La variable paramétricas Pre-Post del T.R.C en el grupo de control es la eficiencia. Tras realizar el análisis inferencial (MLG Medidas Repetidas), obtuvimos que las diferencias en la variable no fueron significativas.

La prueba de contrastes univariados mostró diferencias no significativas entre las medidas pre y post de la misma variable.

Tabla 19. Análisis Paramétrico: Prueba contrastes univariados Pre-Post en el grupo de control (Estudio 1).

Medida	F	Sig.	η^2	1- β
Eficiencia	,007	,93	,00	,05

Análisis No Paramétrico: Test de Wilcoxon

Las variables no paramétricas del TRC en el grupo de control fueron: TR VB y TRM VB. Tras realizar el análisis inferencial (Test de Wilcoxon), las diferencias entre las puntuaciones pre y post en las dos variables, no fueron significativas.

Tabla 20. Análisis No Paramétrico: Estadísticos de contraste Pre-Post en el grupo de control (Estudio 1).

Variables	Z	Sig.
TR VB (Pre Control) - TR VB (Post Control)	-1,65	,87
TRM VB (Pre Control) - TRM VB (Post Control)	-,77	,44

3.1.4.3. Análisis inferencial del tiempo de reacción complejo en función del tipo de actividad: actividad física aeróbica y actividad física aeróbica con videojuego interactivo

Análisis Paramétrico: Modelo Lineal General de Medidas Repetidas

Las variables paramétricas post del TRC en función de AF y AF+VJA fueron: TR VB, Tiempo Reacción Motórico VB y eficiencia. Tras realizar el análisis inferencial (MLG Medidas Repetidas), obtuvimos que las diferencias en las tres variables no fueron significativas.

La prueba de los contrastes multivariados no mostró diferencias significativas: Lambda de Wilks: ($\lambda = ,982$; $F = ,542$; $g.l = 3$; $p = ,585$; $\eta^2 = ,018$; $1-\beta = ,135$).

La prueba de contrastes univariados mostró que no existían diferencias significativas entre la medida del TR VB, TRM VB y eficiencia, después de AF y AF+VJA.

Tabla 21. Análisis Paramétrico: Prueba contrastes univariados después de AF y AF+VJA (Estudio 1).

Medida	SC III	GI	M.C	F	Sig.	η^2	1- β
TR VB	623,26	1	623,26	,56	,46	,009	,11
TRM V.B	19,36	1	19,36	,09	,56	,001	,06
Eficiencia	,00	1	,00	,81	,37	,01	,14

Análisis No Paramétrico: Test de Wilcoxon

Las variables no paramétricas del TRC después de AF y AF+VJA fueron: TR RP, TR T, TRM RP y TRM T. Tras realizar el análisis inferencial (Test de Wilcoxon), obtuvimos que las diferencias en las tres variables no fueron significativas.

Tabla 22. Análisis No Paramétrico: Estadísticos de contraste después de AF y AF + VJA (Estudio 1).

Variables	Z	Sig.
TR RP (Post AF+VJA) - TR RP (Post AF)	-,57	,57
TR T (Post AF+VJA) - TR T (Post AF)	-,95	,34
TRM RP (Post AF+VJA) - TRM RP (Post AF)	-,72	,47
TRM T (Post AF+VJA) - TRM T (Post AF)	-,40	,69

3.1.4.4. Análisis descriptivo y de normalidad de la percepción del esfuerzo

Realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov de la PSE después de AF y AF+VJA. Los resultados mostraron que ninguna de las dos distribuciones se ajustó a la curva normal y por lo tanto se requirió estadística no paramétrica (test de Wilcoxon) para analizar las diferencias entre ellas.

Tabla 23. Prueba Kolmogorov-Smirnov de la PE después de AF y AF+VJA (Estudio 1).

	PSE tras AF	PSE tras AF+VJA
	62	62
Media	3,72	3,18
Desviación Típica	1,03	1,03
Absoluta	,24	,19
Positiva	,24	,19
Negativa	-,16	-,16
Z de K-S	1,92	1,55
Sig, Asisntot. (bilateral)	,001	,016

3.1.4.5. Análisis inferencial de la percepción del esfuerzo en función de la actividad: AF y AF+VJA

Tras realizar el análisis inferencial (Test de Wilcoxon), obtuvimos que la diferencia fue significativa.

Tabla 24. Análisis No Paramétrico: Estadísticos de contraste y rangos después de AF y AF +VJA (Estudio 1).

Variables	Z	Sig. Asintot. (bilateral)
PSE tras AF – PSE tras AF+VJA	-4,18	,001

A continuación, el gráfico describe los descriptivos de la variable PSE después de practicar AF y AF+VJA:

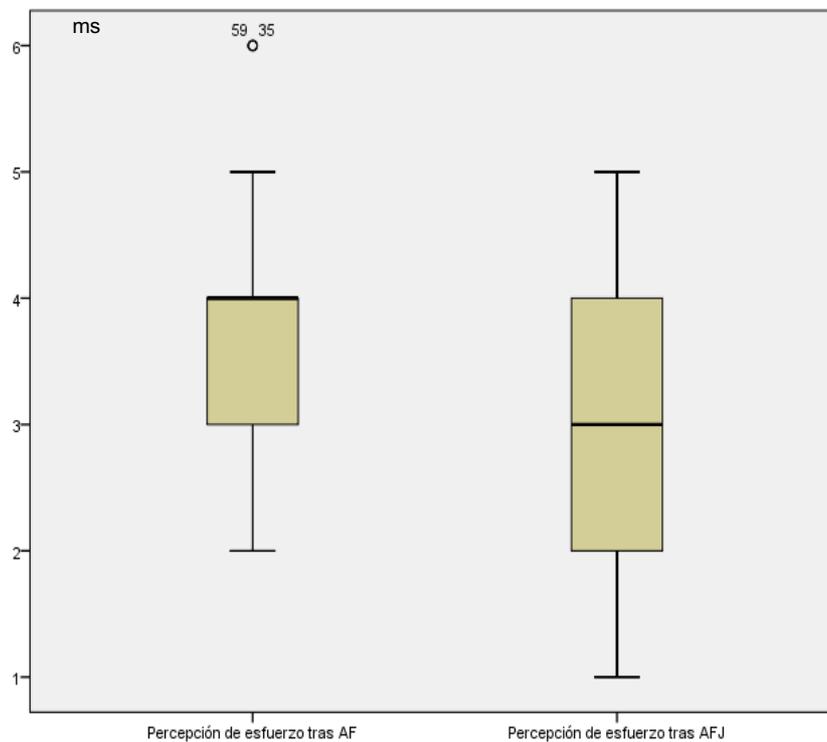


Figura 32. PSE después de practicar AF y AF+VJA (Estudio 1).

3.1.5. DISCUSIÓN

Después de haber visto el proceso de investigación y los resultados obtenidos de la misma, se expone la discusión y las conclusiones planteadas.

En este estudio se tomaron como referentes algunas ideas previas acerca de que el ejercicio promueve una respuesta neuroquímica inmediata que puede mejorar el rendimiento cognitivo, tal y como indican (Budde et al., 2009; Pesce et al., 2009). Se consideró también la idea de que el ejercicio que influye en la cognición a través de múltiples vías tiene un efecto más fuerte y una menor PSE, que el ejercicio que trabaja por un número de vías menor.

Atendiendo a estas explicaciones se diseñaron las dos condiciones experimentales con las que se trabajó: una práctica aeróbica simple y una práctica aeróbica en la que se suma una actividad perceptiva, cognitiva y motriz. La primera hipótesis sugiere que la práctica de AF y AF+VJA producen una mejora en el TRC. La segunda hipótesis consiste en comprobar si la mejora en el TRC empleado por los sujetos resultaba significativa entre ambas condiciones, a favor de la segunda. Y la tercera hipótesis propone una menor PE después de AF+VJA, que de AF.

En cuanto a la respuesta de los sujetos, se midió el TRC, aunque coincidimos con Banich (2009) en que una medida de las FFEE más ambiciosa sería necesaria para poder llegar a conclusiones de mayor trascendencia, concordantes con la justificación teórica que hemos realizado. Futuras investigaciones, donde se tuviera en cuenta el nivel neuroanatómico de las FFEE en diversos tipos de poblaciones y ejercicios contribuirían a comprender mejor este sistema complejo.

Si hacemos referencia a los resultados obtenidos en la variable PSE, podríamos establecer relaciones entre el TRC, la fatiga cognitiva y algunos componentes de las FFEE.

A continuación, se tratará de discutir las hipótesis que fueron planteadas.

3.1.5.1. Efectos agudos de la actividad física aeróbica y la actividad física aeróbica con videojuego activo sobre el tiempo de reacción complejo

Como se ha visto en el anterior capítulo, dentro de la variable TRC se analizaron dos fases: el TR y el TRM. A su vez, en cada una de estas fases se midió el VB, RP y Valor T. Por lo tanto, el TRC es el tiempo que tardó cada participante desde que percibió el estímulo hasta que finalizó la acción motora, sin tener en cuenta los aciertos, errores, las veces que no reaccionó y las reacciones incompletas. Estos últimos se midieron a través de la eficacia.

Los resultados obtenidos respecto al efecto que produce la AF y AF+VJA sobre el TRC, fueron significativos durante las dos fases del TRC ($p < ,001$). Este hecho hace referencia a la primera hipótesis específica, verificando que tanto la AF como la AF+VJA producen una mejora o disminución del TRC. Por lo tanto, en este estudio se confirmó los resultados de investigaciones anteriores acerca de la mejora en el TRC después de practicar AF aeróbica a una intensidad moderada (Adam, Teeken, Ypelaar, Verstappen, y Paas, 1997; Arcelina, Deslignières, Brisswalter, 1998; Chmura, Krysztofiak, Ziemia, Nazar, Kaciuba-Uscilko, 1998; Davranche, Audiffren, y Denjean, 2006; McMorris y Graydon, 1996; Paas y Adam, 1991; Pesce, Capranica, Tessitore, y Figura, 2002; Pesce, Casella, y Capranica, 2004; Orellana, 2009). Según Colcombe y Kramer (2003), la función ejecutiva apareció más sensible que otros aspectos de la cognición ante un entrenamiento aeróbico. La relación entre la AF y las FFEE se basó en la evidencia de que el ejercicio aeróbico mejoró el rendimiento cognitivo, de forma selectiva en los adultos mayores y en niños, y condujo a los correspondientes incrementos en la actividad de la CPF (Colcombe et al., 2004; Kramer et al., 1999). Tras los resultados de esta investigación, podemos deducir que la mejora del TRC implica en cierta medida una mejora parcial en las FFEE de los participantes.

La muestra utilizada en esta investigación correspondió a un tipo de población que anteriormente había sido poco analizada, los adolescentes. Según Diamond, (2000), Hillman, Erickson y Kramer (2008), y Kolb y Wishaw (1998), el desarrollo cognitivo y neuronal de los niños puede ser sensible a la AF. No obstante, los vínculos entre el comportamiento motor y el desarrollo cognitivo durante la infancia hacen referencia a las redes cerebrales que hipotéticamente desarrollan la construcción de las representaciones de la percepción-acción (Rakison y Woodward, 2008; Sommerville y Decety, 2006). El resultado de esta investigación tiene importancia tanto para el ámbito de la salud, puesto que un adecuado TR aumenta la adaptación de la persona al entorno

y por lo tanto su bienestar, como para el mundo del deporte de alto rendimiento, ya que son muchos los deportes en los que el TRC de los deportistas es clave para un correcto y óptimo rendimiento (Callardeau, Brisswalter, Vercruyssen, Audiffren y Goubault, 2001; Pesce et al., 2004; Williams y Ford, 2008; Nakamoto y Mori, 2008; Fontani, 2009; y Thomson et al., 2009).

No podemos olvidar que este beneficio no solamente es aplicable al ámbito de la alta competición, sino también al deporte y la AF en general y a otros ámbitos, ya que el TRC es relevante en otros aspectos de la vida diaria. Por lo tanto, de este resultado se pueden beneficiar tanto deportistas de élite, como personas sanas que intenten mantener un nivel de salud óptimo, o incluso diferentes afectados por algún tipo de patología o enfermedad, de ahí la relevancia del resultado que esta investigación ha tratado de demostrar. La muestra que se utilizó en este estudio fueron adolescentes universitarios de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Por ello, los resultados obtenidos en esta investigación no son generalizables al conjunto de adolescentes con otro perfil. Se trató de jóvenes, con un mínimo de hábito de práctica de AF y un determinado nivel de estudios. Por esta razón se recomienda seguir, mejorar y ampliar esta línea de investigación del TRC y la AF, comparando así diferentes tipos de poblaciones y ejercicios.

3.1.5.2. Efectos sobre el tiempo de reacción complejo en función de la actividad física aeróbica y de la actividad física aeróbica con videojuego activo

Los resultados obtenidos respecto al efecto sobre el TRC en función de AF y AF+VJA, como se ha podido observar en el apartado anterior, no fueron significativos para ninguna medida del TRC. Por ello, no se verificó la segunda hipótesis específica, según la cual se produce una mayor mejora en el TRC después de AF+VJA, que después de AF.

La metodología empleada no permitió conocer la actividad cerebral realizada por los participantes del estudio al practicar la AF+VJA, por lo que para poder rechazar o aceptar la hipótesis mantenida por diferentes estudios (Buddle et al., 2008) de que la actividad física compleja mejora el funcionamiento de la CPF sería necesario examinar las diferencias en la actividad cerebral (EEG o MRI) y el funcionamiento cognitivo, una vez realizados diferentes tipos de ejercicio. De esta forma, podríamos controlar y cuantificar con mayor precisión los componentes de las FFEE y las áreas cerebrales que intervienen, así como su compleja interacción.

Investigaciones como las de (Moscovitch y Winocur, 2002; Della Rocchetta y Milner, 1993) plantearon dos formas de ejercicio aeróbico que mejoraron los resultados de un test de la memoria. Plantearon que la activación cognitiva específica probablemente se produjo gracias a una mayor interacción social y a la necesidad de aplicar las habilidades motoras de una manera estratégica. Una de las razones por las que es posible que no encontramos diferencias significativas en nuestros resultados podría atribuirse a la falta de interacción social de los participantes durante el juego. A pesar de los resultados de las investigaciones realizadas sobre el efecto de los VJA en la función física y cognitiva (Maillot y Perrot, 2012) y su gran parecido con la nuestra, en futuras investigaciones se podría plantear el jugar contra otras personas y ver si existe un impacto significativo en las FFEE.

Por otra parte, es probable que ejercicios aeróbicos repetitivos requieran menos compromiso cognitivo, particularmente los relacionados con las FFEE, ya que hay poca necesidad de guiar la cognición y lograr una meta difícil, o de coordinar el cuerpo para ejecutar movimientos complejos. Estas diferencias en las demandas de las FFEE, nos indujo a pensar que el ejercicio complejo poseía un efecto más fuerte sobre la VPI y las FFEE, que el simple ejercicio, aunque en este estudio esta suposición no se verificó. Otro estudio experimental reciente (Tompsonski, et al., 2008) comparó un ejercicio aeróbico sencillo y repetitivo con el descanso, no encontrando mejoras en el rendimiento cognitivo después de caminar en relación con el rendimiento después de ver el video durante el descanso. Estos resultados apoyan nuestra tercera hipótesis. Por ello, sería necesario realizar más investigación donde tratar de aportar una actividad cognitiva mayor, combinándola con interacción social, para intentar influir sobre los diferentes componentes de las FFEE.

Para concluir, no se verificó que la práctica de AF+VJA, que influye en la cognición a través de múltiples vías, tuviera un efecto más fuerte que la AF sola, que estimula un número de vías menor, en esta muestra de estudiantes universitarios del Grado de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, por lo que consideramos que son necesarias más investigaciones que incrementen la actividad cognitiva e introduzcan la estimulación social como medios para estimular el procesamiento cognitivo.

3.1.5.3. Efectos de la actividad física aeróbica y de la actividad física aeróbica con videojuego activo sobre la percepción subjetiva del esfuerzo

Los resultados obtenidos acerca de los efectos que produce la AF y AF+VJA sobre la PSE mostraron diferencias significativas, mostrando que los participantes poseen una menor PSE después de AF+VJA, que solamente después de AF ($p < .001$). Esta diferencia alude a la tercera hipótesis específica, verificando que la AF+VJA produce una menor PSE, que la AF. Por lo tanto, en este estudio se confirman los resultados ya que el VJA puede causar un efecto “distractor” mientras se practica AF aeróbica, provocando así una menor PSE. Si bien tenemos en cuenta que la intensidad del esfuerzo ha sido la misma durante la práctica de AF+VJA, podríamos establecer una relación entre la PSE, la fatiga cognitiva, el TR y las FFEE.

Basándonos en los resultados obtenidos en esta investigación y en el concepto de fatiga cognitiva, podemos establecer una relación en la que una menor PSE induce a una menor fatiga cognitiva y un menor TRC, y viceversa. Para contribuir a verificar científicamente esta relación, serían necesarias futuras investigaciones, utilizando la escala de PSE (Foster, 2001), la escala modificada del impacto de la fatiga cognitiva (EMIF-C) y un EEG para observar la actividad cerebral, entre otros instrumentos. A su vez, esta relación podría verse influida y condicionada por la naturaleza de la tarea realizada, el control de la atención (Schwid, 2003), la diversión, la motivación, la inhibición, o la memoria de trabajo (Macías-Delgado et al., 2012).

Un hecho que a menudo pasamos por alto, es que existen muchas formas de ejercicio que constituyen actividades cognitivamente atractivas. Los investigadores han sugerido que este compromiso cognitivo inherente al ejercicio puede ayudar a explicar cómo el ejercicio afecta a la cognición (Sibley y Etnier, 2003; Tomporowski et al., 2008). Gran parte del ejercicio que realizan por naturaleza los niños se realiza a través de la participación en actividades de grupo o deportes que requieren cognición compleja, con el fin de cooperar con los compañeros de equipo, anticipar el comportamiento de dichos compañeros o de sus oponentes, emplear estrategias y adaptarse a las demandas de la tarea en constante cambio. Las actividades de grupo, como el fútbol o el baloncesto jugado por los niños, contienen muchas de esas demandas cognitivas, (Davis et al., 2007). Es importante destacar que las tareas de las FFEE provocan demandas similares en los procesos ejecutivos de los niños, obligándoles a crear, controlar y modificar un plan cognitivo para satisfacer las demandas de la tarea (Banich, 2009). De este modo, podemos concluir que los juegos aeróbicos y las diferentes tareas de las FFEE,

requieren una forma de pensamiento y habilidades cognitivas similares que favorecen a una menor PSE, que la simple AF repetitiva y automática. Es posible que las habilidades cognitivas adquiridas durante los juegos aeróbicos se transfieran a los componentes de las FFEE y retrasen la aparición de la fatiga cognitiva debido a un efecto “distractor”. Este fenómeno se ha denominado interferencia contextual, tal como se expuso en el marco teórico general.

Un concepto que puede ayudar a explicar la complejidad de estas interacciones entre los diferentes componentes de las FFEE y la PSE es la interferencia contextual. Aunque la adquisición de habilidades se produce más rápidamente cuando los componentes de una tarea se presentan de una manera simple y repetitiva, la retención y la transferencia de las habilidades se incrementan cuando hay interferencia contextual, es decir, los componentes se presentan de una manera compleja y casi al azar (Bättig, 1972). Por ejemplo, en el juego de baloncesto el niño puede tener que realizar un pase picado para pasar la pelota con eficacia en un escenario específico, pero también lo necesita para lanzar la pelota en otro contexto totalmente diferente. El pase que se precisa en ese momento no está predeterminado y rara vez se repite una y otra vez, se determina por una multitud de factores que convergen en un momento particular. La interferencia contextual demandada en los procesos ejecutivos de un plan de acción motriz debe ser creada, controlada y modificada en presencia de continuas y cambiantes demandas de la tarea (Brady, 2008).

Por lo tanto, el esfuerzo del procesamiento de la información lleva a un mayor aprendizaje (Carey et al., 2005). Un ejemplo que lo justifica es un reciente estudio de resonancia magnética funcional, en el cual el procesamiento de la información impone demandas sobre las FFEE relacionada con circuitos neurales. Los resultados destacan una mayor activación frontal y parietal, en comparación con la activación del cerebelo, en la ausencia de interferencia contextual (Cross et al., 2007). Así mismo, Diamond (2009) argumentó que el cerebro y la mente, por extensión, operan de un modo global y las actividades cognitivas y motoras que dependen de procesamiento no automático y selectivo requerirán de su esfuerzo por adquirirlas. Por lo tanto, la ejecución de los movimientos motores complejos parece ser una tarea cognitivamente atractiva, mientras que la ejecución de simples ejercicios repetitivos puede serlo menos. El grado de compromiso cognitivo que ofrece una actividad varía seguramente en su desarrollo. Las formas de ejercicio que contienen numerosas reglas probablemente no son apropiadas para los niños más pequeños, ya que no están preparados cognitivamente para entender y mantener dichas reglas. Según los resultados de este estudio, este hecho podría aumentar la PE, consecuentemente la fatiga cognitiva y alterar las FFEE.

En la misma línea de investigación, recordamos que la PE es la sensación consciente de lo pesado y extenuante de una tarea física (Borg, 1998), y constituye un aspecto importante de nuestra experiencia subjetiva de la voluntad. A su vez, proporciona información acerca de la dificultad de la tarea, participa en los mecanismos energéticos de adaptación y contribuye a la sensación de voluntad consciente (Preston y Wegner, 2009). Sin embargo, poco se sabe sobre la neurofisiología de la PE. Se cree que la señal de la percepción subyacente de esfuerzo surge del cerebro y del comando motor central. Esta teoría sugiere que la PE debe estar significativamente correlacionada con la magnitud del centro de comando motor. Este hecho evidencia una relación directa con la fatiga cognitiva, el TR y la PE. Sin embargo, existe muy poca evidencia directa de que la PE realizado correlacione con la actividad cerebral. Por lo tanto, según esta investigación podemos afirmar que la práctica de AF que influye en la cognición a través de múltiples vías, produce una PE menor que el ejercicio que se trabaja por un número de vías menor.

3.1.6. CONCLUSIONES

Atendiendo a los diferentes apartados expuestos en el presente estudio y de los resultados obtenidos del mismo, se enuncian las siguientes conclusiones derivadas de los mismos.

1.- La práctica de AF y AF+VJA disminuye el TRC respecto al grupo de control de reposo durante sus dos fases (TR y TRM), en jóvenes universitarios, sanos y habituados a la práctica de AF. Ello evidencia que el ejercicio físico produce un efecto positivo sobre el funcionamiento y el rendimiento cognitivo en los jóvenes adultos.

2.- No se produce una mayor mejora del TRC después de AF+VJA que después de AF en jóvenes universitarios sanos y habituados a la práctica de AF. Existe una pequeña tendencia pero no es significativa, por lo tanto, no podemos establecer una relación directa entre el TRC y la naturaleza de cada tipo de ejercicio (más simple, o más complejo).

3.- La PSE es menor después de realizar AF+VJA, que después de realizar AF en jóvenes universitarios sanos y habituados a la práctica de AF. Este hecho podría estar relacionado con un efecto de interferencia contextual tal y como se ha comentado anteriormente en el apartado de la discusión.

3.2. ESTUDIO 2

“Efectos agudos de la actividad física aeróbica y los videojuegos activos sobre el tiempo de reacción complejo, la flexibilidad cognitiva y la percepción del esfuerzo en adultos mayores”

Resumen:

En este estudio se examinaron los efectos agudos del ejercicio aeróbico y los videojuegos activos sobre el TRC, la flexibilidad cognitiva y la PSE en adultos mayores. La muestra estuvo compuesta por 49 participantes, 11 varones y 38 mujeres (edad M = $67,7 \pm 4,7$ años) divididos aleatoriamente en tres condiciones experimentales. En la primera, los participantes pedalearon 30 minutos en un cicloergómetro (AF). En la segunda, pedalearon durante 30 minutos en un cicloergómetro mientras jugaban a un VJA en una Wii (AF+VJA). Y en la tercera, solamente se jugaron al VJA. En cada sesión se llevó a cabo una tarea de TRC antes y después de hacer ejercicio aeróbico y/o VJA. Después del ejercicio, se observó la flexibilidad cognitiva y la PSE. Para realizar los análisis estadísticos se utilizó un Modelo Lineal General de medidas repetidas y pruebas de Wilcoxon, en función de la naturaleza paramétrica o no de los datos. Los resultados mostraron que: (1) AF, AF+VJA y VJA, mejoraron el TR, el TRM y la eficacia; (2) AF+VJA mejoró el TRM significativamente, en comparación con la práctica de VJA; (3) la flexibilidad cognitiva mostró un menor porcentaje de errores no perseverativos después de practicar AF, en comparación con solamente VJA y una diferencia significativa en el porcentaje de respuestas correctas después de practicar AF+VJA, en comparación con solamente VJA; y (4) la PSE fue menor después de practicar VJA y AF+VJA, en comparación con AF. Por lo tanto, podemos concluir que en los adultos mayores, la AF produce beneficios agudos sobre el TRC y la flexibilidad cognitiva, y que los VJA ayudan a disminuir la PSE.

Palabras clave: Experimento, reserva cognitiva, velocidad de procesamiento, ejercicio físico, fatiga.

3.2.1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio pretende contrastar la hipótesis que el ejercicio físico genera una serie de respuestas agudas y crónicas aumentan el rendimiento cognitivo en los adultos mayores.

Uno de los procesos cognitivos que pueden mediar esta influencia, corresponde a la VPI y se ha medido utilizando el TRS/TRC y algunas tareas de resolución de problemas (Tomprowski, 2003). Algunos estudios han demostrado que la VPI mejora con ejercicio aeróbico (Colcombe y Kramer, 2003; Tomporowski, 2003). Esta mejora puede ser detectada inmediatamente después de completar una sola sesión de ejercicio (Budde et al, 2008; Hillman et al, 2009 ; Pesce et al, 2009) y después del entrenamiento crónico (Hinkle et al., 1993; Davis et al, 2007 y 2011). Estos resultados se han encontrado en adultos mayores y en niños (Best, 2010; Tomporowski, 2003; Colcombe et al., 2006). Por lo tanto, aunque son varios los procesos cognitivos que se benefician de la actividad física, hay algunos que son influidos de manera más potente. Así, el ejercicio ejerce un efecto protector más potente comparativamente con otros procesos, sobre el control ejecutivo (recursos atencionales) y el procesamiento cognitivo (Hillman, Erickson y Kramer, 2008).

En un contexto repleto de estímulos que han de ser procesados para una adecuada adaptación al entorno, la capacidad de detectarlos y emitir respuestas rápidas cobra una enorme relevancia. En algunos casos existe una presión ambiental para realizar la tarea con rapidez (responder ante la decisión de un árbitro, evitar una entrada de un adversario que podría lesionarnos, esquivar una piedra que tira un compañero mientras le aseguramos, controlar el efecto de una pelota de tenis de mesa, etc.). En otras situaciones, por el contrario, es irrelevante el tiempo de reacción (TR), al menos en lo que respecta al éxito de la tarea. Tal y como demuestra la literatura científica basada en estudios con humanos, parece evidente que la actividad física y el ejercicio aeróbico pueden servir para moderar cambios indeseables que se producen con la edad sobre la cognición, la función cerebral y la estructura cerebral. El ejercicio aeróbico tiene efectos positivos en la edad del cerebro en poblaciones clínicas, poblaciones sin ninguna patología y animales (Kramer, Erickson y Colcombe, 2006).

Otro de estos procesos cognitivos relacionados con al práctica de AF, corresponde a la PSE. Desde una vertiente puramente cognitivista, cualquier ejercicio voluntario comienza y termina en el cerebro.. El enfoque psicológico de la fatiga otorga una gran importancia a la PSE como factor limitante del ejercicio (Kayser, 2003).

La fatiga se entiende como una experiencia subjetiva, basada en el autocontrol del participante, y que depende de la percepción del agotamiento físico, mental o ambos (Bol, Duits, Hupperts, Vlaeyen, y Verhey, 2009). Esta sensación de esfuerzo refleja, por tanto, más o menos la calidad del impulso motor desde el córtex cerebral a la motoneurona de la médula espinal (Ament y Verkerke, 2009a). La fatiga cognitiva se puede definir como una disminución en la ejecución durante una tarea cognitiva que requiere un esfuerzo mental sostenido (Macías-Delgado et al., 2012). Afecta tanto a las capacidades motoras como cognitivas, especialmente al humor, actitud y tolerancia, por lo tanto, podría considerarse un factor que condiciona el TR. Además, es un claro limitador de la calidad de vida y la salud, y su causa es desconocida hasta el momento. La gran diversidad de investigaciones con resultados diferentes, la ausencia de una definición clara del constructo y la falta de comprensión de sus bases etiológicas, revelan la propia complejidad de este fenómeno (Macías-Delgado et al., 2012).

Muchos investigadores son conscientes de que la fatiga física no es el único tipo de fatiga existente, ni la única que afecta al deporte o al rendimiento físico. Existe otro tipo de fatiga que es el resultado de la actividad cognitiva y emocional del participante, que recibe el nombre de “fatiga cognitiva” y que se desarrolla de una manera bastante similar a la fatiga física (Baumeister, Vohs, y Tice, 2007; Wallace y Baumeister, 2002; Muraven y Baumeister, 2000).

Por otro lado, Hutchinson y Tenenbaum (2007), Tenenbaum (2001) y Rejeski (1981 y 1985) propusieron que la PSE depende de la intensidad del ejercicio y las variables psicológicas. Según ellos, las estrategias cognitivas como la información procedente de las sensaciones corporales y distracciones ambientales, son especialmente relevantes para disminuir la PSE durante el ejercicio submáximo. A medida que aumenta la intensidad del ejercicio y la sensación de esfuerzo, el enfoque de la atención es predominantemente interno y las estrategias cognitivas disminuyen su eficacia.

Varios estudios han demostrado que un enfoque externo de la atención aumenta la resistencia muscular y mejora la eficiencia metabólica (Marchant et al., 2011; Schucker, Hageman, Strauss, y Völker, 2009). Marchant et al. (2011) concluyeron que los participantes que recibieron instrucciones de carácter externo realizaron más repeticiones en “*pressbanca*” y sentadillas que los que recibieron un enfoque interno. En otro estudio, Schucker et al. (2009) verificaron una reducción en el VO_2 mientras los participantes corrían en un tapiz rodante y se centraban en el entorno virtual (enfoque

externo), en comparación a cuando se centraron en la correcta ejecución del movimiento o en la respiración (enfoque interno).

Otros estudios han demostrado que la música ayuda a las personas continuar el ejercicio durante más tiempo, retrasa la fatiga, y reduce la PSE (Karageorghis y Sacerdote, 2012a, 2012b; Reza, Moghaddam, Shadifar, y Mabhout, 2013). Estos estudios se basan en la idea de que la música capta la atención y distrae al individuo de la fatiga inducida por la actividad, limita la agitación mental y ayuda al cuerpo a responder al componente rítmico de la música, en actividades submáximas (Costasi y Terry, 1997; Karageorghis y Sacerdote, 2012a y 2012b). Recientemente, Pollock et al. (2013) analizaron la relación entre los VJA y la PE en una muestra de adultos sanos. Mientras jugaban, los usuarios se expusieron a distractores visuales y auditivos a través del ordenador, la música y efectos de sonido interactivo. Los resultados verificaron las hipótesis mostrando una menor correlación entre los valores de la PE y la FC durante el VJA, en comparación con otros estudios donde se realizaban otras actividades físicas sin distractores. No obstante, el estudio no comparó las diferencias en la PE cuando el ejercicio se practica solo o combinado con VJA.

En este estudio, se propuso el VJA como un elemento de distracción que posiblemente influya en la PSE, mientras los participantes pedaleaban en una bicicleta estática durante 30 minutos a una intensidad moderada. A continuación, se tratarán de discutir las hipótesis correspondientes al segundo estudio.

3.2.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.2.2.1. Objetivo general

Analizar los efectos agudos producidos por la práctica de AF y los VJA sobre las funciones cognitivas en adultos mayores.

3.2.2.2. Objetivos específicos

El objetivo general se dividió en cuatro objetivos específicos:

- Analizar la posible mejora en el TRC después de la práctica de AF, AF+VJA y VJA.
- Analizar las diferencias en la mejora del TRC después de AF, AF+VJA y VJA.
- Analizar las diferencias en la mejora de la flexibilidad cognitiva después de AF, AF+VJA y VJA.
- Analizar las diferencias de la PE, después de AF, AF+VJA y VJA.

3.2.2.3. Hipótesis

La hipótesis principal de la investigación fue que la práctica aeróbica combinada con VJA implicaría una disminución o mejora del TRC, una mayor mejora de la flexibilidad cognitiva y una menor PSE, en comparación a la práctica de AF repetitiva y automática sin VJA. Este hecho, podría estar relacionado con una mayor actividad cerebral en la CPF. Las hipótesis específicas que se derivan de cada uno de los objetivos específicos son:

- La práctica de AF, AF+VJA y VJA mejora el TRC.
- La práctica de AF+VJA produce una mayor mejora en el TRC, que la práctica de AF.
- La práctica de AF+VJA produce una mayor mejora en la flexibilidad cognitiva, que la práctica de AF.
- La práctica de AF+VJA produce una menor PE, que la práctica de AF.

3.2.3. METODOLOGÍA

A continuación se explican detalladamente los apartados de participantes, material e instrumental, procedimiento, diseño y análisis estadístico de los datos.

3.2.3.1. Participantes

En el estudio participaron 49 adultos mayores ($M = 67,7 \pm 4,7$ años). La mayoría de éstos coincidían en el nivel de estudios. El total de participantes analizados fue de 11 hombres y 38 mujeres repartidos en bloques aleatorios en cada una de las tres condiciones experimentales: AF, AF+VJA y VJA. A su vez, cada condición experimental se subdividió en dos grupos. Se controlaron las variables antropométricas de peso y altura y no se utilizaron para asignar grupos a los participantes. Todos los participantes realizaron voluntariamente dos sesiones de las tres posibles y sin ningún tipo de presión externa.

Tabla 25. Características demográficas de los sujetos de cada condición experimental (media y desviación típica).

Medidas	General		Condición experimental AF		Condición experimental VJA		Condición experimental AF + VJA	
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
N	11	38	7	25	7	26	8	25
Edad (años)	67,7±2,1	67,7±5,2	68,1±2,7	66,7±5,2	67,6±2,1	68,2±5,7	67,5±2,2	68,2±4,6
Altura (cm)	167±5,8	159±6,4	162±5	157,5±6,7	168,7±5,3	160±6,3	166,9±7,8	158,3±6,6
Peso (kg)	76,2±15,6	65,9±9,7	69±7,6	64,4±12,1	77±16,4	65±8,9	78,3±16,5	68,8±10,4

Tabla 26. Grupos experimentales del estudio 2, condiciones experimentales y N (total, varones y mujeres).

Condiciones experimentales	Grupo experimental 1	Grupo experimental 2	Grupo experimental 3
	AF / AF+VJA	AF / VJA	AF+VJA / VJA
N	16	16	17
Varones	4	3	4
Mujeres	12	13	13

3.2.3.2. Material e instrumental

Medida de la PSE

Tal y como ya hemos descrito en el anterior estudio, para valorar la PSE, fue utilizada la Escala de Borg (CR-10). Esta escala compuesta por 10 ítems mide el grado de PSE que los participantes experimentan durante y después de hacer ejercicio, ya que permite la cuantificación de la carga o estrés fisiológico percibido (Borg, 1982).

Medida de la flexibilidad cognitiva

Se empleó la adaptación española del Winsconsin Card Sorting Test (de la Cruz, 2001). Los procedimientos utilizados y los datos e instrucciones que aparecían en el manual obtuvieron utilizando los materiales originales del WCST descritos por Robinson et al. (1980) y Heaton (1981), incluyendo el orden de presentación habitual de las tarjetas y el uso de una configuración sistémica de figuras, tanto en las tarjetas-estímulo como en las respuestas. Las diferentes variables que medimos en el estudio fueron: número de intentos aplicados, respuestas correctas, número total de errores, respuestas perseverativas (persiste en responder a una característica del estímulo que no es correcta), % de respuestas perseverativas, respuestas no perseverativas, % de respuestas no perseverativas, errores perseverativos, % de errores perseverativos, errores no perseverativos, % de errores no perseverativos, respuestas de nivel conceptual (refleja la comprensión de los principios de clasificación definidos por series de tres o más respuestas correctas consecutivas), % de respuestas de nivel conceptual, número de categorías completas (cada categoría són diez respuestas consecutivas correctas), intentos para completar la primera categoría, fallos para mantener la actitud (cinco o más respuestas correctas consecutivas y luego comete un error antes de completar la categoría con éxito) y aprender a aprender (refleja el promedio de los cambios en eficacia conceptual a través de las diversas etapas de la realización).

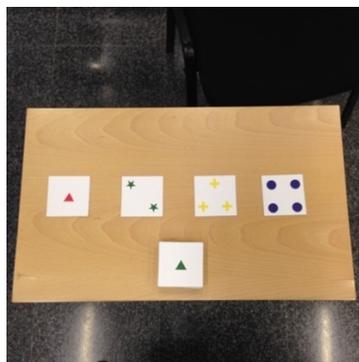


Figura 33. Posición de las cartas al inicio de la realización del WCST.

Medida del TRC

Tal y como ya hemos descrito en el estudio anterior, para medir el TRC se ha utilizado el test "Análisis del TR" perteneciente al Viena Test System (Schuhfried, 1992). Según Dorch (1994), las fases del TRC son dos: el TR (tiempo desde la aparición del estímulo hasta que se inicia el movimiento) y el TRM (tiempo desde que se inicia el movimiento hasta que termina la acción).

Medida de la FC

Tal y como hemos indicado en el anterior estudio, el pulsómetro Polar RS-800 registró la FC de cada participante durante las dos sesiones. Con un cronómetro, se realizó un registro paralelo del tiempo respecto a todas las pruebas, a fin de ubicar el inicio y fin de cada test y las partes de cada prueba en la sesión. Instrumento para la práctica del VJA.

Medida del Juego

Los participantes jugaron durante los 25 minutos restantes de la prueba aeróbica al juego de tenis de la Wii, lo cual nos permitió añadir un estímulo perceptivo, cognitivo y motor. De esta forma, podemos garantizar que se produce un mayor estímulo cognitivo durante el juego, tal y como hemos descrito en el estudio anterior.



Figura 34. Material e instrumental utilizado en el estudio 2. 1) PC Registro de datos, tiempos y PE; 2) Viena Test System; 3) Pulsómetro; 4) Cicloergómetro; 5) Wii y 6) WCST.

3.2.3.3. Procedimiento

3.2.3.3.1. Informe favorable del Comité de Ética

El estudio fue sometido a la aprobación del Comité de Ética de la Universidad de Valencia, obteniendo un informe favorable. El protocolo experimental del estudio cumplió los condicionantes que la Conferencia de Helsinki marcó en la experimentación con seres humanos (Asamblea Corea, 2008).

3.2.3.3.2. Obtención del consentimiento informado

Cada participante fue informado de forma oral acerca de las sesiones que se debían realizar. Así mismo, antes de participar todos ellos firmaron un consentimiento

informado (Anexo 1), indicando que fueron informados con anterioridad acerca de las actividades a realizar y que participaban de forma voluntaria y sin ningún tipo de presión externa.

3.2.3.3.3. Criterios de selección y exclusión de participantes

1.- Tener una edad entre 65 y 70 años.

2.- No poseer contraindicaciones médicas para la realización de ejercicio aeróbico.

3.- No padecer ninguna enfermedad relacionada con el sistema motor, SNC o periférico. No tomar medicamentos que pudieran afectar el estado de ánimo o el funcionamiento cognitivo (Ej. Benzodiazepinas).

3.2.3.3.4. Medidas Pre y Post tratamiento

Durante las dos sesiones se registró la FC, se realizó una medida pre y post del TRC, una medida post de la flexibilidad cognitiva y una valoración subjetiva de la PSE al finalizar la sesión. Las pruebas y test se realizaron siempre en el mismo orden para todos los participantes en cada sesión. Al finalizar cada sesión, los participantes descansaron durante 5 minutos para volver a su estado de reposo basal antes de marcharse, momento que aprovechaban para asearse e hidratarse. Cada participante realizó la segunda sesión una semana después de la primera, el mismo día de la semana y a la misma hora. Las medidas pre y post tratamiento hacen referencia al TRC. Todas las pruebas y test fueron aplicadas con normalidad y sin ningún incidente. Resultaron bastante asequibles para los participantes y no mostraron ningún problema en poder realizarlas.

3.2.3.3.5. Protocolo experimental

Cada participante realizó dos sesiones de las tres posibles y cabe mencionar que todas las medidas repitieron los mismos métodos, sistemas, materiales e instrumentos, así como también el orden y la temporalización de las diferentes pruebas, test y valoraciones. Respecto al lugar donde se realizaron las mediciones, siempre se llevaron a cabo en el mismo laboratorio de la Facultad de Fisioterapia, y en las mismas condiciones ambientales: 15/18°C, 43% humedad, 30db y misma luminosidad. El protocolo experimental comenzó con una breve explicación de las tareas a realizar para que los participantes pudieran sentirse orientados e informados acerca de las actividades a realizar. En ningún momento se hizo referencia a los detalles del estudio, objetivos, características, para que no pudieran contaminar las acciones de los participantes o condicionarlas. A todos los participantes se les recordó mediante una

llamada telefónica el día de antes de cada sesión, la hora y el lugar, así como el equipamiento necesario: pantalón corto, camiseta corta, toalla y agua.

Durante las tres sesiones se realizaron exactamente las mismas pruebas, test y valoraciones, solamente se diferenciaron en que se realizó AF, AF+VJA o VJA.



Figura 35. Ejemplo de la realización de los tres tratamientos experimentales (AF y AF+VJA y VJA) del estudio 2.

Al inicio de cada sesión, cada participante se cambió de ropa y se le entregó la hoja de consentimiento informado, la cual debían leer detenidamente, preguntar las dudas o cuestiones que tuvieran y finalmente firmarla. Posteriormente, se realizó una entrevista y cada participante se quitó las zapatillas y se midió su altura y peso. A continuación se procedió a sincronizar el cronómetro, al mismo tiempo que se activaba el pulsómetro y se determinaba el porcentaje de la intensidad de trabajo (ppm y watts). El participante se sentaba en la silla tomando una distancia de 40 cm respecto al teclado, preparándose para la realización del test de TRC.



Figura 36. Realización del test de TRC durante el estudio 2.

Este consistía en dos fases, la primera era una práctica donde el propio programa explicaba el funcionamiento y las normas del test y en la cual cada participante disponía

de 2 minutos aproximadamente para practicar y asegurarse de que había comprendido lo que debía hacer. Todos los participantes utilizaron el dedo índice de la mano predominante para su realización. Una vez terminada esta fase, se les informó a los participantes de que se trataba de un ensayo y que a continuación comenzaba el test verdadero, la segunda fase. Ésta duró aproximadamente 3 minutos y su desarrollo se encuentra explicado con detalle posteriormente. Seguidamente dábamos paso a la prueba aeróbica con el cicloergómetro: AF, AF+VJA o VJA. La altura del sillín se ajustaba en cada caso a las características antropométricas de cada participante. La resistencia con el cicloergómetro (vatios) fue ajustada a lo largo de la prueba para mantener la intensidad de trabajo dentro del umbral establecido. En la primera, los participantes se encontraban cara la pared, para tratar de evitar cualquier estímulo visual o auditivo que pudiera captar su atención (AF). En la segunda prueba los participantes pedaleaban mientras jugaban al juego de tenis de la Wii (AF+VJA). Y en la tercera, solamente jugaban al VJA. Al finalizar la prueba aeróbica o de juego, se realizaba inmediatamente el segundo test de TRC. En ese momento, los participantes podían secar su sudor y beber un poco de agua. Posteriormente, realiaron el WCST. Al finalizar el test se desactivaba el pulsómetro y el cronómetro y se valoraba la PSE realizado durante la sesión mediante la escala subjetiva de Borg CR-10.

Resumen de los pasos principales del protocolo experimental:

- 1º.- Firma del consentimiento informado.
- 2º.- Entrevista y medición de la altura y el peso.
- 3º.- Activación y sincronización del pulsómetro y cronómetro. (% ppm)
- 4º.- Realización del primer test de TRC.
- 5º.- Realización de prueba aeróbica (AF, AF+VJA o VJA) durante 30 min.
- 6º.- Realización inmediata del segundo test de TRC.
- 7º.- 3 min reposo absoluto.
- 8º.- Realización del primer test WCST
- 9º.- Desactivación del pulsómetro y cronómetro.
- 10º.- Valoración subjetiva de la PE realizado.
- 11º.- Agradecimientos por la participación.

Una vez diseñado el protocolo experimental, se realizaron pruebas de ensayo para corroborar el éxito de su funcionamiento y su viabilidad. En todo momento los participantes fueron observados para comprobar que realizaban las tareas correctamente. Durante el transcurso de cada sesión se les explicó a todos los participantes que solamente se hablaría de las tareas a realizar durante la sesión,

empleando así las palabras justas y necesarias. De esta forma garantizábamos que todos los participantes tenían el mismo trato y que no se producían estímulos externos que pudieran alterar sus procesos cognitivos, emociones, atención, nivel de activación, motivación, memoria. Al terminar, se agradecía individualmente la colaboración en el estudio y se les informaba de la realización de una presentación acerca del contenido del estudio y de sus resultados. Es preciso recordar que al inicio y final de cada una de las tareas de cada sesión se realizó un “lap” sincronizado entre el cronómetro y el pulsómetro. Ello posibilitó obtener la FC de cada participante en cada momento.

3.2.3.3.6. Registro de los datos

El registro de los datos se realizó exactamente igual que en el primer estudio en todas las variables menos la flexibilidad cognitiva. Para el registro de los datos correspondientes de esta variable se utilizó la hoja de anotaciones del WCST. Posteriormente, todos los datos se guardaron en una hoja Excel para poder pasarlos al SPSS y así, finalmente realizar los correspondientes análisis estadísticos.

3.2.3.4. Diseño

El diseño del estudio fue de parcela dividida. La muestra se dividió en tres grupos. Los participantes de cada grupo pasaron por dos de las tres condiciones experimentales del estudio (Grupo 1= AF y AF+VJA; Grupo 2= AF y VJA; Grupo 3= AF+VJA y VJA). Se controló la edad, el peso, la altura y el sexo con el procedimiento de igualación, lo que aumentó la validez interna del estudio. A su vez, cada condición experimental se dividió en dos subgrupos equivalentes (G1 y G2), y con igualdad proporcional de miembros masculinos y femeninos en ambos para realizar un contrabalanceo del orden de ejecución, de modo que el primero de los subgrupos ejecutó el orden X1-X2 y el segundo el orden X2-X1. De este modo quedó controlado un posible efecto de aprendizaje en lo que respectaba a las respuestas.

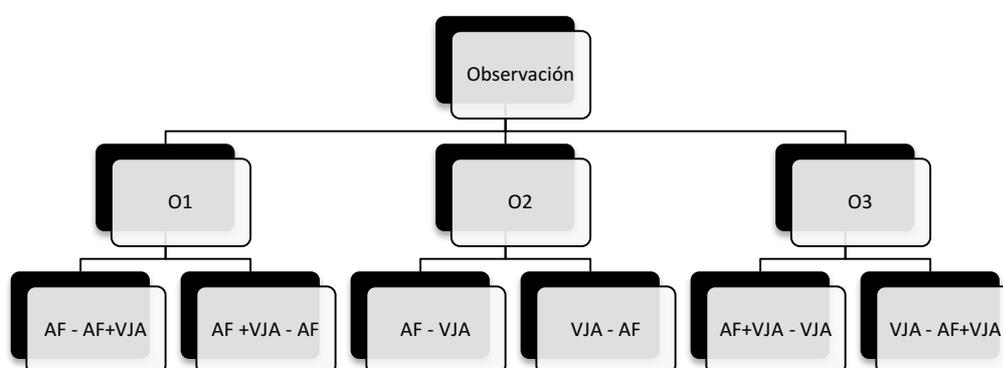


Figura 37. Diseño del estudio 2: Parcela dividida compuesta de tres grupos experimentales (O1, O2 y O3) y 3 condiciones experimentales (AF, AF+VJA y VJA).

3.2.3.4.1. Variables independientes

Las variables independientes corresponden a los tres tratamientos experimentales: AF, AF+VJA y VJA. Las tres condiciones experimentales fueron: “práctica aeróbica” (AF), la cual consistió en una actividad aeróbica de intensidad moderada de aproximadamente 100ppm, o el 65% de la $FC_{Máx.}$ para una duración de 30 minutos; “práctica aeróbica con videojuego activo” (AF+VJA), que se traducía en una actividad similar a la condición anterior más un juego perceptivo, cognitivo y motriz (juego de tenis de la Wii); y “videojuego activo” (VJA) la cual consistía en jugar al juego de tenis de la Wii sin realizar AF.

Asimismo, el momento (pre-post) constituyó otra variable independiente en la medida del TRC, puesto que éste se midió antes y después de realizar la actividad del tratamiento experimental.

3.2.3.4.2. Variables dependientes

Las variables dependientes son: el TRC (TR, TRM y Eficiencia), la flexibilidad cognitiva (número de intentos aplicados, respuestas correctas, número total de errores, respuestas perseverativas, porcentaje de respuestas perseverativas, respuestas no perseverativas, porcentaje de respuestas no perseverativas, errores perseverativos, porcentaje de errores perseverativos, errores no perseverativos, porcentaje de errores no perseverativos, respuestas de nivel conceptual, porcentaje de respuestas de nivel conceptual, número de categorías completas, intentos para completar la primera categoría, fallos para mantener la actitud y aprender a aprender), la PSE y la FC.

3.2.3.5. Análisis estadístico de los datos

Los análisis se realizaron independientemente para cada uno de los tres grupos experimentales, dado que los sujetos experimentales se asignaron a uno de ellos, pasando por dos de las tres condiciones experimentales (AF, AF + VJA, y VJA). El grupo 1 por AF y AF + VJA, el grupo 2 por AF y VJA y el grupo 3 por AF + VJA y VJA. La normalidad de la distribución de las variables se comprobó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para poder determinar la utilización pruebas de contraste paramétricas o no paramétricas. El análisis inferencial paramétrico se realizó mediante el Modelo Lineal General de Medidas Repetidas y el análisis no paramétrico mediante el test de Wilcoxon. Las diferencias significativas fueron representadas gráficamente. Para el análisis de los datos obtenidos en las diferentes pruebas, test y escalas se utilizó el programa para análisis estadístico SPSS 22,0 para Windows 7.

3.2.4. RESULTADOS

3.2.4.1. Análisis inferencial del tiempo de reacción complejo en función del momento (pre-post) y la actividad (AF, AF+VJA, y VJA)

Para realizar este análisis se compararon las puntuaciones de las variables del TRC (TR, TRM y eficiencia) en función del momento y la actividad realizada. Como las actividades realizadas cambiaron en función del grupo experimental se realizó un análisis para cada grupo. En el 1 se compararon las actividades AF y AF+VJA, en el 2 las actividades AF y VJA y en el 3 AF+VJA y VJA. En todos los casos se realizaron comparaciones pre-post.

3.2.4.1.1. Análisis de las diferencias en TRC en función del momento (pre y post) y actividad (AF / AF+VJA)

Para determinar si las variables eran paramétricas o no paramétricas realizamos en primer lugar la prueba de Kolmogorov-Smirnov de las puntuaciones pre-post del TRC: Tiempo de reacción (TR), tiempo de reacción motórico (TRM) y eficiencia del grupo experimental 1, que pasó por las condiciones de AF y AF+VJA.

Tabla 27. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC en el grupo experimental 1 (AF y AF+VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
TR (Pre AF)	16	614,87	71,65	,17	,200	Paramétrica
TR (Post AF)	16	554,19	68,65	,20	,104	Paramétrica
TR (Pre AF+VJA)	16	623,56	115,22	,18	,181	Paramétrica
TR (Post AF+VJA)	16	546,12	74,77	,20	,103	Paramétrica
TRM (Pre AF)	16	262,62	68,23	,15	,200	Paramétrica
TRM (Post AF)	16	239,00	55,18	,09	,200	Paramétrica
TRM (Pre AF+VJA)	16	256,50	52,19	,15	,200	Paramétrica
TRM (Post AF+VJA)	16	239,19	64,21	,17	,200	Paramétrica
Eficiencia (Pre AF)	16	,07	,58	,16	,200	Paramétrica
Eficiencia (Post AF)	16	,09	,99	,19	,132	Paramétrica
Eficiencia (Pre AF+VJA)	16	,06	,52	,27	,003	No Paramétrica
Eficiencia (Post AF+VJA)	16	,07	,77	,14	,200	Paramétrica

Dado que la mayoría de puntuaciones fueron paramétricas realizamos un MLG de medidas repetidas, tomando como variable independiente intrasujetos el momento (pre-post) y como variable independiente intersujetos la actividad (AF – AF+VJA). Como variables dependientes se consideraron el TR, el TRM y la eficiencia. Las pruebas

multivariantes mostraron efectos significativos para la variable pre-post ($p=,003$, $\lambda= ,352$; $F= 7,960$; g.l hipótesis= 3; η^2 parcial = ,648; $1-\beta= ,953$), mientras que no fueron significativos para la actividad ($p= ,931$; $\lambda= ,968$; $F= ,145$; g.l= 3; η^2 parcial = ,032; $1-\beta= ,070$), ni para la interacción ($p=,786$, $\lambda= ,924$; $F= ,355$; g.l hipótesis= 3; η^2 parcial = ,076; $1-\beta= ,102$).

Las pruebas univariadas mostraron la existencia de efectos significativos del momento sobre el TR ($p<,001$) y la eficiencia ($p=,001$), mientras que para el TRM existió una tendencia aunque el efecto no alcanzó la significación ($p=,064$). Por otro lado, ni el tipo de actividad (AF – AF+VJA), ni la interacción entre el momento y la actividad mostraron efectos significativos sobre ninguna de las variables dependientes.

Tabla 28. Resultados de los contrastes univariados del TRC del grupo experimental 1, en función del momento (pre y post) y la actividad (AF-AF+AVJ).

Origen	Medida	SC Tipo III	gl	MC	F	Sig.	η^2 parcial	1- β
Pre-post	TR	76314,06	1	76314,06	26,52	<,001	,64	,99
	TRM	6703,52	1	6703,52	3,99	,06	,21	,46
	Eficiencia	,00	1	,00	15,58	,001	,51	,96
Actividad (AF – AF+VJA)	TR	1,563	1	1,563	,000	,986	,000	,050
	TRM	141,016	1	141,016	,043	,839	,003	,054
	Eficiencia	1,052E-5	1	1,052E-5	,136	,717	,009	,064
Pre-post * Actividad	TR	1122,250	1	1122,250	,900	,358	,057	,144
	TRM	159,391	1	159,391	,119	,735	,008	,062
	Eficiencia	2,851E-6	1	2,851E-6	,258	,619	,017	,076

A continuación, se indican los descriptivos marginales de las variables con diferencias significativas y con tendencia y la representación de tallos y hojas de éstas.

Tabla 29. Descriptivos del TRC del grupo experimental 1 en función del momento (pre y post)

Medida	Pre_post	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
TR (AF – AF+VJA)	Pre	619,219	20,879	574,717	663,720
	Post	550,156	16,261	515,497	584,815
TRM (AF – AF+VJA)	Pre	259,563	12,230	233,495	285,630
	Post	239,094	12,671	212,086	266,101
Eficiencia (AF – AF+VJA)	Pre	,024	,002	,020	,027
	Post	,028	,001	,025	,031

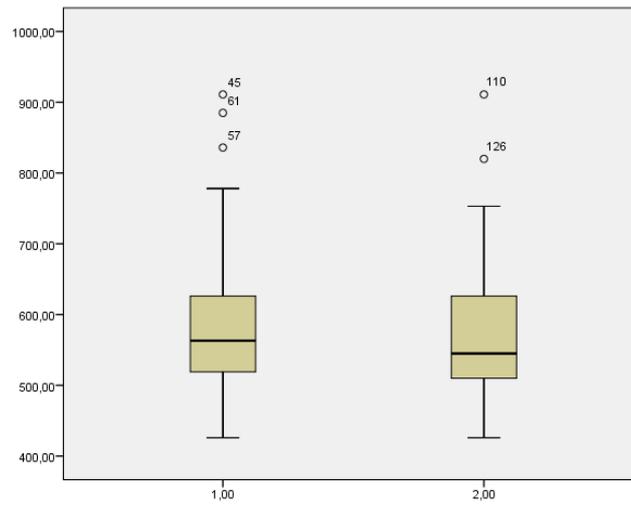


Figura 38. Diagrama de tallo y hojas del TR pre y post del grupo experimental 1

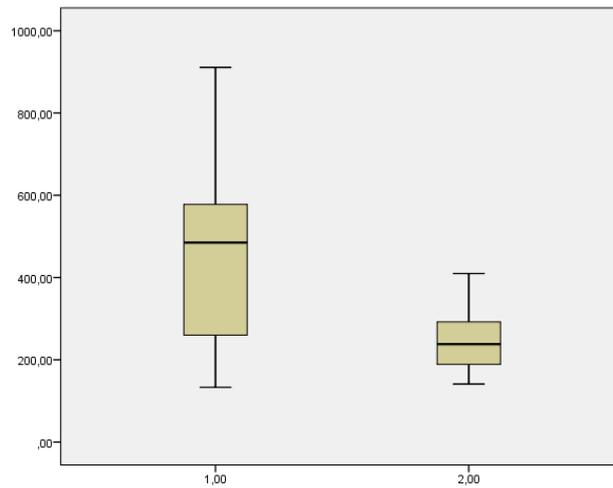


Figura 39. Diagrama de tallo y hojas del TRM pre y post del grupo experimental 1

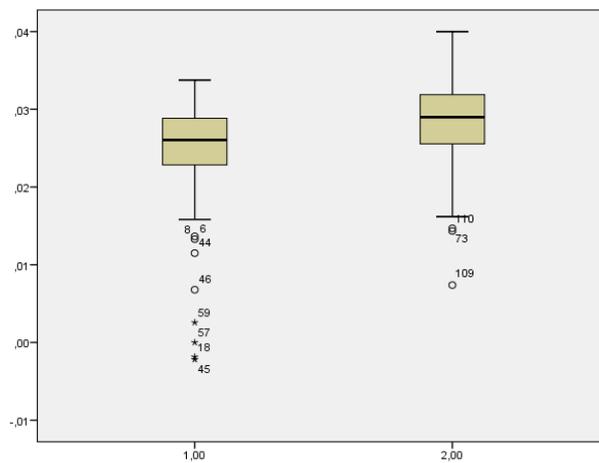


Figura 40. Diagrama de tallo y hojas de la eficiencia pre y post del grupo experimental 1.

Debido a que la variable eficiencia pre-tratamiento en la condición AF+VJA fue no paramétrica se realizó una prueba de Wilcoxon en la que se comparó esta puntuación con la eficiencia post-tratamiento en la misma condición AF+VJA. Los resultados mostraron diferencias significativas ($Z = -2,585$; $p = ,010$), confirmando una mejora de la eficiencia en la medida post, en línea con los resultados obtenidos en el MLG.

Tabla 30. Resultados de la prueba de Wilcoxon de la eficiencia pre y post AF+VJA en el grupo experimental 1

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
Eficiencia post AF+VJA –	Rangos negativos	3 ^a	6,00	18,00	-2,585 ^b	,010
Eficiencia pre AF+VJA	Rangos positivos	13 ^b	9,08	118,00		
	Empates	0 ^c				
	Total	16				

b. Eficiencia_post_AFJ > Eficiencia_pre_AFJ

3.2.4.2.2. Análisis inferencial pre-post del TRC del grupo experimental 2 (AF y VJA).

Para determinar el ajuste a la normal de las variables realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov de las puntuaciones pre y post del TRC del grupo experimental 2, que pasó por las condiciones de AF y VJA. La mayoría de las variables mostraron un ajuste adecuado, excepto el TR y la eficiencia pre-tratamiento de AF.

Tabla 31. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC en el grupo experimental 2 (AF y VJA).

Medida	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
TR (Pre AF)	16	630,00	137,05	,25	,007	No Paramétrica
TR (Post AF)	16	554,44	77,84	,14	,20	Paramétrica
TR (Pre VJA)	16	651,81	93,31	,12	,20	Paramétrica
TR (Post VJA)	16	555,75	57,99	,12	,20	Paramétrica
TRM (Pre AF)	16	256,250	79,52	,18	,20	Paramétrica
TRM (Post AF)	16	245,750	77,13	,19	,11	Paramétrica
TRM (Pre VJA)	16	273,938	91,74	,16	,20	Paramétrica
TRM (Post VJA)	16	224,000	61,54	,21	,06	Paramétrica
Eficiencia (Pre AF)	16	,02	,82	,27	,002	No Paramétrica
Eficiencia (Post AF)	16	,02	,45	,13	,20	Paramétrica
Eficiencia (Pre VJA)	16	,02	,51	,14	,06	Paramétrica
Eficiencia (Post VJA)	16	,02	,35	,10	,20	Paramétrica

Dado que la mayoría de variables se ajustaron a la normal realizamos un MLG de medidas repetidas, tomando como variable independiente intrasujetos el momento (pre-post) y como variable independiente intersujetos la actividad (AF-VJA). Como variables dependientes se consideraron el TR, el TRM y la eficiencia. Las pruebas multivariantes mostraron efectos significativos para la variable Pre-post ($p = ,001$; $\lambda = ,279$; $F = 11,186$; $g.l = 3$; η^2 parcial = $,721$; $1-\beta = ,992$), mientras que no fueron significativos para la actividad ($p = ,809$; $\lambda = ,931$; $F = ,322$; $g.l = 3$; η^2 parcial = $,069$; $1-\beta = ,097$), ni para la interacción entre pre-post y actividad ($p = ,315$; $\lambda = ,769$; $F = 1,305$; $g.l = 3$; η^2 parcial = $,231$; $1-\beta = ,269$).

Las pruebas univariadas mostraron la existencia de efectos significativos del momento (pre-post) sobre la TR ($p < ,001$), la TRM ($p = ,001$) y la eficiencia ($p < ,001$). Por otro lado, ni el tipo de actividad (AF – VJA), ni la interacción entre el momento y la actividad mostraron efectos significativos sobre ninguna de las variables dependientes.

Tabla 32. Resultados de los contrastes univariados del TRC del grupo experimental 2, en función del momento (pre y post) y la actividad (AF-AF+AVJ).

Factor	Medida	SC III	GI	M.C	F	Sig.	η^2	1- β
Pre-post	TR	117820,56	1	117820,56	22,22	<,001	,60	,99
	TRM	14610,77	1	14610,77	16,31	,001	,52	,96
	Eficiencia	,00	1	,00	25,31	<,001	,63	,99
Actividad (AF – VJA)	TR	2139,06	1	2139,06	,18	,673	,01	,07
	TRM	66,02	1	66,02	,04	,841	,00	,05
	Eficiencia	1,52	1	1,52	,04	,841	,00	,05
Pre-post *	TR	1681,00	1	1681,00	,522	,481	,03	,10
Actividad	TRM	6221,27	1	6221,27	3,21	,093	,19	,39
	Eficiencia	1,02E-6	1	1,02 E-6	,09	,775	,01	,06

A continuación, se indican los descriptivos marginales de las variables con diferencias significativas y con tendencia.

Tabla 33. Descriptivos del TRC del grupo experimental 2 en función del momento (pre y post)

Medida	Pre_post	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
TR (AF – VJA)	Pre	640,906	22,727	592,464	689,349
	Post	555,094	13,260	526,831	583,356
TRM (AF – VJA)	Pre	265,094	20,096	222,260	307,928
	Post	234,875	15,840	201,112	268,638
Eficiencia (AF – VJA)	Pre	,024	,001	,021	,027
	Post	,029	,001	,027	,031

Seguidamente, los gráficos de tallos y hojas de describen las diferencias encontradas.

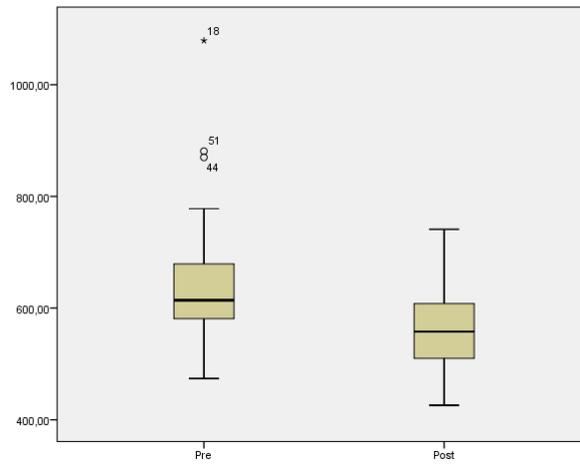


Figura 41. Diagrama de tallo y hojas del TR pre y post del grupo experimental 2.

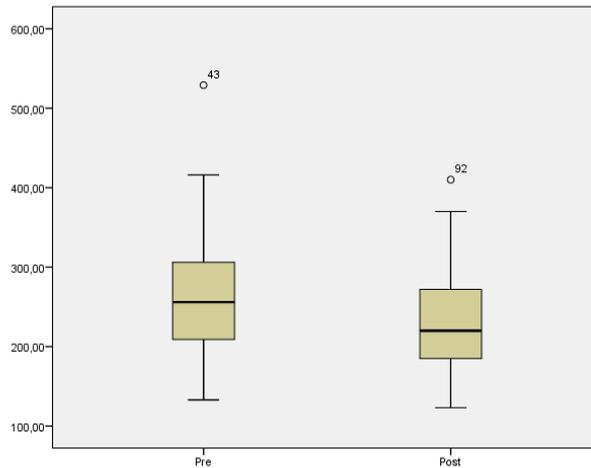


Figura 42. Diagrama de tallo y hojas del TRM pre y post del grupo experimental 2

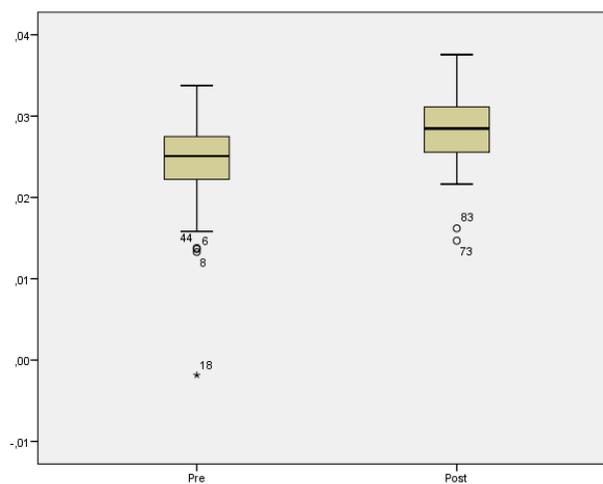


Figura 43. Diagrama de tallo y hojas de la eficiencia pre y post del grupo experimental 2.

Debido a que la variable TR pre tratamiento en la condición AF fue no paramétrica se realizó una prueba de Wilcoxon en la que se comparó esta puntuación con el TR post tratamiento en la misma condición AF. Los resultados mostraron diferencias significativas ($Z=-2,534$; $p=,011$), confirmando una mejora del TR post, en línea con los resultados obtenidos en el MLG.

Tabla 34. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon del TR pre y post AF en el grupo experimental 2

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
TR pre AF –	Rangos negativos	13 ^a	9,00	117,00	-2,534 ^b	,011
TR post AF	Rangos positivos	3 ^b	6,33	19,00		
	Empates	0 ^c				
	Total	16				

b. TR post AF > TR pre AF

De la misma forma procedimos con la variable eficiencia pre tratamiento en la condición AF, que tampoco fue paramétrica, y se comparó con la Eficiencia post tratamiento en AF. También en este caso la diferencias fueron significativas mostrando resultado iguales a la variable anterior ($Z= -2,534$; $p= ,011$).

Tabla 35. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon de la eficiencia pre y post AF en el grupo experimental 2.

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
Eficiencia post AF –	Rangos negativos	3 ^a	6,33	19,00	-2,534 ^b	,011
Eficiencia pre AF	Rangos positivos	13 ^b	9,00	117,00		
	Empates	0 ^c				
	Total	16				

b. Eficiencia post AF > Eficiencia pre AF

3.2.4.2.3. Análisis inferencial pre-post del TRC del grupo experimental 3 (AF+VJA y VJA)

Para determinar si las variables eran paramétricas o no paramétricas realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov de las puntuaciones pre y post del TRC del tercer grupo experimental, que pasó por las condiciones de AF+VJA y VJA. Los resultados mostraron un buen ajuste a la normal de la mayoría de las variables a excepción del TR post tras AF+VJA.

Tabla 36. Estadísticos descriptivos y de normalidad del TRC en el grupo experimental 3 (AF+VJA y VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
TR (Pre AF+VJA)	16	617,59	117,50	,20	,08	Paramétrica
TR (Post AF+VJA)	16	559,94	99,68	,24	,008	No Paramétrica
TR (Pre VJA)	16	630,41	91,78	,14	,20	Paramétrica
TR (Post VJA)	16	570,76	53,62	,12	,20	Paramétrica
TRM (Pre AF+VJA)	16	281,65	83,54	,14	,20	Paramétrica
TRM (Post AF+VJA)	16	259,12	72,72	,17	,20	Paramétrica
TRM (Pre VJA)	16	260,41	58,65	,18	,17	Paramétrica
TRM (Post VJA)	16	215,29	61,85	,11	,20	Paramétrica
Eficiencia (Pre AF+VJA)	16	,02	,25	,12	,20	Paramétrica
Eficiencia (Post AF+VJA)	16	,02	,45	,13	,20	Paramétrica
Eficiencia (Pre VJA)	16	,02	,51	,12	,20	Paramétrica
Eficiencia (Post VJA)	16	,02	,35	,14	,20	Paramétrica

Dado que la mayoría de las variables se ajustaron a la normal realizamos un MLG de medidas repetidas, tomando como variable independiente intrasujetos el momento (pre-post) y como variable independiente intersujetos la actividad (AF+VJA – VJA). Como variables dependientes se consideraron el TR, el TRM y la eficiencia. Las pruebas multivariantes mostraron efectos significativos para la variable pre-post ($p < ,001$; $\lambda = ,256$; $F = 13,556$; $g.l = 3$; η^2 parcial = $,744$; $1-\beta = ,998$), mientras que no fueron significativos para la actividad ($p = ,119$; $\lambda = ,668$; $F = 2,325$; $g.l = 3$; η^2 parcial = $,322$; $1-\beta = ,465$), ni para la interacción entre pre-post y actividad ($p = ,225$; $\lambda = ,740$; $F = 1,639$; $g.l = 3$; η^2 parcial = $,260$; $1-\beta = ,338$). Las pruebas univariadas mostraron la existencia de efectos significativos del momento (pre-post) sobre la TR ($p < ,001$), la TRM ($p = ,003$) y la eficiencia ($p < ,001$). Por otro lado, el tipo de actividad (AF+VJA – VJA) mostró efectos sobre el TRM ($p = ,030$). La interacción entre el momento y la actividad no mostró efectos significativos sobre ninguna de las variables dependientes.

Tabla 37. Resultados de los contrastes univariados del TRC del grupo experimental 3 en función del momento (pre y post) y la actividad

Factor	Medida	SC III	GI	M.C	F	Sig.	η^2	1- β
Pre-post	TR	58471,11	1	58471,11	25,74	<,001	,62	,99
	TRM	19448,53	1	19448,53	12,81	,003	,44	,92
	Eficiencia	,00	1	,00	19,06	<,001	,54	,98
Actividad (AF+VJA – VJA)	TR	2376,53	1	2376,53	,17	,684	,01	,07
	TRM	17988,76	1	17988,76	5,70	,030	,26	,61
	Eficiencia	2,32	1	2,32	,04	,838	,00	,05
Pre-post * Actividad	TR	17,000	1	17,000	,01	,93	,00	,05
	TRM	2168,471	1	2168,471	3,08	,098	,16	,38
	Eficiencia	6,617E-6	1	6,617E-6	,34	,567	,02	,09

A continuación, se indican los descriptivos marginales de las variables con diferencias significativas y con tendencia y la representación de tallos y hojas de éstas.

Tabla 38. Descriptivos del TRC del grupo experimental 3 en función del momento (pre y post)

Medida	Pre_post	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
TR	Pre	624,000	17,755	586,362	661,638
(AF+VJA – VJA)	Post	565,353	15,574	532,338	598,368
TRM	Pre	271,029	15,243	238,717	303,342
(AF+VJA – VJA)	Post	237,206	15,123	205,147	269,265
Eficiencia	Pre	,024	,001	,022	,027
(AF+VJA – VJA)	Post	,028	,001	,027	,029

Tabla 39. Descriptivos del TRM del grupo experimental 3 en función de la actividad (AF+VJA - VJA)

Medida	Actividad	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
TRM	AF+VJA	270,382	18,094	232,025	308,739
	VJA	237,853	13,483	209,271	266,435

A continuación, los gráficos describen las diferencias en cada variable:

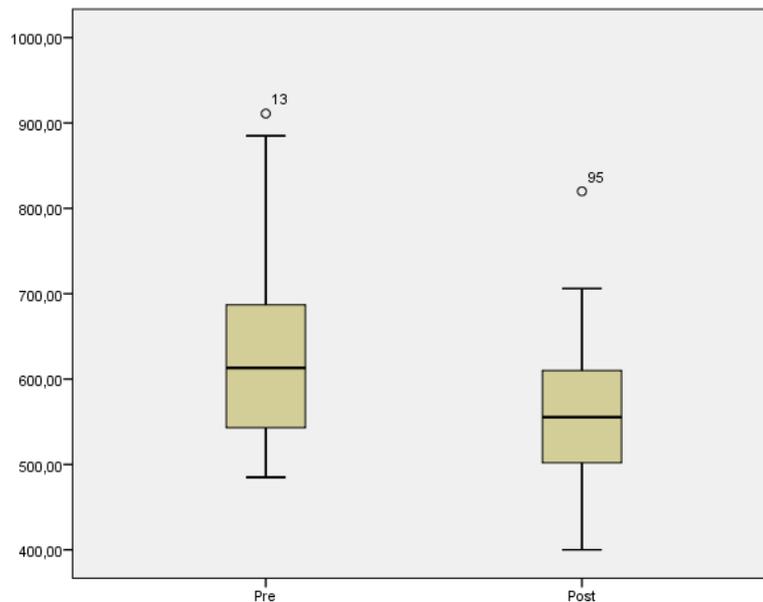


Figura 44. Diagrama de tallo y hojas del TR pre y post del grupo experimental 3

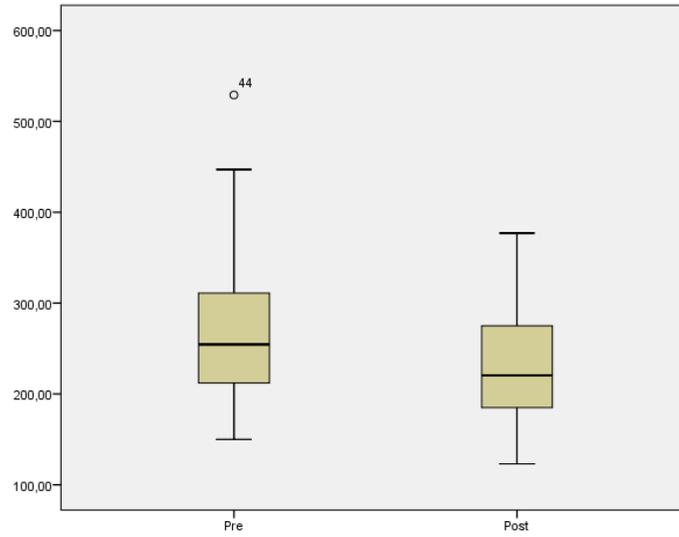


Figura 45. Diagrama de tallo y hojas del TRM pre y post del grupo experimental 3

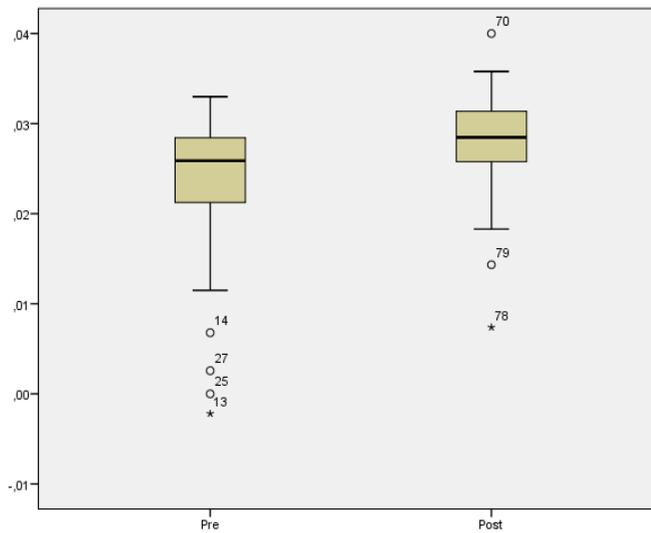


Figura 46. Diagrama de tallo y hojas de la eficiencia pre y post del grupo experimental 3

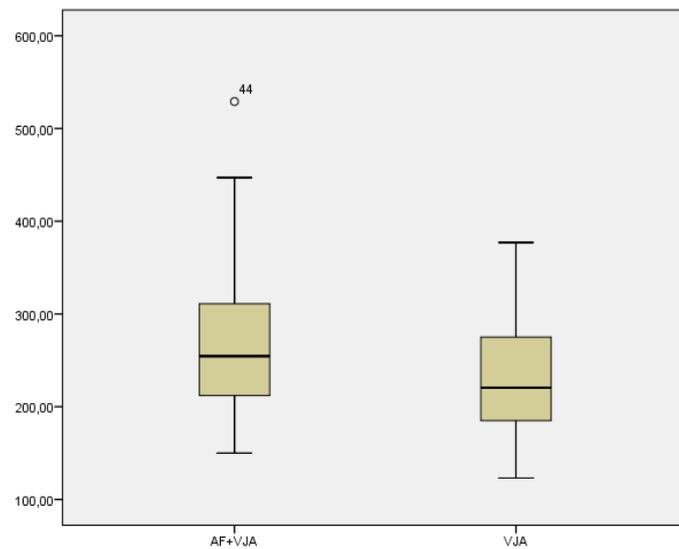


Figura 47. TRM en función de la actividad tras AF+VJA (1) y VJA (2) del grupo experimental 3

Debido a que la variable TR post tratamiento en la condición AF+VJA fue no paramétrica se realizó una prueba de Wilcoxon en la que se comparó esta puntuación con el TR pre tratamiento en la misma condición AF+VJA. Los resultados mostraron diferencias significativas ($Z=-3,290$; $p=,001$), confirmando una mejora del TR post, en línea con los resultados obtenidos en el MLG.

Tabla 40. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon del TR post VJA y post AF+VJA en el grupo experimental 3

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
TR post VJA –	Rangos negativos	7 ^a	8,71	61,00	-3,290 ^b	,001
TR post AF+VJA	Rangos positivos	10 ^b	9,20	92,00		
	Empates	0 ^c				
	Total	17				

b. TR post VJA > TR post AF+VJA

3.2.4.2. Análisis inferencial de la flexibilidad cognitiva post-tratamiento en función de la actividad

Para realizar este análisis se compararon las puntuaciones post tratamiento (puesto que la medida se realizó únicamente tras la actividad) de la flexibilidad cognitiva: respuestas correctas, % errores, % respuestas perseverativas, % errores perseverativos, % errores no perseverativos y % respuestas conceptuales; en función de la actividad realizada. Como las actividades realizadas cambiaron en función del grupo experimental se realizó un análisis para cada grupo. En el 1 se compararon las actividades AF y AF+VJA, en el 2 las actividades AF y VJA y en el 3 AF+VJA y VJA.

3.2.4.2.1. Análisis inferencial de la flexibilidad cognitiva post del grupo experimental 1 (AF / AF+VJA)

Para determinar si las variables de la flexibilidad cognitiva eran paramétricas o no paramétricas realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov para cada este grupo experimental. Los resultados mostraron el ajuste a la normal de todas las puntuaciones.

Tabla 41. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la flexibilidad cognitiva en el grupo experimental 1 (AF y AF+VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
Respuestas correctas (AF)	16	74,62	15,27	,12	,200	Paramétrica
Respuestas correctas (AF+VJA)	16	72,81	16,62	,18	,200	Paramétrica
% de errores (AF)	16	103,81	13,52	,09	,200	Paramétrica
% de errores (AF+VJA)	16	105,25	16,59	,15	,200	Paramétrica
% respuestas perseverativas (AF)	16	104,19	10,61	,14	,200	Paramétrica
% respuestas perseverativas (AF+VJA)	16	102,25	18,06	,18	,200	Paramétrica
% errores perseverativos (AF)	16	104,06	10,99	,17	,200	Paramétrica
% errores perseverativos (AF+VJA)	16	103,19	18,58	,14	,200	Paramétrica
% errores no perseverativos (AF)	16	101,12	12,19	,19	,132	Paramétrica
% errores no perseverativos (AF+VJA)	16	107,62	14,16	,13	,200	Paramétrica
% respuestas conceptuales (AF)	16	103,44	12,95	,10	,200	Paramétrica
% respuestas conceptuales (AF+VJA)	16	103,37	14,87	,10	,200	Paramétrica

Realizamos MLG de medidas repetidas puesto que todas las variables de la flexibilidad cognitiva fueron paramétricas. Como variable independiente se consideró la actividad realizada (AF-AF+VJA) y como variables dependientes las variables de la flexibilidad cognitiva. La prueba de los contrastes multivariados no mostró diferencias significativas: ($p = ,300$; $\lambda = ,542$; $F = 1,410$; $g.l = 6$; η^2 parcial = $,458$; $1-\beta = ,331$). Así mismo, la prueba de contrastes univariados tampoco mostró diferencias significativas entre las medidas post de las mismas variables.

Tabla 42. Resultados de los contrastes univariados de la flexibilidad cognitiva del grupo experimental 1 en función de la actividad (AF y AF+VJA)

Medida	SC III	GI	M.C	F	Sig.	η^2 parcial	1- β
Respuestas correctas	26,28	1	26,28	,12	,741	,008	,06
% errores	16,53	1	16,53	,06	,812	,004	,06
% respuestas perseverativas	30,03	1	30,03	,11	,743	,007	,06
% errores perseverativos	6,12	1	6,12	,02	,894	,001	,05
% errores no perseverativos	338,00	1	338,00	3,07	,101	,17	,38
% respuestas conceptuales	,03	1	,03	,001	,992	,001	,05

3.2.4.2.2. Análisis inferencial de la flexibilidad cognitiva post del grupo experimental 2 (AF / VJA)

Para determinar si las variables de la flexibilidad cognitiva eran paramétricas o no paramétricas en este grupo experimental realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov. Los resultados mostraron el ajuste a la normal de las puntuaciones a excepción de las respuestas correctas después de VJA.

Tabla 43. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la flexibilidad cognitiva en el grupo experimental 2 (AF y VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
Respuestas correctas (AF)	16	68,87	16,59	,16	,20	Paramétrica
Respuestas correctas (VJA)	16	72,12	17,04	,22	,03	No Paramétrica
% de errores (AF)	16	96,44	14,88	,13	,20	Paramétrica
% de errores (VJA)	16	100,10	13,49	,11	,20	Paramétrica
% respuestas perseverativas (AF)	16	103,87	17,25	,18	,20	Paramétrica
% respuestas perseverativas (VJA)	16	100,44	13,68	,19	,11	Paramétrica
% errores perseverativos (AF)	16	103,69	17,75	,19	,13	Paramétrica
% errores perseverativos (VJA)	16	99,62	12,78	,20	,08	Paramétrica
% errores no perseverativos (AF)	16	88,12	13,90	,14	,20	Paramétrica
% errores no perseverativos (VJA)	16	100,56	16,99	,13	,20	Paramétrica
% respuestas conceptuales (AF)	16	95,37	16,27	,17	,20	Paramétrica
% respuestas conceptuales (VJA)	16	98,87	14,26	,12	,20	Paramétrica

Para este grupo realizamos MLG de medidas repetidas y Wilcoxon para comparar entre respuestas correctas tras VJA y respuestas correctas tras AF.

La prueba de contrastes multivariados del MLG no mostró diferencias significativas entre las medidas post de la flexibilidad cognitiva en función de las actividades realizadas por el grupo experimental 2 (AF-VJA) ($p = ,217$; $\lambda = ,494$; $F = 1,707$; $g.l = 6$; η^2 parcial = $,506$; $1-\beta = ,397$). La prueba de contrastes univariados mostró diferencias significativas en el porcentaje de errores no perseverativos ($p = ,03$)

Tabla 44. Resultados de los contrastes univariados de la flexibilidad cognitiva del grupo experimental 2 en función de la actividad (AF y VJA)

Medida	SC III	GI	M.C	F	Sig.	η^2	$1-\beta$
Respuestas correctas	84,50	1	84,50	,62	,442	,04	,11
% errores	101,53	1	101,53	,55	,476	,03	,11
% respuestas perseverativas	94,53	1	94,53	,47	,503	,03	,10
% errores perseverativos	132,03	1	132,03	,69	,424	,04	,12
% errores no perseverativos	1237,53	1	1237,53	5,57	,030	,27	,60
% respuestas conceptuales	98,00	1	98,00	,45	,512	,03	,10

A continuación, se indican los descriptivos marginales de la variable con diferencias significativas: el porcentaje de errores no perseverativos y la representación de tallos y hojas de éstas.

Tabla 45. Descriptivos del porcentaje de errores no perseverativos post AF y VJA del grupo experimental 2

Medida	Actividad	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
% errores no perseverativos	AF	88,125	3,475	80,719	95,531
	VJA	100,563	4,249	91,505	109,620

A continuación, el gráfico describe las diferencias.

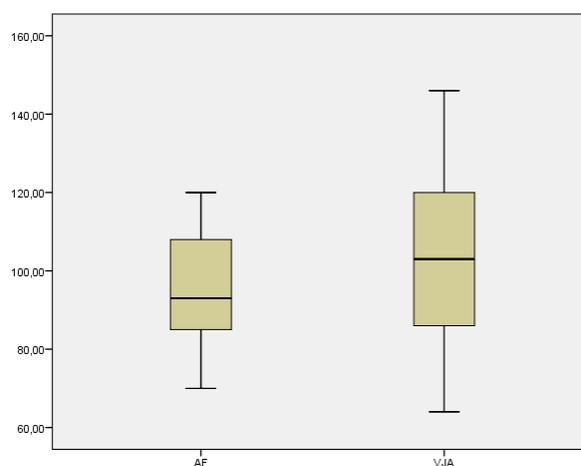


Figura 48. Diagrama de tallo y hojas del porcentaje de errores no perseverativos en función de la actividad del grupo experimental 2

Realizamos, como se indicó anteriormente, la prueba de Wilcoxon para comparar entre respuestas correctas tras VJA y respuestas correctas tras AF. Los resultados no mostraron diferencias significativas ($Z = -0,672$; $p = 0,501$), en línea con los obtenidos en las pruebas paramétricas

Tabla 46. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon de las respuestas correctas tras VJA y tras AF en el grupo experimental 3

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
Respuestas correctas VJA – Respuestas correctas AF	Rangos negativos	7 ^a	7,86	55,00	-0,672 ^b	,501
	Rangos positivos	9 ^b	9,00	81,00		
	Empates	0 ^c				
	Total	16				

b. Respuestas correctas VJA > Respuestas correctas AF

3.2.4.2.3. Análisis inferencial post de la flexibilidad cognitiva del grupo experimental 3 (AF+ VJA / VJA)

Al igual que con los grupos anteriores realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov para determinar si las variables de la flexibilidad cognitiva eran paramétricas o no paramétricas en este grupo experimental. Los resultados mostraron el ajuste a la normal de las puntuaciones a excepción del porcentaje de errores no perseverativos tras AF+VJA.

Tabla 47. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la flexibilidad cognitiva en el grupo experimental 3 (VJA y AF+VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
Respuestas correctas (VJA)	16	70,65	8,43	,20	,082	Paramétrica
Respuestas correctas (AF+VJA)	16	78,77	8,16	,12	,200	Paramétrica
% de errores (VJA)	16	112,00	24,97	,20	,082	Paramétrica
% de errores (AF+VJA)	16	103,71	15,43	,19	,111	Paramétrica
% respuestas perseverativas (VJA)	16	113,12	20,43	,16	,200	Paramétrica
% respuestas perseverativas (AF+VJA)	16	106,76	13,46	,11	,200	Paramétrica
% errores perseverativos (VJA)	16	112,47	21,79	,19	,121	Paramétrica
% errores perseverativos (AF+VJA)	16	106,65	13,90	,10	,200	Paramétrica
% errores no perseverativos (VJA)	16	108,41	26,45	,19	,100	Paramétrica
% errores no perseverativos (AF+VJA)	16	99,12	17,08,	,23	,010	No Paramétrica
% respuestas conceptuales (VJA)	16	24,80	16,27	,16	,200	Paramétrica
% respuestas conceptuales (AF+VJA)	16	15,60	14,26	,13	,200	Paramétrica

Para el grupo experimental 3 realizamos MLG de medidas repetidas y Wilcoxon para comparar entre el porcentaje de errores no perseverativos tras AF + VJA y el porcentaje de errores no perseverativos tras VJA. La prueba de contrastes multivariados del MLG no mostró diferencias significativas entre las medidas post ($p = ,150$; $\lambda = ,477$; $F = 2,006$; g.l hipótesis= 6; η^2 parcial= ,523; $1-\beta = ,483$). Los resultados de los contrastes univariados mostraron efectos de la actividad sobre las respuestas correctas ($p = ,010$).

Tabla 48. Resultados de los contrastes univariados de la flexibilidad cognitiva del grupo experimental 3 en función de la actividad (AF+VJA y VJA)

Medida	SC III	GI	M.C	F	Sig.	η^2	1- β
Respuestas correctas	560,118	1	560,118	8,585	,010	,349	,785
% errores	584,735	1	584,735	1,426	,250	,082	,202
% respuestas perseverativas	343,059	1	343,059	1,344	,263	,077	,193
% errores perseverativos	288,265	1	288,265	,910	,354	,054	,146
% errores no perseverativos	734,235	1	734,235	1,326	,266	,077	,192
% respuestas conceptuales	706,618	1	706,618	2,098	,167	,116	,275

A continuación, se indican los descriptivos marginales de la variable respuestas correctas en función de la actividad (AF+VJA – VJA).

Tabla 49. Descriptivos del porcentaje de respuestas correctas post AF +VJA y VJA del grupo experimental 3

Medida	Actividad	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Respuestas correctas	AF+VJA	78,765	1,979	74,570	82,960
	VJA	70,647	2,045	66,311	74,983

Seguidamente, el gráfico describe las diferencias.

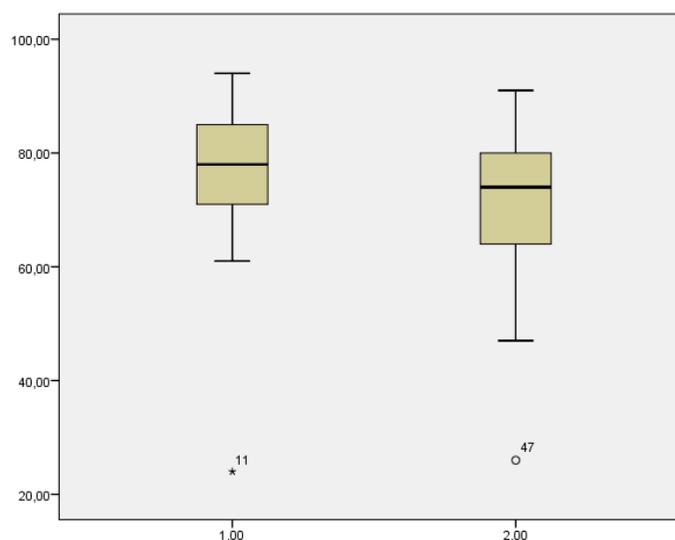


Figura 49. Diagrama de tallo y hojas de las respuestas correctas en función de la actividad del grupo experimental 3.

Así mismo, y debido a la falta de ajuste a la normalidad, se realizó la prueba de Wilcoxon para comparar entre el porcentaje de errores no perseverativos tras AF + VJA y el porcentaje de errores no perseverativos tras VJA. Los resultados no mostraron diferencias significativas ($Z = -1,113$; $p = ,266$), en línea con los obtenidos en las pruebas paramétricas

Tabla 50. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon del porcentaje de errores no perseverativos en función de la actividad en el grupo experimental 3

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
% errores no perseverativos AF+VJA –	Rangos negativos	6 ^a	8,83	53,00	-1,113 ^b	,266
% errores no perseverativos VJA	Rangos positivos	11 ^b	9,09	100,00		
	Empates	0 ^c				
	Total	17				

b. % errores no perseverativos VJA > % errores no perseverativos AF+VJA

3.2.4.3. Análisis inferencial de la percepción subjetiva de esfuerzo (PSE) en función de la actividad

Al igual que en el análisis de la flexibilidad cognitiva, para analizar la PSE en función de la actividad realizada se compararon las puntuaciones post tratamiento (puesto que la medida se realizó únicamente tras la actividad) en función de la actividad realizada. Como las actividades realizadas cambiaron en función del grupo experimental se realizó un análisis para cada grupo. En el 1 se compararon las actividades AF y AF+VJA, en el 2 las actividades AF y VJA y en el 3 AF+VJA y VJA.

Análisis inferencial de la PSE post del grupo experimental 1 (AF / AF+VJA)

Realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov de la PSE en función de la actividad (AF/ AF+VJA). Las variables no se ajustaron a la normalidad, por lo que aplicamos estadísticos de contraste no paramétricos (Wilcoxon). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < ,001$), siendo mayor la PSE tras AF en comparación con tras AF+VJA.

Tabla 51. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la PSE en el grupo experimental 1 (AF y AF+VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
PSE (Post AF)	16	5,25	,77	,27	,003	No Paramétrica
PSE (Post AF+VJA)	16	2,56	,81	,26	,006	No Paramétrica

Tabla 52. Resultados de la prueba de Wilcoxon de la PSE tras AF y tras AF+VJA.

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
PSE (AF+VJA)	Rangos negativos	16 ^a	8,50	136,00	-3,580 ^b	<,001
- PSE (AF)	Rangos positivos	0 ^b	,00	,00		
	Empates	0 ^c				
	Total	16				

b. PSE (AF+VJA) > PS (AF)

A continuación, se indican los descriptivos marginales de la variable PSE en función de la actividad (AF - AF+VJA).

Tabla 53. Descriptivos del porcentaje de respuestas correctas post AF +VJA y VJA del grupo experimental 1.

Medida	Actividad	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
PSE	AF	5,250	,194	4,837	5,663
	AF+VJA	2,563	,203	2,129	2,996

Seguidamente, el gráfico describe las diferencias.

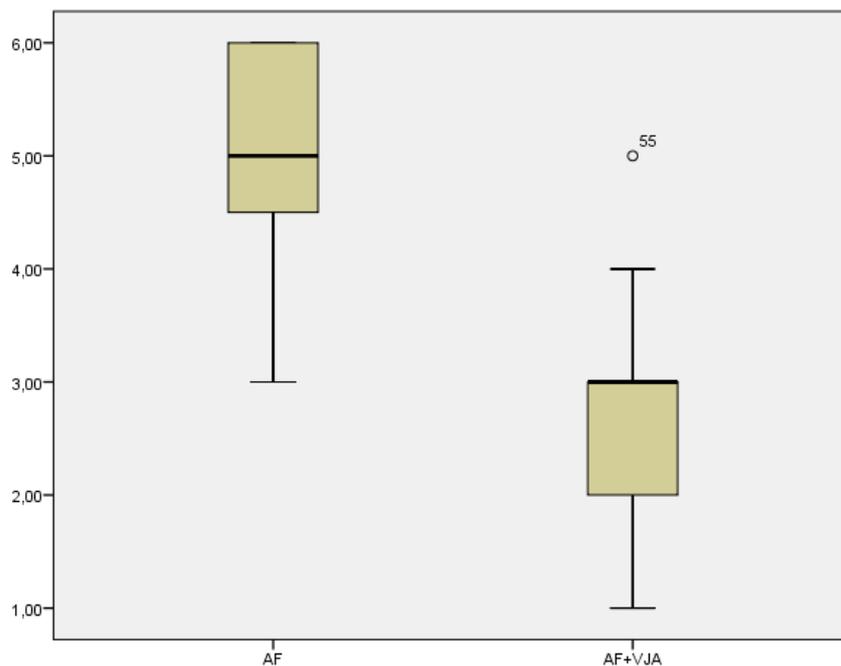


Figura 50. Diagrama de tallo y hojas de la PSE en función de la actividad del grupo experimental 1

Análisis inferencial de la PSE post del grupo experimental 2 (AF / VJA)

Realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov de la PSE en función de la actividad (AF/ VJA). Las variables no se ajustaron a la normalidad, por lo que aplicamos estadísticos de contraste no paramétricos (Wilcoxon). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < ,001$), siendo mayor la PSE tras AF en comparación con tras VJA.

Tabla 54. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la PSE en el grupo experimental 2 (AF y VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Análisis
PE (Post AF)	16	4,94	1,06	,22	,043	No Paramétrica
PE (Post VJA)	16	1,81	,75	,24	,020	No Paramétrica

Tabla 55. Resultados de la prueba de Wilcoxon de la PSE tras AF y VJA.

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
PSE (VJA)	Rangos negativos	16 ^a	8,50	136,00	-3,550 ^b	<,001
- PSE (AF)	Rangos positivos	0 ^b	,00	,00		
	Empates	0 ^c				
	Total	16				

b. PSE (AF) > PS (VJA)

A continuación, se indican los descriptivos marginales de la variable PSE en función de la actividad (AF - AF+VJA).

Tabla 56. Descriptivos del porcentaje de respuestas correctas post AF +VJA y VJA del grupo experimental 2.

Medida	Actividad	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
PSE	AF	4,938	,266	4,371	5,504
	VJA	1,813	,188	1,413	2,212

Seguidamente, el gráfico describe las diferencias.

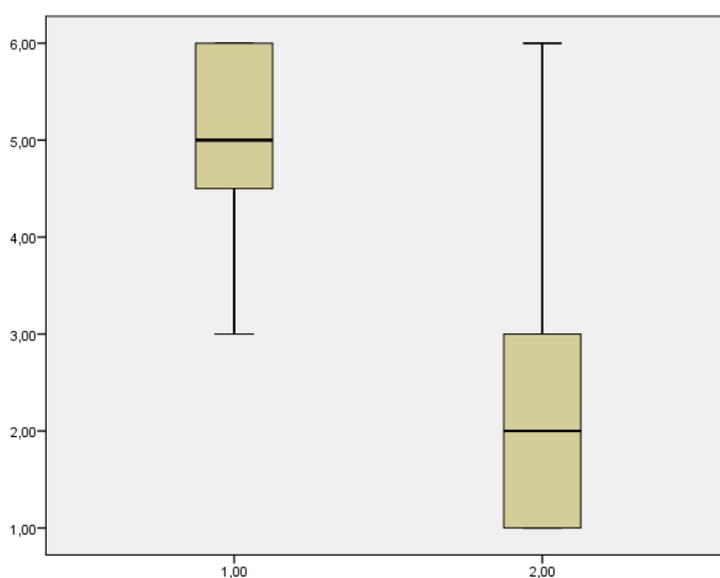


Figura 51. Diagrama de tallo y hojas de la PSE en función de la actividad del grupo experimental 2

Análisis inferencial de la PSE post del grupo experimental 3 (AF+VJA / VJA)

Realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov de la PSE en función de la actividad (AF+VJA/ VJA). Las variables no se ajustaron a la normalidad, por lo que aplicamos estadísticos de contraste no paramétricos (Wilcoxon). Los resultados no mostraron diferencias significativas ($p < ,231$), siendo similar la PSE tras AF+VJA que tras VJA.

Tabla 57. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la PSE en el grupo experimental 3 (VJA y AF+VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
PE (Post VJA)	16	2,76	1,03	,25	,008	No Paramétrica
PE (Post AF+VJA)	16	2,35	1,41	,24	,010	No Paramétrica

Tabla 58. Resultados de la prueba de Wilcoxon de la PSE tras AF+VJA y VJA.

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
PSE (VJA) – PSE (AF+VJA)	Rangos negativos	9 ^a	6,00	54,00	-1,198 ^b	,231
	Rangos positivos	3 ^b	8,00	24,00		
	Empates	5 ^c				
	Total	17				

b. PSE (VJA) > PS (AF+VJA) Percepcion de esfuerzo_J > Percepcion de esfuerzo_AFJ

A continuación, se indican los descriptivos marginales de la variable PSE en función de la actividad (AF + VJA - VJA).

Tabla 59. Descriptivos del porcentaje de respuestas correctas post AF+VJA y VJA del grupo experimental 3.

Medida	Actividad	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
PSE	AF+VJA	2,765	,250	2,234	3,296
	VJA	2,353	,342	1,627	3,079

Seguidamente, el gráfico describe las diferencias.

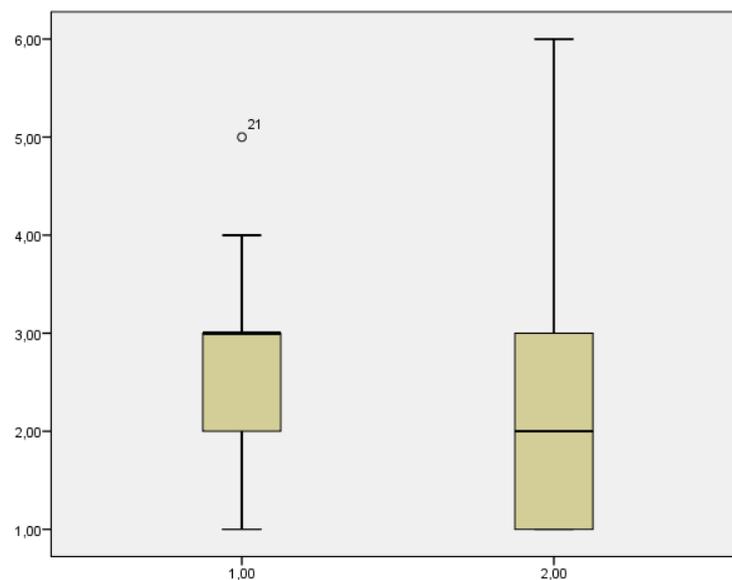


Figura 52. Diagrama de tallo y hojas de la PSE en función de la actividad del grupo experimental 3

3.2.5. DISCUSIÓN

En este segundo estudio pretendíamos profundizar en el conocimiento de los efectos agudos de diferentes tipos de ejercicio aeróbico sobre las funciones cognitivas en una muestra de adultos mayores.

Acorde al primer estudio y a los conceptos teóricos que se ha hecho referencia en la introducción de este trabajo, se diseñaron los tres tratamientos experimentales con los que se trabajó: AF, AF+VJA y VJA. La primera hipótesis sugiere que la práctica de AF, AF+VJA y VJA produce una mejora en el TRC. La segunda hipótesis ha consistido en comprobar si la mejora en el TRC empleado por los sujetos resultaba significativa entre AF y AF+VJA, a favor de la segunda. La tercera hipótesis específica sugiere que la práctica de AF+VJA produce una mayor mejora en la flexibilidad cognitiva, que la práctica de AF. Finalmente, la cuarta hipótesis propone una menor PE después de AF+VJA, que de AF.

En cuanto a la respuesta de los sujetos, se ha medido la mejora en el tiempo de reacción complejo, la flexibilidad cognitiva como variable dependiente correspondiente a uno de los componentes fundamentales de las FFEE y la PE. Futuras investigaciones, donde se tenga en cuenta el nivel neuroanatómico de las FFEE en diversos tipos de ejercicios, contribuirían a comprender mejor este sistema complejo. Por ello, hemos tratado de realizar una medida más ambiciosa de las FFEE añadiendo la variable dependiente flexibilidad cognitiva en una muestra de adultos mayores.

Haciendo referencia a los resultados obtenidos en la variable PE, podríamos establecer relaciones entre el grado fatiga cognitiva producida por la carga del estímulo y algunos componentes de las FFEE que actúan como distractores.

A continuación, se tratará de discutir las hipótesis que fueron planteadas.

3.2.5.1. Efectos agudos de la actividad física aeróbica, la actividad física aeróbica con videojuego activo y solo videojuego activo, sobre el tiempo de reacción complejo

Los resultados obtenidos respecto al efecto que produce la AF, AF+VJA y VJA sobre el TRC, fueron significativos durante las dos fases del TRC (TR y TRM) y la eficacia ($p < .001$). Este hecho hace referencia a la primera hipótesis específica, verificando que los tres tratamientos experimentales producen una mejora o disminución del TRC. Por lo tanto, en este estudio se confirman los resultados de investigaciones anteriores acerca de la mejora en el TRC después de practicar actividad física aeróbica a una intensidad moderada (Adam, Teeken, Ypelaar, Verstappen, y Paas, 1997; Arcelina, Deslignières, Brisswalter, 1998; Chmura, Krysztofiak, Ziembra, Nazar, Kaciuba-Uscilko, 1998; Davranche, Audiffren, y Denjean, 2006; McMorris y Graydon, 1996; Paas y Adam, 1991; Pesce, Capranica, Tessitore, y Figura, 2002; Pesce, Casella, y Capranica, 2004; y Orellana, 2009).

En el colectivo de gente mayor, el ejercicio físico ejerce un efecto beneficioso sobre el TR al mejorar el rendimiento cognitivo. Todos los factores psicológicos que supongan en mayor grado un procesamiento cognitivo de la información y resolución de problemas, parecen verse afectados positivamente por la práctica de actividad física. Los estudios demuestran un efecto potente del entrenamiento de la condición física a la hora de mejorar ciertos procesos cognitivos como la toma de decisiones, la memoria y la solución de problemas, los cuales pueden ser importantes para un riesgo posterior de demencia (Colcombe y Kramer, 2003; Hamer y Chida, 2009). Tal y como observamos en el primer estudio, a pesar de la diferencia de edad seguimos obteniendo una mejora del TRC después de la práctica de AF y VJA, también con los adultos mayores. Este hecho podría estar relacionado con el concepto de "*reserva cognitiva*", la cual hace referencia a la capacidad del cerebro para afrontar los cambios cerebrales producidos por el envejecimiento normal o por un proceso neuropatológico, que contribuye a disminuir sus manifestaciones clínicas. Es una capacidad dinámica e inestable del cerebro que cambia y permanece durante toda la vida (Meng y D'Arcy, 2012). La reserva cognitiva, o la habilidad del cerebro para tolerar mejor los efectos del envejecimiento, puede ser el resultado de una habilidad innata o de los efectos de las experiencias vividas, tales como la educación o la ocupación laboral (Manly, Touradji, Tang y Stern, 2003). Siguiendo esta línea, la reserva cognitiva se considera como un mecanismo activo basado en la aplicación de los recursos aprendidos gracias a una buena educación, profesión, actividad física e inteligencia pre-mórbida (Stern, Albert, Tang y

Tsal, 1999). Por lo tanto, en esta investigación los participantes són consideradas personas con alta reserva cognitiva gracias a la ocupación que han desempeñado durante su vida laboral, su nivel de estudios académicos y los hábitos de vida saludables que desempeñan en la actualidad, tal y como la práctica de AF. Estos datos fueron registrados en las preguntas que se realizaron antes de los tet de TRC y flexibilidad cognitiva. En el cerebro, esta reserva se implementa a través de redes que, ante una tarea de alta demanda cognitiva, serán más eficientes y tendrán más capacidad. Cuando la demanda de la tarea es baja, las personas con alta reserva mostrarán una menor activación neural que aquellas con menos reserva, es decir, para realizar esta tarea necesitan menos recursos cerebrales. Sin embargo, esta observación se invierte cuando la demanda de la tarea es alta, ya que en las personas con alta reserva se evidenciará una activación neural mayor en función del aumento de la demanda, mientras que en aquellas con baja reserva se excederá la capacidad máxima de la red específica, de manera que no podrán responder el aumento de la demanda de la tarea con un aumento en la actividad neural (Redolar et al., 2015).

Acorde a los diferentes tipos de práctica de AF utilizados en este segundo estudio, se piensa que la participación en actividades cognitivamente estimulantes contribuye a la reserva cognitiva (Wilson et al., 2003). De hecho, si la reserva cognitiva se basa en el nivel de eficacia y flexibilidad de los sistemas cognitivos, parece probable que el uso frecuente de estos sistemas en tareas que impliquen un reto intelectual estaría asociado con un nivel de reserva cognitiva más alto (Stern, 2002). Un estudio realizado por (Zabar et al., 1996), evaluó el tiempo que un grupo de personas dedicaban a participar en actividades complejas (tocar un instrumento musical, hacer manualidades, etc.) y en actividades básicas (comer, vestirse, etc.), los resultados mostraron que el participar regularmente en actividades complejas frente a las simples reduce en dos años el riesgo de desarrollar demencia. Obviamente, los aspectos culturales diferenciables y la complejidad de este último tipo de actividades hacen que se deba de precisar más que tipo de actividades (simples o complejas) y que durabilidad son necesarias. En la misma línea, (Fabrigoule et al., 1995) observaron que actividades como viajar, realizar trabajos complejos y tejer estaban asociados con un bajo riesgo de demencia. Aquellos ancianos que tienen más actividades de ocio presentan un 38% menos de riesgo de desarrollar demencia, y el riesgo se reduce un 12% aproximadamente por cada actividad de ocio adoptada (Scarmeas et al., 2001).

El resultado de esta investigación tiene importancia tanto para el ámbito de la salud, puesto que un adecuado tiempo de reacción aumenta la adaptación de la persona

al entorno y por lo tanto su bienestar, como para el mundo del deporte de alto rendimiento, ya que son muchos los deportes en los que el TRC de los deportistas es clave para un correcto y óptimo rendimiento (Callardeau, Brisswalter, Vercreuyssen, Audiffren y Goubault, 2001; Pesce et al., 2004; Williams y Ford, 2008; Nakamoto y Mori, 2008; Fontani, 2009; y Thomson et al., 2009). No podemos olvidar que este beneficio, no solamente es aplicable al ámbito de la alta competición, sino también al deporte y la actividad física en general y a otros ámbitos, ya que el TRC es relevante en otros aspectos de la vida diaria. Por lo tanto, de este resultado se pueden beneficiar tanto deportistas de élite, como personas sanas que intenten mantener un nivel de salud óptimo, o incluso diferentes afectados por algún tipo de patología o enfermedad, de ahí la relevancia del resultado que esta investigación ha tratado de demostrar.

A pesar de que una de las actividades de ocio más estudiadas es el ejercicio físico, varios estudios han mostrado una asociación positiva entre la actividad física y el funcionamiento cognitivo en personas mayores (Chodzko-Zajko y Moore, 1994). Uno de los mecanismos por los cuales la actividad física puede ser beneficiosa para la cognición es que dicha actividad estimula los factores tróficos y el crecimiento neuronal, posiblemente proporcionando una reserva contra la degeneración y la demencia (Gómez-Pinilla et al., 1998; Van Praga et al., 1999). Otros autores (Dik et al., 2003), encontraron en sus estudios una relación importante entre la actividad física en las primeras etapas de la vida, independientemente de la actividad física actual, con la velocidad de procesar información. Esto sugiere que los individuos físicamente activos en las primeras etapas de su vida pueden beneficiarse de ello, en términos de una mayor VPI en la vejez. También de acuerdo con los resultados de algunas investigaciones anatómicas y fisiológicas, el efecto positivo del ejercicio físico también ha sido relacionado con una menor atrofia asociada con la edad en estudios de resonancia electromagnética, incluso con patrones diferenciales de activación, lo que sugiere una mejora en la plasticidad funcional cerebral. Por otro lado, tanto el ejercicio físico como la estimulación cognitiva regulan factores que incrementan la neuroplasticidad y la resistencia a la muerte celular. Por ejemplo, se han encontrado aumentos de volumen cerebral en sustancia gris y sustancia blanca cerebral con el ejercicio aeróbico durante 6 meses por personas mayores, en comparación con personas que no lo realizaron. Estos resultados, evidencian la idea de que los datos de la neurociencia y la psicología cognitiva están directamente relacionados entre sí, tal y como se ha aclarado anteriormente en el apartado de fundamentación teórica.

Por otra parte, y más en la línea de los principales propósitos de la presente tesis doctoral, nuestro estudio, en la línea de otros trabajos anteriores (Colcombe y Kramer, 1999), pensamos que la función ejecutiva aparece más sensible que otros aspectos de la cognición ante un entrenamiento aeróbico. La relación entre la AF y la VPI se basa en la evidencia de que el ejercicio aeróbico mejora el rendimiento cognitivo, de forma selectiva en los adultos mayores y en niños, y conduce a los correspondientes incrementos en la actividad de la corteza prefrontal. No obstante, tras los resultados de esta investigación, pudimos deducir que la mejora del TRC implicaría una mejora parcial en la VPI de los participantes. Por otra parte, Colcombe y Kramer (2003) hicieron una metanálisis para examinar la influencia de factores moduladores, con estudios publicados entre 1966 y 2001, con adultos mayores de 55 años de edad. Encontraron un efecto significativo del entrenamiento con ejercicio aeróbico, el cual fue más pronunciado para tareas que implicaban procesos de control ejecutivo (por ejemplo, planear, memoria de trabajo, control de interferencias y coordinación de tareas). Además, el estudio reveló que hay otras variables que pueden influir en la relación de la condición física entrenada y la cognición, como pueden ser los programas de entrenamiento aeróbico combinados con ejercicios de flexibilidad y fuerza, y no solamente el ejercicio aeróbico.

Además de lo referido anteriormente y acorde a esta primera hipótesis, el ejercicio contribuye a la estimulación que las funciones sensoriales de sensación y percepción (Zarit y Zarit, 1989). Por ejemplo, se puede mejorar tanto la sensación exteroceptiva como la propioceptiva. También mejora la percepción de sí mismo, el autoconcepto, es más positivo al mejorar la composición corporal y la eficacia funcional; se reduce el TR (Hunter, Thompson y Adams, 2001); y con la práctica de AF, el TR de los mayores se puede mejorar (Cleland, 2001). Tanto los procesos cognitivos de memoria (Kramer, Hahn y McAuley, 2000) como los procesos implicados en la atención (Khatri et al., 2001) pueden mejorar con el ejercicio, evitando los deterioros en estos factores propios del envejecimiento. Dik et al. (2003), encontraron que niveles altos de actividad física en la edad temprana (de los 15 a los 25 años) se asociaban con mayor VPI entre 62 y 85 años de edad. Trabajos realizados por Spirduso (1975) mostraron que el entrenamiento cardiorespiratorio intensivo tiene un impacto positivo en el mantenimiento del TR en personas mayores. Un trabajo más reciente realizado por Themanson y Hillman (2006), indicó que la condición física cardiorespiratoria, pero no el ejercicio aeróbico agudo, incrementa el control atencional. En ambos estudios, la actividad física tiene un efecto positivo sobre la cognición. Todos estos estudios aportan también resultados de que niveles moderados de actividad física y ejercicio pueden

tener beneficios en algunos procesos cognitivos en personas de mediana edad y gente mayor. Además, sugieren que la actividad física reduce el riesgo de padecer Alzheimer (Kramer et al., 2005).

Para finalizar este apartado, podemos concluir que involucrarse en actividades voluntarias complejas como la actividad física, mejora la reserva cognitiva. Este hecho podría ser debido a una gran variedad de procesos neurobiológicos, como la activación neuronal crónica, asociada con un aumento del trabajo del cerebro, mejor circulación de la sangre en la zona cerebral y mejor metabolismo de glucosa y oxígeno o incluso a través de una mayor habilidad para la generación de nuevas redes neuronales (Friedland, 1993). Finalmente, recordaremos que existen numerosas investigaciones acerca de los efectos crónicos de la actividad física sobre la función ejecutiva en poblaciones de niños y personas mayores, pero no acerca de los efectos agudos en los adultos mayores. Por ello, el segundo estudio que compone la presente tesis doctoral, ha tratado de valorar los efectos agudos de diferentes tipos de AF (con mayor o menor estímulo perceptivo y cognitivo) en una muestra adultos mayores. No obstante, los resultados obtenidos en esta investigación no son generalizables al conjunto de adultos mayores con otro perfil. Por esta razón se recomienda seguir, mejorar y ampliar esta línea de investigación del TRC y la actividad física, comparando así diferentes tipos de diseños, ejercicios y poblaciones, así como ampliando el número las muestras.

3.2.5.2. Efectos sobre el tiempo de reacción complejo en función de la actividad física aeróbica y de la actividad física aeróbica con videojuego interactivo

Tal y como se ha podido observar en el apartado anterior de resultados, el efecto sobre el TRC en función de AF y AF+VJA no mostró diferencias significativas en ninguna de sus fases (TR y TRM), ni en la eficiencia. Por ello, no se verificó la segunda hipótesis específica planteada en este segundo estudio experimental, según la cual se produce una mayor mejora en el TRC después de AF+VJA, que después de AF. Por lo tanto, gracias a esta investigación se realiza otra aportación científica en comparación a los resultados de investigaciones anteriores acerca de la mejora en el TRC después de practicar diferentes tipos de actividad física con mayor o menor estímulo perceptivo y cognitivomotor, en adultos mayores. Al igual que en la hipótesis anterior, esta falta de verificación no es extrapolable a una muestra de adultos mayores con otras características. Acorde a los resultados obtenidos en este estudio, éstos siguen siendo poco concluyentes, ya que otros estudios similares también han obtenido efectos no significativos. No obstante, la hipótesis de que el ejercicio aeróbico combinado con la

actividad cognitiva puede tener efectos más fuertes que el ejercicio aeróbico solo en variables relacionadas con la función ejecutiva, como el TRC, no está clara. Además, el tiempo que lleve realizar una tarea puede variar en función de su complejidad y de cuánta información hay que procesar para solucionarla. De este modo, tanto las propias características de la tarea como las circunstancias en las que se realiza pueden condicionar la necesidad o no, de una respuesta rápida. Ahora bien, además de ello, existen características propias del sujeto que influyen en la velocidad de realización de esa tarea.

Pensamos que pese a que la separación entre velocidad y procesos cognitivos (la atención) puede no ser absoluta, su estudio por separado está justificado empíricamente, ya que se ha mostrado la disociación entre velocidad y otros mecanismos cognitivos mediante técnicas de análisis factorial (Zomeren y Spikman, 2006). Además, permite establecer cierto orden en algunos aspectos teóricos acerca de la atención, pero sobretodo prácticos, ya que facilita el trabajo evaluador y rehabilitador. Recordamos que la VPI refleja la cantidad de información que puede ser procesada por unidad de tiempo o, incluso, la velocidad a la que pueden realizarse una serie de operaciones cognitivas. También se puede considerar como el tiempo que transcurre desde la aparición de un estímulo hasta la ejecución de una respuesta. Sería el resultado de la participación de un conjunto de variables independientes que contribuyen en un momento determinado a realizar la ejecución de una respuesta. La variable dependiente es el TR, pero para predecirla es preciso esclarecer cuáles son las variables independientes que la determinan (Ríos-Lago y Perriñez, 2010). Sin duda, nos encontramos ante una variable a la que se acude con frecuencia para explicar el rendimiento deportivo de los atletas. Por ello, es importante diferenciar entre VPI, TR y atención. La VPI se podría definir como el ritmo con el que, a igualdad de condiciones ambientales, un sujeto es capaz de realizar una tarea más rápidamente que otro, manteniendo (si es que esto fuese posible medirlo) las mismas operaciones cognitivas. Es preciso en este punto, remarcar la importancia de que las operaciones cognitivas que se han de realizar sean exactamente las mismas, ya que solo de este modo será posible comparar la VPI entre dos individuos. Por ello, a la hora de diseñar el protocolo y las pruebas del presente estudio experimental, se tuvieron en cuenta todos estos aspectos comentados anteriormente, tal y como hemos comentado anteriormente en el apartado de metodología y acorde a los fundamentos teóricos del primer apartado de la presente tesis doctoral.

Un ejemplo que podría ayudarnos a discutir esta diferencia conceptual sería el siguiente: imaginemos que dos personas (A y B) realizan la tarea (X) exactamente al mismo tiempo. Imaginemos también que para ello, A emplea cinco operaciones cognitivas, mientras que B utiliza solamente tres y llega al mismo resultado. En este caso el procesamiento de la información que han realizado ha seguido un camino distinto, por lo que solo tendremos una misma velocidad de respuesta, pero no sabremos cuál de las dos es más rápida procesando la información en cada una de las fases. Sólo si ambas realizan las mismas operaciones cognitivas estaremos en disposición de saber quién de ellas es más rápida en procesar la información. Por lo tanto, debemos de mostrar especial atención para no mezclar la VPI con otros procesos cognitivos como las FFEE. Posiblemente, la mejor manera de enfrentarse a la ejecución de una tarea y a la solución de un problema es algo que está estrictamente relacionado con las FFEE, tal y como hemos tratado en el marco teórico de la presente tesis doctoral. Así, una respuesta rápida no siempre implica VPI. Entonces, en igualdad de condiciones, ¿qué hace que un deportista sea más rápido que otro? Estamos de acuerdo con el resto de autores, en que a día de hoy no existe un consenso sobre qué mecanismos influyen en la VPI, por lo tanto, no podemos decir que la práctica de actividad física que influye en la cognición a través de múltiples vías, tuviera un efecto más fuerte que el ejercicio que se trabaja por un número de vías menor, en esta muestra de adultos mayores. Por lo que consideramos que son necesarias más investigaciones donde sea presente una medida más ambiciosa de las FFEE, así como la influencia de diferentes tipos de ejercicio sobre los diferentes componentes que las conforman, la actividad cerebral generada en diferentes áreas, etc.

Ante un fenómeno complejo como este, se establecen diferentes tipos de análisis. Por ejemplo, en lo que respecta a las neuronas, es posible describir mecanismos que afectan a la VPI. Las operaciones cerebrales ocurren en un rango entre 100 μ s a 1 ms. La escala de tiempo para los procesos cognitivos más elementales se encuentra en el orden de los 10 – 100 ms. Algunos autores se han centrado en describir qué mecanismos permiten una rápida velocidad de transmisión (Iles, 1977; Wyatt et al., 2005). Otros, por el contrario, han investigado las posibles alteraciones del SNC; por ejemplo, la alteración y el enlentecimiento en general de la transmisión sináptica (Birren, 1974), la disminución en los niveles de dopamina y acetilcolina (Rogers y Bloom, 1995), las disfunciones en el sistema noradrenérgico (Foote y Morrison, 1987) o, más recientemente, la hipótesis dopaminérgica asociada a la lesión frontal (Fernández-Duque y Posner, 2001), e incluso algunas centradas en la mielinización de modo que, por afectación de la velocidad de conducción axonal, la transmisión de

información entre dos puntos era más lenta y las respuestas del sujeto se ralentizan (Felts et al., 1997; Yakovlev y Lecours, 1967). Otros autores, basan sus explicaciones de la VPI en el patrón de ritmo alfa (actividad eléctrica) en el cerebro, que se ha señalado como un mecanismo central que pauta intervalos temporales para el funcionamiento adecuado de los procesos cognitivos (Vercruyssen, 1993; Klimesh et al., 1996). En el otro extremo y más en la línea de nuestra hipótesis, algunos investigadores señalan que la velocidad a la que puede realizarse una operación cognitiva elemental puede considerarse como un recurso de procesamiento, de modo que, como el tiempo es finito, cuanto más rápido sea, mejor será el nivel de ejecución cognitiva (Kail y Salthouse, 1994). Además, no es local o específica de su dominio, es decir, no está restringida a una serie de operaciones cognitivas similares, sino que es relevante en un amplio rango de procesos cognitivos (memoria operativa, control de la atención, nivel de "arousal", flexibilidad cognitiva, etc.).

Por otra parte, y en la línea de los hallazgos de la neurociencia cognitiva actual, no es posible olvidar la relación entre procesos cognitivos y la estructura en la que están implementados. Ward (2004), estudia el procesamiento automático y el controlado, tal y como lo describen (Schiffrin y Schneider, 1997): el controlado sería más sensible a los cambios, mientras que el procesamiento automático podría no verse afectado por ser más resistente a los cambios en velocidad (Ward, 2004; Schmitter y Rogers, 1997). Si se acepta que el cerebro procesa información mediante la activación de redes neuronales, es posible anticipar que algunos procesos implican la participación de amplias y complejas redes, lo que puede hacer que lleve más tiempo resolver el problema que con aquellos que implican una red muy sencilla. Por lo tanto, podemos deducir que las tareas más complejas pueden requerir una secuencia de activación de redes que aumente considerablemente el tiempo de procesamiento. Del mismo modo, el TRC es una capacidad altamente dependiente del SNC, pero, al igual que en el TRS, pueden diferenciarse dos fases o componentes. En primer lugar hay una fase de percepción y decisión con un componente perceptivo-cognitivo muy importante, llamada TR, o según Maezilli y Hutcherson (2002), tiempo premotor. Estos últimos autores, llaman tiempo premotor (componente cognitivo) a la latencia entre la identificación del impulso y el inicio de la activación del músculo. En segundo lugar, también existe el tiempo motor (componente motor), medido desde la activación inicial del músculo hasta la respuesta visible.

Sorprendentemente, en la segunda condición experimental referente a esta segunda hipótesis planteada (AF y VJA) en el presente estudio experimental, se obtuvo

una mejora significativa por parte del TRM. El TR representa los procesos que intervienen en la identificación del estímulo, la selección de la respuesta apropiada y la siguiente programación de la respuesta motriz; y el TRM representa el tiempo requerido para activar los mecanismos que intervienen en la contracción de los músculos periféricos. Dichas diferencias significativas entre el TR y el TRM de la segunda condición experimental, no nos permiten establecer relaciones entre los resultados obtenidos, los resultados obtenidos en otras investigaciones y los fundamentos teóricos en los que basamos nuestras hipótesis. Además, hay que mencionar que, dependiendo del tipo de actividad en la que intervenga este TRC, podemos encontrarnos con un componente más sensoriomotor y perceptivo, o también, coordinativo (cuando la actividad o tarea motriz sea de mayor dificultad y cuando más precisión y eficacia se exija) o nos encontraremos, en cambio, con un componente más físicomotor o condicional (cuando la tarea motriz sea fácil y no importe tanto la eficacia).

Finalmente, si relacionamos el TR con las FFEE, podríamos deducir que el TR puede ser una variable que cuantifique de alguna forma a las FFEE. Existen numerosas investigaciones que demuestran una clara y evidente relación entre estos dos conceptos, a nivel perceptivomotor y cognitivo. El TR es un elemento clave de las FFEE, ya que cuando se cuantifica se evalúan muchos de los componentes de esta, por lo tanto, cuando evaluamos el TR de una tarea se observa que entran en juego la mayoría de estos componentes, de ahí la naturaleza y el planteamiento de cada tarea. Estos componentes interactúan de forma compleja dependiendo de cada contexto, cada persona y cada momento, por lo tanto, el tiempo de reacción será una medida parcial de las FFEE. La mayoría de las investigaciones realizadas hasta el momento analizan a los participantes en situaciones artificiales de laboratorio para tratar de seleccionar y cuantificar cada componente, pero no en la vida diaria, lo cual simplifica el análisis y hace que no sea objetivo, fiable y eficaz. La dificultad de analizar las FFEE y así poder establecer una teoría o un modelo con mayor validez científica, está en poder controlar todos los parámetros cognitivos y fisiológicos en una situación real y comprender como interactúan entre sí, independientemente del contexto, la persona y el momento, y encontrando una coherencia lógica entre ellos. Para concluir, no se verificó que la práctica de actividad física que influye en la cognición a través de múltiples vías, tuviera un efecto más fuerte que el ejercicio que se trabaja por un número de vías menor, en esta muestra de adultos mayores, por lo que consideramos que son necesarias más investigaciones donde sea presente una medida más ambiciosa de las FFEE, así como la influencia de diferentes tipos de ejercicio sobre los diferentes componentes que las conforman.

3.2.5.3. Efectos de la actividad física aeróbica y de la actividad física aeróbica con videojuego activo sobre la flexibilidad cognitiva

Los resultados obtenidos respecto a la flexibilidad cognitiva mostraron un menor porcentaje de errores no perseverativos después de practicar AF, en comparación con solamente VJA y una diferencia significativa en el porcentaje de respuestas correctas después de practicar AF+VJA, en comparación con solamente VJA. Por lo tanto, tampoco fueron significativos respecto a la tercera hipótesis específica planteada en el presente estudio. A pesar de la no significación general en los resultados obtenidos, existe una falta de comprensión de los mecanismos por los que el ejercicio influye en los componentes del sistema de procesamiento de la información. A su vez, éstos se encuentran directamente relacionados con los componentes de las FFEE: la planificación y ejecución de secuencias de acción que conforman el comportamiento dirigido una meta, requiere la asignación de la atención y la memoria, la selección de respuesta y la inhibición, la fijación de objetivos, el uso de autocontrol, el grado de activación (arousal), la flexibilidad cognitiva, etc. Tal y como hemos hecho referencia en apartados anteriores, el concepto de FFEE posee una clara relación entre el procesamiento de la información y sus componentes. Todos ellos, interactúan de una forma compleja, dependiendo del tipo de estímulo, las diferentes respuestas, la intensidad, el tiempo de duración, etc. Actualmente se desconoce qué componentes de la FFEE se activan en cada momento de la vida diaria, así como la forma en la que interactúan entre ellos, debido a su complejidad. No obstante, numerosas investigaciones comienzan a realizar estudios en esta línea con el fin de poder evaluar de una forma más objetiva dichas variables.

Para contribuir a aportar nuevos datos que permitan aclarar dicha controversia, en este segundo estudio de la presente tesis doctoral se realizó una medida más exhaustiva de las FFEE, teniendo en cuenta el componente (flexibilidad cognitiva), a través de la realización del WCST. Para discutir nuestros resultados, y acorde con los resultados de la investigación que realizaron Budde et al. (2008), el ejercicio de coordinación compleja es probable que sea dependiente de los procesos cognitivos relacionados con las FFEE, ya que mejora el funcionamiento neural prefrontal. Cuanto más simple es el ejercicio repetitivo, menor activación se produce en la corteza prefrontal. Teniendo en cuenta estos resultados en relación a los obtenidos en nuestro estudio, futuras investigaciones susceptibles a los efectos agudos provocados por el ejercicio aeróbico, podrían consistir en examinar las diferencias en la actividad cerebral

(EEG o MRI) y el funcionamiento cognitivo, una vez realizados diferentes tipos de ejercicio. De esta forma, podríamos controlar y cuantificar con mayor precisión los componentes de las FFEE y las áreas cerebrales que intervienen, así como su compleja interacción. Investigaciones como las de (Moscovitch y Winocur, 2002; Della Rocchetta y Milner, 1993) sugieren que el recuerdo consciente de los elementos, se cree que depende de la corteza prefrontal, mediada por procesos cognitivos, tales como búsquedas estratégicas y con esfuerzo. Los autores suponen que las dos formas de ejercicio aeróbico condujeron a una excitación general y ello puede verse corroborado por los resultados del test de la memoria. Esta activación cognitiva específica probablemente se produjo gracias a una mayor interacción social y a la necesidad de aplicar las habilidades motoras de una manera estratégica. Por lo tanto, a la hora de realizar los diseños de futuras investigaciones, recomendaremos tener más en cuenta el factor “contexto”, con el fin de poder aplicar estos resultados a la vida cotidiana o las necesidades de cada individuo.

Otra de las razones por las que no encontramos diferencias significativas en nuestros resultados podría atribuirse a la falta de interacción social de los participantes durante el juego. A pesar de los resultados de las investigaciones realizadas sobre el efecto de los videojuegos activos en la función física y cognitiva (Maillot y Perrot, 2012) y su gran parecido con la nuestra, en futuras investigaciones se podría plantear el jugar contra otras personas y ver si existe un impacto significativo en las FFEE. Las conclusiones de estos estudios y la respectiva comparación con nuestros resultados, plantean la posibilidad de que el grado en que el ejercicio requiere cognición compleja, control y adaptación al movimiento, puede determinar su impacto en las FFEE. Por otra parte, es probable que ejercicios aeróbicos repetitivos requieran menos compromiso cognitivo, particularmente los relacionados con las FFEE, ya que hay poca necesidad de guiar la cognición y lograr una meta difícil, o de coordinar el cuerpo para ejecutar movimientos complejos. Estas diferencias en las demandas de las FFEE, nos inducen a pensar que el ejercicio complejo posee un efecto más fuerte sobre las FFEE, que el simple ejercicio, aunque en este estudio esta suposición no se verificó.

Acorde con esta tercera hipótesis planteada en esta investigación, otro estudio experimental reciente (Tomprowski et al., 2008) comparó un ejercicio aeróbico sencillo y repetitivo con los períodos de descanso. Si las formas complejas de ejercicio aeróbico facilitan las FFEE más que formas simples, las diferencias en el rendimiento de las FFEE después de practicar ejercicio sencillo y períodos de descanso, deberían ser más pequeñas. Los investigadores no encontraron mejoras en el rendimiento después de

caminar en relación con el rendimiento después de ver el video durante el descanso. No obstante, estas conclusiones apoyan nuestra tercera hipótesis y dan pie a futuras investigaciones más rigurosas donde se trate de controlar con más validez los diferentes componentes de las FFEE. Del mismo modo, Stroth et al. (2009) encontraron que 20 minutos de bicicleta estática a una intensidad moderada, con respecto a ver un video de un período de tiempo equivalente, no facilitó a los adolescentes (entre 13-15 años) la mejora del rendimiento de las FFEE, incluyendo la atención selectiva, la inhibición de ciertas respuestas y el mantenimiento de las reglas en la memoria de trabajo. El hecho de que hayan ciertas investigaciones que obtengan resultados a favor de nuestra hipótesis y otras muchas que no, crea la necesidad de continuar investigando en esta línea, ya que la ciencia no ha encontrado una respuesta válida hasta el momento y existe una falta de conocimiento. Se precisa una definición y una teoría de constructo de las FFEE, cuyos componentes sean claros y precisos. La participación en juegos cognitivamente complejos también debe ejercer un influjo positivo en las FFEE. Las investigaciones han apoyado esta propuesta, demostrando que los juegos computarizados creados específicamente para entrenar las FFEE son eficaces en los niños pequeños (Rueda et al., 2005; Thorell et al., 2008), en niños mayores y adolescentes (Klingberg et al., 2005; Klingberg et al., 2002), y en adultos (Erickson et al., 2007; Jaeggi et al., 2008; Olesen et al., 2004; y Persson y Reuter-Lorenz, 2008).

Recordando los resultados de todos estos estudios acerca de los efectos agudos en diferentes tipos de actividad física aeróbica moderada, el ejercicio aeróbico parece mejorar las FFEE y puede ser que los ejercicios que requieren un mayor compromiso cognitivo, tengan un efecto más fuerte en las FFEE que los sencillos, ya que estos exigen un compromiso cognitivo limitado. Sin embargo, las principales diferencias en sus diseños, valoraciones cognitivas, las características de la muestra, la compleja interacción entre los diferentes componentes y su propia definición y funcionamiento, la validez ecológica y de constructo..., hacen que las comparaciones entre estos estudios sean difíciles. Este hecho también puede explicar los resultados inconsistentes de muchos estudios y crea la necesidad de diseñar futuras investigaciones de campo, aplicables a la vida diaria. Es importante destacar que el impacto del ejercicio aeróbico sobre las FFEE puede estar condicionado por el nivel de desarrollo cognitivo y el componente de las FFEE examinado. Como se indicó anteriormente, la evidencia sugiere que estos componentes, aunque correlacionados, son distintos en los niños, adolescentes y adultos. Para concluir este apartado, recordamos que respecto a la variable flexibilidad cognitiva, no se verificó que la AF+VJA tuviera un efecto más fuerte que el ejercicio simple y repetitivo (AF), en esta muestra de adultos mayores. Por lo que

consideramos que son necesarias más investigaciones donde esté presente una medida más ambiciosa de las FFEE sobre los diferentes componentes que las conforman, así como tener en cuenta el grado de activación cerebral de las diferentes áreas implicadas antes, durante y después de realizar diferentes tipos de ejercicios.

3.2.5.4. Efectos de la actividad física aeróbica y de la actividad física aeróbica con videojuego activo sobre la percepción subjetiva del esfuerzo

Los resultados obtenidos acerca de los efectos que produce la AF y AF+VJA sobre la PE mostraron diferencias significativas, ya que los participantes poseen una menor PE después de AF+VJA, que solamente después de AF ($p<,000$) y después de practicar VJA, en comparación con solamente AF ($p<,000$). Esta importante diferencia significativa alude a la cuarta hipótesis específica planteada en este estudio experimental, verificando que la AF+VJA produce una menor PE realizado, que la simple y repetitiva AF. Por lo tanto, en este estudio se confirman los resultados obtenidos en otras investigaciones, como por ejemplo la realizada por Diamond (2009), el cual argumentó que el cerebro y la mente, por extensión, operan de un modo global y las actividades cognitivas y motoras que dependen de procesamiento no automático y selectivo requerirán de su esfuerzo por adquirirlas. No obstante, la ejecución de los movimientos motores complejos parece ser una tarea cognitivamente atractiva, mientras que la ejecución de simples ejercicios repetitivos puede serlo menos. Este fenómeno causado por diferentes tipos de ejercicio físico con diferentes grados de estimulación perceptivo-cognitiva, podría actuar causando un efecto distractor, el cual provoca una menor PE durante la práctica de AF combinada con VJA. Si bien tenemos en cuenta que la intensidad del esfuerzo ha sido la misma durante la práctica de AF+VJA que de AF, podríamos establecer una relación entre la PE, la fatiga cognitiva y las FFEE.

Si recordamos la fundamentación teórica en la que apoyamos nuestras hipótesis, la fatiga se entiende como una experiencia subjetiva, basada en el autocontrol del participante, y que depende de la percepción del agotamiento físico, mental o ambos (Bol, Duits, Hupperts, Vlaeyen, y Verhey, 2009). Esta sensación de esfuerzo refleja, por tanto, más o menos la calidad del impulso motor desde el córtex cerebral a la motoneurona de la médula espinal (Ament y Verkerke, 2009a). Dicho de otro modo, los centros superiores del cerebro procesan la información y generan una sensación de fatiga y extenuación, cuyo origen se ubica en el núcleo del tronco cerebral e hipotálamo. Es en este lugar donde previamente se integran los cambios fisiológicos y,

probablemente, tiene lugar la modulación de los centros superiores del cerebro. (Ament y Verkerke, 2009a). Por lo tanto, podríamos concluir este enfoque afirmando que la fatiga es como una sensación de cansancio (Abbiss y Laursen, 2005) que explica el carácter consciente de la decisión de detener el esfuerzo, lo que supone que será bastante más probable que se produzca a nivel cortical, forzada por los circuitos cerebrales subcorticales (Kayser, 2003). Una idea muy similar ha sido defendida por Lambert, St. Clair Gibson, y Noakes (2005), con quienes coincidimos en explicar la fatiga desde un modelo de sistemas complejos, según el cual la fatiga percibida durante el ejercicio es consecuencia de la compleja interacción de múltiples sistemas periféricos fisiológicos que actúan como señales aferentes hacia el cerebro en una dinámica de integración no lineal.

Tal y como hemos mencionado anteriormente en la discusión del primer estudio y acorde a esta cuarta hipótesis planteada en el presente estudio experimental, la PE no tendría necesariamente que estar ubicada en un lugar anatómico concreto, sino que puede ser simplemente de naturaleza funcional. En este sistema complejo se recibirán las entradas de varios sistemas, todos ellos relacionados con el ejercicio, con la función de integrarlas para proporcionar unas salidas hacia la corteza (córtex) que obligarían a tomar la decisión de detener el esfuerzo si el cómputo global superara un umbral determinado. En este sentido, en las últimas décadas numerosos investigadores han desarrollado el estudio de lo que se ha llamado la “psicofísica de la fatiga” (Borg, 1982a), es decir, de las funciones matemáticas relativas a la percepción subjetiva del grado de fatiga y su relación con los índices fisiológicos (nivel de lactato en sangre, el VO_2 y la FC, principalmente; (Borg y Dahlstrom, 1962a; Borg y Dahlstrom, 1962b; Borg y Dahlstrom, 1962c; Borg, 1970; Borg, 1982; Borg, 1974; Borg, 1973; Borg, 1982; Noble, 1982a; Noble, 1982b; Noble, Borg, y Jacobs, 1983; Pandolf, Billings, y Drolet, 1984). A pesar de estar plenamente de acuerdo en entender la fatiga desde un modelo multicausal e integrador, el modelo nos parece que está aún incompleto, en tanto que ignora factores influyentes, incluso determinantes, de la fatiga en situaciones de la vida cotidiana en general y de actividad física intensa en particular (cómo la práctica del deporte). Más específicamente, resulta obvio que el tipo de fatiga que se experimenta tras un trabajo intelectual intenso no es idéntico al tipo de fatiga producido por el trabajo físico, pero sí es posible que ambas interactúen entre sí. A pesar de la plausibilidad de esta hipótesis, son muy escasos los trabajos que han intentado cuantificar y explicar el efecto de la carga mental en el esfuerzo físico percibido y su reflejo conductual (agotamiento). Por ello, tal y como se intentó reflejar en el planteamiento general de la presente investigación, són muchas las tareas en la práctica del deporte que presentan

esa doble naturaleza física y cognitiva. Muchos investigadores somos conscientes de que la fatiga física no es el único tipo de fatiga existente, ni la única que afecta al deporte o al rendimiento físico. Existe otro tipo de fatiga que es el resultado de la actividad cognitiva y emocional del participante, que recibe el nombre de “fatiga cognitiva” y que se desarrolla de una manera bastante similar a la fatiga física (Baumeister, Vohs, y Tice, 2007; Wallace y Baumeister, 2002; Muraven y Baumeister, 2000).

Acorde a los fundamentos teóricos comentados en el primer apartado de la presente tesis doctoral, el esfuerzo mental refleja la carga cognitiva propia de la tarea en un momento concreto (Paas, Tuovinen, Tabbers, y Van Gerven, 2003). Las tareas de demanda cognitiva requieren de recursos de procesamiento y producen interferencia con otras tareas (Kahneman, Ben Ishai, y Lotan, 1973), movilizan los recursos centrales (Wickens, 1984) y requieren la participación del ejecutivo central y la memoria de trabajo. Además, la carga de trabajo mental tiene componentes emocionales, y se origina de la interacción entre la tarea y las características del participante (Paas et al., 2003). Por lo tanto, podemos concluir que en general, el esfuerzo asociado con la carga mental es hedónicamente negativo, y aumenta la activación (arousal) general. Por otro lado, las tareas subjetivamente difíciles provocan más errores, lo que puede provocar más frustración y un menor sentido de eficacia (Baumeister et al., 2007; Wallace y Baumeister, 2002). En este sentido, la investigación en este campo es todavía amplia y abarca desde estudios para validar el constructo de la fatiga percibida en varios deportes y actividades físicas (Coutts, Rampinini, Marcora, Castagna, y Impellizzeri, 2009), hasta los que buscan poner a prueba la fiabilidad de la escala como un predictor de rendimiento (Eston y Evans, 2009; Noakes, 2008; Robertson et al., 2009). De hecho, tener éxito en la gestión de la fatiga, es un logro importante para los atletas experimentados. Como ejemplo, tomemos a un corredor de maratón bien entrenado, que en la mitad de la carrera es más o menos capaz de percibir su nivel de fatiga y usarla para estimar su ritmo de velocidad óptima, es decir, usar esta mejora de la percepción para llegar a la meta en el menor tiempo posible y sin agotarse antes de tiempo. Los atletas no sólo son más resistentes a la fatiga que la gente común, en un sentido fisiológico, sino que además toleran niveles mucho más altos de fatiga subjetiva (Kayser, 2003), y toman mejores decisiones y estimación en este estado (Schomer, 1986; Joseph et al., 2008, véase también Jaenes, 2009; Masters y Lambert, 1989; Silva y Appelbaum, 1989).

Basándonos en los resultados obtenidos en esta investigación y en el concepto de fatiga cognitiva, podemos establecer una relación en la que una menor PE induce a

una menor fatiga cognitiva, y viceversa. Para contribuir a verificar científicamente esta relación, serían necesarias futuras investigaciones, utilizando la escala de PE (Foster, 2001), la escala modificada del impacto de la fatiga cognitiva (EMIF-C) y un EEG para observar la actividad cerebral, entre otros instrumentos. A su vez, esta relación podría verse influida y condicionada por la naturaleza de la tarea realizada, el control de la atención (Schwid, 2003), la diversión, la motivación, la inhibición, la memoria de trabajo (Macías-Delgado et al., 2012) y otros componentes de las FFEE. En la línea principal de los resultados obtenidos en el presente estudio, es importante destacar que las tareas de las FFEE provocan demandas similares en los procesos ejecutivos de los adultos mayores, obligándoles a crear, controlar y modificar un plan cognitivo para satisfacer las demandas de la tarea (Banich, 2009). De este modo, podemos concluir que el ejercicio aeróbico y las diferentes tareas de las FFEE, requieren una forma de pensamiento y habilidades cognitivas similares que favorecen a una menor PE causada por un efecto “distractor”, que la simple AF repetitiva y automática. Es posible que las habilidades cognitivas adquiridas durante los juegos aeróbicos se transfieran a los componentes de las FFEE y retrasen la aparición de la fatiga cognitiva. Acorde con los fundamentos teóricos descritos anteriormente, un concepto que puede ayudar a explicar la complejidad de estas interacciones entre los diferentes componentes de las FFEE y la PE es la interferencia contextual. Aunque la adquisición de habilidades se produce más rápidamente cuando los componentes de una tarea se presentan de una manera simple y repetitiva, la retención y la transferencia de las habilidades se incrementan cuando hay interferencia contextual, es decir, los componentes se presentan de una manera compleja y casi al azar (Bättig, 1972). Por lo tanto, y acorde a los resultados obtenidos en esta investigación, podemos deducir que el grado de compromiso cognitivo que ofrece una actividad varía seguramente en su desarrollo. Las formas de ejercicio que contienen numerosas reglas probablemente no son apropiadas para los adultos mayores. A su vez, es posible que se sientan frustrados por la actividad y no reciban ningún beneficio.

Finalmente, podemos concluir que este parámetro o indicador del esfuerzo está inspirado y basado en la propia percepción del sujeto sobre el grado de fatiga o intensidad del esfuerzo que siente, reflejando de este modo una medida global e integrada del nivel de esfuerzo. Cuando empezamos a ejercitarnos, hay una serie de mediadores fisiológicos, psicológicos y sintomáticos interrelacionados que se integran para crear una sensación general de esfuerzo o fatiga durante la duración del ejercicio. La conciencia cognitiva de estas sensaciones se considera una forma de retroalimentación, en la que los cambios centrales, periféricos y metabólicos que ocurren

durante el ejercicio están integrados. Además, es importante resaltar la importancia de la PE en función de la fatiga cognitiva. Ya que a menor PE, la fatiga cognitiva aparece más tarde. Si además relacionamos estos dos conceptos con la actividad física (fatiga física), es lógico que ante un trabajo de igual intensidad, cuando la fatiga cognitiva es menor, la PE al final de la tarea sea también menor, y viceversa. A su vez, diferentes componentes de las FFEE como el control de la atención, la flexibilidad cognitiva, la VPI y la motivación, pueden verse relacionados con la naturaleza de cada tarea y no obstante con la PE realizado.

3.2.6. CONCLUSIONES

Atendiendo a los diferentes apartados expuestos en el presente estudio y de los resultados obtenidos del mismo, se enuncian las siguientes conclusiones derivadas de los mismos.

1.- La práctica de AF, AF+VJA y VJA disminuye el TRC. Ello evidencia que el ejercicio físico produce un efecto positivo sobre el funcionamiento y el rendimiento cognitivo, en los adultos mayores.

2.- No se produce una mayor mejora del TRC después de AF+VJA que después de AF, en adultos mayores. Por lo tanto, no podemos establecer una relación directa entre una mayor activación del lóbulo prefrontal y la naturaleza de cada tipo de ejercicio (más simple, o, más complejo). Sin embargo, el TRM mejora significativamente después de AF+VJA, en comparación con VJA.

3.- La flexibilidad cognitiva muestra una tendencia no significativa en el porcentaje de errores no perseverativos después de practicar AF, en comparación con solamente VJA. A su vez, muestra una diferencia significativa en el porcentaje de respuestas correctas después de practicar AF+VJA, en comparación con solamente VJA. Por lo tanto, podemos concluir que no encontramos diferencias significativas suficientes que nos permitan generalizar los resultados a favor de nuestra hipótesis.

4.- La PE es menor después de practicar AF+VJA, en comparación con AF y después de practicar VJA, en comparación con solamente AF. Por lo tanto, podemos concluir que en los adultos mayores la práctica de ejercicio con VJA, ayuda a disminuir la PE. Este hecho podría estar relacionado con la fatiga cognitiva y a su vez, con las FFEE, tal y como se ha comentado anteriormente en el apartado de la discusión.

3.3. ESTUDIO 3

“Efectos agudos de la actividad física aeróbica y los videojuegos activos sobre el tiempo de reacción y la percepción del esfuerzo en jóvenes y adultos mayores”

Resumen:

El presente estudio analizó los efectos agudos de la AF y la AF+ VJA sobre el TRC y la PE en jóvenes y adultos mayores. Se realizó con los participantes de los estudios 1 y 2 que realizaron las sesiones de AF y AF+VJA. El grupo experimental estuvo compuesto por 78 participantes, 39 varones y 39 mujeres, de los cuales 16 pertenecían al colectivo de adultos mayores y 62 al de jóvenes. Completaron dos sesiones, A y B. En la sesión A, los participantes pedalearon 30 minutos en un cicloergómetro, mientras que en la sesión B pedalearon durante 30 minutos en un cicloergómetro mientras jugaban a un VJA en una Wii. En cada sesión, se llevó a cabo una tarea de TRC antes y después de hacer ejercicio aeróbico o descanso, y después del ejercicio se observó la PE global. Para realizar los análisis estadísticos, se utilizó un modelo lineal general de medidas repetidas y las pruebas de Wilcoxon. Los resultados mostraron que: (1) Tanto el ejercicio aeróbico practicado solo como ejercicio aeróbico combinado con VJA , mejoraron el TRC; (2) el ejercicio aeróbico combinado con VJA no mejoró el TRC significativamente, en comparación con la práctica de ejercicio aeróbico sin VJA; y (3) la PE fue menor después de practicar ejercicio aeróbico combinado con VJA en comparación con sólo el ejercicio aeróbico. Por lo tanto, podemos concluir que en los adultos jóvenes sanos y en los adultos mayores, el ejercicio produce beneficios agudos sobre el TRC, y la práctica de ejercicio con VJA ayuda a disminuir la PE.

Palabras clave: Experimento, ejercicio físico, velocidad de procesamiento, eficiencia, fatiga cognitiva.

3.3.1. INTRODUCCIÓN

Los efectos agudos del ejercicio sobre el rendimiento cognitivo en diferentes edades se han revisado a través de cuatro meta-análisis (Chang et al., 2012; Etnier, et al., 1997; Lambourne y Tomporowski, 2010; Sibley y Etnier, 2003). Etnier et al. (1997) indicaron que el ejercicio agudo tiene un pequeño efecto positivo significativo en el rendimiento cognitivo ($ES = 0,16$). Sibley y Etnier (2003) evaluaron los efectos del ejercicio agudo sobre el rendimiento cognitivo en niños y sus resultados concluyeron un pequeño efecto significativo ($ES = 0,37$).

Una investigación meta-analítica donde se contemplan 53 estudios (McMorris y Beverley, 2012), muestra que los efectos agudos del ejercicio físico producen un pequeño tamaño del efecto significativo ($g = 0,14$, $p < 0,01$) sobre la VPI y la eficiencia. El análisis comparó entre la VPI y la eficiencia mostrando que la VPI representa la mayor parte del efecto. Para la VPI, los efectos agudos producidos por el ejercicio de intensidad moderada demostró un tamaño del efecto medio significativamente más grande que los de ejercicios de intensidades bajas y altas. Para la VPI durante el ejercicio de intensidad moderada, las tareas ejecutivas centrales mostraron un tamaño del efecto más grande que la memoria operativa y las tareas de alerta / atención. No hubo diferencia significativa entre los tamaños del efecto medio cuando la prueba se llevó a cabo después de realizar ejercicio en comparación con la VPI durante el ejercicio, pero otros estudios sí que han demostrado mayor tamaño medio de efecto inmediatamente después de realizar ejercicio. Se concluyó que el aumento de la excitación durante el ejercicio de intensidad moderada, probablemente debido al aumento de las concentraciones cerebrales de los neurotransmisores dopamina y norepinefrina, daba lugar a una mayor velocidad de procesamiento. Un efecto menor por parte de la eficacia, puede ser debido a la falta de elegir pruebas que no son lo suficientemente complejas como para medir los cambios inducidos por el ejercicio en el rendimiento cognitivo.

Estos resultados afectan claramente a la generalización de las conclusiones y dan lugar a la exclusión de numerosos estudios realizados en otras edades y componentes, que puedan contribuir a nuestra comprensión de los efectos del ejercicio agudo sobre el rendimiento cognitivo. Sin embargo, los resultados siguen siendo poco concluyentes, ya que otros estudios han obtenido efectos no significativos. Por ejemplo, Tomporowski et al. (2008) no encontraron diferencias significativas entre los efectos agudos del ejercicio aeróbico repetitivo y simple, y el descanso sobre el funcionamiento cognitivo, en una muestra de 69 niños con sobrepeso, entre 7-11 años de edad.

Chang et al. (2012) realizaron otro meta-análisis de 79 estudios que valoran los efectos agudos del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo. En esta revisión se contemplan todas las edades y moderadores posibles. Los investigadores generalmente han concluido que hay un pequeño efecto positivo del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo. De acuerdo con resultados anteriores, los análisis indicaron que el efecto general fue positivo pero pequeño ($g=0,097$; $n=1,034$). También se encontraron efectos positivos y pequeños en los tres paradigmas de ejercicio: durante el ejercicio ($g = 0,101$; 95% intervalo de confianza; 0,041 hasta 0,160), inmediatamente después del ejercicio ($g = 0,108$; IC del 95%; 0,069-,147) y después de un retraso ($g = 0,103$; IC del 95%, 0,035-0,170). Otros análisis indicaron que la duración del ejercicio, la intensidad del ejercicio, el tipo de rendimiento cognitivo evaluado y el estado de forma física fueron significativos moderadores. En términos generales podemos concluir que los efectos del ejercicio agudo en el rendimiento cognitivo son pequeños. Sin embargo, los autores sugieren que es posible encontrar un efecto agudo más significativo sobre el rendimiento cognitivo cuando se utilizan parámetros específicos más complejos (tipo de ejercicio, tiempo de ejecución/recuperación, intensidad del esfuerzo, el entorno ,etc.).

Lambourne y Tomporowski (2010) también realizaron a una revisión metanalítica ($n=40$), en la que se incluyeron los estudios que evaluaron los efectos agudos en adultos jóvenes sanos, valorando el rendimiento cognitivo antes del ejercicio, durante el ejercicio y después del ejercicio. Sus resultados indicaron que el ejercicio tuvo un efecto perjudicial sobre el rendimiento cognitivo durante el ejercicio ($d = -0,14$), pero encontraron una mejora de rendimiento cognitivo después del ejercicio ($d = 0,20$). En cuanto a la variable ejercicio físico, las variables moderadoras más relevantes fueron: la intensidad y la duración del ejercicio, el momento de la administración de tareas cognitivas, el tipo de ejercicio, el tipo de tarea cognitiva y el diseño del estudio. Los estudios en este análisis fueron separados en subgrupos basados en los tres paradigmas particulares que se utilizaron (durante el ejercicio, inmediatamente después del ejercicio y después de un retraso de más de 1 min).

Tal y como hemos descrito anteriormente, los efectos agudos del ejercicio físico sobre las FFEE en los niños y los adultos mayores, han sido algo explorados. Esto puede ser especialmente relevante debido a que los efectos más grandes de ejercicio crónico pueden ser observados en niños y adultos mayores (Angevaren et al, 2008;. Colcombe y Kramer, 2003; Etnier, et al., 1997; Sibley y Etnier , 2003; Smith et al., 2010). Debido a la existencia de un mayor número de estudios que tratan de analizar los efectos

crónicos, no podemos afirmar si este patrón de resultados también se aplicaría en el caso de los efectos agudos provocados por el ejercicio físico en estas mismas edades.

La intensidad del ejercicio es un moderador que con frecuencia se ha considerado en los estudios que valoran los efectos agudos. En particular, la hipótesis de la “U invertida” predice que el ejercicio de intensidad moderada tendrá los mayores beneficios, mientras que otras teorías sugieren que se observarán los mayores efectos en altas intensidades. Es evidente al considerar mecanismos tales como la FC, las catecolaminas, y el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), que el nivel de intensidad del ejercicio es importante para determinar la cantidad de cambios que se producirán en estos mecanismos fisiológicos y esto puede ser importante para la predicción de los efectos en el comportamiento. A modo de ejemplo, los estudios que evaluaron los efectos agudos del ejercicio en el BDNF indican que, los protocolos de alta intensidad suponen aumentos más grandes que los protocolos de baja intensidad (Knaepen et al., 2010). Por lo tanto, si el BDNF es un mediador de los efectos del ejercicio agudo sobre el rendimiento cognitivo, se espera que la intensidad del ejercicio también influya en los resultados conductuales.

El momento concreto de la administración de la prueba cognitiva es otro moderador de interés. Este moderador se ha encontrado para influir en el efecto del ejercicio agudo sobre el rendimiento cognitivo de los adultos jóvenes sanos (Lambourne y Tomporowski, 2010). Este moderador también tiene implicaciones para los mecanismos de los efectos crónicos, debido a la forma específica en que los mecanismos se ven afectados por el ejercicio. La relación entre el ejercicio agudo y el rendimiento cognitivo también podría ser dependiente de la naturaleza de la tarea cognitiva. Etnier et al. (1997) informaron de que el ejercicio agudo tuvo grandes efectos beneficiosos sobre las habilidades motoras y rendimiento académico. Sin embargo, tuvo efectos negativos en las tareas relacionadas con el razonamiento y las habilidades verbales. Muchos estudios que analizan los efectos agudos del ejercicio utilizan tareas de tiempo de reacción (Fleury y Bard, 1987; Hogervorst et al, 1996;. McMorris, 1995; McMorris y Keen, 1994; Travlos y Marisi, 1995) y las tareas de reconocimiento visual (Bard y Fleury, 1978;. Fleury et al, 1981). Recientemente, los investigadores han comenzado a examinar los efectos del ejercicio agudo sobre la función ejecutiva y el lóbulo frontal (Chang y Etnier, 2009a, b; Dietrich y Sparling, 2004; Sibley et al. 2006 y Tomporowski et al, 2005).

Por otro lado, Hutchinson y Tenenbaum (2007), Tenenbaum (2001) y Rejeski (1981, 1985) propusieron que la PE depende de la intensidad del ejercicio y las variables

psicológicas. Según ellos, las estrategias cognitivas como la información procedente de las sensaciones corporales y distracciones ambientales, son especialmente relevantes para disminuir la PE durante el ejercicio submáximo. A medida que aumenta la intensidad del ejercicio y la sensación de esfuerzo, el enfoque de la atención es predominantemente interno y las estrategias cognitivas disminuyen su eficacia. Varios estudios han demostrado que un enfoque externo de la atención aumenta la resistencia muscular y mejora de la eficiencia metabólica (Marchant et al., 2011; Schucker, Hageman, Strauss, y Völker, 2009). En otro estudio, Schucker et al. (2009) verificaron una reducción en el VO_2 mientras los participantes corrían en un tapíz rodante y se centraban en el entorno virtual (enfoque externo), en comparación a cuando se centraron en la correcta ejecución del movimiento o en la respiración (enfoque interno).

Otros estudios han demostrado que la música ayuda a las personas continuar el ejercicio durante más tiempo, retrasa la fatiga, y reduce la PE (Karageorghis y Sacerdote, 2012a y 2012b; Reza, Moghaddam, Shadifar, y Mabhout, 2013). Estos estudios se basan en la idea de que la música capta la atención y distrae al individuo de la fatiga inducida por la actividad, limita la agitación mental y ayuda al cuerpo a responder al componente rítmico de la música, en actividades submáximas (Costasi y Terry, 1997; Karageorghis y Sacerdote, 2012a y 2012b). Recientemente, Pollock et al. (2013) analizaron la relación entre los videojuegos activos y la PE en una muestra de adultos sanos. Mientras jugaban, los usuarios se expusieron a distractores visuales y auditivos a través del ordenador, la música y efectos de sonido interactivo. Los resultados verificaron las hipótesis mostrando una menor correlación entre los valores de la PE y la FC durante el VJA, en comparación con otros estudios donde se realizaban otras actividades físicas sin distractores. No obstante, el estudio no comparó las diferencias en la PE cuando el ejercicio se practica solo o combinado con VJA. En este estudio, se propuso el VJA como un elemento de distracción mientras los participantes pedaleaban en una bicicleta estática durante 30 minutos a una intensidad moderada, con el objetivo de dirigir la atención hacia un enfoque externo y contribuyendo a llevar a cabo un movimiento controlado y automático, de la forma más eficiente posible. A continuación, se tratarán de describir los objetivos y las hipótesis correspondientes al tercer estudio de la presente Tesis Doctoral.

3.3.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.3.2.1. Objetivo general

Analizar los efectos agudos producidos por la práctica de AF y los videojuegos activos sobre las funciones cognitivas en jóvenes y adultos mayores.

3.3.2.2. Objetivos específicos

El objetivo general se dividió en tres objetivos específicos:

- Analizar la posible mejora en el TRC después de la práctica de AF y AF+VJA.
- Analizar las diferencias en la mejora del TRC después de AF y después de AF+VJA.
- Analizar las diferencias de la PE, después de AF y después de AF+VJA.

3.3.2.3. Hipótesis

La hipótesis principal de la investigación fue que la práctica aeróbica combinada VJA, implicaría una disminución o mejora del TRC y una menor PE, en comparación a la práctica de AF repetitiva y automática sin VJA. Este hecho, podría estar relacionado con una mayor actividad cerebral en el lóbulo prefrontal. Las hipótesis específicas que se derivan de cada uno de los objetivos específicos son:

- La práctica de AF y AF+VJA mejora el TRC en jóvenes y adultos mayores.
- La práctica de AF+VJA produce una mayor mejora en el TRC, que la práctica de AF.
- La práctica de AF+VJA produce una menor PE, que la práctica de AF.

3.3.3. METODOLOGÍA

3.3.3.1. Participantes

En el estudio participaron 78 personas, 68 jóvenes ($M = 21,3 \pm 2,5$ años) y 16 adultos mayores ($M = 67,2 \pm 4,3$ años) que pasaron por las dos condiciones experimentales: AF y AF+VJA. La variable sexo fue repartida proporcionalmente en cada grupo. A su vez, se controlaron las variables antropométricas de peso y altura y no se utilizaron para asignar grupos a los participantes. Todos los participantes realizaron las sesiones voluntariamente y sin ningún tipo de presión externa.

Tabla 60. Características de los participantes del Estudio 3 (M: media; DT: desviación típica).

	Jóvenes adultos		Adultos mayores	
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
Medidas	M ± DT	M ± DT	M ± DT	M ± DT
Edad (años)	21,9 ± 2,8	21,5 ± 1,9	67,7± 2,1	67,7± 5,2
Altura (cm)	178 ± 6	163 ± 3	168± 4,7	159 ± 6,9
Peso (kg)	74 ± 5,9	57,2 ± 4,4	75,8± 14,2	66,3± 8,6

3.3.3.2. Material e instrumental

Se utilizaron los materiales e instrumentos del primer y segundo estudio de la presente tesis doctoral.

3.3.3.3. Procedimiento

3.3.3.3.1. Informe favorable del Comité de Ética

Los datos de este estudio provienen del primer y segundo estudio de la presente tesis doctoral. Ambos estudios fueron sometidos a la aprobación del Comité de Ética de la Universidad de Valencia, obteniendo así un informe favorable. El protocolo experimental del estudio cumplió los condicionantes que la Conferencia de Helsinki marcó en la experimentación con seres humanos (Asamblea Corea, 2008).

3.3.3.3.2. Obtención del consentimiento informado

Tanto en el primer estudio como en el segundo, cada participante fue informado de forma oral acerca de las sesiones que se debían realizar. Así mismo, antes de participar todos ellos firmaron un consentimiento informado (Anexo 1), evidenciando que fueron informados con anterioridad acerca de las actividades a realizar y que participaban de forma voluntaria y sin ningún tipo de presión externa.

3.3.3.3.3. Criterios de selección y exclusión de participantes

Los criterios de selección y exclusión de los participantes se corresponden con los del primer y segundo estudio, ya que la muestra es la misma.

3.3.3.3.4. Medidas Pre y Post tratamiento

Las medidas realizadas por los dos grupos experimentales de los dos estudios anteriores, se realizaron durante las dos sesiones (AF y AF+VJA). A su vez, durante las dos sesiones se registró la FC, se realizó una medida pre y post del TRC y una valoración subjetiva de la PE al finalizar la sesión. Las pruebas y test se realizaron siempre en el mismo orden para todos los participantes en cada sesión. Al finalizar cada sesión, los participantes descansaron durante 5 minutos para volver a su estado de reposo basal antes de marcharse, momento que aprovechaban para asearse e hidratarse. Cada participante realizó la segunda sesión una semana después de la primera, el mismo día de la semana y a la misma hora. Las medidas pre y post tratamiento hacen referencia al TRC. Todas las pruebas y test fueron aplicadas con normalidad y sin ningún incidente. Resultaron bastante asequibles para los participantes y no mostraron ningún problema en poder realizarlas. Los dos grupos pasaron por las dos condiciones experimentales, solo que con distinto orden, contrabalanceando así las dos condiciones experimentales.

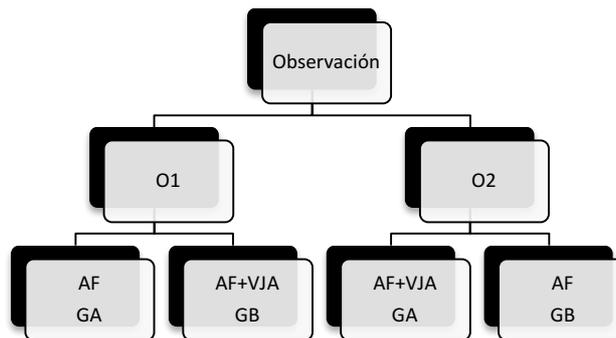


Figura 53. Balanceo del orden entre dos condiciones experimentales del estudio 3: O1 y O2. GA

3.3.3.3.5. Protocolo experimental

Se llevaron a cabo los protocolos correspondientes al primer y segundo estudio.

3.3.3.3.6. Registro de los datos

Los correspondientes al primer y segundo estudio de la presente tesis doctoral.

3.3.3.4. Diseño

Para llevar a cabo esta investigación se ha establecido un diseño unifactorial intrasujeto de dos grupos experimentales, utilizando el método experimental.

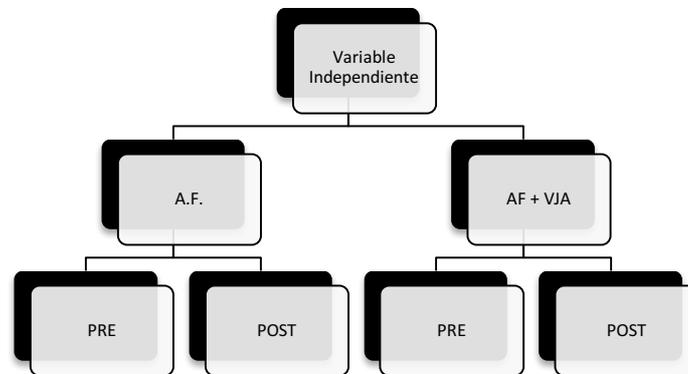


Figura 54. Niveles o modalidades del factor o variable independiente del estudio 3. La condición experimental (AF) responde a un tratamiento experimental de actividad física aeróbica sin estimulación perceptivocognitiva; la condición experimental (AF + VJA), consiste en realizar 30' de AF aeróbica mientras se juega a un videojuego activo. Las medidas de las variables dependientes se efectúan en dos momentos de observación: PRE y POST.

3.3.2.4.1. Variables independientes

Las variables independientes fueron: AF y AF+VJA.

3.3.2.4.2. Variables dependientes

Las variables independientes fueron las mismas que en Estudio 1 (Tiempo de Reacción Complejo de TR y TRM (milisegundos): Valor Bruto (V.B), es el TR y TRM en milisegundos; Rango Porcentual (R.P), es el "Valor Bruto" expresado en porcentajes y Valor T (T). Eficacia (aciertos y errores): correctos, incorrectos, no ha reaccionado o incompletos. Percepción subjetiva del esfuerzo: escala del 1 al 10. Intensidad del ejercicio: FC, distancia, tiempo y Watios.

3.3.3.5. Análisis estadístico de los datos

Para comenzar, la normalidad de la distribución de las variables se comprobó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. A continuación, se llevó a cabo un estudio descriptivo de las variables. Debido a la distribución no paramétrica de las puntuaciones se realizaron pruebas de Wilcoxon (para muestras relacionadas). Las variables cuyas diferencias resultaron significativas se representaron mediante diagramas de cajas. Para el análisis de los datos se utilizó el programa estadístico SPSS 22.0 para Windows 7.

3.3.4. RESULTADOS

3.3.4.1. Análisis descriptivo y de normalidad del TRC de las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)

Realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov del TR de AF y AF+VJA. Primero con las variables pre y después con las variables post, para determinar si las variables son paramétricas, o no paramétricas.

Tabla 61. Estadísticos descriptivos y de normalidad pre y post del TRC en las dos condiciones experimentales del estudio 3 (AF y AF+VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
TR (Pre AF)	78	499,58	88,06	,13	,002	No Paramétrica
TR (Pre AF+VJA)	78	502,21	98,92	,18	,02	No Paramétrica
TR (Post AF)	78	456,78	78,63	,09	,02	No Paramétrica
TR (Post AF+VJA)	78	451,56	77,49	,10	,06	Paramétrica
TRM (Pre AF)	78	154,14	69,38	,17	,00	No Paramétrica
TRM (Pre AF+VJA)	78	153,04	64,81	,12	,02	No Paramétrica
TRM (Post AF)	78	139,81	62,46	,19	,00	No Paramétrica
TRM (Post AF+VJA)	78	140,47	65,69	,19	,00	No Paramétrica
Eficiencia (Pre AF)	78	,03	,006	,48	,00	No Paramétrica
Eficiencia (Pre AF+VJA)	78	,03	,007	,48	,00	No Paramétrica
Eficiencia (Post AF)	78	,03	,005	,48	,00	No Paramétrica
Eficiencia (Post AF+VJA)	78	,03	,006	,48	,00	No Paramétrica

3.3.4.2. Control de las diferencias pre-tratamiento en TRC en las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)

Realizamos pruebas de Wilcoxon para comparar las puntuaciones pre-tratamiento antes de AF y antes de AF+VJA. Los resultados no mostraron diferencias significativas.

Tabla 62. Puntuaciones pre-tratamiento antes de AF y antes de AF+VJA.

Variable		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
TR_Pre_AF+VJA -	Rangos negativos	41 ^a	36,61	1501,00	-,003	,998
TR_Pre_AF	Rangos positivos	36 ^b	41,72	1502,00		
	Empates	1 ^c				
	Total	78				
TRM_Pre_AF+VJA	Rangos negativos	40 ^d	38,50	1540,00	-,399	,690
- TRM_Pre_AF	Rangos positivos	36 ^e	38,50	1386,00		
	Empates	2 ^f				
	Total	78				
E_Pre_AF+VJA -	Rangos negativos	18 ^g	19,00	342,00	-,154	,878
E_Pre_AF	Rangos positivos	18 ^h	18,00	324,00		
	Empates	42 ⁱ				
	Total	78				

a. TR_Pre_AF+VJA < TRM_Pre_AF / b. TR_Pre_AF+VJA > TR_Pre_AF / c. TR_Pre_AF+VJA = TR_Pre_AF /

d. TRM_Pre_AF+VJA < TRM_Pre_AF / e. TRM_Pre_AF+VJA > TRM_Pre_AF / f. TRM_Pre_AF+VJA = TRM_Pre_AF

/ g. E_Pre_AF+VJA < E_Pre_AF / h. E_Pre_AF+VJA > E_Pre_AF / i. E_Pre_AF+VJA = E_Pre_AF

3.3.4.3 Análisis inferencial de TRC pre y post-tratamiento en las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)

Las pruebas de Wilcoxon para comparar las puntuaciones pre y post-tratamiento cuando realizaron solo AF mostraron diferencias significativas para el TR, TRM y Eficiencia.

Tabla 63. Puntuaciones pre y post tratamiento en la realización de AF.

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
TR_Post_AF -	Rangos negativos	65 ^a	44,07	2864,50	-6,595	<,001
TR_Pre_AF	Rangos positivos	13 ^b	16,65	216,50		
	Empates	0 ^c				
	Total	78				
TRM_Post_AF -	Rangos negativos	57 ^d	43,77	2495,00	-5,046	<,001
TRM_Pre_AF	Rangos positivos	20 ^e	25,40	508,00		
	Empates	1 ^f				
	Total	78				
E_Post_AF - E_Pre_AF	Rangos negativos	3 ^g	13,50	40,50	-4,017	<,001
	Rangos positivos	24 ^h	14,06	337,50		
	Empates	51 ⁱ				
	Total	78				

a. TR_Post_AF < TR_Pre_AF / b. TR_Post_AF > TR_Pre_AF / c. TR_Post_AF = TR_Pre_AF / d. TRM_Post_AF < TRM_Pre_AF / e. TRM_Post_AF > TRM_Pre_AF / f. TRM_Post_AF = TRM_Pre_AF / g. E_Post_AF < E_Pre_AF / h. E_Post_AF > E_Pre_AF / i. E_Post_AF = E_Pre_AF

Seguidamente, los gráficos de tallos y hojas de describen las diferencias encontradas.

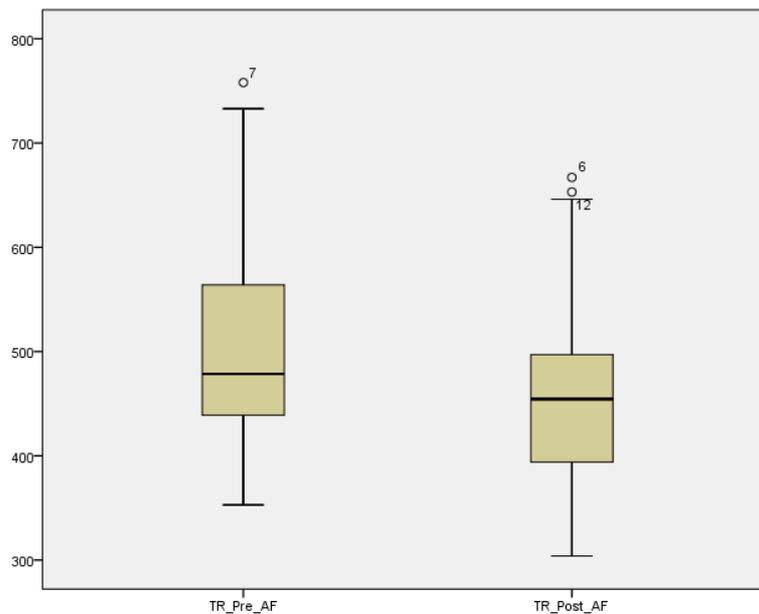


Figura 55. Diagrama de tallo del TR pre y Post AF

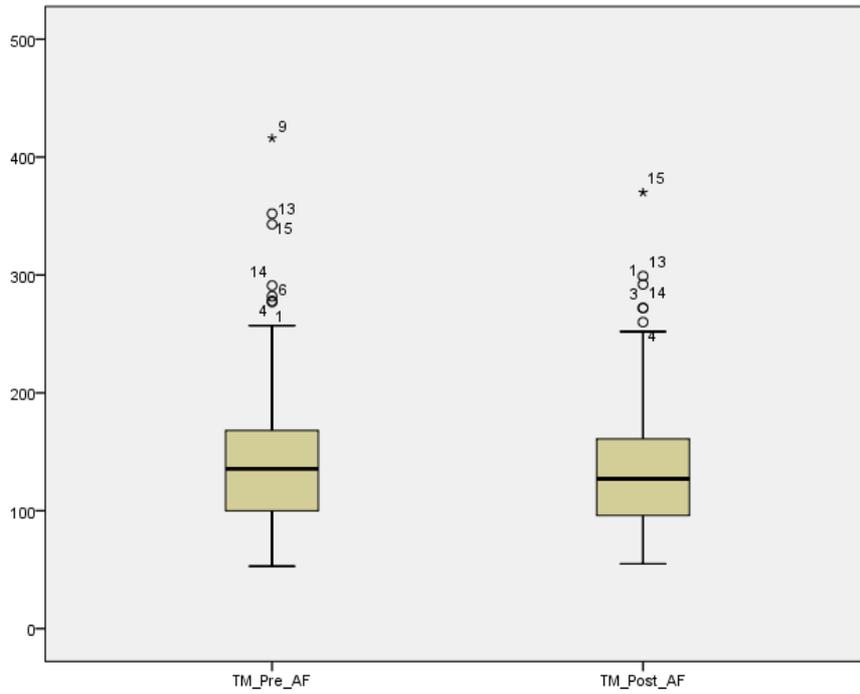


Figura 56. Diagrama de tallo del TRM pre y Post AF

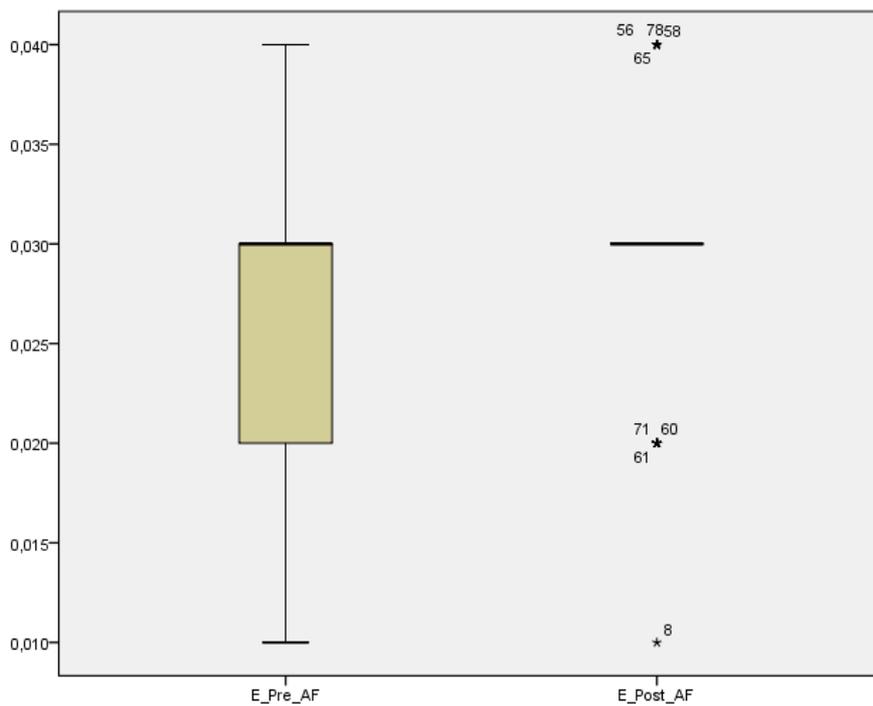


Figura 57. Diagrama de tallo de la Eficiencia pre y post AF

Por otro lado, las pruebas de Wilcoxon para comparar las puntuaciones pre y post-tratamiento cuando realizaron AF + VJA también mostraron diferencias significativas para el TR, TRM y Eficiencia.

Tabla 64. Puntuaciones pre y post tratamiento en la realización de AF+VJA.

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
TR_Post_AF+VJA - TR_Pre_AF+VJA	Rangos negativos	66 ^a	43,80	2890,50	-6,724	<,001
	Rangos positivos	12 ^b	15,88	190,50		
	Empates	0 ^c				
	Total	78				
TRM_Post_AF+VJA - TRM_Pre_AF+VJA	Rangos negativos	60 ^d	39,48	2369,00	-4,405	<,001
	Rangos positivos	17 ^e	37,29	634,00		
	Empates	1 ^f				
	Total	78				
E_Post_AF+VJA - E_Pre_AF+VJA	Rangos negativos	0 ^g	,00	,00	-4,939	<,001
	Rangos positivos	26 ^h	13,50	351,00		
	Empates	52 ⁱ				
	Total	78				

a. TR_Post_AF+VJA < TR_Pre_AF+VJA / b. TR_Post_AF+VJA > TR_Pre_AF+VJA / c. TR_Post_AF+VJA = TR_Pre_AF+VJA / d. TRM_Post_AF+VJA < TRM_Pre_AF+VJA / e. TRM_Post_AF+VJA > TRM_Pre_AF+VJA / f. TRM_Post_AF+VJA = TRM_Pre_AF+VJA / g. E_Post_AF+VJA < E_Pre_AF+VJA / h. E_Post_AF+VJA > E_Pre_AF+VJA / i. E_Post_AF+VJA = E_Pre_AF+VJA

Seguidamente, los gráficos de tallos y hojas de describen las diferencias encontradas.

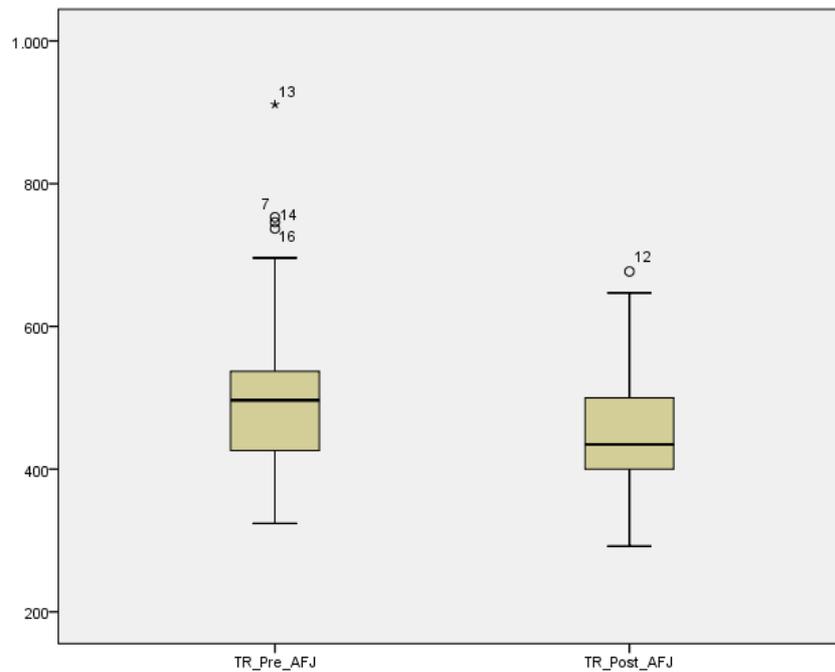


Figura 58. Diagrama de tallo del TR pre y Post AF+VJA

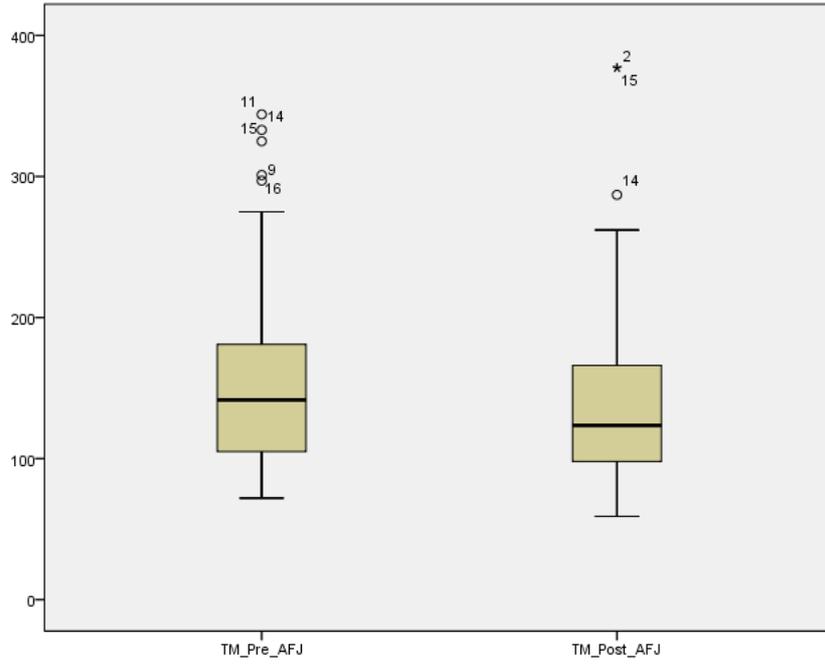


Figura 59. Diagrama de tallo del TRM pre y Post AF+VJA

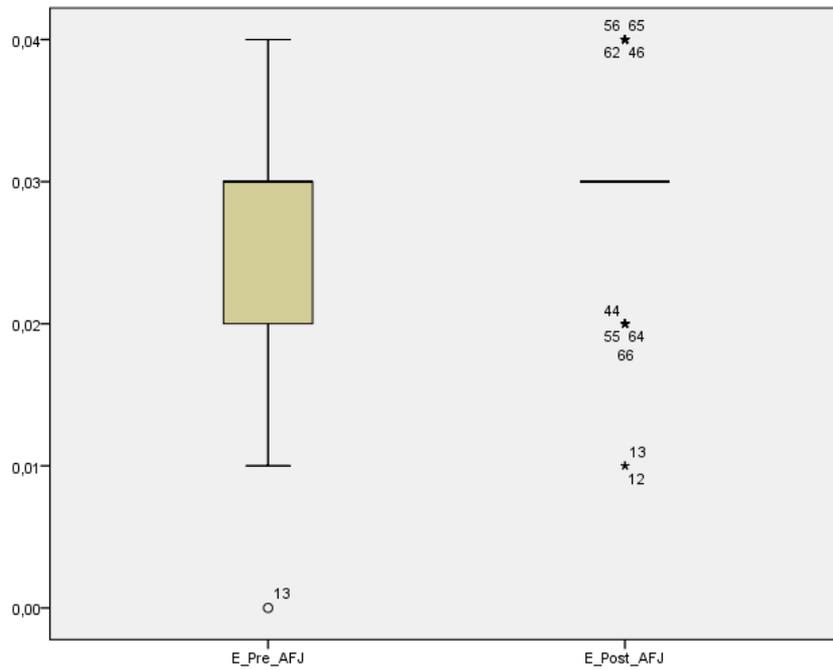


Figura 60. Diagrama de tallo de la Eficiencia pre y post AF+VJA

3.3.4.4. Análisis inferencial de TRC post-tratamiento en las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)

Las pruebas de Wilcoxon para comparar las puntuaciones post-tratamiento cuando realizaron AF y AF+VJA no mostraron diferencias significativas para el TR, TRM y Eficiencia.

Tabla 65. Comparación de las puntuaciones post tratamiento del TRC tras la realización de AF y AF+VJA.

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
TR_Post_AF+VJA - TR_Post_AF	Rangos negativos	43 ^a	38,58	1659,00	-,800	,424
	Rangos positivos	34 ^b	39,53	1344,00		
	Empates	1 ^c				
	Total	78				
TRM_Post_AF+VJA - TRM_Post_AF	Rangos negativos	42 ^d	37,51	1575,50	-,583	,560
	Rangos positivos	34 ^e	39,72	1350,50		
	Empates	2 ^f				
	Total	78				
E_Post_AF+VJA - E_Post_AF	Rangos negativos	11 ^g	14,23	156,50	-,866	,386
	Rangos positivos	16 ^h	13,84	221,50		
	Empates	51 ⁱ				
	Total	78				

a. TR_Post_AF+VJA < TR_Post_AF / b. TR_Post_AF+VJA > TR_Post_AF / c. TR_Post_AF+VJA = TR_Post_AF / d. TRM_Post_AF+VJA < TRM_Post_AF / e. TRM_Post_AF+VJA > TRM_Post_AF / f. TRM_Post_AF+VJA = TRM_Post_AF / g. E_Post_AF+VJA < E_Post_AF / h. E_Post_AF+VJA > E_Post_AF / i. E_Post_AF+VJA = E_Post_AF

3.3.4.5. Análisis descriptivo y de normalidad de la PSE de las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)

Realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov de la PE en las dos condiciones experimentales, para determinar si las variables son paramétricas, o no paramétricas.

Tabla 66. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la PE en el estudio 3 (AF y AF+VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
PSE (Post AF)	78	4,04	1,16	,20	<,001	No paramétrica
PSE (Post AF+VJA)	78	3,05	1,02	,20	<,001	No paramétrica

Tras realizar el análisis descriptivo de la PE después de las dos condiciones experimentales, obtuvimos las variables paramétricas y no paramétricas.

3.3.4.6. Análisis inferencial de la PSE en función de la actividad: AF y AF+VJA

Las prueba de Wilcoxon para comparar las puntuaciones post-tratamiento de PSE tras realizar AF y AF+VJA mostró diferencias significativas

Tabla 67. Comparación de las puntuaciones post tratamiento de la PE tras la realización de AF y AF+VJA.

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
PE_AF+VJA -	Rangos negativos	47 ^a	28,40	1335,00	-5,632	<,001
PE_AF	Rangos positivos	6 ^b	16,00	96,00		
	Empates	25 ^c				
	Total	78				

a. PE_AF+VJA < PE_AF / b. PE_AF+VJA > PE_AF / c. PE_AF+VJA = PE_AF

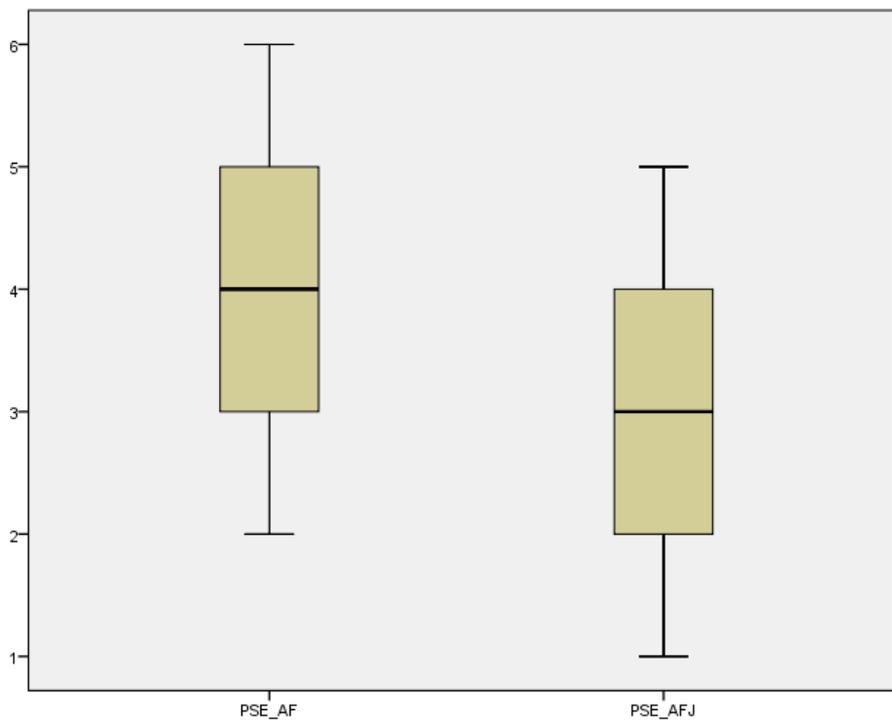


Figura 61. Diagrama de tallo de la PE post AF y AF+VJA

3.3.4.7. Análisis descriptivo y de normalidad de la FC de las dos condiciones experimentales (AF y AF+VJA)

Realizamos la prueba Kolmogorov-Smirnov de la FC en las dos condiciones experimentales, para determinar si las variables son paramétricas, o no paramétricas.

Tabla 68. Estadísticos descriptivos y de normalidad de la FC del estudio 3 (AF y AF+VJA).

Variable	N	M	D.T	Z(K-S)	Sig.	Normalidad
FC (Post AF)	78	88,45	13,40	,06	,200	Paramétrica
FC (Post AF+VJA)	78	89,37	15,84	,07	<,001	No paramétrica

Tras realizar el análisis descriptivo de la FC después de las dos condiciones experimentales, obtuvimos las variables paramétricas y no paramétricas.

3.3.4.8. Análisis inferencial de la FC en función de la actividad: AF y AF+VJA

Las prueba de Wilcoxon para comparar las puntuaciones post-tratamiento de FC tras realizar AF y AF+VJA mostró diferencias significativas

Tabla 69. Comparación de las puntuaciones post tratamiento de la FC tras la realización de AF y AF+VJA.

Medida		N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig
FC_AF+VJA -	Rangos negativos	33 ^a	39,29	1296,50	-1,215	,224
FC_AF	Rangos positivos	45 ^b	39,66	1784,50		
	Empates	0 ^c				
	Total	78				

a. FC_AF+VJA < FC_AF / b. FC_AF+VJA > FC_AF / c. FC_AF+VJA = FC_AF

3.3.5. DISCUSIÓN

En este tercer estudio pretendíamos profundizar en el conocimiento de los efectos agudos de diferentes tipos de ejercicio aeróbico sobre las funciones cognitivas con una muestra mayor, compuesta por jóvenes adultos y adultos mayores.

Acorde con los conceptos teóricos a los que se hizo referencia en la introducción de este trabajo, se diseñaron dos tratamientos experimentales (AF y AF+VJA). La primera hipótesis sugirió que la práctica de AF y AF+VJA produce una mejora en el TRC. La segunda hipótesis consistió en comprobar si la mejora en el TRC empleado por los sujetos resultaba significativa entre AF y AF+VJA, a favor de la segunda. La tercera hipótesis específica sugirió una menor PE después de AF+VJA, que de AF.

En cuanto a la respuesta de los sujetos, se midió la mejora en el tiempo de reacción complejo, obteniendo así unos resultados muy similares a los del primer y segundo estudio. Aunque coincidimos con Banich (2009) en que una medida de las FFEE más ambiciosa sería necesaria para poder llegar a conclusiones de mayor trascendencia, concordantes con la justificación teórica que hemos realizado. Futuras investigaciones, donde se tenga en cuenta la actividad cerebral en diferentes áreas y en diversos tipos de ejercicios, contribuirían a comprender mejor este sistema complejo.

Si hacemos referencia a los resultados obtenidos en la variable PE, encontramos una fuerte significación estadística a favor de una menor PE después de practicar AF+VJA, en comparación con la simple y repetitiva AF. Este hecho, podría deberse al efecto distractor provocado por los estímulos perceptivocognitivos generados durante la práctica con el videojuego activo.

A continuación, se tratará de discutir las hipótesis que fueron planteadas.

3.3.5.1. Efectos agudos de la AF y la AF+VJA sobre el TRC

Como se indicó en el apartado de fundamentación teórica y en las discusiones de los dos estudios anteriores, el TRC es el tiempo que tardó cada participante desde que percibió el estímulo hasta que finalizó la acción motora que conllevaba la respuesta, sin tener en cuenta los aciertos, errores, las veces que no reaccionó y las reacciones incompletas. Estos últimos se midieron a través de la eficacia. Entre los factores que pudieron modificar los tiempos de reacción, el ejercicio físico corresponde a uno de los más estudiados. El deporte, es una actividad basada en el ejercicio físico, el entrenamiento y la perfección técnica, en la que los deportistas buscan obtener un estado de forma óptimo para conseguir el máximo rendimiento posible. Este estado de forma óptimo, o incluso por el propio ejercicio físico realizado para llegar a este estado ideal en sí mismo, puede reflejar una reducción del TR. Así lo probaron algunos estudios como los de Collardeau, Brisswalter, Vercruyssen, Audiffren y Goubault (2001), los cuales señalaron que el TR de los corredores mejoró durante la ejecución de la actividad, aunque no encontraron factores post ejercicio. Pesce et al. (2004), por su parte, realizaron un estudio con futbolistas y con personas no deportistas, y encontraron que el TR después de una carga física mejoraba en el grupo que no eran deportistas, pero no en los futbolistas. Por lo tanto, aunque son varios los procesos cognitivos que se benefician de la actividad física, hay algunos que fueron influidos de manera más potente. En general, podemos concluir que el ejercicio ejerce un efecto protector más potente comparativamente con otros procesos, sobre el control ejecutivo y el procesamiento cognitivo (Hillman, Erickson y Kramer, 2008).

Los resultados obtenidos en la presente investigación experimental, respecto al efecto que produce la AF y AF+VJA sobre el TRC, fueron significativos durante las dos fases del TRC ($p < 0,001$). Este hecho hizo referencia a la primera hipótesis específica, verificando que tanto la AF como la AF+VJA produjo una mejora o disminución del TRC. Por lo tanto, en este estudio se confirmaron los resultados de investigaciones anteriores acerca de la mejora en el TRC después de practicar actividad física aeróbica a una intensidad moderada. Desde 1990, más de 20 estudios demostraron claramente una mejora del procesamiento de la información durante la práctica de actividad física en el cicloergómetro, a una intensidad entre el 40% y el 70% del $VO_{2Máx}$. (Adam, Teeken, Ypelaar, Verstappen y Paas, 1997; Arcelina, Deslignières, Brisswalter, 1998; Chmura, Krysztofiak, Ziemba, Nazar, Kaciuba-Uscilko, 1998; Davranche, Audiffren y Denjean, 2006; McMorris y Graydon, 1996; Pesce, Capranica, Tessitore y Figura, 2002; Pesce, Casella y Capranica, 2004).

En la línea principal de los resultados que obtuvimos en este tercer estudio de la presente tesis doctoral, Tomporowski (2003) presentó una revisión sobre aquellos estudios que examinaban los efectos del ejercicio físico sobre la función cognitiva. Una de sus conclusiones fue que ejercicios submáximos (hasta 60 minutos) facilitaban procesos cognitivos como el TR y la memoria. Sin embargo, en ejercicios de mayor duración, que llegaban hasta la deshidratación y agotamiento, los procesos cognitivos y la memoria se veían comprometidos. Además de esto, Tomporowsky también expuso que en actividades de ejercicio máximo donde existía la toma de decisiones, los tiempos de respuesta eran más rápidos, a pesar de que no se producían cambios en los índices de error de los participantes. En esta misma línea, Thomson, Watt y Liukkonen (2009), demostraron que la capacidad para responder con eficacia ante un móvil en deportistas de élite disminuía cuando aparecía la fatiga, comprometiéndose o disminuyendo la precisión, a pesar de que los TR se reducían. Continuando con los efectos del ejercicio físico en el TR y acorde con esta primera hipótesis planteada, Orellana (2009) hizo una revisión de investigaciones, en las que se demostraba de alguna forma que el ejercicio físico reducía el TR. En primer lugar citó estudios en los que se demostraba que el ejercicio físico afectaba al procesamiento sensorial y que un efecto sobre el tiempo premotor dependía de la intensidad de los estímulos visuales. Otros trabajos citados por este autor sugerían que el ejercicio físico acotaba el TR debido a la acción de los procesos motores periféricos, como la elevación de la temperatura corporal, que aumentaría la velocidad de conducción de tanto de las fibras musculares, como de los nervios periféricos. Así mismo, otros estudios citados por este mismo autor (Orellana, 2009) mencionaron que el ejercicio también podría influir en la excitabilidad de la corteza motora, y que incluso el efecto del ejercicio sobre el proceso motor podría ser mediado vía el sistema noradrenérgico. Respecto a esto, algunos autores indicaron una correlación negativa entre la concentración de catecolaminas plasmáticas y TR durante un ejercicio incremental hasta el agotamiento. Esta relación de las catecolaminas durante un ejercicio submáximo podría ser responsable de la mejora de los TR a estas intensidades. Etnyre y Kinugasa (2002) y Masanobu y Choshi (2006), hablaron de la relación entre la mejora del TR y la contracción isométrica, llegando a la conclusión que esta contracción permitía trabajar al cerebro de forma más rápida, obteniéndose un menor TR después de ésta. Por último, otros autores, Davranche et al. (2006), demostraron que el ejercicio mejoraba el TR por un incremento de la atención.

Finalmente, recordamos que una posible explicación acerca del efecto facilitador del ejercicio agudo sobre el TR era un aumento en la activación fisiológica inducida por el ejercicio (Brisswalter et al., 2002; Gutin y Cayce, 1973; Kamijo et al., 2004; McMorris

y Graydon, 1997). Sin embargo, los efectos facilitadores del ejercicio sobre el TRC eran mayores en comparación con el TRS y sugerían un aumento en la excitación cognitiva inducida por el ejercicio (Clarkson-Smith y Hartley, 1989). En muchos momentos de la vida se requerían tareas motoras perceptuales que debían realizarse de la manera más rápida y precisa posible. Sin embargo, a pesar de que los deportistas ya tenían un TRS y TRC menor que las personas sedentarias (Williams y Ford, 2008; Nakamoto y Mori, 2008; Fontani et al., 2009), es en el deporte donde esta capacidad cobró un gran protagonismo. En muchas modalidades deportivas, el TRC era clave, llegando incluso a ser determinante entre el éxito y el fracaso en algunas ocasiones, sobre todo en los deportes de equipo y en los deportes viso-motores, donde la eficacia (velocidad + precisión) en el tiempo de reacción selectivo complejo ante los diferentes estímulos que aparecían en el juego era esencial para el éxito. Sabiendo que el TRC era una capacidad significativa en el deporte, debíamos tener en cuenta que hay disciplinas en las que cobraba especial importancia la fase de decisión (periodo latente o tiempo premotor), por lo que fue crucial ser eficaz, tal y como ocurrió en los deportes más precisos (tiro con arco, tiro olímpico, curling, etc.). Por otro lado, hay modalidades deportivas en las que se precisaba una respuesta rápida (tiempo motor), similar al TRS, en la que no se necesitaba ser absolutamente eficaz (disciplinas cíclicas de muy corta duración). Además, en un gran número de deportes (fútbol, baloncesto, tenis, etc.), lo que interesaba era tener un tiempo de reacción global muy bueno, tanto en su componente cognitivo (tiempo premotor) como en su componente motor (tiempo motor), siendo determinante la eficacia (velocidad + precisión) en el TRC. En relación a este aspecto, algunos estudios demostraron que la capacidad para responder con eficacia ante un móvil en deportistas de élite disminuyó cuando aparece la fatiga, mermando la precisión (Thomson et al., 2009).

Para concluir, los resultados de esta investigación tuvieron importancia tanto para el ámbito de la salud, puesto que un adecuado tiempo de reacción aumentaba la adaptación de la persona al entorno y por lo tanto su bienestar, como para el mundo del deporte de alto rendimiento, ya que son muchos los deportes en los que el TRC de los deportistas era clave para un correcto y óptimo rendimiento (Callardeau, Brisswalter, Vercruyssen, Audiffren y Goubault, 2001; Pesce et al., 2004; Williams y Ford, 2008; Nakamoto y Mori, 2008; Fontani, 2009; y Thomson et al., 2009). No pudimos olvidar que este beneficio, no solamente era aplicable al ámbito de la alta competición, sino también al deporte y la actividad física en general y a otros ámbitos, ya que el TRC era relevante en otros aspectos de la vida diaria. Por lo tanto, de este resultado se pudieron beneficiar tanto deportistas de élite, como personas sanas que intentan mantener un nivel de salud

óptimo, o incluso diferentes afectados por algún tipo de patología o enfermedad, de ahí la relevancia del resultado que esta investigación trató de demostrar.

3.3.5.2. Efectos comparativos de la AF y la AF+VJA sobre el TRC

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación experimental, el efecto sobre el TRC en función de AF y AF+VJA tampoco mostró diferencias significativas en ninguna de sus fases (TR y TRM), ni en la eficiencia, tal y como mostraron los resultados de los dos estudios anteriores. Por ello, no se verificó la segunda hipótesis específica planteada en este tercer estudio, según la cual se produjo una mayor mejora en el TRC después de AF+VJA, que después de AF. Por lo tanto, gracias a esta investigación se realizó otra aportación científica en comparación a los resultados de investigaciones anteriores acerca de la mejora en el TRC después de practicar diferentes tipos de actividad física con mayor o menor estímulo perceptivo, cognitivo y motor, en una muestra compuesta por un mayor número de participantes de diferentes edades: jóvenes adultos y adultos mayores. Al igual que en la hipótesis anterior, esta falta de verificación no fue extrapolable a muestras poblacionales similares.

Acorde a los fundamentos teóricos comentados en el primer apartado, recordábamos que los factores que podían condicionar una respuesta rápida o lenta eran múltiples: aspectos motivacionales, tener práctica con la tarea (como resultado del aprendizaje y del entrenamiento), prestar atención en la realización de la tarea, el nivel de “*arousal*” (Henderson y Dittrich, 1998), la perseverancia de errores durante la ejecución de la tarea (Garavan et al., 2002), la existencia de alteraciones en el estado de ánimo (depresión, ansiedad, etc.), la presencia de impulsividad (ligada a una lesión cerebral o al consumo de sustancias), la presencia de síntomas neuropsicológicos como la apatía, dificultades motoras que puedan condicionar el rendimiento, etc. Por lo tanto, no pudimos establecer una relación directa entre el grado de estimulación perceptivocognitiva durante la práctica de AF y una mejora en los TR. Desde esta segunda hipótesis específica, asumimos que las dificultades de procesamiento de la información fueron una de las principales causas de las alteraciones cognitivas de los sujetos (DeLuca et al., 2004). El modelo “*relative consequence*” sugería que la ralentización de los individuos afectaba a su capacidad para realizar otras tareas como la memoria de trabajo (Archibald y Fisk, 2000; D’Esposito et al., 1996), la memoria a largo plazo (Litvan et al, 1988) o la adquisición de nueva información (DeLuca et al., 2004). Así la mala ejecución de las tareas en dichos sujetos podía interpretarse

erróneamente si no se consideraba la influencia que ejerce la VPI (Salthouse, 1996). Por tanto, esta concepción de la velocidad sugirió que la ralentización que se observaba en diferentes grupos de individuos inflía en el rendimiento de los mecanismos cognitivos de más alto nivel (Kail, 1998).

Otra razón por la que fue posible que no encontráramos diferencias en la segunda hipótesis se relacionó con la naturaleza de la prueba de TR realizada, en comparación con la vida real. Durante la ejecución de los test de TR, la presión del tiempo era alta y la velocidad era el factor principal. La tarea estaba muy estructurada y la necesidad de control atencional era mínima. La conducta de los sujetos en estos casos estaba conducida por los estímulos. Zomerén y Spikman (2006) sugirieron que estas diferencias podían afectar a la validez de los test respecto a dos aspectos fundamentales: la presión del tiempo y la estructura de la tarea. Ambas eran importantes tanto en el contexto de la evaluación como en la vida cotidiana, de modo que la presión del tiempo guardó relación con la VPI y la estructura de la tarea se relacionó con los componentes de control atencional. La necesidad de control fue máxima en tareas poco estructuradas que no se pudieron resolver con respuestas rutinarias o automáticamente. El control atencional siempre implicó la participación de la memoria operativa, donde las intenciones y las reglas del funcionamiento de la tarea tenían que mantenerse activas (Zomerén y Spikman, 2006). Por otro lado, la teoría del ruido de Myerson et al. (1990), señalaba que los TR y la mayoría de eventos neuronales estaban ralentizados porque el SNC necesitaba más tiempo para integrar la información y compensar unos altos niveles de ruido neural distractor, debido a sonidos de fondo, alteraciones o irregularidades en el funcionamiento de las neuronas, etc. No pareció existir, por tanto, una influencia de la interferencia sobre el análisis de los estímulos relevantes, y el posible “sobrepesamiento” de información irrelevante no se mostró como algo central para explicar la disminución de la VPI. Pese a ello, seguíamos pensando que estos niveles de señal y ruido podían guardar relación con una pérdida de la funcionalidad y estructura del tejido axonal, y se seguían manejando como una hipótesis plausible para explicar los cambios en la VPI (Zomerén y Brouwer, 1994).

Por otro lado, los numerosos avances en las técnicas de neuroimagen y del registro de la actividad cerebral permitieron aportar información relevante en cuanto a las estructuras que pudieron subyacer a la VPI. La VPI se relacionó más con la sustancia blanca cerebral que con la sustancia gris. Diferentes estudios conductuales y mediante técnicas de neuroimagen sugirieron una relación entre la velocidad y determinadas características del “cableado” cerebral: el diámetro de las vías nerviosas, la integridad

de las vainas de mielina, el grado de mielinización, el número de canales iónicos y la eficiencia en la sinapsis (Ríos-Lago y Periañez, 2010). En el momento actual, el estudio de la relación entre sustancia blanca cerebral, VPI y otros procesos cognitivos está en sus inicios, y muchos de los trabajos publicados no van más allá de la mera descripción de correlaciones. Por tanto, es necesario seguir profundizando en esta línea de investigación para determinar el papel que desempeña cada una de las estructuras de la sustancia blanca cerebral. También es posible detectar mecanismos a alteraciones más cognitivas y, quizá, ligados a la sustancia gris (Ríos-Lago y Periañez, 2010). Algunos de estos mecanismos se relacionan con las regiones del cerebro responsables de las primeras fases de procesamiento de la información.

En la línea principal de los resultados obtenidos en este tercer estudio, algunos trabajos se centraron en las posibilidades de mejoría de sujetos sanos (Dye et al., 2009). El objetivo principal de estos estudios era valorar si es posible reducir los TR con el entrenamiento apropiado en un individuo, para múltiples tareas y sin afectar a la precisión de las respuestas. Para ello, utilizaron un entrenamiento en videojuegos, que tuvo un impacto sobre la VPI y no hizo disminuir la precisión de las respuestas. Estos autores señalaron que los TR rápidos mostraban una correlación con tests de alto rendimiento cognitivo (Conway et al., 2002) y eran responsables de algunos de los cambios observados a lo largo del ciclo vital (Kail y Salthouse, 1994). En cuanto al uso de pruebas neuropsicológicas clásicas y el uso de tareas más experimentales de TR, existían algunas cuestiones metodológicas que valía la pena revisar (Kail 1998; Donders et al., 2001; Lengenfelder et al., 2006). La VPI se evaluó normalmente desde tres tests tradicionales como el PASAT, el SDMT, el Test de Stroop o el Trail Making Test. Pese a que dichos tests proporcionaron una información relevante sobre el rendimiento cognitivo de cada individuo, según Tombaugh (2006) presentaban tres problemas fundamentales: 1) no permitían medir de forma precisa la VPI, sino que generaban medidas en el orden de los segundos; 2) los resultados podían venir modulados por los síntomas motores y sensoriales de la enfermedad, ya que los individuos podían padecer problemas de visión, enlentecimiento perceptivo, motor, auditivo, etc. En estos casos era necesario controlar este hecho, de modo que se pudo eliminar de los resultados la posible influencia de dichas dificultades. También fue posible el uso de tareas informatizadas para minimizar su impacto; y 3) su realización implicó la puesta en marcha de diferentes procesos cognitivos. Por lo tanto, estábamos de acuerdo en que no existían tests puros que ponían en marcha un solo dominio cognitivo. No obstante, carecían de especificidad suficiente para clarificar cuál de los mecanismos cognitivos asociados a su realización era responsable de una ejecución pobre. Finalmente,

recordabamos que según los resultados de la investigación (Budde et al., 2008), el ejercicio de coordinación compleja era probable que fuese dependiente de los procesos cognitivos relacionados con las FFEE, ya que mejoraba el funcionamiento neural prefrontal. Cuanto más simple era el ejercicio repetitivo, menor activación se producía en la corteza prefrontal. Por lo tanto, teniendo en cuenta estos resultados y en relación a los obtenidos en nuestro estudio, pudimos concluir que nuestra hipótesis acerca de una mayor mejora del TRC después de AF+VJA, en comparación con la simple y repetitiva AF, no estuvo sustentada por los datos que ofrecen otros estudios. Por lo tanto, tampoco se verificó que la práctica de actividad física combinada con los videojuegos activos, tuviera un efecto más fuerte que el ejercicio que se trabaja por un número de vías menor, en esta muestra más amplia que los dos estudios anteriores.

3.3.5.3. Efectos de la AF y la Af+VJA sobre la PSE

En este tercer estudio, los resultados obtenidos acerca de los efectos que produce la AF y AF+VJA sobre la PSE mostraron que los participantes poseen una menor PE después de AF+VJA, que solamente después de AF ($p < .001$). Esta importante diferencia significativa verificó la tercera hipótesis, corroborando que la AF+VJA produjo una menor PSE realizado, que la AF. Basándonos en los resultados obtenidos en esta investigación y en el concepto de fatiga cognitiva, pudimos establecer una relación en la que una menor PSE inducía a una menor fatiga cognitiva, y viceversa. Para contribuir a verificar científicamente esta relación, serían necesarias futuras investigaciones, utilizando la escala de PE (Foster, 2001), la escala modificada del impacto de la fatiga cognitiva (EMIF-C) y un EEG para observar la actividad cerebral, entre otros instrumentos. A su vez, esta relación podría verse influida y condicionada por la naturaleza de la tarea realizada, el control de la atención (Schwid, 2003), la diversión, la motivación, la inhibición, la memoria de trabajo (Macías-Delgado et al., 2012) y otros componentes de las FFEE.

Tal y como se comentó en la discusión del anterior estudio, un hecho que a menudo pasamos por alto es que existían muchas formas de ejercicio que constituirían actividades cognitivamente atractivas. Estabamos de acuerdo en que diferentes investigadores han sugerido que este compromiso cognitivo inherente al ejercicio podría ayudar a explicar cómo el ejercicio afecta a la cognición (Sibley y Etnier, 2003; Tomporowski et al., 2008). También estabamos de acuerdo en que gran parte del ejercicio que realizaban por naturaleza los niños se realizaba a través de la participación en actividades de grupo o deportes que requerían cognición compleja, con el fin de cooperar con los compañeros de equipo, anticipar el comportamiento de dichos

compañeros o de sus oponentes, emplear estrategias y adaptarse a las demandas de la tarea en constante cambio. Las actividades de grupo, como el fútbol o el baloncesto jugado por los niños, contenían muchas de esas demandas cognitivas, (Davis et al., 2007). Es importante destacar que las tareas de las FFEE provocaron demandas similares en los procesos ejecutivos de los niños, obligándoles a crear, controlar y modificar un plan cognitivo para satisfacer las demandas de la tarea (Banich, 2009). De este modo, pudimos concluir que los juegos aeróbicos y las diferentes tareas de las FFEE, requerían una forma de pensamiento y habilidades cognitivas similares que favorecieron a una menor PSE, que la simple AF repetitiva y automática. También es posible que las habilidades cognitivas adquiridas durante los juegos aeróbicos se transfirieran a los componentes de las FFEE y retrasaran la aparición de la fatiga cognitiva. En la misma línea principal que esta investigación, recordábamos que las tareas de las FFEE provocaron demandas similares en los procesos ejecutivos, de forma que obligábamos a crear, controlar y modificar un plan cognitivo para satisfacer las demandas de la tarea (Banich, 2009). De este modo, pudimos concluir que el ejercicio aeróbico y las diferentes tareas de las FFEE, requirieron una forma de pensamiento y habilidades cognitivas similares que favorecieron a una menor PE causada por un efecto “distractor”, que la simple AF repetitiva y automática. Por ello, es posible que las habilidades cognitivas adquiridas durante los juegos aeróbicos se hayan transferido a los componentes de las FFEE y retrasen la aparición de la fatiga cognitiva. Acorde con los fundamentos teóricos descritos anteriormente, un concepto que pudo ayudar a explicar la complejidad de estas interacciones entre los diferentes componentes de las FFEE y la PSE fue la interferencia contextual. Aunque la adquisición de habilidades se produjo más rápidamente cuando los componentes de una tarea se presentaron de una manera simple y repetitiva, la retención y la transferencia de las habilidades se incrementaron cuando hay interferencia contextual, es decir, los componentes se presentaron de una manera compleja y casi al azar (Bättig, 1972). El grado de compromiso cognitivo que ofreció una actividad variaba seguramente en su desarrollo. Las formas de ejercicio que contenían numerosas reglas probablemente no fueron las apropiadas para los adultos mayores. A su vez, es posible que se sintieran frustrados por la actividad y no recibieran ningún beneficio.

A diferencia de los estudios anteriores y acorde a nuestro planteamiento, otros estudios demostraron que la música ayudó a las personas a continuar el ejercicio durante más tiempo, retrasó la fatiga, y redujo la PSE (Karageorghis y Sacerdote, 2012a, 2012b; Reza, Moghaddam, Shadifar, y Mabhout, 2013). Estos estudios se basaron en la idea de que la música captaba la atención y distraía al individuo de la fatiga inducida

por la actividad, limitaba la agitación mental y ayudaba al cuerpo a responder al componente rítmico de la música, en actividades submáximas (Costasi y Terry, 1997; Karageorghis y Sacerdote, 2012a, 2012b). En la misma línea que planteó nuestra tercera hipótesis, Pollock et al. (2013) analizó la relación entre los videojuegos activos y la PE en una muestra de adultos sanos. Mientras jugaban, los usuarios se exponían a distractores visuales y auditivos a través del ordenador, la música y efectos de sonido interactivo. Los resultados verificaron las hipótesis mostrando una menor correlación entre los valores de la PSE y la FC durante el VJA, en comparación con otros estudios donde se realizaron otras actividades físicas sin distractores. No obstante, el estudio no comparó las diferencias en la PSE cuando el ejercicio se practicaba solo o combinado con VJA. A su vez, Diamond (2009) argumentó que el cerebro y la mente, por extensión, operaban de un modo global y las actividades cognitivas y motoras que dependen de procesamiento no automático y selectivo requerirán de su esfuerzo por adquirirlas. Por lo tanto, la ejecución de los movimientos motores complejos parecía ser una tarea cognitivamente atractiva, mientras que la ejecución de simples ejercicios repetitivos podía serlo menos. El grado de compromiso cognitivo que ofreció una actividad varía seguramente en su desarrollo. Las formas de ejercicio que contenían numerosas reglas probablemente no eran las apropiadas para los niños más pequeños, ya que no estaban preparados cognitivamente para entender y mantener dichas reglas. A su vez, era posible que se sientan frustrados por la actividad y no recibieran ningún beneficio. Según los resultados de este estudio, este hecho pudo aumentar la PSE, consecuentemente la fatiga cognitiva y alterar las FFEE. Por el contrario, los niños mayores pudieron llegar a desinteresarse en actividades que son rápidamente adquiridas y dominadas. En la misma línea de investigación, recordamos que la PE era la sensación consciente de lo pesado y extenuante de una tarea física (Borg, 1998), y constituía un aspecto importante de nuestra experiencia subjetiva de la voluntad. A su vez, proporcionaba información acerca de la dificultad de la tarea, participaba en los mecanismos energéticos de adaptación y contribuía a la sensación de voluntad consciente (Preston y Wegner, 2009). Sin embargo, poco se sabía sobre la neurofisiología de la PSE. Se creyó que la señal de la percepción subyacente de esfuerzo surgió del cerebro y del comando motor central. Esta teoría sugirió que la PSE debía estar significativamente correlacionada con la magnitud del centro de comando motor. Este hecho evidenció una relación directa con la fatiga cognitiva, el TR y la PSE. Sin embargo, existía muy poca evidencia directa de que la PSE realizada correlacionara con la actividad cerebral. Por lo tanto, según esta investigación pudimos afirmar que la práctica de actividad física que influía en la cognición a través de múltiples vías, produjo una PSE menor que el ejercicio que se trabaja por un número de vías menor.

En este estudio, se propuso el VJA como un elemento de distracción mientras los participantes pedaleaban en una bicicleta estática durante 30 minutos a una intensidad moderada, con el objetivo de dirigir la atención hacia un enfoque externo y contribuyendo a llevar a cabo un movimiento controlado y automático, de la forma más eficiente posible. Como conclusión, era importante resaltar la importancia de la PSE en función de la fatiga cognitiva. Ya que a menor PSE, la fatiga cognitiva aparecía más tarde. Si además relacionabamos estos dos conceptos con la actividad física (fatiga física), era lógico que ante un trabajo de igual intensidad, cuando la fatiga cognitiva era menor, la PSE al final de la tarea fuera también menor, y viceversa. A su vez, diferentes componentes de las FFEE como el control de la atención, la flexibilidad cognitiva, la VPI y la motivación, podían verse relacionados con la naturaleza de cada tarea y no obstante, con la PSE.

3.3.6. CONCLUSIONES

Atendiendo a los diferentes apartados expuestos en el presente estudio y de los resultados obtenidos del mismo, se enuncian las siguientes conclusiones derivadas de los mismos.

1.- La práctica de AF y AF+VJA disminuye el TRC durante sus dos fases (TR y TRM) y la eficiencia, en jóvenes adultos y en adultos mayores. Ello evidencia que el ejercicio físico produce un efecto positivo sobre el funcionamiento y el rendimiento cognitivo en este tipo de población.

2.- No se produce una mayor mejora del TRC después de AF+VJA que después de AF en jóvenes adultos y en adultos mayores. Por lo tanto, no podemos establecer una relación directa entre una mayor activación del lóbulo prefrontal y la naturaleza de cada tipo de ejercicio (más simple, o, más complejo).

3.- La PSE es menor después de realizar AF+VJA, que después de realizar AF en jóvenes adultos y en adultos mayores. Este hecho podría estar relacionado con un efecto de interferencia contextual y la fatiga cognitiva tal y como se ha comentado anteriormente en el apartado de la discusión.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN GENERAL

Tanto en el marco teórico como en la parte empírica de la presente Tesis doctoral se intentó citar estudios que hayan resaltado y profundizado sobre la importancia de los diferentes procesos cognitivos en la regulación de la conducta humana, así como los efectos que el ejercicio físico produjo sobre ellos. El objetivo principal de esta tesis doctoral fue aumentar el conocimiento sobre la relación existente entre los efectos agudos provocados por la AF aeróbica sobre las funciones cognitivas. De forma más específica pretendimos conocer cómo diferentes tipos de AF con mayor o menor estímulo perceptivocognitivo, influían en el TRC, la flexibilidad cognitiva y la PE. Muchos estudios que analizaron los efectos agudos del ejercicio utilizaron tareas de tiempo de reacción (Fleury y Bard, 1987; Hogervorst et al., 1996;. McMorris, 1995; McMorris y Keen, 1994; Travlos y Marisi, 1995) y las tareas de reconocimiento visual (Bard y Fleury, 1978;. Fleury et al., 1981). Recientemente, los investigadores comenzaron a examinar los efectos del ejercicio agudo sobre la función ejecutiva y el lóbulo frontal (Chang y Etnier, 2009a, b; Dietrich y Sparling, 2004; Sibley et al., 2006; y Tomporowski et al., 2005).

Los efectos agudos del ejercicio sobre el rendimiento cognitivo en diferentes edades, se revisaron a través de cuatro meta-análisis (Chang et al., 2012; Etnier et al., 1997; Lambourne y Tomporowski, 2010; Sibley y Etnier, 2003). Otra investigación meta-analítica donde se contemplaron 53 estudios (McMorris y Beverley, 2012), mostró que los efectos agudos del ejercicio físico producían un pequeño tamaño del efecto significativo ($g = 0,14$, $p < 0,01$) sobre la VPI y la eficiencia. El análisis comparó entre la VPI y la eficiencia mostrando que la VPI representaba la mayor parte del efecto. Para la VPI, los efectos agudos producidos por el ejercicio de intensidad moderada demostró un tamaño del efecto medio significativamente más grande que los de ejercicios de intensidades bajas y altas. Para la VPI durante el ejercicio de intensidad moderada, las tareas ejecutivas centrales mostraron un tamaño del efecto más grande que la memoria operativa y las tareas de alerta/atención. No hubo diferencia significativa entre los tamaños del efecto medio cuando la prueba se llevó a cabo después de realizar ejercicio en comparación con la VPI durante el ejercicio, pero otros estudios sí que demostraron mayor tamaño medio de efecto inmediatamente después de realizar ejercicio. Se concluyó que el aumento de la excitación durante el ejercicio de intensidad moderada, probablemente debido al aumento de las concentraciones cerebrales de los neurotransmisores dopamina y norepinefrina, daba lugar a una mayor velocidad de procesamiento. Un efecto menor por parte de la eficacia, pudo ser debido a la falta de elegir pruebas que no fueran lo suficientemente complejas como para medir los cambios inducidos por el ejercicio en el rendimiento cognitivo.

Estos resultados afectaron claramente a la generalización de las conclusiones y dieron lugar a la exclusión de numerosos estudios realizados en otras edades y componentes, que podían contribuir a nuestra comprensión de los efectos del ejercicio agudo sobre el rendimiento cognitivo. Sin embargo, los resultados siguieron siendo poco concluyentes, ya que otros estudios obtuvieron efectos no significativos. Por ejemplo, Tomporowski et al. (2008) no encontró diferencias significativas entre los efectos agudos del ejercicio aeróbico repetitivo y simple, y el descanso sobre el funcionamiento cognitivo, en una muestra de 69 niños con sobrepeso, entre 7-11 años de edad.

Por otro lado, Hutchinson y Tenenbaum (2007), Tenenbaum (2001) y Rejeski (1981 y 1985) propusieron que la PSE dependía de la intensidad del ejercicio y las variables psicológicas. Según ellos, las estrategias cognitivas como la información procedente de las sensaciones corporales y distracciones ambientales, eran especialmente relevantes para disminuir la PSE durante el ejercicio submáximo. A medida que aumentó la intensidad del ejercicio y la sensación de esfuerzo, el enfoque de la atención fue predominantemente interno y las estrategias cognitivas disminuyeron su eficacia.

Multitud de estudios informaron acerca de cómo el esfuerzo físico puntual modulaba el funcionamiento del sistema cognitivo en general (Hillman et al., 2008; McMorris et al., 2009). Sin embargo, apenas existían referencias relativas al estudio de los efectos agudos provocados por la práctica de AF y los VJA sobre el TRC y la PSE en jóvenes adultos y adultos mayores. Con el propósito de aumentar el conocimiento en este ámbito de estudio, la presente tesis doctoral se basó en el planteamiento de una serie experimental conformada por tres estudios experimentales.

En el primer experimento se examinó los efectos agudos del ejercicio aeróbico practicado solo, y el ejercicio aeróbico practicado con VJA sobre el TRC y la PSE en jóvenes adultos sanos. El grupo experimental estuvo compuesto por 92 participantes que completaron dos sesiones. En la sesión A, los participantes pedalearon 30 minutos en un cicloergómetro, mientras que en la sesión B pedalearon durante 30 minutos en un cicloergómetro mientras jugaban a un VJA en una Wii. El grupo de control estuvo compuesto por 30 adultos jóvenes que descansaron durante 30 min. En cada sesión, se llevó a cabo una tarea de TRC antes y después de hacer ejercicio aeróbico o descanso, y después del ejercicio se observó la PSE global. La hipótesis principal de la investigación fue que la AF+VJA, implicaría una disminución o mejora del TRC y una menor PSE, en comparación a la práctica de AF repetitiva y automática sin VJA.

El segundo experimento analizó los efectos agudos del ejercicio aeróbico y los videojuegos activos sobre el TRC, la flexibilidad cognitiva y la PSE en adultos mayores. La muestra estuvo compuesta por 49 participantes, 11 varones y 38 mujeres (edad $M = 67.7 \pm 4.7$ años) divididos aleatoriamente en tres condiciones experimentales. En la primera, los participantes pedalearon 30 minutos en un cicloergómetro (AF). En la segunda, pedalearon durante 30 minutos en un cicloergómetro mientras jugaban a un VJA en una Wii (AF+VJA). Y en la tercera, solamente se jugó al VJA. En cada sesión, se llevó a cabo una tarea de TRC antes y después de hacer ejercicio aeróbico y/o VJA. Después del ejercicio, se observó la flexibilidad cognitiva y la PSE. La hipótesis principal de la investigación fue que la práctica aeróbica combinada VJA, implicaba una disminución o mejora del TRC, una mayor mejora de la flexibilidad cognitiva y una menor PE, en comparación a la práctica de AF repetitiva y automática sin VJA.

El tercer experimento se examinaron los efectos agudos del ejercicio aeróbico practicado solo, y el ejercicio aeróbico practicado con VJA sobre el TRC y la PSE en jóvenes y adultos mayores. El grupo experimental estuvo compuesto por 78 participantes, 39 varones y 39 mujeres (edad $M = 21.9 \pm 2.7$ años) que completaron dos sesiones, A y B. En la sesión A, los participantes pedalearon 30 minutos en un cicloergómetro, mientras que en la sesión B pedalearon durante 30 minutos en un cicloergómetro mientras jugaban a un VJA en una Wii. En cada sesión, se llevó a cabo una tarea de TRC antes y después de hacer ejercicio aeróbico o descanso, y después del ejercicio se observó la PSE global. La hipótesis principal de la investigación fue que la práctica aeróbica combinada VJA, implicaba una disminución o mejora del TRC y una menor PSE, en comparación a la práctica de AF repetitiva y automática sin VJA.

Tal y como se describió anteriormente, las tres hipótesis principales correspondientes a las tres series experimentales, podían estar relacionadas con una mayor actividad cerebral en el lóbulo prefrontal producida por los estímulos perceptivocognitivos generados durante la práctica de VJA.

4.1. EFECTOS AGUDOS DE LA PRÁCTICA DE AF, AF+VJA Y VJA SOBRE EL TRC EN LOS TRES ESTUDIOS EXPERIMENTALES.

Los resultados obtenidos respecto al efecto que produce la AF, AF+VJA y VJA sobre el TRC, fueron significativos durante las dos fases del TRC (TR y TRM) y la eficacia ($p < .001$) en los tres estudios experimentales. Este hecho hizo referencia a la primera hipótesis específica que compartieron estas tres series experimentales, verificando que los tres tratamientos (con mayor o menor estímulo perceptivo y cognitivo) produjeron una mejora o disminución del TRC. Por lo tanto, en los tres estudios se confirmó los resultados de investigaciones anteriores acerca de la mejora en el TRC después de practicar actividad física aeróbica a una intensidad moderada en jóvenes adultos y adultos mayores (Adam, Teeken, Ypelaar, Verstappen, y Paas, 1997; Arcelina, Deslignières, Brisswalter, 1998; Chmura, Krysztofiak, Ziemba, Nazar, Kaciuba-Uscilko, 1998; Davranche, Audiffren, y Denjean, 2006; McMorris y Graydon, 1996; Paas y Adam, 1991; Pesce, Capranica, Tessitore, y Figura, 2002; Pesce, Casella, y Capranica, 2004; y Orellana, 2009). Esta primera hipótesis que compartieron las tres series experimentales, iba en la línea que proponían Colcombe y Kramer (2003), ya que las FFEE aparecieron más sensibles que otros aspectos de la cognición ante un entrenamiento aeróbico. La relación entre la AF y las FFEE se basó en la evidencia de que el ejercicio aeróbico mejoraba el rendimiento cognitivo, de forma selectiva en los adultos mayores y en niños, y condujo a los correspondientes incrementos en la actividad de la CPF (Colcombe et al., 2004; Kramer et al., 1999). No obstante, tras los resultados de esta investigación, pudimos deducir que la mejora del TRC implicaría una mejora parcial en las FFEE de los participantes.

Tal y como hemos revisado anteriormente, en el colectivo de gente mayor el ejercicio físico ejerció un efecto beneficioso sobre el TR al mejorar el rendimiento cognitivo. No obstante, todos los factores psicológicos que suponían en mayor grado un procesamiento cognitivo de la información y resolución de problemas, parecían verse afectados positivamente por la práctica de actividad física. Los estudios demostraron un efecto potente del entrenamiento de la condición física a la hora de mejorar ciertos procesos cognitivos como la toma de decisiones, la memoria y la solución de problemas, los cuales pudieron ser importantes para un riesgo posterior de demencia (Colcombe y Kramer, 2003; Hamer y Chida, 2009). Tal y como hemos observado en los tres estudios, a pesar de la diferencia de edad seguíamos obteniendo una mejora del TRC después

de la práctica de AF y VJA, tanto con los jóvenes adultos, como con los adultos mayores. Este hecho pudo estar relacionado con el concepto de “*reserva cognitiva*”, la cual hacía referencia a la capacidad del cerebro para afrontar los cambios cerebrales producidos por el envejecimiento normal o por un proceso neuropatológico, que contribuía a disminuir sus manifestaciones clínicas. Era una capacidad dinámica e inestable del cerebro que cambiaba y permanecía durante toda la vida (Meng y D’Arcy, 2012). Como hemos comentado anteriormente, la reserva cognitiva, o la habilidad del cerebro para tolerar mejor los efectos del envejecimiento, podía ser el resultado de una habilidad innata o de los efectos de las experiencias vividas, tales como la educación o la ocupación laboral (Manly, Touradji, Tang y Stern, 2003). Siguiendo esta línea, la reserva cognitiva se consideró como un mecanismo activo basado en la aplicación de los recursos aprendidos gracias a una buena educación, profesión, actividad física e inteligencia premórbida (Stern, Albert, Tang y Tsal, 1999). En el cerebro, esta reserva se implementó a través de redes que, ante una tarea de alta demanda cognitiva, fueron más eficientes y tuvieron más capacidad. Cuando la demanda de la tarea era baja, las personas con alta reserva mostraron una menor activación neural que aquellas con menos reserva, es decir, para realizar esta tarea necesitaron menos recursos cerebrales. Sin embargo, esta observación se invirtió cuando la demanda de la tarea era alta, ya que en las personas con alta reserva se evidenció una activación neural mayor en función del aumento de la demanda, mientras que en aquellas con baja reserva se excedió la capacidad máxima de la red específica, de manera que no pudieron responder el aumento de la demanda de la tarea con un aumento en la actividad neural (Redolar et al., 2015).

Acorde a los diferentes tipos de práctica de AF utilizados en el segundo estudio de la presente tesis doctoral, se pensó que la participación en actividades cognitivamente estimulantes contribuye a la reserva cognitiva (Wilson et al., 2003). De hecho, si la reserva cognitiva se basaba en el nivel de eficacia y flexibilidad de los sistemas cognitivos, parecía probable que el uso frecuente de estos sistemas en tareas que implicaban un reto intelectual estaba asociado con un nivel de reserva cognitiva más alto (Stern 2002). Un estudio realizado por (Zabar et al., 1996), evaluó el tiempo que un grupo de personas dedicaba a participar en actividades complejas (tocar un instrumento musical, hacer manualidades, etc.) y en actividades básicas (comer, vestirse, etc.), los resultados mostraron que el participar regularmente en actividades complejas frente a las simples reduce en dos años el riesgo de desarrollar demencia. Obviamente, los aspectos culturales diferenciados y la complejidad de este último tipo de actividades hacen que se deba de precisar más que tipo de actividades (simples o

complejas) y que durabilidad son necesarias. En la misma línea, (Fabrigoule et al., 1995) observaron que actividades como viajar, realizar trabajos complejos y tejer estaban asociados con un bajo riesgo de demencia. Aquellos ancianos que tienen más actividades de ocio presentan un 38% menos de riesgo de desarrollar demencia, y el riesgo se reduce un 12% aproximadamente por cada actividad de ocio adoptada (Scarmeas et al., 2001).

El resultado de los tres estudios que compusieron la presente tesis doctoral tuvieron importancia tanto para el ámbito de la salud, puesto que un adecuado tiempo de reacción aumentaba la adaptación de la persona al entorno y por lo tanto su bienestar, como para el mundo del deporte de alto rendimiento, ya que eran muchos los deportes en los que el TRC de los deportistas era clave para un correcto y óptimo rendimiento (Callardeau, Brisswalter, Vercruyssen, Audiffren y Goubault, 2001; Pesce et al., 2004; Williams y Ford, 2008; Nakamoto y Mori, 2008; Fontani, 2009; y Thomson et al., 2009. No pudimos olvidar que este beneficio, no solamente era aplicable al ámbito de la alta competición, sino también al deporte y la actividad física en general y a otros ámbitos, ya que el TRC era relevante en otros aspectos de la vida diaria. Por lo tanto, de este resultado se pudieron beneficiar tanto deportistas de élite, como personas sanas que intenten mantener un nivel de salud óptimo, o incluso diferentes afectados por algún tipo de patología o enfermedad, de ahí la relevancia del resultado que esta investigación ha tratado de demostrar.

Recordaremos que una de las actividades de ocio más estudiadas es el ejercicio físico. Estamos de acuerdo en que la mayoría de estudios mostraron una asociación positiva entre la actividad física y el funcionamiento cognitivo en personas mayores (Chodzko-Zajko y Moore, 1994). Uno de los mecanismos por los cuales la actividad física pudo ser beneficiosa para la cognición es que dicha actividad estimulaba los factores tróficos y el crecimiento neuronal, posiblemente proporcionando una reserva contra la degeneración y la demencia (Gómez-Pinilla et al., 1998; Van Praga et al., 1999). Otros autores (Dik et al., 2003), encontraron en sus estudios una relación importante entre la actividad física en las primeras etapas de la vida, independientemente de la actividad física actual, con la velocidad de procesar información. Esto sugirió que los individuos físicamente activos en las primeras etapas de su vida pueden beneficiarse de ello en términos de una mayor VPI en la vejez. Por otro lado, el efecto positivo del ejercicio físico fue relacionado con una menor atrofia asociada con la edad en estudios de resonancia electromagnética, incluso con patrones diferenciales de activación, lo que sugirió una mejora en la plasticidad funcional cerebral.

En este sentido, tanto el ejercicio físico como la estimulación cognitiva regulaban factores que incrementaban la neuroplasticidad y la resistencia a la muerte celular. Por ejemplo, se encontraron aumentos de volumen cerebral en sustancia gris y sustancia blanca cerebral con el ejercicio aeróbico durante 6 meses por personas mayores, en comparación con personas que no lo realizaron. Según Colcombe y Kramer (1999), la función ejecutiva apareció más sensible que otros aspectos de la cognición ante un entrenamiento aeróbico. La relación entre la AF y la VPI se basó en la evidencia de que el ejercicio aeróbico mejoró el rendimiento cognitivo, de forma selectiva en los adultos mayores y en niños, y condujo a los correspondientes incrementos en la actividad de la CPF. No obstante, tras los resultados de esta investigación, pudimos deducir que la mejora del TRC implicaría una mejora parcial en la VPI de los participantes.

El ejercicio contribuyó a la estimulación de las funciones sensoriales de sensación y percepción (Zarit y Zarit, 1989). Por ejemplo, se pudo mejorar tanto la sensación exteroceptiva como la propioceptiva. También mejora la percepción de sí mismo, el autoconcepto, es más positivo al mejorar la composición corporal y la eficacia funcional; se redujo el TR (Hunter, Thompson y Adams, 2001); y con la práctica de AF, el TR de los mayores se puede mejorar (Cleland, 2001). Tanto los procesos cognitivos de memoria (Kramer, Hahn y McAuley, 2000) como los procesos implicados en la atención (Khatri et al., 2001) podían mejorar con el ejercicio, evitando los deterioros en estos factores propios del envejecimiento. Dik et al. (2003), encontraron que niveles altos de actividad física en la edad temprana (de los 15 a los 25 años) se asociaban con mayor VPI entre 62 y 85 años de edad. Trabajos realizados por Spirduso (1975) mostraron que el entrenamiento cardiorespiratorio intensivo tiene un impacto positivo en el mantenimiento del TR en personas mayores. Un trabajo más reciente que realizaron Themanson y Hillman (2006), indicó que la condición física cardiorespiratoria, pero no el ejercicio aeróbico agudo, incrementó el control atencional. En ambos estudios, la actividad física tuvo un efecto positivo sobre la cognición. Todos estos estudios aportaron también resultados de que niveles moderados de actividad física y ejercicio podían tener beneficios en algunos procesos cognitivos en personas de mediana edad y gente mayor. Además, sugerían que la actividad física reducía el riesgo de padecer Alzheimer (Kramer et al., 2005). Colcombe y Kramer (2003) hicieron una metanálisis para examinar la influencia de factores moduladores, con estudios publicados entre 1966 y 2001, con adultos mayores de 55 años de edad. Encontraron un efecto significativo del entrenamiento con ejercicio aeróbico, el cual fue más pronunciado para tareas que implicaban procesos de control ejecutivo (por ejemplo, planear, memoria de trabajo, control de interferencias y coordinación de tareas). Además, el estudio reveló

que hay otras variables que pueden influir en la relación de la condición física entrenada y la cognición, como pudieron ser los programas de entrenamiento aeróbico combinados con ejercicios de flexibilidad y fuerza, y no solamente el ejercicio aeróbico.

Para finalizar este apartado, pudimos concluir que involucrarse en actividades voluntarias complejas como la actividad física, mejoró la función cognitiva. Este hecho pudo ser debido a una gran variedad de procesos neurobiológicos, como la activación neuronal crónica, asociada con un aumento del trabajo del cerebro, mejor circulación de la sangre en la zona cerebral y mejor metabolismo de glucosa y oxígeno o incluso a través de una mayor habilidad para la generación de nuevas redes neuronales (Friedland, 1993). Finalmente, recordaremos que existían numerosas investigaciones acerca de los efectos crónicos de la actividad física sobre la función ejecutiva en poblaciones de niños y personas mayores, pero no acerca de los efectos agudos en los adultos mayores. Por ello, el segundo estudio que compuso la presente tesis doctoral, trató de valorar los efectos agudos de diferentes tipos de AF (con mayor o menor estímulo perceptivo y cognitivo) en una muestra adultos mayores. No obstante, los resultados obtenidos en esta investigación no fueron generalizables al conjunto de adultos mayores con otro perfil. Por esta razón se recomendó seguir, mejorar y ampliar esta línea de investigación del TRC y la actividad física, comparando así diferentes tipos de diseños, ejercicios y poblaciones, así como ampliando el número de las muestras. Finalmente, recordaremos que la muestra que se utilizó en el primer estudio son adolescentes universitarios de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, un tipo de población que anteriormente había sido poco analizada. Por ello, los resultados obtenidos en esta investigación no fueron generalizables al conjunto de adolescentes con otro perfil. Se trató de jóvenes, con un mínimo de hábito de práctica de AF y un determinado nivel de estudios. Por esta razón se recomendó seguir, mejorar y ampliar esta línea de investigación del TRC y la AF, comparando así diferentes tipos de poblaciones y ejercicios.

4.2. EFECTOS AGUDOS SOBRE EL TRC EN FUNCIÓN DE LA PRÁCTICA DE AF Y AF+VJA EN LOS TRES ESTUDIOS EXPERIMENTALES.

El efecto sobre el TRC en función de AF y AF+VJA no mostró diferencias significativas en ninguna de sus fases (TR y TRM), ni en la eficiencia en ninguno de los tres estudios experimentales. Por ello, no se verificó la segunda hipótesis específica planteada en estas tres investigaciones, según las cuales se produjo una mayor mejora

en el TRC después de AF+VJA, que después de AF. Por lo tanto, gracias a estas investigaciones se realizó otra aportación científica en comparación a los resultados de investigaciones anteriores acerca de la mejora en el TRC después de practicar diferentes tipos de actividad física con mayor o menor estímulo perceptivo y cognitivo-motor, en jóvenes adultos y adultos mayores.

Acorde a los resultados obtenidos en los tres estudios, éstos siguieron siendo poco concluyentes, ya que otros estudios similares también obtuvieron efectos no significativos. No obstante, la hipótesis de que el ejercicio aeróbico combinado con la actividad cognitiva pudo tener efectos más fuertes que el ejercicio aeróbico solo en variables relacionadas con la función ejecutiva, como el TRC, no estaba clara. Además, el tiempo que llevó realizar una tarea pudo variar en función de su complejidad y de cuánta información hubo que procesar para solucionarla. De este modo, tanto las propias características de la tarea como las circunstancias en las que se realizaron pudieron condicionar la necesidad o no, de una respuesta rápida. Ahora bien, además de ello, existían características propias del sujeto que influyeron en la velocidad de realización de esa tarea.

Pese a que la separación entre velocidad y procesos cognitivos (como por ejemplo, la atención) pudo no ser absoluta, su estudio por separado estuvo justificado empíricamente, ya que se mostró la disociación entre velocidad y otros mecanismos cognitivos mediante técnicas de análisis factorial (Zomerén y Spikman, 2006). Además, permitió establecer cierto orden en algunos aspectos teóricos acerca de la atención, pero sobretodo prácticos, ya que facilitó el trabajo evaluador y rehabilitador. Recordamos que la VPI reflejaba la cantidad de información que podía ser procesada por unidad de tiempo o, incluso, la velocidad a la que podían realizarse una serie de operaciones cognitivas. También se pudo considerar como el tiempo que transcurre desde la aparición de un estímulo hasta la ejecución de una respuesta. Sería el resultado de la participación de un conjunto de variables independientes que contribuían en un momento determinado a realizar la ejecución de una respuesta. La variable dependiente fue el TR, pero para predecirla fue preciso esclarecer cuáles fueron las variables independientes que la determinan (Ríos-Lago y Periañez, 2010). Sin duda, nos encontramos ante una variable a la que se acudía con frecuencia para explicar el rendimiento deportivo de los atletas. Por ello, fue importante diferenciar entre VPI, TR y atención. La VPI se pudo definir como el ritmo con el que, a igualdad de condiciones ambientales, un sujeto fue capaz de realizar una tarea más rápidamente que otro, manteniendo (si es que esto fuese posible medirlo) las mismas operaciones cognitivas.

Fue preciso que en este punto, remarcáramos la importancia de que las operaciones cognitivas que se habían de realizar fueran exactamente las mismas, ya que solo de este modo sería posible comparar la VPI entre dos individuos.

Un ejemplo que podía ayudarnos a discutir esta diferencia conceptual fue el siguiente: imaginábamos que dos personas (A y B) realizaban la tarea (X) exactamente al mismo tiempo. Imaginábamos también que para ello, A empleaba cinco operaciones cognitivas, mientras que B utilizaba solamente tres y llegaba al mismo resultado. En este caso el procesamiento de la información que se realizó ha seguido un camino distinto, por lo que solo tendríamos una misma velocidad de respuesta, pero no sabríamos cuál de las dos era más rápida procesando la información en cada una de las fases. Sólo si ambas realizaban las mismas operaciones cognitivas estaríamos en disposición de saber quién de ellas fue más rápida en procesar la información. Por lo tanto, debíamos de mostrar especial atención para no confundir la VPI con otros procesos cognitivos como las FFEE. Posiblemente, la mejor manera de enfrentarse a la ejecución de una tarea y a la solución de un problema fue algo que estaba estrictamente relacionado con las FFEE, tal y como hemos tratado en el marco teórico de la presente tesis doctoral. Así, una respuesta rápida no siempre implicó VPI. Entonces, en igualdad de condiciones, ¿qué hacía que un deportista fuera más rápido que otro?

Estábamos de acuerdo con el resto de autores en que a día de hoy, no existía un consenso sobre qué mecanismos influían en la VPI. Ante un fenómeno complejo como este, se establecieron diferentes tipos de análisis. Por ejemplo, en lo que respecta a las neuronas, fue posible describir mecanismos que afectan a la VPI. Las operaciones cerebrales ocurrían en un rango entre 100 μ s a 1 ms. Otros, por el contrario, investigaron las posibles alteraciones del SNC; por ejemplo, la alteración y el enlentecimiento en general de la transmisión sináptica (Birren, 1974), la disminución en los niveles de dopamina y acetilcolina (Rogers y Bloom, 1995), las disfunciones en el sistema noradrenérgico (Foote y Morrison, 1987) o, más recientemente, la hipótesis dopaminérgica asociada a la lesión frontal (Fernández-Duque y Posner, 2001), e incluso algunas centradas en la mielinización de modo que, por afectación de la velocidad de conducción axonal, la transmisión de información entre dos puntos era más lenta y las respuestas del sujeto se ralentizan (Felts et al., 1997; Yakovlev y Lecours, 1967). Otros autores, basaron sus explicaciones de la VPI en el patrón de ritmo alfa (actividad eléctrica) en el cerebro, que se señaló como un mecanismo central que pauta intervalos temporales para el funcionamiento adecuado de los procesos cognitivos (Vercruyssen, 1993; Klimesh et al., 1996). En el otro extremo y más en la línea de nuestras

investigaciones, algunos investigadores señalaron que la velocidad a la que pudo realizar una operación cognitiva elemental pudo considerarse como un recurso de procesamiento, de modo que, como el tiempo es finito, cuanto más rápido era, mejor sería el nivel de ejecución cognitiva (Kail y Salthouse, 1994). Además, no era local o específica de su dominio, es decir, no estaba restringida a una serie de operaciones cognitivas similares, sino que era relevante en un amplio rango de procesos cognitivos (memoria operativa, control de la atención, nivel de “*arousal*”, flexibilidad cognitiva, etc.).

No obstante, en la neurociencia cognitiva actual, no era posible olvidar la relación entre procesos cognitivos y la estructura en la que estaban implementados. Ward (2004), estudió el procesamiento automático y el controlado, tal y como lo describieron (Schiffman y Schneider, 1997): el controlado fue más sensible a los cambios, mientras que el procesamiento automático pudo no verse afectado por ser más resistente a los cambios en velocidad (Ward, 2004; Schmitter y Rogers, 1997). Si se aceptó que el cerebro procesaba información mediante la activación de redes neuronales, fue posible anticipar que algunos procesos implicaban la participación de amplias y complejas redes, lo que pudo hacer que llevara más tiempo resolver el problema que con aquellos que implicaban una red muy sencilla. Por lo tanto, pudimos deducir que las tareas más complejas podían requerir una secuencia de activación de redes que aumentó considerablemente el tiempo de procesamiento. Del mismo modo, el TRC fue una capacidad altamente dependiente del SNC, pero, al igual que en el TRS, podían diferenciarse dos fases o componentes. En primer lugar había una fase de percepción y decisión con un componente perceptivo y cognitivo muy importante, llamada TR, o según Maezilli y Hutcherson (2002), tiempo premotor. Estos últimos autores, llamaron tiempo premotor (componente cognitivo) a la latencia entre la identificación del impulso y el inicio de la activación del músculo. En segundo lugar, también existía el tiempo motor (componente motor), medido desde la activación inicial del músculo hasta la respuesta visible. Sorprendentemente, en la segunda condición experimental (AF y VJA) del segundo estudio experimental, se obtuvo una mejora significativa por parte del TRM. El TR representó los procesos que intervienen en la identificación del estímulo, la selección de la respuesta apropiada y la siguiente programación de la respuesta motriz; y el TRM representó el tiempo requerido para activar los mecanismos que intervenían en la contracción de los músculos periféricos. Dichas diferencias significativas entre el TR y el TRM de la segunda condición experimental, no nos permitieron establecer relaciones entre los resultados obtenidos, los resultados obtenidos en otras investigaciones y los fundamentos teóricos en los que basamos nuestras hipótesis. Además, hubo que mencionar que, dependiendo del tipo de actividad en la que

intervenía este TRC, podíamos encontrarnos con un componente más sensoriomotor y perceptivo, o también, coordinativo (cuando la actividad o tarea motriz era de mayor dificultad y cuando más precisión y eficacia se exija) o nos encontrábamos, en cambio, con un componente más físico-motor o condicional (cuando la tarea motriz sea fácil y no importe tanto la eficacia).

Finalmente, si relacionábamos el TR con las FFEE, podíamos deducir que el TR pudo ser una variable que cuantificase de alguna forma a las FFEE. Existían numerosas investigaciones que demostraban una clara y evidente relación entre estos dos conceptos, a nivel perceptivomotor y cognitivo. El TR fue un elemento clave de la FFEE, ya que cuando se cuantificó se pusieron en marcha muchos de los componentes de las FFEE, por lo tanto, cuando evaluábamos el TR de una tarea se observó que entraban en juego la mayoría de estos componentes, de ahí la naturaleza y el planteamiento de cada tarea. Estos componentes interactuaban de forma compleja dependiendo de cada contexto, cada persona y cada momento, por lo tanto, el tiempo de reacción fue una medida parcial de las FFEE. La mayoría de las investigaciones realizadas hasta el momento analizaron a los participantes en situaciones artificiales de laboratorio para tratar de seleccionar y cuantificar cada componente, pero no en la vida diaria, lo cual simplifica el análisis y hacía que no fuese objetivo, fiable y eficaz. La dificultad de analizar las FFEE y así poder establecer una teoría o un modelo con mayor validez científica, estaba en poder controlar todos los parámetros cognitivos y fisiológicos en una situación real y comprender como interactuaban entre sí, independientemente del contexto, la persona y el momento, y encontrando una coherencia lógica entre ellos. Para concluir, recordamos una vez más que no se verificó que la práctica de actividad física que influyó en la cognición a través de múltiples vías, tuvo un efecto más fuerte que el ejercicio que se trabajó por un número de vías menor, en esta muestra de adultos mayores, por lo que consideramos que son necesarias más investigaciones donde fue presente una medida más ambiciosa de las FFEE, así como la influencia de diferentes tipos de ejercicio sobre los diferentes componentes que las conformaban.

4.3. EFECTOS AGUDOS DE LA PRÁCTICA DE AF Y AF+VJA SOBRE LA PSE EN LOS TRES ESTUDIOS EXPERIMENTALES.

Los resultados obtenidos acerca de los efectos que produce la AF y AF+VJA sobre la PSE mostraron diferencias significativas en los tres estudios experimentales, mostrando que los participantes poseían una menor PSE después de AF+VJA, que

solamente después de AF ($p < .000$). Esta importante diferencia significativa aludió a la tercera hipótesis específica, verificó que la AF+VJA produjo una menor PSE, que la AF. Por lo tanto, en los tres estudios se confirmaron los resultados ya que el VJA causó un efecto “distractor” mientras se practica AF aeróbica, provocando así una menor PSE. Si bien tenemos en cuenta que la intensidad del esfuerzo fue la misma durante la práctica de AF+VJA, pudimos establecer una relación entre la PSE, la fatiga cognitiva, el TR y las FFEE. Tal y como se mencionó anteriormente en la discusión del primer estudio, la PSE no tuvo necesariamente que estar ubicada en un lugar anatómico concreto, sino que pudo ser simplemente de naturaleza funcional. En este sistema complejo se recibieron las entradas de varios sistemas, todos ellos relacionados con el ejercicio, con la función de integrarlas para proporcionar unas salidas hacia la corteza (córtez) que obligaban a tomar la decisión de detener el esfuerzo si el cómputo global superaba un umbral determinado. En este sentido, en las últimas décadas numerosos investigadores desarrollaron el estudio de lo que se ha llamado la “psicofísica de la fatiga” (Borg, 1982a), es decir, de las funciones matemáticas relativas a la percepción subjetiva del grado de fatiga y su relación con los índices fisiológicos (nivel de lactato en sangre, el VO_2 y la FC, principalmente; (Borg y Dahlstrom, 1962a; Borg y Dahlstrom, 1962b; Borg y Dahlstrom, 1962c; Borg, 1970; Borg, 1982; Borg, 1974; Borg, 1973; Borg, 1982; Noble, 1982a; Noble, 1982b; Noble, Borg, y Jacobs, 1983; Pandolf, Billings, y Drolet, 1984). A pesar de estar plenamente de acuerdo en entender la fatiga desde un modelo multicausal e integrador, el modelo nos pareció que está aún incompleto, en tanto que ignora factores influyentes, incluso determinantes, de la fatiga en situaciones de la vida cotidiana en general y de actividad física intensa en particular (cómo la práctica del deporte). Más específicamente, resultó obvio que el tipo de fatiga que se experimentó tras un trabajo intelectual intenso no fue idéntico al tipo de fatiga producido por el trabajo físico, pero sí es posible que ambas interactuasen entre sí. A pesar de la plausibilidad de esta hipótesis, fueron muy escasos los trabajos que intentaron cuantificar y explicar el efecto de la carga mental en el esfuerzo físico percibido y su reflejo conductual (agotamiento). Sin embargo, muchas tareas en la práctica del deporte presentaron esa doble naturaleza física y cognitiva.

Basándonos en los resultados obtenidos en esta investigación y en el concepto de fatiga cognitiva, pudimos establecer una relación en la que una menor PSE indujo a una menor fatiga cognitiva y un menor TR, y viceversa. Para contribuir a verificar científicamente esta relación, serían necesarias futuras investigaciones, utilizando la escala de PSE (Foster, 2001), la escala modificada del impacto de la fatiga cognitiva (EMIF-C) y un EEG para observar la actividad cerebral, entre otros instrumentos. A su

vez, esta relación pudo verse influida y condicionada por la naturaleza de la tarea realizada, el control de la atención (Schwid, 2003), la diversión, la motivación, la inhibición, la memoria de trabajo (Macías-Delgado et al., 2012) y otros componentes de las FFEE. Un hecho que a menudo pasamos por alto, es que existían muchas formas de ejercicio que constituían actividades cognitivamente atractivas. En la misma línea que estas tres series experimentales, los investigadores sugirieron que este compromiso cognitivo inherente al ejercicio pudo ayudar a explicar cómo el ejercicio afectaba a la cognición (Sibley y Etnier, 2003; Tomporowski et al., 2008). Del mismo modo, gran parte del ejercicio que realizaron por naturaleza los niños se realizó a través de la participación en actividades de grupo o deportes que requerían cognición compleja, con el fin de cooperar con los compañeros de equipo, anticipar el comportamiento de dichos compañeros o de sus oponentes, emplear estrategias y adaptarse a las demandas de la tarea en constante cambio. Las actividades de grupo, como el fútbol o el baloncesto jugado por los niños, contenían muchas de esas demandas cognitivas (Davis et al., 2007). Es importante destacar que las tareas de las FFEE provocaban demandas similares en los procesos ejecutivos de los niños, obligándoles a crear, controlar y modificar un plan cognitivo para satisfacer las demandas de la tarea (Banich, 2009). De este modo, pudimos concluir que los juegos aeróbicos y las diferentes tareas de las FFEE, requerían una forma de pensamiento y habilidades cognitivas similares que favorecían a una menor PSE, que la simple AF repetitiva y automática, tal y como reflejan los resultados que hemos obtenido en los tres experimentos. Es posible que las habilidades cognitivas adquiridas durante los juegos aeróbicos se transfirieran a los componentes de las FFEE y retrasasen la aparición de la fatiga cognitiva debido a un efecto “distractor”.

Un concepto que nos pudo ayudar a explicar la complejidad de estas interacciones entre los diferentes componentes de las FFEE y la PSE, fue la interferencia contextual. Aunque la adquisición de habilidades se produjo más rápidamente cuando los componentes de una tarea se presentaron de una manera simple y repetitiva, la retención y la transferencia de las habilidades se incrementaron cuando había interferencia contextual, es decir, cuando los componentes se presentaban de una manera compleja y casi al azar (Bättig, 1972). La participación de los niños en los juegos contuvo a menudo interferencia contextual. Por ejemplo, en el juego de baloncesto el niño pudo tener que realizar un pase picado para pasar la pelota con eficacia en un escenario específico, pero también lo necesitó para lanzar la pelota en otro contexto totalmente diferente. El pase que se precisó en ese momento no estuvo predeterminado y rara vez se repitió una y otra vez, se determinó por una multitud de

factores que convergían en un momento particular. La interferencia contextual demandada en los procesos ejecutivos de un plan de acción motriz debió ser creada, controlada y modificada en presencia de continuas y cambiantes demandas de la tarea (Brady, 2008). Por lo tanto, el esfuerzo del procesamiento de la información llevó a un mayor aprendizaje (Carey et al., 2005). Un ejemplo que lo justificó fue un reciente estudio de resonancia magnética funcional, en el cual el procesamiento de la información impuso demandas sobre las FFEE relacionadas con circuitos neurales. Los resultados destacaron una mayor activación frontal y parietal, en comparación con la activación del cerebelo, en la ausencia de interferencia contextual (Cross et al., 2007). Así mismo, Diamond (2009) argumentó que el cerebro y la mente, por extensión, operaban de un modo global y las actividades cognitivas y motoras que dependían de procesamiento no automático y selectivo requerían de su esfuerzo por adquirirlas. Por lo tanto, pudimos deducir que la ejecución de los movimientos motores complejos parecía ser una tarea cognitivamente atractiva, mientras que la ejecución de simples ejercicios repetitivos pudo serlo menos. El grado de compromiso cognitivo que ofreció una actividad varía seguramente en su desarrollo. Las formas de ejercicio que contuvieron numerosas reglas probablemente no fueron apropiadas para los niños más pequeños, ya que no estuvieron preparados cognitivamente para entender y mantener dichas reglas. A su vez, fue posible que se sintieran frustrados por la actividad y no recibieran ningún beneficio. Según los resultados de este estudio, este hecho pudo aumentar la PSE, consecuentemente la fatiga cognitiva y alterar las FFEE. Por el contrario, los niños mayores pudieron llegar a desinteresarse en actividades que eran rápidamente adquiridas y dominadas.

Por otro lado, sobre la neurofisiología de la PSE se cree que la señal de la percepción subyacente de esfuerzo surgió del cerebro y del comando motor central. Esta teoría sugirió que la PSE debía estar significativamente correlacionada con la magnitud del centro de comando motor. Este hecho evidenció una relación directa con la fatiga cognitiva, el TR y la PSE. Sin embargo, existió muy poca evidencia directa de que la PE realizado correlacionase con la actividad cerebral. Por lo tanto, según esta investigación pudimos afirmar que la práctica de AF que influye en la cognición a través de múltiples vías, produjo una PSE menor que el ejercicio que se trabajó por un número de vías menor. Es importante destacar que las tareas de las FFEE provocaron demandas similares en los procesos ejecutivos de los adultos mayores, obligándoles a crear, controlar y modificar un plan cognitivo para satisfacer las demandas de la tarea (Banich, 2009). De este modo, pudimos concluir que el ejercicio aeróbico y las diferentes tareas de las FFEE, requerían una forma de pensamiento y habilidades cognitivas

similares que favorecían a una menor PE causada por un efecto “distractor”, que la simple AF repetitiva y automática. Es posible que las habilidades cognitivas adquiridas durante los juegos aeróbicos se transfirieran a los componentes de las FFEE y retrasasen la aparición de la fatiga cognitiva. Acorde con los fundamentos teóricos descritos anteriormente, un concepto que pudo ayudar a explicar la complejidad de estas interacciones entre los diferentes componentes de las FFEE y la PSE fue la interferencia contextual. Aunque la adquisición de habilidades se produjo más rápidamente cuando los componentes de una tarea se presentaron de una manera simple y repetitiva, la retención y la transferencia de las habilidades se incrementaron cuando había interferencia contextual, es decir, los componentes se presentaron de una manera compleja y casi al azar (Bättig, 1972). El grado de compromiso cognitivo que ofrece una actividad varió seguramente en su desarrollo. Las formas de ejercicio que conteían numerosas reglas probablemente no eran las apropiadas para los adultos mayores. A su vez, fue posible que se sintieran frustrados por la actividad y no recibieran ningún beneficio.

Es evidente, que los videojuegos activos supusieron una nueva forma de entender la relación entre los videojuegos y la salud. Los videojuegos activos superaron la principal crítica que se realizaba a los videojuegos, en cuanto que representaban conductas de ocio sedentario. Sabemos que los videojuegos activos implicaban mayor gasto energético, FC y VO_2 que los videojuegos convencionales u otras conductas sedentarias como ver la televisión (Lanningham-Foster et al., 2009; Graves et al., 2007; Graves et al., 2008; Maddison et al., 2007; Mellecker y McManus, 2008). Este resultado, además de obedecer al sentido común, sugirió que este tipo de videojuegos representase una nueva alternativa de práctica física que pudo contribuir a paliar el sedentarismo y los índices de sobrepeso y obesidad. Esto resultó especialmente interesante cuando diversas investigaciones con niños y adolescentes alertaban de que el uso de videojuegos convencionales estaba relacionado con un mayor riesgo de sobrepeso (Collins, Pakiz y Rock, 2007; Vanderwater, Shim y Caplovitz, 2004; Vicente et al., 2008). Tal y como observamos en estas tres series experimentales, debemos tener en cuenta que existen videojuegos activos que requerían mayor actividad física que otros. De los videojuegos analizados hasta ahora, los simuladores de boxeo son los que requerían una actividad física de mayor intensidad e implicaban mayor GE, seguidos de los videojuegos activos de baile o los que simulaban deportes como el tenis o béisbol, mientras que los simuladores de bolos o juegos como *Groove* resultaban ser los más livianos (Lanningham-Foster et al., 2006; Graves et al., 2007; Graves et al., 2008; Maddison et al., 2007). Podíamos decir que aquellos videojuegos en los que se

movilizaban más partes del cuerpo y se exigía la reacción ante estímulos del juego de una manera más continuada implicaban índices más elevados de gasto energético, FC y VO₂ que los que sólo movilizaban las articulaciones de los brazos (Lanningham-Foster et al., 2006; Graves et al., 2008). Estos videojuegos activos eran los que, si se practicaran regularmente, podrían cubrir las recomendaciones mínimas de actividad física diaria que proponían algunas asociaciones médicas (Armstrong y Welsman, 2006; Tan et al. 2002; Unnithanet al. 2006). El hecho de que los videojuegos activos representaban una alternativa más de práctica física, unido a la especial motivación que niños y adolescentes sentían por la participación en este tipo de ocio tecnológico (Epstein et al., 2007; Ramchandani et al., 2008), nos llevó a diversos investigadores a desarrollar y evaluar intervenciones para la promoción del uso de los videojuegos activos (Chin A Paw et al., 2008; Madsen et al., 2007). De estos estudios se dedujo que si bien los jóvenes se sentían motivados a participar en esta clase de videojuegos, para mantener el hábito de práctica sería necesario velar por la variedad en este tipo de actividades (diferentes juegos y dinámicas de participación, variedad en las imágenes y la música, etc.). También había que potenciar el componente interactivo y socializador de estos videojuegos, a través de actividades competitivas o cooperativas en las que los jóvenes pudieran participar con otros compañeros. Sin olvidar la necesidad del apoyo familiar y de salvar las frecuentes problemáticas que derivasen de convivir en hogares limitados en espacio con personas que mantuviesen diferentes preferencias y rutinas (Sall y Grinter, 2007).

Finalmente, pudimos concluir que cuando empezábamos a ejercitarnos de una forma u otra, había una serie de mediadores fisiológicos, psicológicos y sintomáticos interrelacionados que se integraban para crear una sensación general de esfuerzo o fatiga durante la duración del ejercicio. Como conclusión principal, fue importante resaltar la importancia de la PE en función de la fatiga cognitiva. Ya que a menor PE, la fatiga cognitiva aparecía más tarde. Si además relacionábamos estos dos conceptos con la actividad física (fatiga física), era lógico que ante un trabajo de igual intensidad, cuando la fatiga cognitiva era menor, la PE al final de la tarea fuese también menor, y viceversa. A su vez, diferentes componentes de las FFEE como el control de la atención, la flexibilidad cognitiva, la VPI y la motivación, podían verse relacionados con la naturaleza de cada tarea y no obstante con la PE.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES GENERALES

5.1. CONCLUSIONES GENERALES

La presente tesis doctoral ha tratado de estudiar los efectos agudos de la actividad física aeróbica y los videojuegos activos sobre las funciones cognitivas en jóvenes y adultos mayores. Atendiendo a los diferentes apartados expuestos en las series experimentales y los resultados obtenidos de las mismas, se enuncian las siguientes conclusiones:

1.- La práctica de AF y AF+VJA disminuye el TRC durante sus dos fases (TR y TRM) y la eficiencia, en jóvenes adultos y en adultos mayores. Ello evidencia que el ejercicio físico produce un efecto positivo sobre el funcionamiento y el rendimiento cognitivo en este tipo de poblaciones.

2.- No se produce una mayor mejora del TRC después de AF+VJA que después de AF en jóvenes adultos y en adultos mayores. Por lo tanto, no podemos establecer una relación directa entre la mejora del TRC y la naturaleza de cada tipo de ejercicio (más simple, o, más complejo).

3.- La PSE es menor después de realizar AF+VJA, que después de realizar AF en jóvenes adultos y en adultos mayores. Este distractor, podría estar relacionado con un efecto de interferencia contextual tal y como se ha comentado anteriormente en el apartado de la discusión.

CAPÍTULO VI

LIMITACIONES DE LOS

ESTUDIOS, FUTURAS LÍNEAS DE

INVESTIGACIÓN Y APLICACIONES

PRÁCTICAS

6.1. LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS

Los propios diseños de los estudios nos facilitaron el control de las diferentes variables extrañas, ya que todos los participantes pasaron por todas las condiciones experimentales. En los casos en los que no pudimos obtener el control de ellas mediante el diseño del estudio, se trataron de controlar mediante otros métodos.

Otras variables como la actividad cerebral, el grado de fatiga cognitiva, etc..., no se pudieron observar pero se tendrán en cuenta en futuras investigaciones, ya que poseen especial importancia.

Durante el proceso de la presente Tesis Doctoral, el Dr. D. Jose F. Guzmán Luján contactó con el Departamento de Psicobiología de la Facultad de Psicología, en la Universidad de Valencia. Asistimos a varias sesiones de un estudio que estaban realizando en esos momentos, en el cual utilizaban los potenciales evocados para medir la actividad cerebral en diferentes áreas. Durante un periodo de tiempo, estudiamos la posibilidad de contemplar esta variable en nuestros estudios. Finalmente, concluimos que sería una variable que trataremos de controlar en futuras investigaciones ya que no sería posible controlarla principalmente por cuestiones de tiempo.

6.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

1.- La muestra que se utilizó en el estudio 1, estuvo compuesta por adolescentes universitarios de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Por ello, los resultados obtenidos en esta investigación no son generalizables al conjunto de adolescentes con otro perfil. Se trató de jóvenes, con un mínimo de hábito de práctica de AF y un determinado nivel de estudios. Por esta razón se recomienda seguir, mejorar y ampliar esta línea de investigación del TRC y la AF, comparando así diferentes tipos de poblaciones y ejercicios con una mayor o menor estimulación perceptivo-cognitiva.

2.- Basándonos en los resultados obtenidos en esta investigación y en el concepto de fatiga cognitiva, podemos establecer una relación en la que una menor PSE induce a una menor fatiga cognitiva, y viceversa. A su vez, esta relación podría verse influida y condicionada por la naturaleza de la tarea realizada, el control de la atención, la diversión, la motivación, la inhibición, la memoria de trabajo y otros componentes de las FFEE. Para contribuir a verificar científicamente esta relación, serían necesarias futuras investigaciones, utilizando la escala de PSE (CR-10), la escala modificada del impacto de la fatiga cognitiva (EMIF-C) y un EEG para observar la actividad cerebral, entre otros instrumentos.

3.- La mayoría de las investigaciones realizadas hasta el momento analizan a los participantes en situaciones artificiales de laboratorio para tratar de seleccionar y cuantificar cada componente de las FFEE, pero no en la vida diaria, lo cual simplifica el análisis y hace que no sea objetivo, fiable y eficaz. La dificultad de analizar las FFEE y así poder establecer una teoría o un modelo con mayor validez científica, está en poder controlar todos los parámetros cognitivos y fisiológicos en una situación real y comprender como interactúan entre sí, independientemente del contexto, la persona y el momento, y encontrando una coherencia lógica entre ellos. En la segunda hipótesis que comparten las tres series experimentales, no se verificó, por lo que consideramos que son necesarias más investigaciones donde sea presente una medida más ambiciosa de las FFEE, así como la influencia de diferentes tipos de ejercicio sobre los diferentes componentes que las conforman. Por lo tanto, en futuras investigaciones sería interesante controlar la variable “actividad cerebral” a través de EEG, para relacionar la naturaleza de diferentes ejercicios y la activación de diferentes áreas cerebrales.

6.3. APLICACIONES PRÁCTICAS

La serie experimental llevada a cabo en la presente tesis doctoral podríamos ubicarla dentro de la fase experimental en el proceso global de investigación en el que nos encontramos actualmente, por lo tanto, todavía no podemos comenzar a aplicar de forma práctica nuestras conclusiones porque es necesaria más evidencia científica. A pesar de ello, el conocimiento existente hasta el momento nos indica que la práctica de diferentes tipos de AF aeróbica podría tener una relación positiva con las diferentes funciones cognitivas y con una mayor actividad cerebral en el lóbulo prefrontal, en función de la naturaleza del ejercicio realizado con una mayor o menor estímulo perceptivo y cognitivo. Este hecho, podría ser útil para prescribir el ejercicio y orientar ciertos tratamientos o programas rehabilitadores de diferentes patologías neurocognitivas que afectan a diferentes áreas cerebrales, aumentar el rendimiento de los deportistas, prevenir enfermedades degenerativas neurocognitivas y en general, mejorar la salud y la calidad de vida de las personas.

Los resultados de esta investigación tienen importancia tanto para el ámbito de la salud, puesto que un adecuado TR aumenta la adaptación de la persona al entorno y por lo tanto su bienestar, como para el mundo del deporte de alto rendimiento, ya que son muchos los deportes en los que el TRC de los deportistas es clave para un correcto y óptimo rendimiento. No podemos olvidar que este beneficio, no solamente es aplicable al ámbito de la alta competición, sino también al deporte y la AF en general y a otros ámbitos, ya que el TRC es relevante en otros aspectos de la vida diaria. Por lo tanto, de este resultado se pueden beneficiar tanto deportistas de élite, como personas sanas que intenten mantener un nivel de salud óptimo, o incluso diferentes afectados por algún tipo de patología o enfermedad.

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS

- Abbiss, C. R., y Laursen, P. B. (2005). Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Medicine*, 35(10), 865-898.
- Adam, J. J., Teeken, J. C., Ypelaar, P. J. C., Verstappen, F. T. J. y Pass, F. G. W. (1997). Exercise-induced arousal and information processing. *International Journal of Sport Psychology*, 28, 217-226.
- Adolphs, R. (2002). Emoción y conocimiento en el cerebro humano. En Morgado, I., (Eds.) *Emoción y conocimiento: la evolución del cerebro y la inteligencia*. Barcelona: Tusquets Editores. p.135-65.
- Adolphs, R. (2002). Recognizing emotion from facial expressions: psychological and neurological mechanisms. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 1(1), 21-62.
- Albert, M. S., Jones, K., Savage, C. R., Berkman, L., Seerman, T., Blazer, D., y Rowe, J. W. (1995). Predictors of cognitive change in older persons: MacArthur Studies of Successful Aging. *Psychology and Aging*, 10, 578-589.
- Alexiou H, Coutts A. J. (2008). The validity of the session-RPE method for monitoring training load in elite female soccer players. *Int J Sports Physiol Performance*, 3(3), 320-330.
- Algroy, E. A., Hetelid, K. J., Seiler, S. y Stray Pedersen, J. I. (2011). Quantifying training intensity distribution in a group of Norwegian Professional soccer players. *International Journal of sports physiology and performance*, 6(1), 70-81.
- Ali, A., Gardiner, R., Foskett, A. y Grant, N. (2011). Fluid balance, thermoregulation and sprint and passing skill performance in female soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine y Science in Sports*, 21 (3), 437-445.
- Alves, C. R., Gualano, B., Takao, P. P., Avakian, P., Fernandes, R., y Morine, M. D. (2012). Effects of acute physical exercise on executive functions: a comparison between aerobic and strength exercise. *Journal Sports Exercise and Psychology*, 34(4), 539-549.
- Amann, M., Blain, G. M., Proctor, L. T., Sebranek, J. J., Pegelow, D. F., y Dempsey, J. A. (2010). Group III and IV muscle afferents contribute to ventilatory and cardiovascular response to rhythmic exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 109(4), 966-976.
- Ament, W., y Verkerke, G. (2009a). Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 39(5), 389-422.
- Ament, W., y Verkerke, G. (2009b). Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 39(5), 389-422.
- Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., Kong, E., Larraburo, Y., Rolle, C., Johnson, E., y Gazzaley, A. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 501(7465), 97-101.
- Anderson-Hanley, C., Arciero, P. J., Brickman, A. M., Nimon, J. P., Okuma, N., y Westen, S. C. (2012). Exergaming and older adult cognition: a cluster randomized clinical trial. *American Journal Preventive Medicine*, 42, 109-119.

- Ando, S., Kokubu, M., Yamada, Y., y Kimura, M. (2011). Does cerebral oxygenation affect cognitive function during exercise? *European Journal Applied Physiology*, 111(9), 1973-1982.
- Andres, R. H., Ducray, A. D., Schlattner, U., Wallimann, T., y Widmer, H. R. (2008). Functions and effects of creatine in the central nervous system. *Brain Research Bulletin*, 76(4), 329-343.
- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J., Aleman, A., y Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database System Review*. 3.
- Anish, E. J. (2005). Exercise and its effects on the central nervous system. *Current Sports Medicine Reports*, 4(1), 18-23.
- Arbib, M. A., 1981, Perceptual structures and distributed motor control, *Handbook of Physiology – The Nervous System II. Motor Control* (V. B. Brooks, Ed.), Bethesda, American Physiological Society, pp.1449-1480.
- Arbucke, T. Y., Gold, D. P., Andres, D., Schwartzman, A. E., y Chaikelson, J. (1992). The role of psychosocial context age, and intelligence in memory performance of older men. *Psychology and Aging*, 7, 25-36.
- Arcelina, R., Delignières, D. y Brisswalter, J. (1998). Selective effects of physical exercise on choice reaction processes. *Perceptual and Motor Skills*, 87(1), 175-185.
- Archibald, C. J., y Fisk, J. D. (2000). Information processing efficiency in patients with multiple sclerosis. *Neuropsychology*, 22, 686-701.
- Arend, I., Botella, J., y Barrada, J. R. (2003). Carga emocional y formación de conjunciones ilusorias en el dominio del tiempo. *Psicothema*, 15(3), 446-451.
- Armstrong, N., y Welsman, J. R. (2006). The Physical Activity Patterns of European Youth with Reference to Methods of Assessment. *Sports Medicine*, 36(12), 1067-1086.
- Asociación Médica Mundial. Declaración de Helsinki. *Principios éticos para las investigaciones con seres humanos*. 59ª Asamblea General, Seúl, Corea, Octubre de 2008.
- Attygalle, S., Duff, M., Rikakis, T., y He, J. (2008). Low-cost, at-home assessment system with Wii Remote based motion capture. *Virtual Rehabilitation*, 168-174.
- Audiffren, M., Tomporowski, P.D. y Zagrodnik, J. (2010). Acute aerobic exercise and information processing: Energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychologica, Elsevier*, 129, 410-419.
- Baddeley, A. D., y Hitch, G. J. (1974). Working memory. En Brewer, G. A. (Eds.). *The psychology of learning and cognition*. New York: Academic Press. p. 647-67.
- Baddeley, A. D., y Hitch, G. J. (1994). Developments in the concepts of working memory. *Neuropsychology*, 8, 484-93.

- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory. *Trends Cogn Sci*, 4, 417-23.
- Battig, W. F. (1972). Intra-task interference as a source of facilitation in transfer and retention. En Thompson, R. F y Voss, J. F (Eds.), *Topics in learning and performance* (pp. 131-159). New York: Academic Press.
- Banich, M. T. (2009). Executive Function: The search for an integrated account. *Current Directions in Psychological Science*, 18, 89-94.
- Barbero, J., Coutts, A., Granda, J., Barbero, V. y Castagna, C. (2010). The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *J Sci Med Sport*, 13(2): 232-5.
- Bard, C., y Fleury, M. (1978). Influence of imposed metabolic fatigue on visual capacity components. *Perceptual and Motor Skills*, 47(3), 1283-1287.
- Barlett, C. P., Vowels, C. L., Shanteau, J., Crow, J., y Miller, T. (2009). The effect of violent and non-violent computer games on cognitive performance. *Computers in Human Behavior*, 25(1), 96-102.
- Barnes, D. E., Yaffe, K., Satariano, W. A., y Tager, I. B. (2013). A longitudinal study of cardiorespiratory fitness and cognitive function in healthy older adults. *Journal of American Geriatrics Society*, 51, 459-465.
- Bartzokis, G., Lu, P. H., Tingus, K., Méndez, M. F., Richard, A., y Peters D. G. (2010). Lifespan trajectory of myelin integrity and maximum motor speed. *Neurobiolog Aging*, 31, 1554-1562.
- Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W., y Kramer, A. F. (2008). Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychology and Aging*, 23(4), 765-777.
- Bassuk, S. S., Glass, T. A., y Berkman, L. F. (1999). Social disengagement and incident cognitive decline in community elderly persons. *Annual International of Medicine*, 131, 165-173.
- Baumeister, R. F., Vohs, K. D., y Tice, D. M. (2007). The strength model of self-control. *Current Directions in Psychological Science*, 16(6), 351-355.
- Bavelier, D., Achtman, R. L., Mani, M., y Föcker, J. (2011). Neural bases of selective attention in action video game players. *Vision Research*, 8, 7.
- Belmont, L., y Marolla, F. A. (1973). Birth order, family size, and intelligence. *Science*, 182, 1096-1101.
- Benton, D. (1990). The impact of increasing blood glucose on psychological functioning. *Biological Psychology*, 30(1), 13-19.
- Berchtold, N. C., Castello, N., y Cotman, C. W. (2010). Exercise and time-dependent benefits to learning and memory. *Neuroscience*, 167, 588-597.

- Bergstrom, H. C., Housh, T. J., Cochrane, K. C., Jenkins, N. D., Zuniga, J. M., Buckner, S. L., y Cramer, J. T. (2015). Factors underlying the perception of effort during constant heart rate running above and below the critical heart rate. *European Journal of Applied Physiology*, 115(10), 2231-2241.
- Best, J. R., Miller, P. H. y Jones, L. L. (2009). Executive function after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*, 29, 180–200.
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review, Elsevier*, 30, 331-351.
- Biddle, S. J., Gorely, T., Marshall, S. J., Murdey, I, y Cameron, N. (2003). Physical activity and sedentary behaviours in youth: issues and controversies. *The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health*, 124(1), 29-33.
- Birren, J. E. (1974). Translations in gerontology. From lab to life. Psychophysiology and speed of response. *American Psychology*. 29, 808-815.
- Bleiberg, J., y Bunning, R. (1998). Cognitive and physical measures in rehabilitation of patients with lupus. *Curr Opin Rheumatol*, 10, 442-445.
- Blumberg, F. C., Rosenthal, S. F., y Randall, J. D. (2008). Impasse-driven learning in the context of video games. *Computers in Human Behavior*, 24, 1530-1541
- Bol, Y., Duits, A. A., Hupperts, R. M. M., Vlaeyen, J. W. S., y Verhey, F. R. J. (2009). The psychology of fatigue in patients with multiple sclerosis: A review. *Journal of Psychosomatic Research*, 66(1), 3-11.
- Bonitch, J., Ramirez, J., Femia, P., Feriche, B. y Padial, P. (2005). Validating the relation between heart rate and perceived exertion in a judô competition. *Medicina Dello Sport*, 58(1), 23-28.
- Boone, K. (1999). Neuropsychological assessment of executive functions. En B. Miller, y J. Cummings (Eds.), *The human frontal lobes* (pp. 241-264). New York: The Guilford Press.
- Boot W. R., Kramer A. F., Simons D. J., Fabiani M., y Gratton G. (2008). The effects of video game playing on attention, memory, and executive control. *Acta Psychol. (Amst.)*129, 387-398
- Boot, W. R., Champion, M., Blakely, D. P., Wright, T., Souders, D.J., y Charness, N. (2013). Videogames as a means to reduce age-related cognitive decline: attitudes, compliance, and effectiveness. *Frontiers in Psychology*, 4, 31.
- Borg, G., y Dahlstrom, H. (1962a). A case study of perceived exertion during a work test. *Acta Societatis Medicorum Upsaliensis*, 67, 91-93.
- Borg, G., y Dahlstrom, H. (1962b). A pilot study of perceived exertion and physical working capacity. *Acta Societatis Medicorum Upsaliensis*, 67, 21-27.
- Borg, G., y Dahlstrom, H. (1962c). The reliability and validity of a physical work test. *Acta Physiologica Scandinavica*, 55, 353-361.

- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 2(2), 92-98.
- Borg, G. A. V. (1973). Perceived exertion: A note on 'history' and methods. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 5(2), 90-93.
- Borg, G. A. (1974). Perceived exertion. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2, 131-153.
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377-381.
- Borg, G. (1982). Ratings of perceived exertion and heart rates during short-term cycle exercise and their use in a new cycling strength test. *International Journal of Sports Medicine*, 3(3), 153-158.
- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 16(SUPPL. 1). 55-58.
- Borg, G. A. V. (1998). *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Borg, E. y Kaijser, L. (2006). A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scandinavian Journal of Medicine y Science in Sports*, 16, 57-69.
- Borresen, J., y Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med*, 28, 633-646.
- Brady, F. (2008). The contextual interference effect and sport skills. *Perceptual and Motor Skills*, 106, 461-472.
- Braun, C. M., Daigneault, S., Champagne, D. (1989). Information processing deficits as indexed by reaction time parameters in severe closed head injury. *International J Clin Neuropsychol*, 11, 167-76.
- Briswalter, J., Collardeau, M., y Rene, A. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine*, 32(9), 555-566.
- Buchheit, M., Lepretre, P. M., Behaegel, A. L., Millet, G. P., Cuvelier, G. y Ahmaidi, S. (2009). Cardiorespiratory responses during running and sport-specific exercises in handball players. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 12(3), 399-405.
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietrabyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P. y Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, 441, 219-223.
- Calahorra, F., Torres-Luque, G., Lara-Sanchez, A. y Zagalaz-Sanchez, M. L. (2011a). Functional and physiological parameters in young soccer players. *International SportMed Journal*. 12 (4), 169-178. 13.

- Calahorra Cañada, F., Torres-Luque, G., Lara Sánchez, A. J. y Zagalaz-Sánchez, M. L. (2011b). Parameters related to the competition's physical training. *Journal of Sport and Health Research*. 3(2), 113-128.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., y Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers. *Cereb. Cortex*, 15, 1243-1249.
- Cañas, J. J. (2004). *Personas y máquinas. El diseño de su interacción desde la ergonomía cognitiva*. Madrid: Pirámide.
- Cardinali, D. P. (2007). *Manual de Neurofisiología* (7ªed). Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Carey, J. R., Bhatt, E. y Nagpal, A. (2005). Neuroplasticity promoted by task complexity. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 33, 24-31.
- Carmelli, C. M., Swan, G. E., LaRue, A., y Eslinger, P. J. (1997). Correlates of change in cognitive function in survivors from the Western Collaborative Group Study. *Neuroepidemiology*, 16, 285-295.
- Carnero-Pardo, C. (2000). Educación, demencia y reserva cerebral. *Revista de Neurología*. 31(6), 584-592.
- Castel, A. D., Pratt, J., y Drummond, E. (2005). The effects of action video game experience on the time course of inhibition of return and the efficiency of visual search. *Acta Psychologica*, 119, 217-230.
- Caterino, M. C. y Polak, E. D. (1999). Effects of two types of activity on the performance of second-, third-, and fourth-grade students on a test of concentration. *Perceptual and Motor Skills*, 89, 245-248.
- Chaddock, L., Erickson, I., Ruchika, S. P., Kim, J. S., Voss, W., VanPatter, M., Pontifex, B. M., Raine, L. B., Konkel, A., Hillman, C. H., Cohen, N. J., y Kramer, A. F. (2010). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Research*, 1358, 172-183.
- Chaddock, L., Erickson, I., Ruchika, S. P., Kim, J. S., Voss, W., VanPatter, M., Pontifex, B. M., Raine, L. B., Konkel, A., Hillman, C. H., Cohen, N. J., y Kramer, A. F. (2013): The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: a randomized controlled intervention. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7.
- Chang, Y. K. y Etnier, J. L. (2009a). Effects of an acute bout of localized resistance exercise on cognitive performance in middle-aged adults: a randomized controlled trial study. *Psychology of Sports and Exercise*, 10, 19-24.
- Chang, Y. K. y Etnier, J. L. (2009b). Exploring the dose-response relationship between resistance exercise intensity and cognitive function. *Journal Sports Exercise Psychology*, 31, 640-656.
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., y Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Research*, 9(1453), 87-101.

- Cheatham, R. A., Roberts, S. B., Das, S. K., Gilhooly, C. H., Golden, J. K., y Hyatt, R. (2009). Long-term effects of provided low and high glycemic load low energy diets on mood and cognition. *Physiology & Behavior*, 98(3), 374-379.
- Chen, M. J., Fan, X. y Moe, S. T. (2002). Criterion-related validity of the borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 20(11), 873-899.
- Chin A Paw, M. J. M., Jacobs, W. M., Vaessen, E. P. G., Titze, S., y van Mechelen, W. (2008). The motivation of children to play an active video game. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(2), 163-166.
- Chmura, J., Kryzstofiak, H., Ziemba, A. W., Nazar, H. y Kaciuba-Uscilko, H. (1998). Psychomotor performance during prolonged exercise above and below the blood lactate threshold. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(1-2), 77-80.
- Chmura, J., Nazar, K., y Kaciuba-Uscilko, H. (1994). Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *International Journal Sports Medicine*, 15(4), 172-176.
- Chodzko-Zajko, W. J., y Moore, K. A. (1994). Physical fitness and cognitive functioning in aging. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 22, 195-196.
- Clarke, N., Drust, B., Maclaren, D. y Reilly, T. (2008). Fluid provision and metabolic responses to soccer-specific exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 104, 1069–1077.
- Clark, K., Fleck, M. S., y Mitroff, S. R. (2011). Enhanced change detection performance reveals improved strategy use in avid action video game players. *Acta Psychol*, 136, 67-72.
- Clarkson-Smith, L. y Hartley, A. A. (1989). Relationships between physical exercise and cognitive abilities in older adults. *Psychology and Aging*, 4(2), 183-189.
- Coelho, M. A., Goncalves, C., Sampaio, J. P., y Goncalves, P. (2013). Extensive intra-kingdom horizontal gene transfer converging on a fungal fructose transporter gene. *PLoS Genetics*, 9(6).
- Cohen, J. D., y Servan-Schreiber, D. (1992). Context, cortex, and dopamine: a connectionist approach to behaviour and biology in schizophrenia. *Psychol Rev*, 99, 45-77.
- Cohen, J. D., Braver, T. S., y O'Reilly, R. C. (1996). A computational approach to prefrontal cortex, cognitive control and schizophrenia: recent developments and current challenges. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 351, 1515-1527.
- Colado, J.C., Garcia-Masso, X., Triplett, T.N., Flandez, J., Borreani, S., y Tella, V. (2012). Concurrent validation of the OMNI-resistance exercise scale of perceived exertion with Thera-band resistance bands. *J Strength Cond Res*, 26(11): 3018-3024.
- Colado, J.C., Garcia-Masso, X., Triplett, N.T., Calatayud, J., Flandez, J., Behm, D., y Rogers, M.E. (2014). Construct and concurrent validation of a new resistance intensity scale for exercise with theraband® elastic bands. *J Sports Sci Med*, 13(4): 758-766.

- Colcombe, S., y Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults a meta-analytic study. *Psychology Science*, *14*, 125-130.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., y Cohen, N. J. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings National Academy Science, U.S.A.*, *101*(9), 3316-3321.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Scalf, P. E., Kim, J. S., Prakash, R., McAuley, E. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, *61*, 1166-1170.
- Collardeau, M., Brisswalter, J., Verduyssen, F., Audiffren, M. y Goubault, C. (2001). Single and choice reaction time during prolonged exercise in trained subjects: Influence of carbohydrate availability. *European Journal of Applied Physiology*, *86*, 150-156.
- Collins, L. F., y Long, C. J. (1996). Visual reaction time and its relationship to neuropsychological test performance. *Arch Clin Neuropsychol*, *11*, 613-23.
- Collins, A.E., Pakiz, B., y Rock, C.L. (2007). Factors associated with obesity in Indonesian adolescents. *International Journal of Pediatric Obesity*, *3*(1), 58-64.
- Coltheart, M. (2004). Brain imaging, connectionism, and cognitive neuropsychology. *Cognitive Neuropsychology*, *21*, 21-5.
- Connolly, C., y Janelle, C. (2003). Attentional strategies in rowing: Performance, perceived exertion, and gender considerations. *Journal of Applied Sport Psychology*, *15*(3), 195-212.
- Conway, A. R., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. F., y Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, *30*, 163-168.
- Coquart, J., Legrand, R., Robin, S., Duhamel, A., Matran, R. y Garcin, M. (2009). Influence of successive bouts of fatiguing exercise on perceptual and physiological markers during an incremental exercise test. *Psychophysiology*, *46*, 209-216.
- Costasi, K., y Terry, P. C. (1997). The psychophysical effects of music in sport and exercise: A review. *Journal of Sport Behavior*, *20*, 54-68.
- Cotman, C. W., y Berchtold, N. C. (2002). Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends Neuroscience*, *25*, 292-298.
- Courchesne, E., Chisum, H. J., Townsend, J., Cowles, A., Covington, J., y Egaas, B. (2000). Normal brain development and aging: quantitative analysis at in vivo MR imaging in healthy volunteers. *Radiology*, *216*, 672-82.
- Coutts, A.J., Rampinini, E., Marcora, S. M., Castagna, C., y Impellizzeri, F. M. (2009). Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *12*(1), 79-84.
- Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: The sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*(8), 655-666.

- Cross, E. S., Schmitt, P. J. y Grafton, S. T. (2007). Neural substrates of contextual interference during motor learning support a model of active preparation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 1854-1871.
- Cuadrado-Reyes, J., Chiroso, L. J., Chiroso, I., Martín-Tamayo, I. y Aguilar-Matínez, D. (2012). La percepción subjetiva del esfuerzo para el control de la carga de entrenamiento en una temporada en un equipo de balonmano. *Revista de psicología del deporte*, 21(2), 331-339.
- Cunnington, R., Windischberger, C., Robinson, S., y Moser, E. (2006). The selection of intended actions and the observation of others actions: a time-resolved fMRI study. *Neuroimage*, 29, 1294-1302.
- Damasio, A. R., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M. y Damasio, A. R. (1994). The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, 264, 1102-1105.
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., Boyle, C. A., Waller, J. L., Miller, P. H., Naglieri, J. A. (2007). Effects of aerobic exercise on overweight children's cognitive functioning: A randomized controlled trial. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78(5).
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E. (2011). Exercise improves executive function and alters neural activation in overweight children: A randomized controlled trial. *Health Psychology*, 30(1), 91-98.
- Davranche, K., Audiffren, M. y Denjean, A. (2006). A distributional analysis of the effect of physical exercise on a choice reaction time task. *Journal of Sports Sciences*, 24(3), 323-329.
- Day, M.L., McGuigan, M., Brice, G. y Foster, C. (2003). *Monitoring work intensities during resistance training using a session RPE scale*. University of Wisconsin–La Crosse.
- Deary, I. J., Bastin, M. E., Pattie, A., Clayden, J. D., Whalley, L. J., y Starr, J. M. (2006). White matter integrity and cognition in childhood and old age. *Neurology*, 66, 505-512.
- Decety, J., Jeannerod, M., y Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behav Brain Res*, 34, 35-42.
- Decety, J., y Michel, F. (1989). Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphic tasks. *Brain Cogn*, 11, 87-97.
- Decety J. (1993). Analysis of actual and mental movement times in graphic tasks. *Acta Psychol*, 82, 367-372.
- Decety, J., Jeannerod, M., Durozard, D., y Baverel, G. (1993). Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. *J Physiol*, 461, 549-563.
- Decety, J., Grezes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., Grassi, F., y Fazio, F. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy. *Brain*, 120, 1763-1777.

- Della Rochetta, A. I. y Milner, B. (1993). Strategic search and retrieval inhibition: The role of the frontal lobes. *Neuropsychologia*, 31, 503-524.
- DeLuca, J., Chelune, G. J., Tulskey, D. S., Lengenfelder, J., y Chiaravalloti, N. D. (2004). Is speed of processing or working memory the primary information processing deficit in multiple sclerosis? *J Clin Exp Neuropsychol*, 26, 550-562.
- de Morree, H. M., Klein, C., y Marcora, S. M. (2012). Perception of effort reflects central motor command during movement execution. *Psychophysiology*, 49, 1242-1253.
- de Morree, H. M., Klein, C., y Marcora, S. M. (2014). Cortical substrates of the effects of caffeine and time-on-task on perception of effort. *Journal of Applied Physiology*, 117(12), 1514-1523.
- de Morree, H. M., y Marcora, S. M. (2012). Frowning muscle activity and perception of effort during constant-workload cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1967-1972.
- Dennis, M., Spiegler, B. J., y Hetherington, R. (2000). News Survivors for the New Millennium: Cognitive Risk and Reserve in Adults with Childhood Brain Insults. *Brain and Cognition*, 42, 102-105.
- D'Esposito, M., Onishi, K., Thompson, H., Robinson, K., Armstrong, C., y Grossman, M. (1996). Working memory impairments in multiple sclerosis: evidence from a dual-task paradigm. *Neuropsychology*, 10, 51-6.
- Der, G. y Deary, I. J. (2006). Age and sex differences in reaction time in adulthood: Results from United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychology and Aging*, 21, 62-73.
- Deutsch, J. E., Borbely, M., Filler, J., Huhn, K., y Guarrera-Bowlby, P. (2008). Use of a low-cost, commercially available gaming console (wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Physical Therapy*, 88(10), 1196-1207.
- Diamond, M. C. (1988). *Enriching heredity: The impact of the environment on the anatomy of the brain*. New York: The Free Press.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71, 44-56.
- Diamond, A. (2006). The early development of executive functions. En E. Bialystok y F.I. Craik (Eds.). *Lifespan cognition Mechanisms of change* (pp. 70-95). Oxford: Oxford University Press.
- Diamond, A. (2009). All or none hypothesis: A global-default mode that characterizes the brain and mind. *Developmental Psychology*, 45, 130-138.
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J. y Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science*, 318, 1387-1388.
- Diamond A., Goldman-Rakic P. S. (1989). Comparison of human infants and rhesus monkeys on Piaget's AB task: evidence for dependence on dorsolateral prefrontal cortex. *Experimental Brain Research*, 74, 24-40.

- Díaz Ocejo, J., Mora Mérida, J. A., y Chapado, F. (2009). Análisis de las estrategias cognitivas en la resistencia dinámica. *Revista Internacional De Medicina y Ciencias De La Actividad Física y Del Deporte*, 9(34), 114-139.
- DiDomenico, A., y Nussbaum, M. A. (2008). Interactive effects of physical and mental workload on subjective workload assessment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(11-12), 977-983.
- Dietrich, A., y Sparling, P. B. (2004). Endurance exercise selectively impairs prefrontal-dependent cognition. *Brain Cognition*, 55, 516-524.
- Dik, M. G., Deeg, D., Visser, M., y Jonker, C. (2003). Early Life Physical Activity and Cognition at Old Age., *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*. 25, 600-605.
- Dik, M. G., Pluijm, S. M., Jonker, C., Deeg, D. J., Lomecky, M. Z., y Lips, P. (2003). Insuline-like growth factor I (IGF-I) and cognitive decline in older persons. *Neurobiol Aging*, 24, 573-581.
- Donders, J., Tulsky, D. S., y Zhu, J. (2001). Criterion validity of the new WAIS-III subtest scores after traumatic brain injury. *J Int Neuropsychol Soc*, 7, 892-898.
- Donohue, R. T. y Benton, D. (1999). Cognitive functioning is susceptible to the level of blood glucose. *Psychopharmacology*, 145, 378-385.
- Dorsch, F. (1994). *Psychologisches Wörterbuch* (Vol. 12. Überarb. und erw. Aufl.). Bern: Verlag Hans Huber.
- Douglas, J. W. B. (1964). *The home and the school*. London: MacGibbon y Kee.
- Drewe, E. A. (1975). Go-no go learning after frontal lobe lesions in humans. *Cortex*, 11, 8-16.
- Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Russell, E. M., Shearer, D. E., Bonekat, H. W., Shigeoka, J. K., Wood, J. S. y Bradford, D. C. (1984). Aerobic exercise training and improved neuropsychological function of older individuals. *Neurobiology of Aging*, 5, 35-42.
- Dustman, R. E., Lamarche, L. A., Cohn, N. B., Shearer, D. E., y Talone, J. M. (1985). Power spectral analysis and cortical coupling of EEG for young and old normal adults. *Neurobiology of Aging*, 6(3), 193-198.
- Dustman, R. E., Emmerson, R. Y., Ruhling, R. O., Shearer, D. E., Steinhaus, L. A., y Johnson, S. C. (1990). Age and tness effects on EEG, ERPs, visual sensitivity, and cognition. *Neurobiology of Aging*, 11(3), 193-200.
- Dye, M. W. G., y Bavelier, D. (2004). Playing video games enhances visual attention in children. *Journal of Vision*, 4(11), 40a.
- Dye, M. W. G., y Bavelier, D. (2010). Attentional enhancements and deficits in deaf populations: An integrative review. *Restorative Neurology and Neuroscience. Special Issue on Development and Plasticity of Multisensory Functions*, 28(2), 181-192.
- Dye, M. W., Green, C. S., y Bavelier, D. (2009). Increasing speed of processing with action video games. *Neuropsychologia*, 47, 1780-1789.

- Eisenberg, M., Shmuelof, L., Vaadia, E., y Zohary, E. (2011). The representation of visual and motor aspects of reaching movements in the human motor cortex. *J Neuroscience*, 31, 12377-12384.
- Elleberg, D. y St. Louis-Deschênes, M. (2010). The effect of acute physical activity on cognitive function during development. *Psychology of Sport and Exercise*, 11, 122-126.
- Epstein, L., Beecher, M., Graf, J., y Roemmich, J. (2007). Choice of interactive dance and bicycle games in overweight and nonoverweight youth. *Annals of Behavioral Medicine*, 33(2), 124-131.
- Eriksen, B. A. y Eriksen, C. E. (1974). Effects of noise letters in the identification of target letters in a non-search task. *Perception and Psychophysics*, 16, 143-149.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., y Scalf, P. E. (2007). Training-induced functional activation changes in dual-task processing: An fMRI study. *Cerebral Cortex*, 17, 192-204.
- Erickson, K., Prakash, R. S., Voss, M. W., Chaddock, L. H. L., y Morris, K. S. (2009). Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus*, 19, 1030-1039.
- Erickson, K. I., Raji, C. A., Lopez, O. L., Becker, J. T., Rosano, C., Newman, A. B. (2010). Physical activity predicts gray matter volume in late adulthood: the cardiovascular Health Study. *Neurology*, 75, 1415-1422.
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., y Chaddock, L. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings National Academy of Sciences U.S.A*, 108, 3017-3022.
- Erickson, K. I., Weinstein, A. M., Sutton, B. P., Prakash, R. S., Voss, M. W., y Chaddock, L. (2012). Beyond vascularization: aerobic fitness is associated with N-acetylaspartate and working memory. *Brain Behaviour*, 2, 32-41.
- Eston, R. (2012). Use of ratings of perceived exertion in sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 175-182.
- Eston, R. y Evans, H. J. L. (2009). The validity of submaximal ratings of perceived exertion to predict one repetition maximum. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8, 567-573.
- Eston, R. G., y Williams, J. G. (1988). Reliability of ratings of perceived effort regulation of exercise intensity. *British Journal of Sports Medicine*, 22(4), 153-155.
- Etnier, J. L. y Chang, Y. (2009). Executive function: A brief commentary on definitions, measurement issues, and the current state of the literature. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31, 469-483.
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., y Nowell, P. (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: a meta-analysis. *Journal of Sports Exercise Psychology*, 19, 249-74.

- Etnyre, B. Y., y Kinugasa, T. (2002). Postcontraction influences on reaction time. *Research Quarterly for Exercise and Esport*, 73(3), 271-81.
- Fabrigoule, C., Letenneur, L., Dartigues, J. F., Zarrouk, M., Commenges, D., y BarBerguer-Gateau, P. (1995). Social and leisure activities and risk of dementia: A prospective longitudinal study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 43, 485-490.
- Faulkner, J., Partt, G. y Eston, R. (2007). Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings os percieved exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 397-407.
- Feinstein, L. (2003). Inequality in the early cognitive development of British children in the 1970 cohort. *Economica*, 277, 73-98.
- Felts, P. A., Baker, T. A., y Smith, K. J. (1997). Conduction in segmentally demyelinated mammalian central axons. *Journal of Neuroscience*, 17, 7267-7277.
- Ferguson, C. J., Rueda, S. M., Cruz, A. M., Ferguson, D. E., Fritz, S., y Smith, S. M. (2008). Violent Video Games and Aggression Causal Relationship or Byproduct of Family Violence and Intrinsic Violence Motivation? *Criminal Justice and Behavior*, 35(3), 311-332.
- Fernández, O. (2010). *Historias de los tiempos de reacción*. *Atletismo Español*, 635, 60-61.
- Fernández-Duque, D., y Posner, M. I. (2001). Brain imaging of attentional networks in normal and pathological sttes. *J Clin Exp Neuropsychol*, 23, 74-93.
- Ferraro, F. R. (1996). Cognitive slowing in closed-head injury. *Brain and Cognition*, 32, 429-40.
- Fielding, R. A., Frontera, W. R., Hughes, V. A., Fisher, E. C., y Evans, W. J. (1997). The reproducibility of the bruce protocol exercise test for the determination of aerobic capacity in older women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(8), 1109-1113.
- Fillingim, R. B., y Fine, M. A. (1986). The effects of internal versus external information processing on symptom perception in an exercise setting. *Health Psychology*, 5, 115-123.
- Fletcher, J. (1996). Executive functions in children. Introduction to the special series. *Development Neuropsychology*, 12,1-3.
- Fleury, M., Bard, C., y Carriere, L. (1981). Effects of physical or perceptual workloads on a coincidence/anticipation task. *Perceptual and Motor Skills*, 53, 843.
- Fleury, M., y Bard, C. (1987). Effects of different types of physical activity on the performance of perceptual tasks in peripheral and central vision and coincident timing. *Ergonomics*30, 945-958.
- Fontani, G., Lodi, L., Migliorini, S. y Corradeschi, F. (2009). Effect of Omega-3 and Policosanol Supplementation on Attention and Reactivity in Athletes. *Journal of the American College of Nutrition*, 28(4), 473-481.

- Fontes, E. B., Smirmaul, B. P. C., Nakamura, F. Y., Pereira, G., Okano, A. H., Altimari, L. R., Dantas, J. L. y De Moraes, A. C. (2010). The relationship between rating of perceived exertion and muscle activity during exhaustive constantload cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 31(10), 683-688.
- Foot, S. L. y Morrison, J. H. (1987). Extrathalamic modulation of neocortical function. *Ann Rev Neuroscience*, 10, 67-95.
- Foster, C., Daines, E., Hector, L. Snyder, A. C. y Welsh, R. (1996). Athletic performance in relation to training load. *Wisconsin Medical Journal*, 95(6), 370-374.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., y Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 15(1), 109-115.
- Fourneret, P. y Jeannerod, M. (1998). Limited conscious monitoring of motor performance in normal subjects. *Neuropsychologia*, 36, 1133-1140.
- Friedland, R. P. (1993). Epidemiology, education, and the ecology of Alzheimer's disease. *Neurology*, 43, 246-249.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P. y Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137, 201-225.
- Fuster, J. M. (1989). *The Prefrontal Cortex: Anatomy, Physiology, and Neuropsychology of the Frontal Lobe* (2nd Ed.). New York: Raven Press.
- Gagnon, P., Bussières, J. S., Ribeiro, F., Gagnon, S. L., Saey, D., Gagné, N., y Maltais, F. (2012). Influences of spinal anesthesia on exercise tolerance in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 186(7), 606-615.
- Gaillard, A. W. K. (1993). Comparing the concepts of mental load and stress. *Ergonomics*, 36(9), 991-1005.
- Gaillard, A.W.K. (2001). Stress, Workload, and Fatigue as Three Biobehavioral States: A General Overview. En Hancock, P. A. and Desmond, P. A. (eds.). *Stress, Workload and Fatigue*. London: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 623-639.
- Gale, C. R., Martyn, C. N., y Cooper, C. (1996). Cognitive impairment and mortality in a cohort of elderly people. *British Medical Journal*, 312, 608-611.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725-1789.
- Garavan, H., Ross, T. J., Murphy, K., Roche, R. A., y Stein, E. A. (2002). Dissociable executive functions in the dynamic control of behaviour: inhibition, error detection, and correction. *Neuroimage*, 17, 1820-9.

- García, L., Nussbaum, M., y Preiss, D. (2011). Is the Use of Information and Communication Technology Related to Performance in Working Memory Tasks? Evidence from Seventh-Grade Students. *Computer & Education* 57, no. 3, 2086-2076.
- García, G., Tavera, J. y Liras, V. (2004). *Influencia del color en el tiempo de reacción*. Centro Optometría Internacional. <http://www.fundacionvisioncoi.es/TRABAJOS%20INVESTIGACION%20COI/3/Influencia%20del%20color%20en%20el%20tiempo%20de%20reacci%C3%B3n.pdf> Consultado el 6 de Abril de 2011.
- Garcin, M., Mille-Hamard, L., Devillers, S., Delattre, E., Dufour, S., y Billat, V. (2003). Influence of the type of training sport practised on psychological and physiological parameters during exhausting endurance exercises. *Perceptual and Motor Skills*, 3(2), 1150-1162.
- Gavin, T. P., Robinson, C. B., Yeager, R. C., England, J. A., Nifong, L. W., y Hickner, R. C. (2004). Angiogenic growth factor response to acute systemic exercise in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 96(1), 19-24.
- Geerlings, M. I., Deeg, D., Penninx, B. W., Schmand, B., Jonker, C., Bouter, L. M., y Van Tilburg, W. (1999). Cognitive Reserve and mortality in dementia: the role of cognition, functional ability and depression. *Psychological Medicine*, 29, 1219-1226.
- Gill, D. L., y Strom, E. H. (1985). The effect of attentional focus on performance of an endurance task. *International Journal of Sport Psychology*, 16, 217-223
- Goekint, M., Bos, I., Heyman, E., Meeusen, R., Michotte, Y., y Sarre, S. (2012). Acute running stimulates hippocampal dopaminergic neurotransmission in rats, but has no influence on brain-derived neurotrophic factor. *Journal of Applied Physiology*, 112(4), 535-541.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., et al (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 101, 8174-8179.
- Goldberg, E. (2002). *El cerebro ejecutivo*. Barcelona: Crítica.
- Goldberg, E. (2006). *La paradoja de la sabiduría*. Barcelona: Crítica.
- Goldman-Rakic, P. S. (1998). The prefrontal landscape: implications of functional architecture for understanding human mentation and the central executive. En Roberts, A. C., Robbins, T. W., Weiskrantz, L. (Eds.). *The prefrontal cortex: executive and cognitive functions*. Oxford: Oxford University Press. p. 87-102.
- Goldman-Rakic, P. S. (1988). Topography of cognition: parallel distributed networks in primate association cortex. *Annu Rev Neurosci*, 11, 137-56.
- Goldman-Rakic, P. S. (1984). The frontal lobes: uncharted provinces of the brain. *Trends Neurosci*, 7, 425-9.
- Gómez-Pinilla, F., So, V., y Kesslak, J. P. (1998). Spatial learning and physical activity contribute to the induction of fibroblast growth factor: Neural substrates for increased cognition associated with exercise. *Neuroscience*, 85, 53-61.

- Gomez-Pinilla, F., y Hillman, C.(2013).The influence of exercise on cognitive abilities. *Comprehensive Physiology*, 3(1), 403-28.
- González-Badillo, J. J., y Ribas, J. (2002). *Bases de la Programación Del Entrenamiento de Fuerza*. Barcelona. INDE.
- Goschke, T. (2003). Voluntary action and cognitive control from a cognitive neuroscience perspective. Maasen, S., Prinz, W., Roth, G. (Eds.) *Voluntary action*. Oxford: Oxford Press. p.49-85.
- Graves, A. B., Mortimer, J. A., Larson, E. B., Wenzlew, A., Bowen, J. D., y Mc-Cormick, W. C. (1996). Head circumference as a mesure of cognitive reserve association with severity of impairment in Alzheimer's disease. *British Journal Psychiatry*, 169, 86-92.
- Graves, L., Ridgers, N. D., y Stratton, G. (2008).The contribution of upper limb and total body movement to adolescents' energy expenditure whilst playing nintendo wii. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 617-623.
- Graves, L., Stratton, G., Ridgers, N. D., y Cable, N. T. (2007).Energy expenditure in adolescents playing new generation computer games. *British Journal of Sports Medicine*, 335, 1282-1284.
- Green, C. S., y Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*,423, 534-537.
- Green, J. M., McIntosh, J. R., Hornsby, J., Timme, L., Gover, L. y Mayes, J. L. (2009). Effect of exercise duration on session RPE at an individualized constant workload. *European Journal of Applied Physiology*, 107(5), 501-507.
- Greenfield, P. M., Brannon, G., y Lohr, D. (1994). Two-dimensional representation of movement through three-dimensional space: The role of video game expertise. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 1, 87-103.
- Greenfield, P. M., Camaioni, L. E., Ercolani, P., Weiss, L., Lauber, B. A., y Perucchini, P. (1994). Cognitive socialization by computer games in two cultures: Inductive discovery or mastery of an iconic code? *Journal of Applied Developmental Psychology*, 15, 59-85.
- Grosser, M. (1992). *Entrenamiento de la velocidad*. Barcelona: Ed. Martínez Roca, (p.18).
- Guillot, A., Hoyek, N., Louis, M. y Collet, C. (2012). Understanding the timing of motor imagery: recent findings and future directions. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 5(1), 3-22.
- Gutierrez, A., Gonzalez-Gross, M., Delgado, M. y Castillo, M. J. (2001). Three days fast in sportsmen decreases physical work capacity but not strength or perception-reaction time. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 11, 420-429.
- Gutin, B., y Cayce, C. A. (1973). The use of sub-maximal measures to predict all-out treadmill running in college women. *American Corrective Therapy Journal*, 27(5), 151-154.
- Guyton, A. C. (1997). *Anatomía y fisiología del Sistema Nervioso: neurociencia básica* (2ªed.). Madrid: Médica Panamericana.

- Guzmán, J. F., y López-García, J. (2016). Acute effects of exercise and active video games on adults' reaction time and perceived exertion. *European Journal of Sport Science*, 30, 1-7.
- Haan, M. N., Mungas, D., González, H. M., y Jagust, W. J. (2000). Cognitive functioning and dementia prevalence in older latinos: cardiovascular and cultural correlates. *Neurobiology Aging*, 21(1), 35.
- Hackett, D. A., Johnson, N. A., Halaki, M. y Chow, C. M. (2012). A novel scale to assess resistance-exercise effort. *Journal of sports sciences*, 30(13), 1405-1413
- Hamer, M., y Chida, Y. (2009). Physical activity and risk of neurodegenerative disease: a systematic review of prospective evidence. *Psychol Med*, 39(1), 3-11.
- Hampson, D. B., Clair Gibson, A. S., Lambert, M. I., y Noakes, T. D. (2001). The influence of sensory cues on the perception of exertion during exercise and central regulation of exercise performance. *Sports Medicine*, 31(13), 935-952.
- Harley, T. A. (2004). Does cognitive neuropsychology have future? *Cognitive Neuropsychology*, 21, 3-16.
- Hauk, O., Johnsrude, I., y Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41, 301-7.
- Hébert, S., Béland, R., Dionne-Fournelle, O., Crête, M., y Lupien, S. J. (2005). Physiological stress response to video-game playing: The contribution of built-in music. *Life Sciences*, 76, 2371-2380.
- Henderson, L., y Dittrich, W. H. (1998). Preparing to react in the absence of uncertainty: I. New perspectives on simple reaction time. *British Journal Psychology*, 89, 531-54.
- Henry, F. M. (1952). Independence of Reaction and Movement Times and Equivalence of Sensory Motivators of Faster Response. *Research Quarterly*, 23, 43-53.
- Henry, F. M. y Rogers, D. E. (1960). Increased Response Latency for Complicated Movements and A "Memory Drum" Theory of Neuromotor Reaction. *Research Quarterly*, 31, 448-458.
- Henson, R. (2005). What can functional neuroimaging tell the experimental psychologist? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 58, 193-233.
- Hernández-García, R., Torres-Luque, G. y Villaverde-Gutiérrez, C. (2009). Physiological requirements of judo combat. *International SportMed Journal*. 10(3), 145-151.
- Hill-Haas S., Coutts A., Rowsell G., Dawson B. (2008). Variability of acute physiological responses and performance profiles of youth soccer players in small-sided games. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(5), 487-90.
- Hill-Haas, S., Dawson, B., Coutts, A., y Rowsell, G. (2009). Physiological responses and time-motion characteristics of various small-sided soccer games in youth players. *Journal of Sports Sciences*, 27(1), 1-8.

- Hillier, A. (2008). Childhood overweight and the built environment: Making technology part of the solution rather than part of the problem. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 615(1), 56-82.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., y Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Review Neuroscience*, 9(1), 58-65.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E. y Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 3, 1044-1054.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., Khan, N. A., Raine, L. B., Scudder, M. R., Drollette, E. S., Moore, R. D., Wu, C. T., Kamijo, K., (2014). Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics*, 134(4), 1063-1071.
- Hogervorst, E., Riedel, W., Jeukendrup, A., y Jolles, J. (1996). Cognitive performance after strenuous physical exercise. *Perceptual and Motor Skills*, 83, 479-488.
- Holzschneider, K., Wolbers, T., Roder, B., y Hotting, K. (2012). Cardiovascular fitness modulates brain activation associated with spatial learning. *Neuroimage*, 59, 3003-3014.
- Huizinga, M., Dolan, C. V. y Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017-2036.
- Hunter, S. K., Thompson, M. W., y Adams, R. D. (2001). Reaction time, strength and physical activity in women aged 20-89. *Journal of Aging and Physical Activity*, 9, 32-42.
- Hutchinson, J. C., y Tenenbaum, G. (2007). Attention focus during physical effort: The mediating role of task intensity. *Psychology of Sport and Exercise*, 8(2), 233-245.
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., y Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, 286, 2526-2528.
- Ide, K., y Secher, N. H. (2000). Cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Progress in Neurobiology*. 61, 397-414.
- Illes, J. F. (1977). The speed of passive dendritic conduction of synaptic potentials in a model montoneurone. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, 197, 225-9.
- Impellizzeri, F. M., Borg, E. y Coutts, A. J. (2011). Intersubjective comparisons are possible with an accurate use of the Borg CR scales. *International journal of sports physiology and performance*, 6(1), 2-4.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A. y Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(6), 1042-1047.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J. y Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 105, 6829-6833.

- Jaenes, J.C. (2009). Personalidad resistente en deporte. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 2, 98-101.
- Jama, J. W., Launer, L. J., Witteman, J. C., den Breeijen, J. H., Breteler, M. M., Grobbee, D. E., y Hofman, A. (1996). Dietary antioxidants and cognitive function in a population-based sample of older persons. The Rotterdam Study. *American of Epidemiology*, 144, 275-280.
- Janz, K. F. y Mahoney, L. T. (1997). Maturation, gender, and video game playing are related to physical activity intensity in adolescents: The Muscatine Study. *Pediatric Exercise Science*, 9(4), 353-363.
- Jeannerod, M. (1997). *The Cognitive Neuroscience of Action*. Blackwell, Oxford.
- Jiménez-Díaz, J., Salazar-Rojas, W., y Morera, M. (2014). Interferencia contextual en el desempeño de destrezas motrices: Un metaanálisis. *Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 12 (1), 1-23.
- Jones, T. A., Hawrylak, N., Klintsova, A. Y. y Greenough, W. T. (1998). Brain damage, behavior, rehabilitation, recovery, and brain plasticity. *Mental Retardation and Developmental Disabilities*, 4, 231-237.
- Joseph, T., Johnson, B., Battista, R. A., Wright, G., Dodge, C., Porcari, J. P., et al. (2008). Perception of fatigue during simulated competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(2), 381-386.
- Kahneman, D., Ben Ishai, R., y Lotan, M. (1973). Relation of a test of attention to road accidents. *Journal of Applied Psychology*, 58(1), 113-115.
- Kail, R. (1991). Development of processing speed in childhood and adolescence. *Advances in child development and behaviour*. Reese, H. W., y San Diego, C. A (Eds.). Academic Press. p. 151-85.
- Kail, R., y Salthouse, T. A. (1994). Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychologica*, 86, 199-225.
- Kail, R. (1998). Speed of information processing in patients with multiple sclerosis. *J Clin Exp Neuropsychol*, 20, 98-106.
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Hatta, A., Kaneda, T., Kida, T., Higasiura, T., y Kuroiwa, K. (2004). Changes in arousal level by differential exercise intensity. *Clinical Neurophysiology*, 115(12), 26-32.
- Kamijo K., Pontifex, M. B., O'Leary, K. C., Scudder, M. R., Chien-Ting, W., Castelli, D. M., y Hillman, C. H. (2011). The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children. *Developmental Science*, 14, 1046-1058.
- Karle, J. W., Watter, S., y Shedden, J. M. (2010). Task switching in video game players: Benefits of selective attention but not resistance to proactive interference. *Acta Psychologica*, 134(1), 70-78.

- Knutten, H. G. (2007). Strength training and aerobic exercise: comparison and contrast. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 973-978.
- Karageorghis, C. I., y Priest, D. L. (2012a). Music in the exercise domain: A review and synthesis (Part I). *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 5(1), 44-66.
- Karageorghis, C. I., y Priest, D. L. (2012b). Music in the exercise domain: A review and synthesis (Part II). *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 5(1), 67-84.
- Karvonen, M. J., Kentala, E. y Mustala, O. (1957). The Effects of Training on Heart rate. A longitudinal study. *Annales Medicinae Experimentalis Fenniae*. Vol 35. Fasc 3. 307-315.
- Kashihara, K., maruyama, T., murota, m., y Nakahara, Y. (2009). Positive effects of acute and moderate physical exercise on cognitive function. *Journal Physiology and Anthropology*, 28(4), 155-164.
- Katzman, R., Terry, R., y DeTeresa, R. (1988). Clinical, pathological, and neurochemical changes in dementia: a subgroup with preserved mental status and numerous neocortical plaques. *Annales Neurology*, 23, 138-44.
- Kempermann, G., Fabel, K., Ehninger, D., Babu, H., Leal-Galicia, P., Garthe, A., y Wolf, S. A. (2010). Why and how physical activity promotes experience-induced brain plasticity. *Frontiers Neuroscience*, 4, 189.
- Kennedy, D. O., y Scholey, A. B. (2000). Glucose administration, heart rate and cognitive performance: Effects of increasing mental effort. *Psychopharmacology*, 149(1), 63-71.
- Kerr, A. L., Steuer, E. L., Pochtarev, V., y Swain, R. A. (2010). Angiogenesis but not neurogenesis is critical for normal learning and memory acquisition. *Neuroscience*, 171(1), 214-226.
- Kim, B., Park, H., y Baek, Y. (2009). Not just fun, but serious strategies: using meta-cognitive strategies in game-based learning. *Computers & Education*, 52(4), 800-810.
- Kjaer, M., Hanel, B., Worm, L., Perko, G., Lewis, S. F., Sahlin, K., y Secher, N. H. (1999). Cardiovascular and neuroendocrine responses to exercise in hypoxia during impaired neural feedback from muscle. *The American Journal of Physiology*, 277(1 Pt 2), R76-R85.
- Klimesh, W., Doppelmayr, M., Schimke, H., y Pachinger, T. (1996). Alpha frequency, reaction time, and the speed of processing information. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 13, 511-8.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., et al (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD—A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44, 177-186.
- Klingberg, T., Forssberg, H. y Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781-791.

- Knaepen, K., Goekint, M., Heyman, E. M., y Meeusen, R. (2010). Neuroplasticity - Exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: A systematic review of experimental studies in human subjects. *Sports Medicine*, 40, 765-801.
- Kraft, E. (2012). Cognitive function, physical activity, and aging: posible biological links and implications for multimodal interventions. *Aging Neuropsychology Cogn*, 19, 248-263.
- Kramer, A. F., Colcombem S. J., McAuley, E., Scalf, P. E., y Erickson, K. I. (2005). Fitness, Aging, and Neurocognitive Function. *Neurobiology of Aging*, 26, 124-127.
- Kramer, A. F., Erickson, K. I., y Colcombe, S. J. (2006). Exercise, cognition and the aging brain. *Journal of Applied Physiology*, 101(4), 1237-42.
- Kramer, A. F., Gonzalez de Sather, J., y Cassavaugh, N. (2005). Development of Attentional and oculomotor Control. *Developmental Psychology*, 41, 760-772.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., Chason, J., Vakil, E., Bardell, L., Boileau, R. A., y Colcombe, A. (1995). Health and social characteristics and children's cognitive functioning: Results from a national cohort. *American Journal of Public Health*, 85, 312-318.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., Chanson, J., Vakil, E., Bardell, L., Boileau, R. A., y Colcombe, A. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400, 418-419.
- Kramer, A. F., Hahn, S., y McAuley, E. (2000). Influence of aerobic fitness on the neurocognitive function of older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 8(4), 379-385.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M. y Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(6), 1165-1174.
- Koechlin, E., y Summerfield, C. (2007). An information theoretical approach to prefrontal executive function. *Trends Cogn Sci*, 11, 229-35.
- Kolb, B. y Whishaw, I. Q. (2006). *Neuropsicología humana*. Buenos Aires; Madrid: Médica Panamericana.
- Kubesch, S., Walk, L., Manfred, S., Kammer, T., Lainburg, A., Heim, R., y Hille, K. (2009). A 30-minute physical education program improves students' executive attention". *Mind, Brain, and Education*, 3, 235-242.
- Kuh, D., y Ben-Schlomo, Y. (1997). *A life course approach to chronic disease epidemiology*. Oxford: Oxford University Press.
- Kuh, D., y Cooper, C. (1992). Physical activity at 36 years: Patterents and childhood predictors in a longitudinal study. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 46, 114-119.
- Kujala, P., Portin, R., Revonsuo, A., y Ruutiainen, J. (1994). Automatic and controlled processing in multiple sclerosis. *Brain*, 117, 1115-1126.

- Lagally, K. M., Robertson, R. J., Gallagher, K. I., Goss, F. L., Jakicic, J. M., Lephart, S. M., y McCaw, S. T. (2002). Perceived exertion, electromyography, and blood lactate during acute bouts of resistance exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(3), 552-559.
- Lagally, K. M., y Robertson, R. J. (2006). Construct validity of the omni resistance exercise scale. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 252-256.
- Lager, A., y Brenberg, S. (2005). *Health Effects of Video and Computer Game Playing: A systemic review of scientific studies*. Suecia: National Swedish Public Health Institute.
- Lakes K. D., y Hoyt W. T. (2004). Promoting self-regulation through school-based martial arts training. *Applied Developmental Psychology*, 25, 283-302.
- Lambert, M. I., Borresen, J. (2006). A theoretical basis of monitoring fatigue: a practical approach for coaches. *Int J Sports Sci Coaching*, 1, 371-388.
- Lambourne, K., y Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12-24.
- Landers, D.M. (1980). The arousal-performance relationship revisited. *Quarterly for Exercise and Sport*, 51, 77-90.
- Lanningham-Foster, L., Jensen, T. B., Foster, R. C., Redmond, A. B., Walker, B. A., Heinz, D., y Levine, J. A. (2006). Energy expenditure of sedentary screen time compared with active screen time for children. *Pediatrics*, 118(6), e1831-1835.
- Lanningham-Foster, L., Foster, R. C., McCrady, M. S., Jensen, T. B., Mitre, N., y Levine, J. A. (2009). Activity-Promoting Video Games and Increased Energy Expenditure. *The Journal of Pediatrics*, 154(6), 819-823.
- Lardon, M. T., y Polich, J. (1996). EEG changes from long-term physical exercise. *Biology of Psychology*, 44(1), 19-30.
- La Rue, A., Koehler, K. M., Wayne, S. J., Chiulli, S. J., Chiulli, S. J., Haaland, K. Y. y Garry, P. J. (1997). Nutritional status and cognitive functioning in a normally aging sample: A 6-y reassessment. *American Journal of Clinical Nutrition*, 65, 20-29.
- Lau, H. C., Rogers, R. D., Haggard, P., y Passingham, R. E. (2004). Attention to intention. *Science*, 303, 1208-1210.
- Lau, H. C., Rogers, R. D., Ramnani, N., y Passingham, R. E. (2004). Willed action and attention to the selection of action. *Neuroimage*, 21, 1407-1415.
- Lau, H. C., Rogers, R. D., y Passingham, R. E. (2006). Dissociating response selection and conflict in the medial frontal surface. *Neuroimage*, 29, 446-451.
- Laufs, U., Werner, N., Link, A., Endres, M., Wassmann, S., Jurgens, K. (2004). Physical training increases endothelial progenitor cells, inhibits neointima formation, and enhances angiogenesis. *Circulation*, 109(2), 220-226.

- Lautenschlager, N. T., Cox, K., y Cyarto, E. V. (2012). The influence of exercise on brain aging and dementia. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1822(3), 474-481.
- Leder, R.S., Azcarate, G., Savage, R., Savage, S., Sucar, L. E., Reinkensmeyer, D., Toxtli, C., Roth, E., y Molina, A. (2008). Nintendo Wii remote for computer simulated arm and wrist therapy in stroke survivors with upper extremity hemiparesis. *Virtual Rehabilitation*, 8, 74-79.
- Lee, J. H. (2003). Genetic Evidence for Cognitive Reserve: Variations in Memory and Related Cognitive Functions. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25, 594-614.
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L. y Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 59-80.
- Lengenfelder, J., Bryant, D., Diamond, B. J., Kalmar, J. H., Moore, N. B., y DeLuca, J. (2006). Processing speed interacts with working memory efficiency in multiple sclerosis. *Arch Clin Neuropsychol*, 21, 229-38.
- Lezak, M. D. (1982). The problem of assessing executive functions. *International Journal of Psychology*, 17, 281-297.
- Lezak, M. (1995). *Neuropsychological assessment (3a. Ed.)* New York: Oxford University Press.
- Little, T. y Williams, A. G. (2007). Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength and Conditioning Association*, 21(2), 367-371.
- Litvan, I., Grafman, J., Vendrell, P., Martínez, J. M., Junque, C., y Vendrell, J. M. (1988). Multiple memory deficits in patients with multiple sclerosis. Exploring the working memory system. *Arch Neurol*, 45, 607-10.
- Loflin, M., Anderson, P., Lytton, L. Pittman, P. y Warren, B. (1996). Heart rate response during handball singles match-play and selected physical fitness components of experienced male handball players. *J Sports Med. Phys. Fitness*, 36(2), 95-99.
- Lorant-Royer, S., Munch, C., Mesclé, H. y Lieury, A. (2010). Kawashima vs “Super Mario”! Should a game be serious in order to stimulate cognitive aptitudes? *European Review Applied Psychology*, 60, 221-232.
- Luchies, C. W., Schiffman, L. G., Richards, M. R., Thompson, D., Bazuin, y De Young A. J. (2002). Effects of age, step direction, and reaction condition on the ability to step quickly. *The journals of Gerontology, Series A*57(4), 246.
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. NY: Basic Books.
- Luria, A. R. (1979). *El cerebro en acción*, 2ª ed., Barcelona: Fontanella.
- Macías-Delgado, L. Y., Jimenez-Morales, M., Díaz, R. F., García, D. O., Sebrango, C. y Gómez, A. (2012). Fatiga cognitiva en esclerosis múltiple. Relación entre la fatiga cognitiva y la memoria de trabajo. *Applied neurophysiology*, 45, 146-178.

- Mackey, A. P., Hill, S. S., Stone, S. I., y Bunge, S. A. (2011). Differential effects of reasoning and speed training in children. *Developmental Science*, 14(3), 582-590.
- Madan, R. M. y Singhal, A. (2012). Motor imagery and higher-level cognition: four hurdles before research can sprint forward. *Cognitive Processing*, 13, 211-229.
- Madden, D. J., Withing, W. L., Huettel, S. A., White, L. E., Mac Fall, J. R., y Provenzale, J. M. (2004). Diffusion tensor imaging of adult age differences in cerebral white matter: relation to response time. *Neuroimage*, 21, 1174-1181.
- Maddison, R., Ni Mhurchu, C., Jull, A., Yannan Jiang, Prapavessis, H., y Rodgers, A. (2007). Energy expended playing video console games: An opportunity to increase children's physical activity? *Pediatric Exercise Science*, 19(3), 334-343.
- Madsen, K.A., Yen, S., Wlasiuk, L., Newman, T.B. y Lustig, R. (2007): Feasibility of a dance videogame to promote weight loss among overweight children and adolescents. *Archives Pediatrics Adolescent Medicine*, 161(1), 105-107.
- Maezilli, T. S. y Hutcherson, A. B. (2002). Nicotine deprivation effects on the dissociated components of simple reaction time. *Perceptual and Motor Skills*, 94, 985-995.
- Maillot, P., Perrot, A., y Hartley, A. (2012). Effects of interactive physical-activity video-game training on physical and cognitive function in older adults. *Psychology and Aging*, 27(3), 589-600.
- Manly, J. J., Schupf, N., Tang, M. X., y Stern, Y. (2005). Cognitive decline and literacy among ethnically diverse elders. *Journal of Geriatrics, Psychiatry and Neurology*, 18, 213-217.
- Manly, J., Touradji, P., Tang, M. X., y Stern, Y. (2003). Literacy and Memory Decline Among Ethnically Diverse Elders. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25, 680-690.
- Marchant, D. C., Greig, M., Bullough, J., y Hitchen, D. (2011). Instructions to adopt an external focus enhance muscular endurance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82, 466-473.
- Marcora, S. (2009). Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs. *Journal of Applied Physiology*, 106(6), 2060-2062.
- Marcora, S. M., Staiano, W., y Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 857-864.
- Marshall, S. J., Biddle, S. J. H., Sallis, J. F., McKenzie, T. L. y Conway, T. L. (2002). Clustering of sedentary behaviors and physical activity among youth: a cross-national study. *Pediatric Exercise Science*, 14(4), 401-417.
- Martin, P. Y., y Benton, D. (1999). The influence of a glucose drink on a demanding working memory task. *Physiology and Behavior*, 67(1), 69-74.
- Martín, M. (2007). *Nivel de actividad física y de sedentarismo y su relación con conductas alimentarias en adolescentes españoles*. Tesis Doctoral. Granada: Universidad de Granada.

- Martínez, O. (2003). *El tiempo de reacción visual en el kárate*. Tesis no publicada, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior Arquitectura, Madrid.
- Masanobu, A. y Choshi, K. (2006). Contingent muscular tension during a choice reaction task. *Perceptual and Motor Skills*, Volume 102, pp. 736-746.
- Masters, K. S. y Lambert, M. J. (1989). The relations between cognitive coping strategies, reasons for running, injury and performance of marathon runners. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 11(2), 161-170.
- Matveiev, L. P. (1985). *Fundamentos del entrenamiento deportivo*. Moscú: Raguda.
- McCloskey, D. I. (1981/2011). Corollary discharges: Motor commands and perception. En Supplement 2. *Handbook of physiology, the nervous system, motor control* (pp. 1415-1447).
- McDonald, S. W. S., Nyberg, L., Sandblom, J., Fischer, H. y Bäckman, L. (2008). Increased response-time variability is associated with reduced inferior parietal activation in recognition memory in aging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, 779-786.
- McMorris, T. y Graydon, J. (1996). Efectos del ejercicio sobre el fútbol de toma de decisiones tareas de complejidad diferentes. *Revista de Estudios del Movimiento Humano*, 30, 177-193.
- McMorris, T. y Graydon, J. (1997). Effect of exercise on the decision-making performance of college soccer players. En *Science and Football III* (edited by T. Reilly, J. Bangsbo and M. Hughes), pp. 290-294. London: E. y F.N. Spon.
- McMorris, T. y Graydon, J. (2000). The effect of incremental exercise on cognitive performance. *International Journal of Sport Psychology*, 31, 66-81.
- McMorris, T., y Keen, P. (1994). Effect of exercise on simple reaction times of recreational athletes. *Perceptual and Motor Skills*, 78, 123-130.
- McMorris, T., Collard, K., Corbett, J., Dicks, M. y Swain, J. P. (2008). A test of the catecholamines hypothesis for an acute exercise–cognition interaction. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 89, 106-115.
- McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., y Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. *Physiology of Behaviour*, 102(3-4), 421-428.
- McMorris, T., Terry, R., Hale, B. J., y Beverley, J. (2012). Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation. *Brain and Cognition*, 80(3), 338-351.
- McMorris, T., Tallon, M., Williams, C., Sproule, J., Draper, S., y Swain, J. (2003). Incremental exercise, plasma concentrations of catecholamines, reaction time, and motor time during performance of a noncompatible choice response time task. *Perceptual and Motor Skills*, 97(2), 590-604.

- Mellecker, R. R., y McManus, A. M. (2008). Energy expenditure and cardiovascular responses to seated and active gaming in children. *Archives Pediatrics Adolescent Medicine* 162(9), 886-891.
- Meng, X., y D'Arcy, C. (2012). Education and dementia in the context of the cognitive reserve hypothesis: a systematic review with meta-analyses and qualitative analyses. *PLoS One*, 7(6).
- Merege, C., Alves, C., Sepulveda, C., Dos Santos Costa, A., Lancha, A. H., y Gualano, B. (2012). In uència do exercicio físico sobre a cognição: uma atualização dos mecanismos siológicos. *Rev Bras Med do Esporte*, 7.
- Mesa-Gresa, P., y Moya-Albiol, L. (2011). Neurobiology of child abuse: the 'cycle of violence. *Review Neurology*, 52(8), 489-503.
- Meeusen, R., Piacentini, M. F., y De Meirleir, K. (2001). Brain microdialysis in exercise research. *Sports Medicine*, 31, 965-983.
- Mellecker, R. R., y McManus, A. M. (2008). Energy expenditure and cardiovascular responses to seated and active gaming in children. *Archives Pediatrics Adolescent Medicine* 162(9), 886-891.
- Mendez-Villanueva, A. Fernandez-Fernandez, J. Bishop, D., Fernandez-Garcia, B. y Terrados, N. (2007). Activity patterns, blood lactate concentrations and rasting of perceived exertion during a profesional singles tennis tournament. *British Journal of Sports Medicine*, 41(5), 296-300.
- Michon, J. A. (1979). *Dealing with danger: internal report Traffic Research Centre*. Groningen: State University.
- Miller, S. M. y Taylor-Piliae, R. E. (2014). Effects of Tai Chi on Cognitive Function in Community-Dwelling Older Adults: A Review. *Geriatric Nursing*, 35(1), 9-19.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. y Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., y Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent variable analysis. *Journal of Experimental Psychology*, 130, 621-640.
- Miyake, A. y Shah, P. (1999). *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control*. Londres: Cambridge University Press.
- Motl, R. W., McAuley, E., Birnbaum, A. S., y Lytle, L. A. (2006). Naturally occurring changes in time spent watching television are inversely related to frequency of physical activity during early adolescence. *Journal of Adolescence*, 29(1), 19-32.
- Morgan, W. P., y Pollack, M. L. (1977). Psychological character- ization of the elite distance runner. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301, 382-403.

- Mortimer, J. A., y Graves, A. B. (1993). Education and other socioeconomic determinants of dementia and Alzheimer's disease. *Neurology*, 43(4), S39-S44.
- Mortimer, J. A. (1997). Brain reserve and the clinical expression of Alzheimer's disease. *Geriatrics*, 53(1), S50-S53.
- Moscovitch, M. y Winocur, G. (2002). The frontal cortex and working with memory. En Stuss, D.T. y Knight, R.T (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 188-209). London: Oxford University Press.
- Moya, M. (2002). *Indicadores psicobiológicos del estrés deportivo en tenistas*. Tesis Doctoral de la Universitat de Valencia. España.
- Mueller, V. A., Brass, M., Waszak, F., y Prinz, W. (2007). The role of the preSMA and the rostral cingulate zone in internally selected actions. *Neuroimage*, 37, 1354-1361.
- Mulder, G. (1986). The concept and measurement of mental effort. En: Hockey, G.R.J., Gaillard, A.W.K., Coles, M.G.H. (Eds.), *Energetical Issues in Research on Human Information Processing*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, pp. 175-198.
- Muraven, M., y Baumeister, R. F. (2000). Self-regulation and depletion of limited resources: Does self-control resemble a muscle? *Psychological Bulletin*, 126(2), 247-259.
- Myerson, J., Hale, S., Wagstaff, D., Poon, L. W., y Smith, G. A. (1990). The information-loss model: a mathematical theory of age-related cognitive slowing. *Psychol Rev*, 97, 475-487.
- Myerson, J., Robertson, S. y Hale, S. (2007). Aging and intra-individual variability: Analysis of response time distributions. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 88, 319-337.
- Myles, W. S., y Maclean, D. (1986). A comparison of response and production protocols for assessing perceived exertion. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(6), 585-587.
- Näätänen, R. (1973). The Inverted-U relationship between activation and performance: A critical review. En S. Kornblum (Ed.), *Attention and Performance IV* (pp. 155-174). New York: Academic Press.
- Naclerio, F., Larumbe, E., Jiménez, A. y Alvar, B. (2010). 1 RM Prediction from The Linear Velocity and The Rate of Perceived Exertion In Bench Press And Paralell Squat. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 1.
- Naclerio, F., Rodríguez-Romo, G., Barriopedro-Moro, M. I., Jiménez, A., Alvar, B. A. y Triplett, N. T. (2011). Control of resistance training intensity by the Omni perceived exertion Scale. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1879-1888.
- Nakamoto, H. y Mori, S. (2008). Sport-specific decision-making in a go/no go reaction task: difference among nonathletes and baseball and basketball players. *Perceptual and Motor Skills*, 106(1), 163-171.

- Nakamura, F. Y., Pereira, G., Chimin, P., Siqueira-Pereira, T. A., Simoes, H. G. y Bishop, D. J. (2010). Estimating the perceived exertion threshold using the OMNI scale. *The Journal of Strength and Conditioning research*, 24(6), 1602-1608.
- Nithianantharajah, J., y Hannan, A. J. The neurobiology of brain and cognitive reserve: Mental and physical activity as modulators of brain disorders. *Progress Neurobiology*, 89(4), 369-82.
- Nitsch, J. R., Neumaier, A., Marées, H., y Mester, J. (2002). *Entrenamiento de la técnica. Contribuciones para un enfoque interdisciplinar*. Barcelona: Paidotribo.
- Noakes, T. D. (2000a). Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 10(3), 123-145.
- Noakes, T. D. (2000b). Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 10(3), 123-145.
- Noakes, T. D. (2007a). The central governor model of exercise regulation applied to the marathon. *Sports Medicine*, 37(4-5), 374-377.
- Noakes, T. D. (2007b). Determining the extent of neural activation during maximal effort: Comment. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(11), 2092.
- Noble, B. J., y Robertson, R. J. (1996). *Perceived exertion*. Champaign, IL: Human Kinetics Champaign.
- Norman, D. A., y Shallice, T. (1986). Attention to action: willed and automatic control of behavior. En Davidson, R. J., Schwartz, G. E., Shapiro, D., eds. *Consciousness and self-regulation*. New York: Plenum Press; p. 1-18.
- O'Donnell, R.D. y Eggemeier, F.T. (1986). Work load assessment methodology. En K. Boff, L. Kaufman y J. P. Thomas (Eds.) *Handbook of Perception and Human Performance. Cognitive Processes and Performance*. Vol. II. Cap. 42, (pp. 42.1-42.49). New York: Wiley.
- Ogoh, S., y Ainslie, P. N. (2009). Cerebral blood flow during exercise: mechanisms of regulation. *Journal of Applied Physiology*, 107, 1370-1380.
- O'Hare, E. D. y Sowell, E. R. (2008). Imaging developmental changes in gray and white matter in the human brain. En Nelson, C.A y Luciana, M. (Eds.), *Handbook of developmental cognitive neuroscience* (2nd ed., pp. 23-38). Cambridge, MA: MIT Press.
- Oishi, K., y Maeshima, T. (2004). Autonomic nervous system activities during motor imagery in elite athletes. *J. Clin. Neurophysiol.* 21, 170-179.
- Olesen, P. J., Westerberg, H. y Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7, 75-79.

- Orellana, A. (2009). Valoración del tiempo de reacción simple y discriminativo como determinante de la respuesta neuromotriz. (*Evaluation of simple reaction time and discriminant as a determinant of neuromotor response*) Doctoral Dissertation, University of Granada, Granada, Spain.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Preámbulo de la Constitución de la Organización Mundial de la Salud. *Bulletin of the World Health Organization*, 80, 982-983.
- O'Sullivan, M. O., Morris, R. G., Huckstep, B., Jones, D. K., Williams, S. C., y Markus, H. S. (2004). Diffusion tensor MRI correlates with executive dysfunction in patients with ischaemic leukoaraiosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 75, 441-447.
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., y Ballard, C. G. (2010). Putting brain training to the test. *Nature*, 465(7299), 775-778.
- Owens, D. S., Parker, P. Y., y Benton, D. (1997). Blood glucose and subjective energy following cognitive demand. *Physiology and Behavior*, 62(3), 471-478.
- Oxendine, J. B. (1970). Emotional arousal and motor performance. *Quest*, 13, 23-30.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., y Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71.
- Pageaux, B. (2014). The psychobiological model of endurance performance: An effort-based decision-making theory to explain self-paced endurance performance. *Sports Medicine*, 44(9), 1319-1320.
- Pageaux, B., Marcora, S. M., Rozand, V., & Lepers, R. (2015). Mental fatigue induced by prolonged self-regulation does not exacerbate central fatigue during subsequent whole-body endurance exercise. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 361.
- Pageaux, B. (2016). Perception of effort in Exercise Science: Definition, measurement and perspectives. *European Journal of Sport Science*, 16(8), 885-894.
- Pandolf, K. B. (1983). Advances in the study and application of perceived exertion. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 11, 118-158.
- Pate, R. R. (2008). Physically active video gaming - an effective strategy for obesity prevention? *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 162(9), 895-896.
- Patel, N. K., Newstead, A. H., y Ferrer, R. L. (2012). The effects of Yoga on physical functioning and health related quality of life in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Journal Alternative Complementary Medicine*, 18(10), 902-917.
- Peek, A. C., Ibrahim, T., Abunasra, H., Waller, D., y Natarajan, R. (2008). White-out from a wii: Traumatic haemothorax sustained playing Nintendo™ Wii. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 90(6), W9-10.
- Pennebaker, J. W., y Lightner, J. M. (1980). Competition of internal and external information in an exercise setting. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39, 165-174.

- Pereira, A. C., Huddleston, D. E., Brickman, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M., Sloan, R., Gage, F. H., Brown, T. R., y Small, S. A. (2007). An in vivo correlate of exercise induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proceedings National Academy of Sciences U.S.A.*, 104(13), 5638-5643.
- Persson, J. y Reuter-Lorenz, P. A. (2008). Gaining control: Training executive function and far transfer of the ability to resolve interference. *Psychological Science*, 19, 881-888.
- Pesce, C., Capranica, L., Tessitore, A. y Figura, F. (2002). Effects of a sub-maximal physical load on the orienting and focusing of visual attention. *Journal of Human Movement Studies*, 42, 401-420.
- Pesce, C., Casella, R. y Capranica, L. (2004). Modulation of visuospatial attention at rest and during physical exercise: Gender differences. *International Journal of Sport Psychology*, 35(4), 328-341.
- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R. y Bellucci, M. (2009). Actividad física y el rendimiento mental en preadolescentes: Efectos del ejercicio agudo sobre la memoria recuerdo libre. *Salud Mental y Actividad Física*, 2, 16-22.
- Pfefferbaum, A., y Sullivan, E. V. (2002). Microstructural but not macrostructural disruption of white matter in women with chronic alcoholism. *Neuroimage*, 15, 708-718.
- Picard, N., y Strick, P. L. (1996). Motor areas of the medial wall: a review of their location and functional activation. *Cereb Cortex*, 6, 342-353.
- Pincivero, D. M., Coelho, A. J., y Campy, R. M. (2003). Perceived exertion and maximal quadriceps femoris muscle strength during dynamic knee extension exercise in young adult males and females. *European Journal of Applied Physiology*, 89(2), 150-156.
- Pineda, D. (1996). Disfunción ejecutiva en niños con trastornos por deficiencia atencional con hiperactividad (TDAH). *Acta Neurológica Colombiana*, 12, 19-25.
- Pinniger, G. J., Steele, J. R., y Groeller, H. (2000). Does fatigue induced by repeated dynamic efforts affect hamstring muscle function? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3), 647-653.
- Pisella, L., Grea, H., Tilikete, C., Vighetto, A., Desmurget, M., Rode, G. (2000). An 'automatic pilot' for the hand in human posterior parietal cortex: toward reinterpreting optic ataxia. *Nature Neuroscience*, 3(7), 729-736
- Platonov, V. M. (1988). *El entrenamiento deportivo. Teoría y metodología*. Barcelona: Paidotribo.
- Pollak, K. A., Swenson, J. D., Vanhaisma, T. A., Hughen, R. W., Jo, D., Light, K. C., y Light, A. R. (2014). Exogenously applied muscle metabolites synergistically evoke sensations of muscle fatigue and pain in human subjects. *Experimental Physiology*, 99(2), 368-380
- Pollock M. L., Jackson A. S. y Foster C. (1986). The use of the perception scale for exercise prescription: *The Perception of Exertion in Physical Work*, G. Borg and D. Ottoson (Eds.). London: MacMillan, 161-176.

- Pollock, B. S., Barkley, J. E., Potenzini, N., De Salvo, R. M., Buser, S. L., Otterstetter, R., y Juvancic-Heltzel, J. A. (2013). Validity of Borg ratings of perceived exertion during active video game play. *International Journal of Exercise Science*, 6(2), 641-170.
- Pons, I. D. (2008). *Evaluación de la carga mental en tareas de control*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Premack, D., y Woodruff, G. (1978). Does chimpanzee have a theory of mind? *Behav Brain Sci*, 4, 9-30.
- Preston, J. y Wegner, D. M. (2009). Elbow grease: The experience of effort in action. En Morsella, E., Bargh, J.A. y Gollwitzer, P.M. (Eds.), *Oxford handbook of human action* (pp. 469-486). New York: Oxford University Press.
- Proske, U., y Gandevia, S. C. (2012). The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews*, 92(4), 1651-1697.
- Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., y Ilmoniemi, R. (2005). Brain signatures of meaning access in action Word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 884-892.
- Pulvermüller, F., y Fadiga, L. (2010). Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 351-360.
- Rakison, D. H. y Woodward, A. L. (2008). New perspectives on the effects of action on perceptual and cognitive development. *Developmental Psychology*, 44, 1209-1213.
- Ramchandani, A., Carroll, K., Buenaventura, R., Douglas, J., y Liu, J. (2008). Wii-habilitation increases participation in therapy. *Virtual Rehabilitation*, 69-69.
- Rampini, E., Sassi, A., Azzalin, A., Castagna, C., Menaspà, P., Carlomagno, D. y Impellizzeri, F. (2010). Physiological determinants of Yo-Yo intermittent recovery tests in male soccer players. *European Journal of Applied Physiology*. 108(2):401-409.
- Rasberry C. N., Lee, S. M., Robin, L., Laris, B. A., Russell, L. A., Coyle, K. K. y Nihiser, A. J. (2011). The association between school-based physical activity, including physical education, and academic performance: a systematic review of the literature. *Preventive Medicine*, 52, S10-S20.
- Ratey, J. J., y Hagerman, E. (2008). *Spark: The revolutionary new science of exercise and the brain*. New York: Little, Brown.
- Redolar, D. (2015). *Neurociencia cognitiva*. Madrid: Ed. Médica Panamericana.
- Rejeski, W. J. (1981). The perception of exertion: A social psycho- physiological integration. *Journal of Sport Psychology*, 4, 305-320.
- Rejeski, W. J. (1985). Perceived exertion: An active or passive process. *Journal of Sport Psychology*, 7(4), 371-378.
- Resnik, S. M., Pham, D. L., Kraut, M. A., Zonderman, A. B., y Davatzikos, C. (2003). Longitudinal magnetic resonance imaging studies of older adults: a shrinking brain. *Journal of Neuroscience*. 23, 3295-3301.

- Reynolds, M. D., Johnson, J. M., Dodge, H. H., Dekosky, S. T., y Ganguli, M. (1999). Small head size is related to low Mini-Mental State Examination scores in a community sample of nondemented older adults, *Neurology*, 53, 228-229.
- Reza, M. R., Moghaddam, A., Shadifar, E., y Mabhout, T. M. (2013). The effects of listening to three types of music during exercise on heart rate, blood pressure, rating of perceived exertion and fatigue onset time. *Life Science Journal*, 10(5), 522-527.
- Richards, M., Hardy, R., Kuh, D., y Wadsworth, M. E. J. (2002). Birth weight, postnatal growth and cognitive function in a national birth cohort. *International Journal of Epidemiology*, 31, 342-348.
- Richards, M., Hardy, R., y Wadsworth, M. (2003). Does active leisure protect cognition? Evidence from a national birth cohort. *Social Science and Medicine*, 65, 785-792.
- Richards M., y Sacker A. (2003). Life course antecedents of cognitive reserve. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25, 614-624.
- Riquelme-Urbe, D., Sepúlveda-Guzmán, C., Muñoz-Marambio, M., y Valenzuela, M. (2013). Ejercicio físico y su influencia en los procesos cognitivos. *Revista Motricidad y Persona*, 13, 69-74.
- Ríos-Lago, M., y Muñoz-Céspedes, J. M. (2004). *La atención y el control ejecutivo después de un traumatismo craneoencefálico*. Madrid: Fundación Mapfre.
- Ríos-Lago, M., Periañez, J. A., y Muñoz-Céspedes, J. M. (2004). Attentional control and slowness of information processing after severe traumatic brain injury. *Brain injury*, 18, 257-72.
- Ríos-Lago, M., y Periañez, J. A. (2010). Attention and speed of information processing. En Koob, G., Thompson, R. F., y Le Moal, M. (Eds.). *Encyclopedia of behavioral neuroscience*. Boston: Elsevier. p. 208-219.
- Robertson, R.J. y Noble, B.J. (1997). Perception of physical exertion: methods, mediators, and applications. *Exercise and sport sciences reviews*, 25, 407-452.
- Robertson, R.J, Goss, F.L. y Metz, K.F. (1998). Perception of physical exertion during dynamic exercise: a tribute to Professor Gunnar A. V. Borg. *Perceptual and motor skills*, 86(1), 183-191.
- Robertson, R.J., Goss, F.L., Rutkowski, J., Lenz, B., Dixon, C., Timmer, J., Frazee, K., Dube, J. y Andreacci, J. (2003). Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 333-341.
- Robertson, R.J., Goss, F.L., Andreacci, J.L., Dube, J. J., Rutkowski, J.J., Frazee, K., Aaron, D.J., Metz, K.F, Kowallis, R.A. y Snee, B.M. (2005). Validation of the Children's OMNIResistance Exercise Scale of Perceived Exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(5), 819-826.
- Roca, J. (1983). *Tiempo de reacción y deporte*. Barcelona: Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya.

- Rogers, J., y Bloom, F. E. (1985). *Neurotransmitter metabolism and function in the aging central nervous system. Handbook of the biology of aging*. Finch, C. E. y Schneider, E. L. (Eds.) New York: Reinhold. p. 645-690.
- Rogers, R. D., Owen, A. M., Middleton, H. C., Williams, E. J., Pickard, J. D., Sahakian, B. J., y Robbins, T. W. (1999) Choosing between small, likely rewards and large, unlikely rewards activates inferior and orbital prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience*, 19, 9029-9038.
- Rolls, E. T. (1986). Neural systems involved in emotion in primates. En Plutchik, R. y Kellerman, H. (Eds.). *Emotion: Theory, research, and experience (Vol. 3)*. New York: Academic Press.
- Rosas, R., Nussbaum, M., Cumsille, P., Marianov, V., Correa, M., Flores, P., Grau, V., Lagos, F., López, X., López, V., Rodríguez, P., y Salinas, M. (2003). Beyond Nintendo: design and assessment of educational video games for first and second grade students. *Computers & Education*, 40(1), 71-94.
- Row, B. S., Knutzen, K. M., y Skogsberg, N. J. (2012). Regulating explosive resistance training intensity using the rating of perceived exertion. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 664-671.
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B. D., Saccomanno, L. y Posner, M. I. (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 102, 14931-14936.
- Russell, W. D., y Weeks, D. L. (1994). Attentional style in ratings of perceived exertion during physical exercise. *Perceptual and Motor Skills*, 78, 779-783
- Sall, A. y Grinter, R. E. (2007). Let's Get Physical! In, Out and Around the Gaming Circle of Physical Gaming at Home. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 16(1-2), 199-229.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychol Rev*, 103, 403-28.
- Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biol Psychol*, 54, 35-54.
- Sastre-Riba, S. (2008). Niños con altas capacidades y su funcionamiento cognitivo diferencial. *Rev Neurol*, 41(1), 11-6.
- Satz, P. (1993). Brain Reserve Capacity on Symptom Onset After Brain Injury: A formulation and Review of Evidence for Threshold Theory. *Neuropsychology*, 7(3), 273-295.
- Scholey, A. (2001). Fuel for thought. *Psychologist*, 14(4), 196-201.
- Schulpis, K., Parthimos, T., Papakonstantinou, E., Tsakiris, T., Parthimos, N., Mentis, A. y Tsakiris, S. (2009). Evidence for the participation of the stimulated sympathetic nervous system in the regulation of car-nitine blood levels of soccer players during a game. *Metabolism Clinical and Experimental*, 58(8), 1080-1086.

- Séguin, J. y Zelazo, P. (2005). Executive function in early physical aggression. En Tremblay, R. E., Hartup, W. W. y Archer, J. (Eds.), *Developmental Origins of Aggression* (pp.307-329). New York: Guilford Press.
- Scarmeas, N., Levy, G., Tang, M., Manly, J., y Stern, Y. (2001). Influence of leisure activity on the incidence of Alzheimer's disease. *Neurology*, *57*, 2236-2242.
- Scarmeas, N., y Stern, Y. (2003). Cognitive reserve and Lifestyle. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *25*, 625-634.
- Schmitter-Edgecombe, M., y Rogers, W. A. (1997). Automatic process development following severe closed head injury. *Neuropsychology*, *11*, 296-308.
- Schomer, H. (1986). Mental strategies and the perception of effort of marathon runners. *International Journal of Sport Psychology*, *17*, 41-59.
- Schücker, L., Hageman, N., Strauss, B., y Völker, K. (2009). The effect of attentional focus on running economy. *Journal of Sport Sciences*, *12*, 1242-1248.
- Schuhfried, G. (1992). Vienna test system. Test Manager Program. Austria: Modling.
- Seiler, K. y Klerland, G. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an optimal" distribution? *Scandinavian Journal of Medicine y Science in Sports*, *16*(1), 49-56.
- Serrien, D. J., Ivry, R. B. y Swinnen, S. P. (2007). The missing link between action and cognition. *Progress in Neurobiology*, *82*, 95-107.
- Sgherza, A. L., Axen, K., Fain, R., Hoffman, R. S., Dunbar, C. C., y Haas, F. (2002). Effect of naloxone on perceived exertion and exercise capacity during maximal cycle ergometry. *Journal of Applied Physiology*, *93*(6), 2023-2028.
- Sharma, H. S., Cervos-Navarro, J., y Dey, P. K. (1991). Increased blood-brain barrier permeability following acute short-term swimming exercise in conscious normotensive young rats. *Neuroscience*, *10*(3), 211-221.
- Shatil, E. (2013). Does combined cognitive training and physical activity training enhances cognitive abilities more than either alone? A four-condition randomized controlled trial among healthy older adults. *Frontiers Aging Neuroscience*, *5*.
- Shephard, R. J. (2009a). Is the measurement of maximal oxygen intake passé? *British Journal of Sports Medicine*, *43*(2), 83-85.
- Shephard, R. J. (2009b). Maximal oxygen intake and independence in old age. *British Journal of Sports Medicine*, *43*(5), 342-346.
- Shiffrin, R. M., y Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: 2. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychol Rev*, *84*, 127-190.

- Shimamura, A. P. (2000). The role of the prefrontal cortex in dynamic filtering. *Psychobiology*, 28, 207-218.
- Shimamura, A. P. (2002). Memory retrieval and executive control processes. En Stuss, D., Knight, R.T., (Eds.). *Principles of frontal lobe function*. New York: Oxford University Press; p. 210-20.
- Shimano, T., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R., y Vingren, J. L. (2006). Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 819-823.
- Shulman, R. G., Rothman, D. L., Behar, K. L., y Hyder, F. (2004). Energetic basis of brain activity: implications for neuroimaging. *Trends Neuroscience*, 27(8), 489-495.
- Sibley, B. y Etnier, J. (2003). The relationship between physical activity and cognition in children: a meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15, 243-256.
- Silva III, J. M., y Appelbaum, M. I. (1989). Association-dissociation patterns of united states olympic marathon trial contestants. *Cognitive Therapy and Research*, 13(2), 185-192.
- Silverman, I. W. (2006). Sex differences in simple visual reaction times: A historical meta-analysis. *Sex Roles*, 54, 57-68.
- Sinclair, W., Kerr, R., Spinks, W. y Leicht, A. (2009). Blood lactate, heart rate and rating of perceived exertion responses os elite surf live-savers to high-performance competition. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 101-106.
- Skosnik, P. D., Chatterton, R. T., Swisher, T., y Park, S. (2000). Modulation of attentional inhibition by norepinephrine and cortisol after psychological stress. *International Journal of Psychophysiology*, 36, 59-68.
- Smith, P. J., Blumenthal, J. A., Hoffman, B. M., Cooper, H., Strauman, T. A., y Welsh-Bohmer, K. (2010). Aerobic exercise and neurocognitive performance: a meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosomatic. Medicine*, 72, 239-252.
- Sommerville, J. A. y Decety, J. (2006). Weaving the fabric of social interaction: Articulating developmental psychology and cognitive neuroscience in the domain of motor cognition. *Psychonomic Bulletin Review*, 13, 179-200.
- Spence, I., y Feng, J. (2010). Video games and spatial cognition. *General Psychology*, 14, 92-104.
- Spencer, S. J., Klein, J., Minakata, K., Le, V., Bobrow, J. E., y Reinkensmeyer, D. J. (2008). A low cost parallel robot and trajectory optimization method for wrist and forearm rehabilitation using the Wii. *Proceedings of the 2nd Biennial IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, BioRob 2008*, art.no. 4762902, pp. 869-874.
- Spikman, J. M., Kiers, H. A., Deelman, B. G., y Van Zomeren, A. H. (2001). Construct validity of concepts of attention in healthy controls and patients with CHI. *Brain and Cognition*, 47, 446-60.

- Spiriduso, W. W. (1975). Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *Journal of Gerontology*, 30, 435-440.
- Spiriduso, W. W. (1980). Physical fitness, aging, and psychomotor speed: A review. *Journal of Gerontology*, 35, 850-865.
- Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychol Rev*, 99, 195-231.
- St. Clair Gibson, A., Baden, D. A., Lambert, M. I., Lambert, E. V., Harley, Y. X. R., y Hampson, D. (2003). The conscious perception of the sensation of fatigue. *Sports Medicine*, 33(3), 167-176.
- Steed., J. Gaesser, G. A. y Weltman, A. (1994). Rating of perceived exertion and blood lactate concentration during submaximal running. *Medicine & Science in Sport Exercise*. 26 (6), 797-803.
- Stein, B. E., y Stanford, T. R. (2008). Multisensory integration: current issues from the perspective of the single neuron. *Nature Review Neuroscience*, 9, 255-266.
- Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? Theory and re-search application of the reserve concept. *Journal of the International Nueropsychological Society*, 8, 448-460.
- Stern, Y., Albert, S., Tang, M. X., y Tsai, W. Y. (1999). Rate of memory decline in AD is related to education and occupation: cognitive reserve? *Neurology*, 53, 1942-7.
- Stern, Y., Scarmeas, N., y Habeck, C. (2004). Imaging cognitive reserve. *International Journal of Psychology*, 39(1), 18-26.
- Stern, Y., Zarahn, E., Hiton, H. J., Flynn, J., DeLaPaz, R., y Rakitin, B. (2003). Exploring the Neural Basis of Cognitive Reserve. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25, 691-701.
- Stern, Y., Blumen, H. M., Rich, L. W., Richards, A., Herzberg, G., y Gopher, D. (2011). Space Fortress game training and executive control in older adults: a pilot intervention. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 18(6), 653-677.
- Stroth, S., Kubesch, S., Dieterle, K., Ruchow, M., Heim, R. y Kiefer, M. (2009). Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents. *Brain Research*, 1269, 114-124.
- Stuss, D. T., Alexander, M. P., Shallice, T., Picton, T. W., Binns, M. A., y Macdonald, R. (2005). Multiple frontal systems controlling response speed. *Neuropsychologia*, 43, 396-417.
- Stuss, D. T. y Benson, D. F. (1984). Neuropsychological studies of frontal lobes. *Psychological Bulletin*, 95, 3-28.
- Sungur, H., y Boduroglu, A. (2012). Action video game players form more detailed representation of objects. *Acta Psychologica*, 139(2), 327-334.
- Sünram-Lea, S. I., Foster, J. K., Durlach, P., y Perez, C. (2001). Glucose facilitation of cognitive performance in healthy young adults: Examination of the influence of fast-duration, time

- of day and pre-consumption plasma glucose levels. *Psychopharmacology*, 157(1), 46-54.
- Sweet, T. W., Foster, C., McGuigan, M. R. y Brice, G. (2004). Quantitation of resistance training using the session rating of perceived exertion method. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 796-802.
- Swing, E. L., Gentile, D. A., Anderson, C. A., y Walsh, D. A. (2010). Television and video games exposure and the development of attention problems. *Pediatrics*, 126, 214-221.
- Szinnai, G., Schachinger, H., Arnaud, M. J., Linder, L., y Keller, U. (2005). Effect of water deprivation on cognitive-motor performance in healthy men and women. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 289(1), R275-R280.
- Tahiroglu, A. Y., Celik, G. G., Avci, A., Seydaoglu, G., Uzel, M., y Altunbas, H. (2010). Short-term effects of playing computer games on attention. *Journal of Attention Disorders*, 13(6), 668-676.
- Tanaka, H., Monahan, K. D., y Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153-156.
- Tamayo-Orrego, L., y Duque-Parra, J. E. (2007). The metabolic regulation of cerebral microcirculation. *Review Neurology*, 44(7), 415-425.
- Tan, B., Aziz, A. R., Chua, K., y Teh, K. C. (2002). Aerobic demands of the dance simulation game. *International Journal of Sports Medicine*, 3(2), 125-129.
- Tenenbaum, G. (2001). A social-cognitive perspective of perceived exertion and exertion tolerance. In R. N. Singer, H. A. Hausenblas, y C. Janelle (Eds.), *Handbook of sport psychology* (pp. 810-822). New York, NY: Wiley.
- Thayer, R. E. (1987). Problem perception, optimism, and related states as a function of time of day (diurnal rhythm) and moderate exercise: Two arousal systems interaction. *Motivation and Emotion*, 11(1), 19-36.
- Themanson, J. R., y Hillman, C. H. (2006). Cardiorespiratory fitness and acute aerobic exercise effects on neuroelectric and behavioral measures of action monitoring. *Neuroscience*, 141, 757-767.
- Themanson, J. R., Hillman, C. H., y Curtin, J. J. (2006). Age and physical activity influences on neuroelectric indices of action monitoring during task switching. *Neurobiology of Aging*, 27, 1335-1345.
- Thomas, A. G., Dennis, A., Bandettini, P. A., Johansen-Berg, H. (2012). The effects of aerobic activity on brain structure. *Frontiers Psychology*, 3.
- Thomson, K., Watt, A. y Liukkonen, J. (2009). Differences in ball sports athletes speed discrimination skills before and after exercise induced fatigue. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8, 259-264.

- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Bergman, S., Bohlin, G. y Klingberg, T. (2008). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, 11, 969-976.
- Tirapu-Ustárrroz, J., García-Molina, A., Luna-Lario, P., Roig-Rovira, T., y Pelegrín-Valero, C. (2008). Modelos de funciones y control ejecutivo. *Rev Neurol*, 46(11), 684-692.
- Tirapu-Ustárrroz, J., García-Molina, A., Luna-Lario, P., Roig-Rovira, T. y Pelegrín-Valero, C. (2008). Modelos de funciones y control ejecutivo (II). *Revista Neurología*, 46(12), 742-750.
- Tirapu-Ustárrroz, J., Ríos-Lago, M., y Maestú-Unturbe, F. (2011). *Manual de Neuropsicología*. Barcelona: Viguera Editores.
- Tirapu-Ustárrroz, J., Molina, A. G., Ríos-Lago, M., y Ardila, A. (2012). *Neuropsicología de la corteza prefrontal y las funciones ejecutivas*. Barcelona: Viguera.
- Tombaugh, T. N. (2006). A comprehensive review of the Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT). *Arch Clin Neuropsychol*, 21, 53-76.
- Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, 112(3), 297-324.
- Tomporowski, P. D. (2003). Cognitive and behavioral responses to acute exercise in youth: A review. *Pediatric Exercise Science*, 15, 348-359.
- Tomporowski, P. D., Broglio, S. P., y Ferrara, M. S. (2005). Balance performance with a cognitive task: a dual-task testing paradigm. *Medicine and Science in Sport Exercise*, 37(4), 689-95.
- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Lambourne, K., Gregoski, M. y Tkacz, J. (2008). Task switching in overweight children: Effects of acute exercise and age. *Journal of Sport y Exercise Psychology*, 30, 497-511.
- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H. y Naglieri, J. A. (2008). Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educational Psychology Review*, 20, 111-131.
- Tomporowski, P. D., Lambourne, K., y Okumura, M. S. (2011). Physical activity interventions and children's mental function: an introduction and overview. *Preventive Medicine*, 52(1), 3-9.
- Torres-Luque, G., Calahorro, F., Lara-Sánchez, A. J. y Zagalaz-Sánchez, M. L. (2011). Exigencia competitiva del jugador de fútbol infantil. *Ágora para la E.F. y el Deporte*, 13(3), 383-395.
- Tranel, D., Anderson, S., y Benton, A. (1994). Development of the concept of "executive function" and its relationship to the frontal lobes. En F. Boller, y J. Grafman (Eds.), *Handbook of neuropsychology* (Vol. 9, pp. 125-148). Amsterdam: Elsevier.

- Travlos, A., y Marisi, D. (1995). Information processing and concentration as a function of fitness level and exercise-induced activation to exhaustion. *Perceptual and Motor Skills*, 80, 15-26.
- Tudela, P. (1989). *Tiempo de reacción. Psicología Experimental* (4ª ed.). Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Ulmer, H. (1996). Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. *Experientia*, 52(5), 416-420.
- Unnithan, V. B., Houser, W., y Fernhall, B. (2006). Evaluation of the energy cost of playing a dance simulation video game in overweight and non-overweight children and adolescents. *International Journal of Sports Medicine*, 27(10), 804-809.
- Van Der Borght, K., Kobor-Nyakas, D. E., Klauke, K., Eggen, B. J., Nyakas, C., Van der Zee, E. A. (2009). Physical exercise leads to rapid adaptations in hippocampal vasculature: temporal dynamics and relationship to cell proliferation and neurogenesis. *Hippocampus*, 19(10), 928-936.
- Van Der Sluis, S., De Jong, P. F. y Van Der Leij, A. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence*, 35, 427-449.
- Vanderwater, E. A., M. Shim, M., y Caplovitz, A. G. (2004). Linking obesity and activity level with children's television and video game use. *Journal of Adolescence*, 27(1), 71-85.
- VanDeventer, S. S., y White, J. A. (2002). Expert behavior in children's video game play. *Simulation and Gaming*, 33, 28-48.
- Van Eimeren, T., Wolbers, T., Munchau, A., Buchel, C., Weiller, C., y Siebner, H. R. (2006). Implementation of visuospatial cues in response selection. *Neuroimage*, 29, 286-294.
- Van Praag, H. (2009). Exercise and the brain: something to chew on. *Trends in Neurosciences*, 32(5), 283-290.
- Van Praag, H., Christie, B. R., Sejnowski, T. J., y Gage, F. H. (1999). Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 13427-13431.
- Van Zomeren, A. H., y Brouwer, W. H. (1994). *Clinical neuropsychology of attention*. New York: Oxford University Press.
- Van Zomeren, A. H., y Spikman, J. M. (2006). Testing Speed and Control: the Assessment of attentional impairments. Halligan, P. W., y Wade, D. T. (Eds.). *Effectiveness of rehabilitation for cognitive deficits*. Oxford: Oxford University Press. p. 71-80.
- Vaynman, S., Ying, Z., y Gomez-Pinilla, F. (2004). Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *European Journal of Neuroscience*, 20, 2580-2590.
- Vaynman, S., y Gomez-Pinilla, F. (2006). Revenge of the "sit": how lifestyle impacts neuronal and cognitive health through molecular systems that interface energy metabolism with neuronal plasticity. *J Neurosci Res*, 84(4), 699-715.

- Vercruyssen, M. (1993). Slowing of behaviour with age. *Encyclopedia of adult development*. Kastenbaum, R. (Eds.). Phoneix, A.Z. Oryx Press. p. 457-67.
- Vicente, G., Rey, P., Martín, M., Moreno, L. A., Wärnberg, J., Redondo, C., Tercedor, P., Delgado, M., Marcos, A, Castillo, M., y Bueno, M. (2008). Television watching, videogames, and excess of body fat in Spanish adolescents: The AVENA study. *Nutrition*, 24(7), 654-662.
- Vinuesa., y Coll. (1987). *Teoría básica del entrenamiento*. Madrid. Esteban Sanz. 2ª Edición.
- Voelcker-Rehage, C., Godde B., y Staudinger, U. M. (2010). Cardiovascular and motor fitness are both related to cognition in old age. *European Journal of Neuroscience*. 31, 167-176.
- Voelcker-Rehage C., Godde B., Staudinger U. M. (2011). Cardiovascular and coordination training differentially improve cognitive performance and neural processing in older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5(26).
- Wallace, R.M. y Baumeister, R.F. (2002). The effect of success versus failure feedback on further self- control. *Self and Identity*, 1, 35-41.
- Walton, M. E., Devlin, J. T., y Rushworth, M. F. (2004). Interaction between decisión making and performance monitoring within prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, 7, 1259-1265.
- Wang, X. J. (2008). Decisionmaking inrecurrent neuronal circuits. *Neuron*, 60, 215-234.
- Ward, A. (2004). *Attention: a neuropsychological approach*. Hove, U.K: Psychology Press.
- Wayne, P. M., Walsh, J. N., Taylor-Piliae, R. E., Wells, R. E., Papp, K. V., Donovan, N. J., y Yeh, G. Y. (2014). The Impact of Tai Chi on Cognitive Performance in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Geriatrics Society*, 62(1), 25-39.
- Weinberg, R. S., y Gould, D. (2003). *Foundations of sport and exercise psychology* (3rd. edition). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Weir, J. P., Beck, T. W., Cramer, J. T., y Housh, T. J. (2006). Is fatigue all in your head? A critical review of the central governor model. *British Journal of Sports Medicine*, 40(7), 573-586.
- Weston, M., Bird, S., Helsen, W., Nevill, A. y Castagna, C. (2006). The effect of match standard and referee experience on the objective and subjective match workload of English Premier League referees. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 9, 256-262.
- Xie, B., y Salvendy, G. (2000). Review and reappraisal of modelling and predicting mental workload in single and multi-task environments. *Work and Stress*, 14(1), 74-99.
- Wickens, C. D. (1984). *Processing resources in attention*. En: Varieties of attention. (Eds), R. Parasuraman y D. R. Davies. Academic Press.

- Widman, M. S., Craig, M., McDonald, M. D., y Ted Abresch, R. (2006). Effectiveness of an Upper Extremity Exercise Device Integrated with Computer Gaming for Aerobic Training in Adolescents With Spinal Cord Dysfunction. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 29(4), 363-370.
- Wiebe, S. A., Espy, K. A. y Charak, D. (2008). Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: I. Latent structure. *Developmental Psychology*, 44, 575-587.
- Williams, A. M. y Ford, P. (2008). Expertise and expert performance in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1, 4-18.
- Williamson, J. W., Mccoll, R., Mathews, D., Mitchell, J. H., Raven, P. B., y Morgan, W. P. (2001). Hypnotic manipulation of effort sense during dynamic exercise: Cardiovascular responses and brain activation. *Journal of Applied Physiology*, 90(4), 1392-1399.
- Wilms, I. L., Petersen, A., y Vangkilde, S. (2013). Intensive video gaming improves encoding speed to visual short-term memory in young male adults. *Acta Psychol.* 142, 108-118.
- Wilson, R. S., Barnes, L. L., y Bennett, D. (2003) Assessment of Lifetime Participation in Cognitively Stimulating Activities. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*. 25, 634-643.
- Wilson, G. F., y Eggemeier, F. T. (1991). Physiological measures of workload in multi-task environments. En D. Damos (Ed.), *Multiple- task performance* (pp. 329-360). London: Taylor y Francis.
- Wilson, P. H., Duckworth, J., Mumford, N., Eldridge, R., Guglielmetti, M., Thomas, P., Shum, D., y Rudolph, H.(2007).A virtual tabletop workspace for the assessment of upper limb function in Traumatic Brain Injury (TBI).*Virtual Rehabilitation, IWVR*, 4362122, 14-19.
- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., y Fobker. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiology Learning Memory*, 87, 597-609.
- Woodcock, R. W., y Johnson, M. B. (1977). Woodcock-Johnson Psycho-Educational Battery. *Itasca, IL: Riverside Publishing*.
- Wyatt, K. D., Tanapat, P., Wang, S. S. (2005). Speed limits in the cerebellum: constraints from myelinated and unmyelinated parallel fibers. *European Journal of Neuroscience*. 21, 2285-2290.
- Yakovlev, P. I., y Lecours, A. (1967). The myelogenetic cycles of regional maturation of the brain. Minkowski, A. (Eds.). *Regional development of the brain in early life*. Oxford: Blackwell. p. 3-70.
- Yanagisawa, H., Dan, I., Tsuzuki, D., Kato, M., Okamoto, M., Kyutoku, Y., y Soya, H. (2010). Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *Neuroimage*, 50(4), 1702-1710.
- Yesavage, J. A. (1985). Non-pharmacological treatments for memory loss with normal aging. *American Journal of Psychiatry*, 142, 600-605.

- Zabar, Y., Corrada, M., Fozard, J., Costa, P., y Kawas, C. (1996). Does frequent participation in cognitively demanding leisure activities reduce the risk of developing dementia? *Neurology*, 46(Suppl.), A435.
- Zenon, A., Sidibe, M., y Olivier, E. (2015). Disrupting the supplementary motor area makes physical effort appear less effortful. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 35(23), 8737-8744.

CAPÍTULO VIII

ANEXOS

ANEXO 1

CONSENTIMIENTO INFORMADO EXPERIMENTO 1

_____, mayor de edad, accedo a participar libremente, de forma voluntaria y sin ningún tipo de presión externa, sabiendo que tengo derecho a abandonar si así lo deseo, la participación en el proyecto de investigación realizado por la Unidad de Investigación del Rendimiento Físico y Deportivo (U.I.R.F.I.D.E) de la Universidad de Valencia. He sido informado de que la participación en este estudio no supone un riesgo para mi salud y de que los datos personales serán protegidos en un fichero que estará sometido a, y con garantías de, la ley 15/1999 de 13 de Diciembre.

Entendiendo que los resultados obtenidos pueden contribuir aportaciones y mejoras en diferentes ámbitos científicos, el presente estudio consta de dos sesiones en las cuales se realizará:

- Un test de medición del TRC inicial.
- Una tarea física de naturaleza aeróbica, realizada entre el 60% y el 70% de la F.C Máxima (según la fórmula de porcentajes de intensidad de Karvonen).
- Una tarea física de naturaleza aeróbica, realizada entre el 60% y el 70% de la F.C Máxima, más un estímulo perceptivo-motor: juego de tenis de la wii.
- Un test de medición del TRC final.

Para que conste, firmo el presente en Valencia, a ___de_____ de 2013

Firma:

ANEXO 2

CONSENTIMIENTO INFORMADO EXPERIMENTO 2

_____, mayor de edad, accedo a participar libremente, de forma voluntaria y sin ningún tipo de presión externa, sabiendo que tengo derecho a abandonar si así lo deseo, la participación en el proyecto de investigación realizado en el laboratorio de la Facultad de Fisioterapia de la Universidad de Valencia. He sido informado de que la participación en este estudio no supone ningún riesgo para mi salud y de que los datos personales serán protegidos en un fichero que estará sometido a, y con garantías de, la ley 15/1999 de 13 de Diciembre.

Entendiendo que los resultados obtenidos pueden contribuir aportaciones y mejoras en diferentes ámbitos científicos, el presente estudio consta de dos sesiones en las cuales se realizará:

- Un test de medición del Tiempo de Reacción Complejo inicial.
- Una tarea física de naturaleza aeróbica, realizada entre el 60% y el 70% de la F.C Máxima.
- Una tarea física de naturaleza aeróbica, realizada entre el 60% y el 70% de la F.C Máxima, más un estímulo perceptivo-motor: juego tenis de la wii.
- Una tarea que implica simplemente jugar al juego de tenis de la Wii.
- Un test de medición de las funciones ejecutivas.
- Un test de medición del Tiempo de Reacción Complejo final.

Para que conste, firmo el presente en Valencia, a ____ de _____ de 2015.

Firma:

ANEXO 3

INFORME FAVORABLE COMITÉ DE ÉTICA

VNIVERSITAT
E VALÈNCIA Vicerectorat
d'Investigació i Política Científica

D. Fernando A. Verdú Pascual, Profesor Titular de Medicina Legal y Forense, y Secretario del Comité Ético de Investigación en Humanos de la Comisión de Ética en Investigación Experimental de la Universitat de València,

CERTIFICA:

Que el Comité Ético de Investigación en Humanos, en la reunión celebrada el día 20 de noviembre de 2014, una vez estudiado el proyecto de investigación titulado:
“Análisis de los efectos de la actividad física y el juego sobre el tiempo de reacción complejo, percepción de esfuerzo y variables cognitivas en adultos mayores”, número de procedimiento H1414057733558, cuyo investigador responsable es D. José Francisco Guzmán Luján, ha acordado informar favorablemente el mismo dado que se respetan los principios fundamentales establecidos en la Declaración de Helsinki, en el Convenio del Consejo de Europa relativo a los derechos humanos y cumple los requisitos establecidos en la legislación española en el ámbito de la investigación biomédica, la protección de datos de carácter personal y la bioética.

Y para que conste, se firma el presente certificado en Valencia, a veintisiete de noviembre de dos mil catorce.

FERNANDO
ALEJO|VERDU|
PASCUAL
2014.12.01
08:24:51 +01'00'

ANEXO 4

ESCALA DE BORG (CR-10) PARA VALORAR LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DEL ESFUERZO

Escala de Esfuerzo de BORG	
0	Reposo total
1	Esfuerzo muy suave
2	Suave
3	Esfuerzo moderado
4	Un poco duro
5	Duro
6	
7	Muy duro
8	
9	
10	Esfuerzo máximo